

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



**“DETERMINACION DE LA TASA DE DETERIORO EN  
TALUDES CONSTITUIDOS POR MATERIALES  
PIROCLASTICOS EN EL AREA METROPOLITANA DE  
SAN SALVADOR (AMSS)”**

PRESENTADO POR:

**WILLIAM ANTONIO BAUTISTA MENDOZA**

**KAREN CRISTINA CRUZ RIVAS**

PARA OPTAR AL TITULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

CIUDAD UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE DE 2016

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR INTERINO :

**LIC. JOSÉ LUIS ARGUETA ANTILLÓN**

SECRETARIA GENERAL :

**DRA. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA**

**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**

DECANO :

**ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

SECRETARIO :

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

DIRECTOR :

**ING. JORGE OSWALDO RIVERA FLORES**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO CIVIL**

Título :

**“DETERMINACION DE LA TASA DE DETERIORO EN  
TALUDES CONSTITUIDOS POR MATERIALES  
PIROCLASTICOS EN EL AREA METROPOLITANA DE  
SAN SALVADOR (AMSS)”**

Presentado por :

**WILLIAM ANTONIO BAUTISTA MENDOZA**

**KAREN CRISTINA CRUZ RIVAS**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes asesores:

ING. LESLY EMIDALIA MENDOZA MEJÍA

ING. JOSÉ MIGUEL LANDAVERDE QUIJADA

ING. JOSÉ ALEXANDER CHÁVEZ HERNÁNDEZ

ING. MAURICIO ERNESTO VÁSQUEZ CERROS

San Salvador, Noviembre de 2016

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes asesores :

**ING. LESLY EMIDALIA MENDOZA MEJÍA**

**ING. JOSÉ MIGUEL LANDAVERDE QUIJADA**

**ING. JOSÉ ALEXANDER CHÁVEZ HERNÁNDEZ**

**ING. MAURICIO ERNESTO VÁSQUEZ CERROS**

## **AGRADECIMIENTOS**

La culminación de nuestro trabajo de graduación ha sido posible gracias a la colaboración de muchas personas que nos brindaron su valiosa ayuda durante el desarrollo de la investigación.

Principalmente a **DIOS**, por permitirnos concluir satisfactoriamente esta investigación y por iluminarnos con sabiduría, inteligencia y perseverancia a lo largo de todo nuestro proceso de formación universitaria.

Agradecemos a nuestros asesores: **Ing. Lesly Emidalia Mendoza, Ing. José Miguel Landaverde Quijada, Ing. José Alexander Chávez Hernández y al Ing. Mauricio Ernesto Vásquez**, por guiarnos con sus conocimientos desde el inicio hasta el final de este trabajo de graduación, por comprendernos en todo momento y motivarnos a seguir adelante.

Agradecemos al personal del Laboratorio de Suelos y Materiales “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”, de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de El Salvador, especialmente al **técnico Carlos Morataya** y al **Ing. Evelio López** por su orientación para llevar a cabo los ensayos de laboratorio.

Agradecimientos especiales al **Ing. José Ranulfo Cárcamo**, por orientarnos con el trabajo realizado en campo y apoyarnos con el préstamo de equipo topográfico.

A los ingenieros **Jorge Valdéz, Óscar Ayala, Víctor Calero y Manuel Guzmán**, por su valiosa ayuda en la realización de trabajos de campo y de laboratorio.

Agradecemos a la **Universidad de El Salvador**, por habernos formado como profesionales con carácter, para poder enfrentar retos y desarrollarnos exitosamente en el mundo laboral.

Asimismo, agradecemos a la **Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador(OPAMSS)** por facilitarnos el tema de investigación y a la misma vez brindarnos apoyo con transporte para llevar a cabo el monitoreo en campo.

**MUCHAS GRACIAS**

## DEDICATORIA

Al llegar a esta etapa de mi vida y haber culminado mí con éxito mi carrera, quiero expresar mis agradecimientos al esfuerzo de todas las personas que hicieron posible este logro:

A **Dios** todopoderoso por permitirme la vida para estudiar mi carrera, por darme sabiduría e inteligencia, y en momentos de difíciles me dio fortaleza para terminar mi estudio.

A mis padres **José Leonardo Bautista y Elida de Jesús Mendoza** mis primeros profesores que a pesar de todas las dificultades y sacrificios supieron apoyarme de la mejor manera posible.

A mis **hermanos Julio, Arely, Mirna, Leonardo, Andrés, Claudia, Judith y Samuel** quienes muy unidamente me han apoyado para llevar a cabo mi estudio, desvelándose conmigo tantas noches de estudio.

A mi novia **Briseyda Elizabeth Hernández**, quien desde el momento que llegó a mi vida se convirtió en mi apoyo fundamental, ayudándome a reorientar mi vida y me acompañó en cada etapa de mi carrera.

Sinceramente, agradezco a mi amigo **Juan Carlos Hernández** quien me ha apoyado incondicionalmente en los momentos de más necesidad, así mismo a toda su familia.

A la familia **Oporto Vides** quienes me han abierto las puertas de su casa y me han brindado su amistad y apoyo en todo momento.

A mi ex compañera **Tania Rivera** quiero darle las gracias por orientarme a estudiar la carrera de Ingeniería Civil en el momento más oportuno.

A mi compañera de tesis **Karen Cristina Cruz Rivas** quien siendo una mujer muy luchadora ha puesto todo su esfuerzo para poder culminar con éxito el trabajo de graduación.

Infinitamente gracias a los Asesores **Ing. Lesly Emidalia Mendoza, Ing. José Miguel Landaverde, Ing. Mauricio Ernesto Vásquez e Ing., José Alexander Chávez**, por brindar su apoyo, tiempo y conocimiento para poder llevar a cabo el trabajo de graduación

Agradezco a mis compañeros, **Jorge, Verónica, Jaqueline y Manuel**, por ayudarnos a desarrollar nuestro trabajo de tesis, así como también al **Ing. Oscar Ayala** por orientarnos en el trabajo de laboratorio y de campo.

Al Ing. Ranulfo Cárcamo por orientarme en el trabajo de campo, así su ayuda para los procesos del trabajo de graduación.

A la **Universidad de El Salvador** por darme la oportunidad de formarme y prepararme para los diversos retos de la vida.

A la **OPAMSS** brindarnos el apoyo por habernos apoyado tanto con el tema de graduación, asesoría y movilización para realizar el trabajo de campo.

Y a todas las personas que de muchas maneras me han brindado su apoyo, tanto para la finalización de mi carrera como el trabajo de graduación, infinitas

**Gracias**

**William Antonio Bautista Mendoza**

## DEDICATORIA

Finalizar mi carrera ha sido un gran logro en mi vida, el cual no pude haberlo conseguido si no fuera por todo el apoyo que me han brindado muchas personas especiales que Dios puso en mi camino:

Primeramente, le doy gracias a **Dios** por haberme guiado en este camino, iluminando mi mente, y por regalarme el don de la perseverancia, ya que nunca me dejó rendirme ante todos los obstáculos que se me presentaron.

A mi madre **Ruth Cristina de Cruz**, le agradezco infinitamente por estar conmigo en cada uno de los momentos en que más la he necesitado; siempre me ha dado ánimos para seguir adelante, apoyándome en todo, brindándome su cariño, su paciencia, su tiempo, su amor y comprensión. Los consejos que me ha dado, siempre han sido acertados y me han ayudado a crecer como persona e ir madurando cada día un poco más. Siempre ha sido mi ejemplo a seguir, y algún día espero ser una excelente mujer, madre amorosa y trabajadora como ella.

A mi padre **Saúl Cruz**, le doy las gracias por todo su apoyo y amor que me ha brindado siempre. Gracias por ser un ejemplo en mi vida, por enseñarme a ser una persona responsable y a no dejarme vencer nunca ante cualquier situación. Gracias por todo el esfuerzo que has hecho para que yo pueda salir adelante y culminar mi carrera.

A mi hermano **Cristian Cruz**, por todo el apoyo incondicional que me ha demostrado siempre. Gracias por estar conmigo en las buenas y en las malas. Gracias por corregirme cuando estoy fallando y mostrarme el camino para ser una persona de bien, responsable, objetiva y madura.

Al **Ing. Jorge Rivera Flores**, quién siempre estuvo pendiente del desarrollo de mi tesis, y que en incontables ocasiones me brindó su apoyo y orientación durante mi carrera, siempre le estaré agradecida por su valiosa ayuda y paciencia que me demostró durante mi proceso de aprendizaje.

A mi mejor amiga **Rina Sánchez**, porque siempre me ha brindado su apoyo y su amistad incondicional durante toda mi carrera. Gracias por ser mi compañera de estudio y estar a mi lado siempre que yo necesito ayuda; ha sido como la hermana que nunca tuve, en quien puedo confiar y pedir consejos de la vida.

A mi compañero de tesis **William Bautista**, por haber estado conmigo durante todo este proceso y culminarlo exitosamente.

A mis asesores **Ing. Lesly Mendoza**, **Ing. José Landaverde**, **Ing. Álex Chávez** e **Ing. Mauricio Vásquez**, les agradezco infinitamente por compartir sus valiosos conocimientos, por toda la ayuda y tiempo dedicado al Trabajo de Graduación, gracias a ustedes he aprendido a ser una persona más responsable y a dar lo mejor de mí en cada actividad que realizo.

Agradezco infinitamente a la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, especialmente a los docentes de la Escuela de Ingeniería Civil, por haberme formado como profesional, brindándome todos los conocimientos necesarios que me permitieron alcanzar este gran logro.

Agradezco enormemente a la Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador (OPAMSS), por todo el apoyo y aportes invaluable que me proporcionaron para poder llevar a cabo este trabajo de graduación.

Además, les agradezco, a personas muy especiales que siempre han estado conmigo, brindándome su apoyo y amistad: **Lic. Francisco Rivas, Gonzalo García, Walter Cruz, Ing. Jorge Valdez, Ing. Manuel Guzmán, Ing. Fernando Gálvez, Ing. Christian Serrano, Adriana Cruz y Graciela Escobar.**

**¡GRACIAS TOTALES!**

**Karen Cristina Cruz Rivas**

## INDICE

### Contenido

INTRODUCCIÓN.....	v
CAPITULO I .....	1
CONSIDERACIONES GENERALES .....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	2
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	6
1.3 OBJETIVOS.....	9
1.3.1 Objetivo General.....	9
1.3.2 Objetivos Específicos.....	9
1.4 ALCANCES.....	10
1.5 LIMITACIONES .....	11
1.6 JUSTIFICACIÓN .....	12
CAPITULO II .....	14
MARCO TEÓRICO .....	14
2.1 INTRODUCCIÓN.....	15
2.2 TECTÓNICA.....	15
2.3 GEOLOGÍA DE EL SALVADOR.....	18
2.4 GEOLOGÍA, TECTÓNICA Y VULCANOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	23
2.4.1 ESTRATIGRAFÍA DEL AMSS.....	24
2.4.2 ESTRATIGRAFÍA DE LA TBJ.....	29
2.5 PROBLEMÁTICA CON LOS MATERIALES PIROCLÁSTICOS.....	37
2.6 EROSIÓN.....	53
2.6.1 CONCEPTO .....	53
2.6.2 TIPOS DE EROSIÓN .....	54
2.6.3 MONITOREO Y MEDICIÓN DE EROSIÓN.....	71
2.7. MÉTODOS PARA ESTIMAR LAS PÉRDIDAS DE SUELO.....	76
CAPITULO III .....	79
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	79

3.1 INTRODUCCIÓN.....	80
3.2 INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	80
3.3 ESTABLECIMIENTO DE CRITERIOS QUE SE REQUIEREN ENCONTRAR EN LOS TALUDES QUE SERÁN LOS PUNTOS DE ESTUDIO PARA LLEVAR A CABO LA INVESTIGACIÓN.....	81
3.4 INVESTIGACIÓN DE ALGUNAS TÉCNICAS DE CUANTIFICACIÓN DE PÉRDIDAS DE SUELO QUE SE HAN IMPLEMENTADO EN PAÍSES DE LA REGIÓN CENTROAMERICANA Y QUE HAN SIDO APLICADAS EN DIVERSOS CAMPOS DE ESTUDIO.....	81
3.5 SELECCIÓN PRELIMINAR DE PUNTOS DE INVESTIGACIÓN.....	82
3.6 SELECCIÓN DE PUNTOS DE ESTUDIO.....	82
3.7 CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES INICIALES DE LOS TALUDES SELECCIONADOS.....	82
3.8 SELECCIÓN DE TÉCNICA DE MONITOREO.....	89
3.9 IDENTIFICACIÓN DE ESTRATOS QUE CONSTITUYEN A CADA TALUD SELECCIONADO.....	89
3.10 APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE EVALUACIÓN DE DETERIORO A LOS TALUDES SELECCIONADOS.....	98
3.11 RECOPIACIÓN DE REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS.....	99
3.12 EXTRACCIÓN DE MUESTRAS.....	99
3.13 OBTENCIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS.....	104
3.14 PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA TASA DE EROSIÓN EN TALUDES CONSTITUIDOS POR MATERIALES PIROCLÁSTICOS.....	104
3.15 INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	104
CAPITULO IV.....	106
APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	106
4.1 INTRODUCCIÓN.....	107
4.2 INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	107
4.3 CRITERIOS QUE SE REQUIEREN ENCONTRAR EN LOS TALUDES QUE SERÁN LOS PUNTOS DE ESTUDIO PARA LLEVAR A CABO LA INVESTIGACIÓN.....	109
4.4 TÉCNICAS DE CUANTIFICACIÓN DE PÉRDIDAS DE SUELO QUE SE HAN IMPLEMENTADO EN PAÍSES DE LA REGIÓN CENTROAMERICANA Y QUE HAN SIDO APLICADAS EN DIVERSOS CAMPOS DE ESTUDIO.....	110
4.4.1 MÉTODO DE CLAVOS Y RONDANAS (ARANDELAS).....	110
4.4.2 MÉTODO DE TRANSECTO DE CÁRCAVAS.....	115
4.4.3 MÉTODO DE TRAMPAS Y SEDIMENTOS.....	122

4.5 SELECCIÓN PRELIMINAR DE PUNTOS DE INVESTIGACIÓN.....	125
4.6 SELECCIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO.....	143
4.7 CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES INICIALES DE LOS TALUDES SELECCIONADOS...	144
4.8 SELECCIÓN DE TÉCNICA DE MONITOREO .....	146
4.9 IDENTIFICACIÓN DE ESTRATOS QUE CONSTITUYEN A CADA TALUD SELECCIONADO .....	167
4.10 APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE EVALUACIÓN DE DETERIORO A LOS TALUDES SELECCIONADOS .....	168
4.10.1 DEFINICIÓN DE TÉCNICAS A APLICAR A CADA UNO DE LOS TALUDES SELECCIONADOS .....	169
4.10.2 ETAPA PREVIA A LA INSTALACIÓN DEL EQUIPO.....	169
4.10.3 INSTALACIÓN DE EQUIPO EN CADA TALUD SELECCIONADO .....	172
4.10.4 REGISTROS OBTENIDOS DURANTE EL MONITOREO EN CAMPO .....	188
4.11 RECOPIACIÓN DE REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS.....	188
4.12 EXTRACCIÓN DE MUESTRAS .....	189
4.13 OBTENCIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS.....	191
4.13.1 RESULTADOS OBTENIDOS EN ENSAYOS DE LABORATORIO.....	192
4.13.2 COMPARACIONES GRANULOMÉTRICAS PARA DETERMINAR CORRESPONDENCIA CON UNIDADES DE TBJ.....	214
4.14 DETERMINACIÓN DE LA TASA DE EROSIÓN EN TALUDES CONSTITUIDOS POR MATERIALES PIROCLÁSTICOS .....	220
4.15 ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	220
CAPITULO V.....	221
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	221
5.1 INTRODUCCIÓN.....	222
5.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO Y DE LOS RESULTADOS PRODUCTO DE LOS CAMBIOS QUE EXPERIMENTARON LOS TALUDES DURANTE EL PERIODO DE ESTUDIO .....	223
5.3 CÁLCULO DE LA TASA DE EROSIÓN .....	278
CAPITULO VI.....	286
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	286
6.1 CONCLUSIONES.....	287

6.2 RECOMENDACIONES.....	302
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	305
ANEXOS .....	310

## INTRODUCCIÓN

Esta investigación se centra en la determinación de la tasa de deterioro en taludes constituidos por materiales piroclásticos mediante la utilización de métodos empíricos, los cuales se implementaron durante la época lluviosa, que es en dónde se presentaron los mayores cambios por efecto de los procesos erosivos.

Para alcanzar este propósito, se presenta una investigación bibliográfica que permite comprender el comportamiento de los materiales piroclásticos, definición del proceso erosivo y de los tipos de erosión, diferentes técnicas utilizadas en Centroamérica para la cuantificación de pérdidas de suelo por erosión; así como también, una breve descripción de la metodología USLE<sup>1</sup> (Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo, en español), para el cálculo de tasas de erosión.

También, se presenta la adaptación de dos técnicas de monitoreo para implementarlas a los puntos de estudio seleccionados, en donde se describen los pasos a seguir para llevar a cabo el registro periódico de las pérdidas de material, dependiendo de las condiciones de exposición y del tipo de erosión que presente cada talud.

---

<sup>1</sup> USLE: Universal Soil Loss Equation

Además, se relacionaron las cantidades de materiales erosionados con la cantidad de lluvia registrada en los pluviómetros cercanos a la zona de estudio.

Asimismo, se desarrollaron ensayos de laboratorio, para la obtención de las propiedades físicas de cada estrato que constituyen los taludes estudiados, todo esto, con la finalidad de caracterizarlos geotécnicamente.

# **CAPITULO I**

## **CONSIDERACIONES GENERALES**

## **1.1 ANTECEDENTES**

El Área Metropolitana de San Salvador (AMSS), debido a su acelerado crecimiento económico y poblacional, se ha visto en la necesidad de incrementar la oferta habitacional, que ha dado paso al surgimiento de nuevas urbanizaciones, la construcción de vías de acceso, como lo son carreteras y autopistas para interconectar estas nuevas urbanizaciones, además del aumento de la red de abastecimiento de servicios básicos. En muchos casos, se han utilizado áreas que no siempre reúnen condiciones adecuadas y de seguridad, ubicándose en casos extremos en las proximidades de ríos y quebradas y/o áreas con una topografía accidentada.

En general, la construcción en el Área Metropolitana de San Salvador tiene como efecto la degradación medio ambiental: extinción de la flora y fauna, la contaminación del aire, del agua y la pérdida del suelo. La pérdida de este último es a causa de la impermeabilización y de los efectos que el cambio climático está ocasionando en el régimen de lluvias en el país, como por ejemplo, el aumento considerable en la escorrentía superficial, el cual trae como consecuencia el incremento de las láminas de agua en ríos y quebradas, lo que conlleva al deterioro de los taludes contiguos a los mismos.

También, se pueden mencionar las obras de ingeniería construidas sobre los ríos y quebradas tales como: bóvedas, sistema de caja triple como se le denomina en El Salvador y sistema de gaviones para protección en taludes.

Estas obras cambian las condiciones naturales de los ríos ocasionando en la mayoría de los casos cambios del trazo horizontal, erosión de los taludes contiguos a los ríos, cambios de la rasante y surgimiento de nuevas áreas vulnerables a las inundaciones. En estas áreas los ríos y quebradas buscan alcanzar nuevamente su equilibrio y provocan un aumento de las problemáticas de erosión en espacios que anteriormente no presentaban dicha dinámica.

En la conformación de las obras de ingeniería tanto de carreteras como de urbanizaciones se forman una serie de cortes o taludes según la topografía de la zona, estas obras se encuentran conformadas por unidades geotécnicas que dependiendo de su resistencia, podrían tener diversos comportamientos que en nuestro medio dependerán de diversos factores, destacando los efectos climatológicos y sísmicos como los parámetros que mayor influencia presentan en el deterioro de los mismos.

Si se indaga sobre la historia climatológica de nuestro país, se puede encontrar que al paso de los años han existido una serie de fenómenos naturales que han reflejado la necesidad de investigar en nuestro medio el comportamiento de los taludes. Específicamente en aspectos como son la erosionabilidad y demás factores que afectan su estabilidad.

En el último trimestre del año 2005, El Salvador se vio afectado por la Tormenta Tropical Stan, durante casi una semana llovió de forma abundante y con distinta intensidad, lo cual ocasionó erosión incontrolable en la superficie de los suelos del país, poniendo en peligro la vida de muchos habitantes, así como daños

ambientales, sociales y económicos; producto de esta tormenta el gobierno tuvo que invertir considerables sumas de dinero para reparar los daños.

Asimismo, es necesario mencionar la vulnerabilidad a la que se ven expuestos los taludes ante la ocurrencia de un sismo, como por ejemplo, los terremotos ocurridos en 1965, 1986, 13 de enero y 13 de febrero del 2001. Uno de los estragos más destacables debidos a estos sismos, es la situación vivida en la colonia Las Colinas, al sur de Santa Tecla, en donde la zona quedó vulnerable por el desprendimiento de grandes masas de tierra ocasionado por los sismos. El Área Metropolitana de San Salvador (AMSS), está cubierta en su mayor parte por depósitos de flujos piroclásticos o ignimbritas producto de la erupción pliniana más reciente ocurrida en la caldera de Ilopango, en el año 536 D.C., (**Dull et al,2010**). Dentro de estos productos volcánicos se encuentra la Tierra Blanca Joven (TBJ). En particular la unidad F y la unidad G de la TBJ que por su importante espesor y porque se encuentran ubicadas cerca de la superficie, tiene más influencia al deterioro.

Además, hay presencia de otros productos de erupciones volcánicas provenientes del Volcán de San Salvador, entre los que se puede mencionar a los estratos: G1, G2, Ignimbritas Boquerón (IB) y Apopa. De todas estas erupciones, las principales con las que se encuentra formada la superficie de la AMSS son las producidas por la Caldera de Ilopango y el Volcán de San Salvador (O. Ayala 2013).

Entre algunas de las investigaciones que se han realizado sobre estos tipos de suelos está la publicación "MECANISMO DE RUPTURA DE TALUDES EN IGNIMBRITAS DE TIERRA BLANCA JOVEN, CALDERA DE ILOPANGO, EL SALVADOR, se explica el comportamiento que presentan los taludes que se encuentran constituidos por Flujos Piroclásticos, afirmando que debido a las propiedades isotrópicas que presentan las ignimbritas, son más vulnerables a la exfoliación, generando planos de falla paralelos a la cara de los taludes, mostrando ángulos casi verticales que conllevan a derrumbes por vuelco (W. Hernández, 2004). Geólogos del Mundo realizó en 2013 el "Estudio de la evolución de la erosión fluvial reciente, en la micro-cuenca del río las Cañas" en dónde se estudia la erosión fluvial, y afirma que la principal causa de erosión en taludes se debe a sus cambios en la morfología y cambios en márgenes de ríos a consecuencia de la extracción de materiales pétreos en la zona.

En el documento Geotechnical and Geological Engineering (Houston & Zapata, 2001) se destaca la importancia de realizar estudios previos e investigar presencia de los suelos problemáticos para determinar su comportamiento y poder planificar las correspondientes medidas de mitigación para evitar o minimizar estos efectos adversos.

El ingeniero Oscar Edgardo Ayala Valdez, en su trabajo de graduación "Aplicación de los Modelos Constitutivos para Representar el Comportamiento de Tierra Blanca Joven" determinó que los taludes muestreados presentan pendientes cercanas a  $80^{\circ}$  y las pruebas indican que los ángulos de fricción

interna de los materiales constituyentes de los taludes en la unidad G es de un valor en parámetros efectivos de  $31^\circ$ , por tanto, para mantener la estabilidad es necesaria la presencia de cohesión aparente (succión o fuerzas capilares y cementación), las cuales contribuyen a la estabilidad de los mismos.

El daño que una tormenta tropical o un sismo pueden ocasionar a los taludes y laderas es indiscutible, pero se debe tener presente que la afirmación anterior se vuelve efectiva considerando a la vez la influencia que las condiciones litológicas, la vegetación y el entorno aledaño tienen sobre los mismos. Por lo tanto, se vuelve indispensable la cuantificación del grado de deterioro que causan los fenómenos naturales y factores antrópicos sobre los taludes con la finalidad de implementar acciones que minimicen los efectos de estos, sobre el comportamiento de los taludes.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La historia de nuestro país se ha visto caracterizada por la vulnerabilidad ante los recurrentes fenómenos naturales de los que ha sido objeto a través del tiempo; destacando entre ellos: terremotos, tormentas tropicales, periodos lluviosos irregulares, entre otros.

A consecuencia de la inoportuna aplicación de estrategias a priori, el gobierno destina gran parte del Presupuesto General de la Nación en reparar daños producidos por los fenómenos naturales, lo cual desemboca en grandes

inversiones de manera constante que solo mantienen su efecto en pequeños intervalos de tiempo, sin resolver de manera efectiva la raíz del problema.

La mayoría de los suelos del AMSS son constituidos por Materiales Piroclásticos, por lo cual es indispensable llevar a cabo estudios que permitan reflejar el comportamiento de estos, frente a las condiciones a las que pueden estar expuestas, de tal manera que sea posible comprender la respuesta que tendrán ante situaciones de riesgo, como por ejemplo un sismo, ocurrencia de lluvias de gran intensidad y de corta duración, o de lluvias de poca intensidad pero muy prolongadas (los temporales que se presentan en época lluviosa).

A esto se le suma la influencia de los factores antrópicos: socio-culturales, los cuales han venido agudizándose en las últimas décadas; éstos incluyen el acelerado crecimiento de la población y la falta de cumplimiento de políticas de ordenamiento territorial, la deforestación, inadecuada disposición y tratamiento de desechos sólidos.

El crecimiento urbanístico tiene un impacto relevante sobre el ciclo hidrogeológico, agudiza el fenómeno de la erosión en los suelos ya que impermeabiliza la capa superior de los mismos, es por ello, que el agua que debería de infiltrarse en determinadas zonas de recarga incrementa la escorrentía, contribuyendo a la extensión de las áreas propensas a inundaciones en las partes bajas de los ríos y aumentando la probabilidad de los deslizamiento de los suelos presentes en los taludes.

A consecuencia de lo anterior, es necesario que en los estudios que se realizan para proyectar obras civiles, se investiguen los posibles impactos a futuro, que se podrían reflejar en la zona de influencia de estas y no solo en el lugar de construcción.

Al mismo tiempo, es relevante mencionar el hecho que en nuestro país el conocimiento que se tiene acerca del comportamiento de materiales piroclásticos es bastante limitado, y en general las investigaciones concernientes a las ciencias de la tierra son muy pocas. Por supuesto, ante la carencia de información adecuada y debido a la urgente necesidad que presenta el AMSS de encontrar soluciones eficientes ante el problema de erosión en taludes, algunas veces los diseñadores han tenido que aplicar parámetros basados en correlaciones, para diseñar técnicas de remediación, (las cuales en muchas ocasiones no han sido efectivas). Esto, debido a la falta de equipos adecuados para la obtención de parámetros que caractericen los materiales constitutivos de los taludes. Por lo anterior, podemos decir, que es apremiante que se continúe avanzando en las investigaciones en este campo, para diagnosticar oportunamente los problemas existentes, Y es la razón por la que se pretende realizar esta investigación, para recolectar información actual en campo, que permita formar un banco de datos, para poder establecer la velocidad con que se deterioran los taludes en el AMSS, aplicando metodologías apropiadas a la geología presente en los taludes.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo General**

- ✓ Determinar la tasa de deterioro en taludes constituidos por Materiales Piroclásticos en el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS).

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- ✓ Identificar preliminarmente posibles zonas de estudios con el fin de obtener datos representativos de las diferentes condiciones de exposición de los taludes.
- ✓ Seleccionar las zonas de estudio en base a su geología (materiales piroclásticos) y condiciones de exposición (vibraciones, vegetación, influencia fluvial, sobrecargas, etc.).
- ✓ Estudiar las características físicas y mineralógicas de los suelos que constituyen los taludes.
- ✓ Identificar las diferentes técnicas aplicables en la evaluación del deterioro de taludes.
- ✓ Seleccionar las técnicas de evaluación que mejor se adapten a las condiciones a las que son sometidos los taludes, de manera que se obtengan resultados representativos.
- ✓ Recopilar datos de deterioro de los taludes aplicando las técnicas apropiadas a las condiciones de deterioro del lugar.

- ✓ Evaluar los resultados obtenidos durante el periodo de estudio, en base a los parámetros obtenidos y observados en campo.
- ✓ Establecer una primera aproximación de la tasa de deterioro que sufren los taludes en el AMSS.

#### **1.4 ALCANCES**

- ✓ Se realizará una selección de puntos de monitoreo, en taludes ubicados en el AMSS, y que se encuentren sometidos a diferentes factores de deterioro, para lograr que el resultado sea lo más representativo.
- ✓ Se investigará bibliográficamente la geología que constituyen los taludes seleccionados en las zonas de estudio en el Área Metropolitana de San Salvador, siendo esta verificada en campo.
- ✓ Identificar y seleccionar diferentes técnicas de monitoreo para realizar la evaluación de estos.
- ✓ Aplicar métodos de medición del deterioro que sufren los taludes que muestran características relevantes a investigar, localizados en el AMSS; los que serán monitoreados en campo, que en coordinación con los asesores serán evaluados para garantizar que se muestren datos representativos del deterioro.
- ✓ Se realizará extracción de muestras de suelo de los taludes que se serán objeto de estudio para identificar su composición mineralógica y características físicas.

- ✓ Al obtener los resultados de los parámetros que se estudien en los taludes durante el periodo de monitoreo, se procederá a realizar un análisis de la información, evaluando la mineralogía y propiedades físicas representadas en los taludes con relación al deterioro registrado en el tiempo de estudio.
- ✓ Establecer una aproximación preliminar del grado de deterioro que sufren los taludes en el AMSS.

## **1.5 LIMITACIONES**

- ✓ Debido a la extensión longitudinal de los taludes seleccionados, solamente se estudiarán los sectores de los mismos en dónde el deterioro sea notorio.
- ✓ En vista de que los taludes constituidos por Materiales Piroclásticos en el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS) abarcan amplias extensiones, es necesario seleccionar solamente los que puedan ser representativos para la investigación.
- ✓ El equipo necesario para monitorear adecuadamente el comportamiento de los taludes no será posible utilizarlo en las zonas dónde las condiciones de seguridad no sean adecuadas.
- ✓ Las condiciones meteorológicas que se presenten durante el período en que se lleve a cabo el monitoreo será un factor importante a considerar para garantizar que los datos obtenidos sean representativos.

- ✓ La caracterización de los materiales en estudio, se hará en base a resultados de laboratorio y no de campo.
- ✓ La realización de ensayos para determinar las propiedades mineralógicas de los materiales que constituyen los suelos de los taludes en estudio, están sujetos a la colaboración de la empresa privada, ya que en la Universidad de El Salvador no se cuenta con este tipo de equipo requerido para la ejecución de este tipo de ensayo

## **1.6 JUSTIFICACIÓN**

Los suelos que se encuentran en el AMSS (materiales piroclásticos) y que son los principales constituyentes de los taludes, presentan un alto grado de susceptibilidad ante procesos erosivos, que pueden ser originados por diferentes causas: precipitaciones, condiciones de vibración en carreteras, sismos, drenajes inadecuados, entre otros, teniendo como consecuencia inestabilidades en los mismos.

El incremento de las urbanizaciones en el AMSS, ha aumentado en los últimos años la escorrentía superficial; este hecho, sumado a la falta de obras hidráulicas para el amortiguamiento de crecidas en ríos y quebradas exponen a los taludes a lo largo de su recorrido a un aumento en los procesos erosivos y de desestabilización, así como también a la profundización del fondo del lecho ya que se genera una profundización del fondo de los lechos, ejemplo de ello, es la problemática observada con el pasar de los años en el río las Cañas y sus

afluentes. Los cuales se ubican al oriente del AMSS, entre los municipios de San Martín, Ilopango, Soyapango, Tonacatepeque, Ciudad Delgado y Apopa.

La inversión que realiza el gobierno, para hacer las obras de mitigación en diferentes zonas del AMSS es muy alta, se habla de millones de dólares anuales que resuelven la problemática puntualmente, pero que su duración es muy corta y año con año se requiere intervenirla debido a socavaciones y fallas en las mismas.

Lo anterior, refleja la necesidad de investigar estos fenómenos que provocan deterioro, mediante la aplicación de metodologías de monitoreo durante la época seca y lluviosa; las cuales están claramente definidas en nuestro país. El implementar técnicas que permitan dar seguimiento a su comportamiento, de manera que sea posible definir las tasas de deterioro de los taludes en intervalos de tiempo determinado y en diferentes condiciones de exposición; nos permitiría diagnosticar a priori, la aplicación de técnicas de mantenimiento, que garantice el buen desempeño de los taludes. Por lo tanto, se muestra la necesidad de realizar esta investigación de manera que contribuya a la solución de problemas de inestabilidad de taludes en el AMSS.

# **CAPITULO II**

## **MARCO TEÓRICO**

## 2.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presentará un preámbulo de la tectónica y geología de El Salvador, así como también la geología, tectónica y vulcanología del área de estudio. Posteriormente, se hará una descripción de la problemática que han estado presentando los materiales piroclásticos a lo largo de los últimos años ante la exposición a diferentes factores antrópicos y naturales que alteran su comportamiento. Además, se presentarán las definiciones de los distintos tipos de erosión que pueden experimentar estos materiales, algunas técnicas generales para la cuantificación de erosión y al final, se describirán algunas metodologías empíricas para predecir las pérdidas por erosión en un suelo.

## 2.2 TECTÓNICA

Las erupciones volcánicas que han ocurrido en El Salvador han sido influenciadas en su mayor parte por la interacción y fricción (subducción)<sup>2</sup>, que se produce entre la placa de Cocos y la Placa del Caribe, ubicadas en la zona de convergencia oceánica-continental frente a la costa pacífica del continente americano, denominada **Fosa Mesoamericana (Tarbuck et al, 2005)**, esta estructura tectónica recorre desde México hasta Costa Rica, con una longitud aproximada de 2600 Km (Ver **figura No. 2.1**).

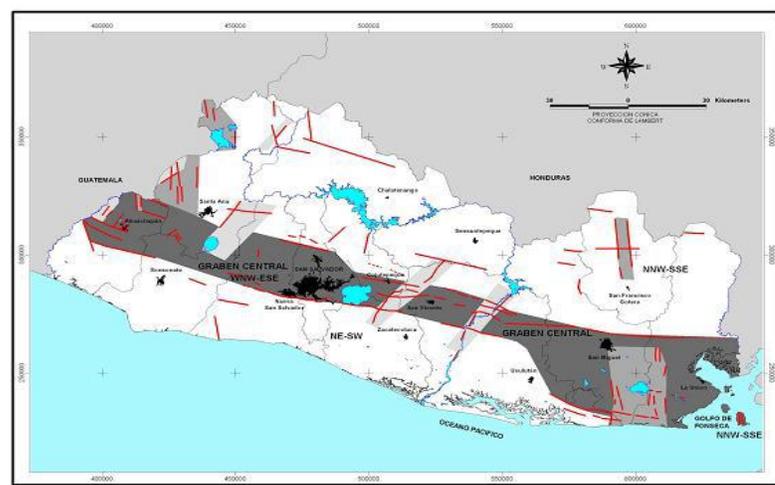
---

<sup>2</sup> Subducción: proceso mediante el cual parte de la corteza oceánica, individualizada en una placa litosférica, se sumerge bajo otra placa de carácter continental.



**Figura No. 2.1** Zona de subducción de la placa de Cocos y del Caribe  
Fuente: <http://centroamericasoy.blogspot.com>

La depresión tectónica localmente conocida como Graben Central Centroamericano<sup>3</sup>, se desarrolla en la Placa del Caribe, la cual se extiende paralelamente a la Fosa Mesoamericana. En su paso por El Salvador, se ubica entre la Cadena Costera y las cordilleras fronterizas septentrionales con un ancho aproximadamente entre 10 a 30 km y una longitud de 230 km (Hernández W., 2004) (Ver figura No. 2.2).



**Figura No. 2.2** Esquema estructural de El Salvador  
Fuente: (Hernández. W, 2004)

<sup>3</sup> Graben Central Centroamericano: Es una alargada zona central que se extiende transversalmente a lo largo de centroamericano, constituida por una gran depresión a lo largo de todo el territorio con dirección este-oeste.

Según lo observado en la **figura No. 2.2** y con la ayuda del empleo del mapa de Modelo de Elevación Digital (MED) (**Hernández W., 2004**), pueden mostrarse tres direcciones tectónicas principales que se mencionan a continuación:

**Sistema de fallas WNW-ESE:** es el sistema más importante en El Salvador y su rumbo es N70W. Las fallas de este sistema definen los límites norte y sur del graben Central, donde se ha desarrollado el arco volcánico activo y donde han ocurrido los terremotos más destructivos. Paralelo al graben corre una serie de pequeñas fallas con la misma dirección, indicando la existencia de una zona afectada por esfuerzos distensivos. Sin embargo, los mecanismos focales y los desplazamientos en algunos drenajes sugieren que también existen movimientos transcurrentes.

**Sistema de fallas NNW-SSE:** estas fallas son muy obvias en la parte noroeste de El Salvador y la frontera de Guatemala, pero también se encuentran en las montañas de Jucuarán y en las islas del Golfo de Fonseca en el sureste del país, donde las fallas tienden a orientarse más hacia el norte. Los volcanes activos: **Santa Ana, San Salvador y San Miguel**, están influenciados por esas fallas, a lo largo de las cuales ha habido actividad volcánica reciente. En el extremo noroeste, a lo largo de fallas que se proyectan de norte a sur desde Guatemala hacia el territorio salvadoreño, un vulcanismo basáltico se ha desarrollado en su mayoría de tipo monogenético. Estas fallas son el resultado de la interacción de las Placas del Caribe y de Norteamérica; y a raíz de ello,

ocurren movimientos sísmicos que se generan en el sector fronterizo con Guatemala, ocasionados por movimientos relacionados a ese sistema de fallas.

**Sistema de fallas NE-SW:** este sistema de fallas se observa en el oeste de El Salvador, muy cerca de la frontera con Guatemala, donde las estructuras son normales. Los ríos Jiboa, Grande de Sonsonate y Lempa, han construido sus cauces a lo largo de este sistema de fallas. Como un “trend de fallas conjugadas” que también aparecen dentro del graben Central (**Hernández W., 2004**). Según lo descrito anteriormente, las zonas de fallas principales se ubican dentro del graben central, así como los principales volcanes activos de El Salvador que están asociados a la subducción de la Placa de Cocos bajo la Placa del Caribe; estos, están compuestos por Volcanes Jóvenes del Cuaternario (de menos de 2 millones de años) (Ver **tabla No. 2.1**), (**Hernández W., 2004**).

### **2.3 GEOLOGÍA DE EL SALVADOR**

Los ciclos eruptivos que han ocurrido dentro de las formaciones geológicas han dado origen a los diferentes materiales dentro de la superficie del territorio salvadoreño, donde cerca del 90% de estos son Piroclastos (**Hernández, 2004**). Dichas formaciones, en su momento aportaron ciertos tipos de materiales evidenciados en cortes realizados en carreteras donde pueden apreciarse los espesores de los estratos que sirven de referencia para

determinar los más recientes. Dichas formaciones son las siguientes: Todos Santos, Yojoa, Valle de Ángeles, Morazán, Intrusivas, Chalatenango, Bálsamo, Cuscatlán y formación San Salvador.

De las anteriores formaciones mencionadas, las que se encuentran en la zona de estudio para esta investigación son: **la Formación Bálsamo, Formación Cuscatlán y la Formación San Salvador**, las cuales serán descritas a continuación:

**Formación Bálsamo:** Son las rocas más antiguas anteriores a la formación Cuscatlán a las que se les asigna una edad de Mioceno-Plioceno (**Lexa et al, 2011**), consistiendo en aglomerados descompuestos, tobas fundidas y aglomerados descompuestas de edad pliocénica. Los estratos de tobas correspondientes a esta formación, se estima que pueden alcanzar hasta 1000 m de espesor<sup>4</sup>.

**Formación Cuscatlán:** La formación Cuscatlán, consta de materiales de edad pleistocénica, están constituidos por potentes estratos de tobas ácidas muy compactas en la base, seguida de lavas ácidas intermedias, sobre las cuales es frecuente encontrar lavas andesíticas y basálticas fracturadas, ligeramente meteorizadas y descompuestas.

**Formación San Salvador:** Sobreyace principalmente a la formación Cuscatlán ubicado en el periodo pleistoceno (**Lexa et al, 2011**), los afloramientos de materiales en específico al miembro s4, están constituidos generalmente por

---

<sup>4</sup> Baxter, S. (1984). *Léxico estratigráfico de El Salvador*. Superintendencia de Energía, Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa.

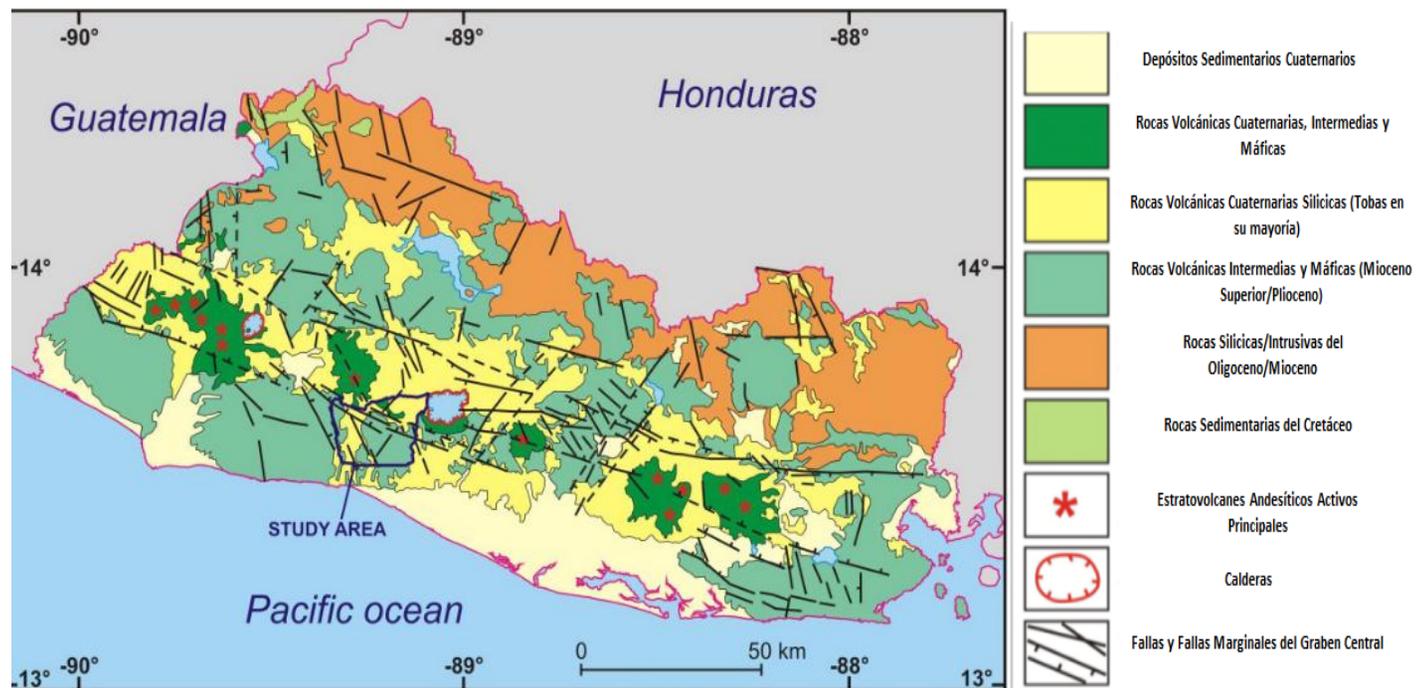
una secuencia de piroclastitas ácidas y epiclastitas volcánicas subordinadas, localmente efusivas ácidas, nombrada informalmente como “Tierra Blanca”(Williams & Meyer-Abich, 1956), estos fueron originados por la actividad volcánica reciente de la caldera de Ilopango en el año 536 D.C.(Dull et al, 2010), con un espesor superior a los 50 metros en las cercanías del lago de Ilopango y se reduce a 4 metros en la ciudad de San Salvador, alcanzando tamaños de pómez de 25 a 30 cm(Baxter, 1979), en 2004, Hernandez W. presenta una clasificación de la tierra blanca más detallada, con literales de la A a la G y dos ignimbritas una  $\alpha$  y una  $\beta$ , e en donde se ubica el área de estudio que es objeto de esta investigación.

En la **figura No. 2.3** se presenta un mapa del territorio salvadoreño, donde se puede apreciar la topografía y un bosquejo estructural general del país en forma resumida de lo descrito anteriormente, identificando las calderas existentes, las fallas y fallas marginales del graben central, los principales estratovolcanes andesíticos activos, y los tipos de rocas que constituyen los suelos de El Salvador. Nótese la coincidencia espacial del arco de los volcanes activos y la tendencia del graben central (**Sebesta & Chávez, 2010**). También puede apreciarse en el mapa, que en la zona próxima a la Caldera de Ilopango, pueden encontrarse rocas volcánicas cuaternarias, (tobas en su mayoría), que pertenecen a la formación de San Salvador.

VOLCÁN	IMAGEN	VOLCÁN	IMAGEN
Volcán de San Salvador		Volcán de San Vicente (Domo)	
Caldera de Ilopango		Volcán Chaparrastique (San Miguel)	
Volcán de Santa Ana (Ilamatepec)		Volcán de Conchagua (La unión)	

**Tabla No. 2.1 Volcanes ubicados en la zona del Graben Central**

Fuente: Meyer-Abich, H. (1956). "Los volcanes activos de Guatemala y El Salvador (América Central)". Ministerio de Obras Públicas



**Figura No. 2.3 Mapa Geológico de El Salvador, topografía y bosquejo estructural.**

Fuente: Lexa J., Sebasta J., Chávez A., Hernández W. Geology and volcanic evolution in the southern part of the San Salvador Metropolitan Area. *Journal of Geosciences*. 2011

## **2.4 GEOLOGÍA, TECTÓNICA Y VULCANOLOGÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO**

Los diferentes materiales presentes en el AMSS, fueron originados del vulcanismo presente en la zona: Volcán del Plan de La Laguna, Volcán de San Salvador y el Volcán de Ilopango (caldera), producto de las diversas erupciones que se han dado a lo largo del tiempo.

La geología superficial del AMSS se encuentra dentro del miembro s4 denominado como Tierra Blanca, producto de la Formación San Salvador, la cual está constituida mayormente por materiales piroclásticos<sup>5</sup>, siendo las más representativas las cenizas volcánicas riolíticas-dacíticas (Tierra Blanca Joven), las que han sido investigadas por diferentes geólogos destacando Schmidt-Tomas y Walter Hernández, y los ingenieros Alex Chávez y Óscar Ayala, los que han realizado diversos estudios sobre estos materiales, especialmente en la zona Nor-Oriente de San Salvador, que es donde se encuentran visibles los diferentes estratos de Tierra Blanca. Bajo este material, se encuentra la formación Cuscatlán, la que puede verse en algunas zonas del AMSS, (Antiguo Cuscatlán, por ejemplo).que datan de fechas anteriores a las erupciones que produjeron al tierra blanca.

Por otra parte, el factor tectónico que afecta la zona en estudio, es la zona de subducción que se produce frente a la costa pacífica de El Salvador, la cual ha

---

<sup>5</sup> Mapa Geológico 1:100,000, [Misión Geológica Alemana, 1978]

ocasionado los diferentes sismos que se han presentado, por ejemplo, los terremotos ocurridos el 13 de enero y el 13 de febrero del año 2001.

Para determinar el comportamiento de los materiales presente en el AMSS, es de relevancia que se tenga conocimiento de los materiales por los que se encuentra constituido y los factores que generan inestabilidad en estos, como lo son: fuentes sismo-genéticas y factores antrópicos.

#### **2.4.1 ESTRATIGRAFÍA DEL AMSS**

En el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS), se encuentran las formaciones de Cuscatlán y San Salvador. La unidad más antigua aflorante en el área de estudio es la “C1” de la formación Cuscatlán. La erupción del volcán de Ilopango produjo esta unidad hace unos 35,000 años y se define como una toba (ceniza volcánica transformada en roca), la cual es de color pardo, constituida por materiales finos de pómez, fragmentos angulares de lava dacítica vítrea y andesita entre una masa fina de ceniza<sup>6</sup>.

La unidad S4 o “Tierra Blanca” correspondiente a piroclastitas ácidas de la formación San Salvador (**Molina et al, 2009**), predomina en el (AMSS), y sobreyace en la formación Cuscatlán, la cual también es producto de la erupción del volcán de Ilopango (**Dull et al**), que al mismo tiempo, produjo los estratos superficiales: TB4, TB3, TB2.

---

<sup>6</sup> Fuente: Baxter, S., 1995, Impacto ambiental en el río Las Cañas, El Salvador.

Los suelos tipo Tierra blanca Joven (TBJ) son producto de la última erupción Pliniana de la Caldera de Ilopango (**536 D.C., Dull et al., 2010**), dicha erupción se caracterizó por su gran explosividad y la liberación de una gran cantidad de energía en pocos segundos; produciéndose una columna eruptiva la cual pudo alcanzar altitudes entre 20 y 35 km.

La TBJ es el producto de una erupción ultrapliniana<sup>7</sup>, cuyas cenizas de caída cubrieron completamente todo el territorio actual de El Salvador y se extendieron por una centena de kilómetros a las fronteras de Guatemala, Honduras, Nicaragua y Costa Rica (**Kutterolf et al, 2007**). Los flujos piroclásticos de este evento también cubrieron extensas áreas de los departamentos de San Salvador, La Libertad, La Paz y Cuscatlán. Estos depósitos, también fluyeron hacia el sur, rellenando las depresiones de Santo Tomás y San Pedro Masahuat [**Hernández, 2004**]. Según Dull et al (2010), el volumen de tefras del evento eruptivo que produjo TBJ fue aproximadamente de 84 km<sup>3</sup>.

La estratigrafía y características estratigráficas en el AMSS (desde la base hasta el techo) (Ver **figura No. 2.4**), son descritas a continuación:

**Pómez TB4:** es el depósito más antiguo del último ciclo de la caldera de Ilopango, el cual yace sobre las tefras Apopa (producto del volcán de San Salvador). El TB4 está constituido por una capa de pómez color blanco, producto de una erupción pliniana de importante magnitud. Se caracteriza por

---

<sup>7</sup> Erupción Ultrapliniana: Erupciones muy violentas, las cuales expulsan grandes volúmenes de gas, cuyas columnas eruptivas pueden superar los 30 km de altura.

tener una capa de lapilli y pómez con gradación normal, su paleosuelo es el que tiene mayor espesor. La base de esta unidad la constituye una ceniza de caída fina, blanca, de espesor delgado (25 -10 cm), y el techo por ceniza fina de casi el metro de espesor de color amarillento.

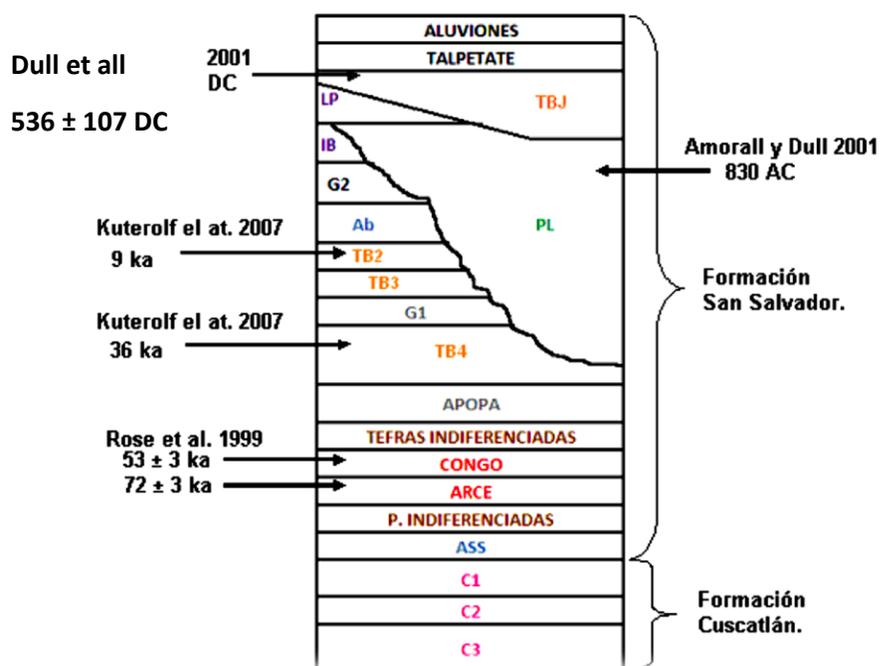


Figura No. 2.4 Esquema de la estratigrafía del AMSS

Fuente: (Molina et al, 2009)

**G1:** Son provenientes de la erupción del volcán de San Salvador y están compuestos por pómez de caída vesiculado, de composición dacítica a andesítica, grisáceo, un poco suelto, con moderada presencia de líticos oxidados y angulares.

**Pómez TB3:** Productos procedentes de la caldera de Ilopango, son pómez y cenizas de caída de granulometría fina, blancas, con presencia de lapilli acrecional y flujos piroclásticos basales lo que señalan fenómenos eruptivos

freatomagmáticos originados por la interacción entre el magma y las aguas de un antiguo lago. El techo de esta capa presenta un paleosuelo delgado poco desarrollado de color café amarillento.

**Pómez TB2:** este depósito tiene espesor de 1 m dentro de un radio de 10 km del centro de emisión de la caldera de Ilopango, está compuesto por una caída de pómez ligeramente mayor que TB3 y caracterizado por ser mal seleccionado con abundantes minerales oscuros representados por hornblenda. El techo presenta un paleosuelo de delgado espesor, de color café oscuro.

**G2:** esta unidad corresponde a una erupción pliniana posterior del volcán de San Salvador y es bastante menor en volumen que G1. Está compuesta por escorias poco vesiculadas, por consiguiente más densa, gris claro a gris pardo, mostrando mezcla de magmas, siendo rico en líticos basálticos rojizos densos y andesitas café amarillentas y líticos. Cuando presentan alteración muestran aspecto moteado evidenciado por un tono gris y beige, recordando la pómez del G1.

**Ignimbrita Boquerón (IB):** también producto del volcán de San Salvador; presenta poca consolidación, posee matriz de cenizas finas medianamente meteorizadas, en la que se encuentran fragmentos de escoria gris con meteorización baja, fragmentos de escoria juveniles de tamaños variados y líticos andesíticos con oxidación, además, muestra pequeños bolsones de escoria bastante vesicular, estando compuesta por dos flujos piroclásticos de

color café oscuro mostrando cada una intercalación de delgadas oleadas piroclásticas (surges) de color café claro a pardo.

**Plan de la Laguna (PL):** producto de la erupción Freatomagmática del Maar Plan de la Laguna, se caracteriza por tener en la base lapilli andesítico, vesicular gris, superpuesto por oleadas. La parte intermedia laminada está compuesta por cenizas de caída y oleadas.

**Tierra Blanca Joven (TBJ):** Los depósitos de caídas de cenizas son un depósito de piroclastos formado por la erupción de material fragmentado a través de un conducto por una explosión volcánica y eyectado a la atmósfera por medio de una columna eruptiva o por elutriación de finos sobre un flujo de piroclastos en movimiento (Hernández W, 2004) los flujos piroclásticos o ignimbritas son rocas formadas a partir de un material caliente finamente fragmentado que se desplaza lateralmente a la superficie, corresponden al colapso gravitatorio continuo de una columna eruptiva Pliniana (Hernández W, 2004). En El Salvador, la erupción pliniana más reciente según investigaciones se ha determinado que ocurrió en el año 536 D.C. (Dull, A. et al. 2010). Estos depósitos constituyen el cierre del ciclo eruptivo de los depósitos de Tierra Blanca que se inició con TB4 y finalizó con TBJ. Siendo la TBJ la unidad estratigráfica de mayor presencia en el AMSS, es conveniente que se presente una descripción mucho más detallada acerca de las subunidades estratigráficas que la conforman, tal y como se presenta a continuación:

## 2.4.2 ESTRATIGRAFÍA DE LA TBJ

La Tierra Blanca Joven (TBJ), está compuesta por diferentes depósitos piroclásticos de caída y flujos de la última erupción explosiva de la caldera de Ilopango, denotándolas con los literales A, B, C, D, E, F, y G (Hernández W, 2004) de la más profunda a la más superficial.

En los trabajos realizados por Hernández W. 2004, se encontraron las Ignimbritas Alfa, Beta y Gris, que se incluyen en el siguiente perfil estratigráfico.

(Ver figura No. 2.5):

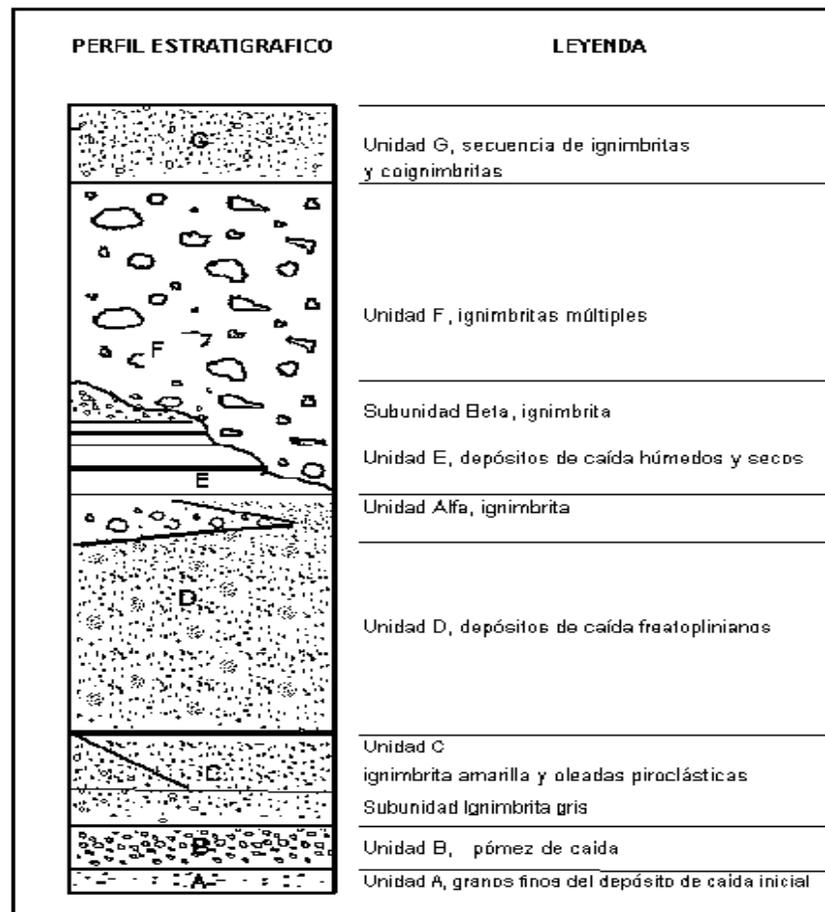


Figura No. 2.5 Perfil estratigráfico de los depósitos de Tierra Blanca Joven  
Fuente: (Hernández. W., 2004)

A continuación, se presenta una breve descripción de las unidades de depósitos piroclásticos de caída y flujos que constituyen a las TBJ:

**Unidad A:** es un depósito fino, granular y localmente disperso de color café. Está compuesto por pómez y abundantes líticos, ambos con tamaño arena hasta grava. El espesor es muy delgado y a veces, está ausente por erosión a partir del flujo Piroclástico de la Unidad C y normalmente se encuentra cementado por óxidos de hierro. (Hart y Steen-McIntyre, 1983). Esta unidad es muy difícil de encontrar por los factores antes mencionados, pudiéndose constatar en la zona de Soyapango, Ilopango y Tonacatepeque en donde la unidad no puede ser observada constatándose que en la investigación realizada esta unidad no pudo ser encontrada.

**Unidad B:** es un depósito de caída de pómez pliniana frecuentemente conteniendo dos partes discretas: cenizas gruesas basales y lapilli de caída en el techo. Las isopacas circulares para espesores inferiores a 1 cm, significan que fue eruptado bajo condiciones de velocidad de viento escaso (Vallance y Houghton, 1998). Este depósito de espesor centimétrico suele presentar un color amarillento por causa de la pigmentación y cementación de óxidos de hierro por contacto con el paleosuelo subyacente, a veces esta unidad está ausente debido a la erosión producida por la ignimbrita (Unidad C) y cuando está presente sirve de guía importante para identificar la base de la TBJ.

**Unidad C:** es un depósito compuesto por dos flujos piroclásticos; el basal de color gris (Ignimbrita Gris), rico en líticos andesíticos, masivo, de poco

desplazamiento, con espesor de casi 10 m y de cohesión similar al sobreyacente.

Este último de amplio desplazamiento es el más importante, de color amarillento (Ignimbrita Amarilla), rico en líticos hidrotermalizados y es el que se encuentra más frecuente en la secuencia. Presenta una ligera estratificación evidenciada por los fragmentos de pómez. En las depresiones muestra las mayores acumulaciones, alcanzando espesores en estos sitios de hasta 9 m y en la zona sur del área de Ilopango posee granulometría más gruesa pero está parcialmente cementada por sulfatos y silicatos de cloruro de sodio, por eso, está relativamente más consolidada.

**Unidad D:** es un depósito que se caracteriza por ser rico en cenizas de granos finos, presenta marcas de ondas gigantes de oleadas piroclásticas densas, estas estructuras y los depósitos de caída finos de la coignimbritas, le dan un aspecto estratificado. Este depósito en las facies intermedia y distal es bastante poco consolidado con ligeras variaciones entre un horizonte y otro, sin embargo, hacia el borde calderico esta unidad está bastante cementada por minerales sulfatados y silicatados. En algunos afloramientos muestra un depósito de flujo piroclásticos con cierta estratificación planar. El techo está compuesto por cenizas con abundante lapilli acrecional (Ver **figura No. 2.6**), es pobre en líticos. El máximo espesor medido es de 8.72 m según la investigación realizada por Hernández W., 2004.

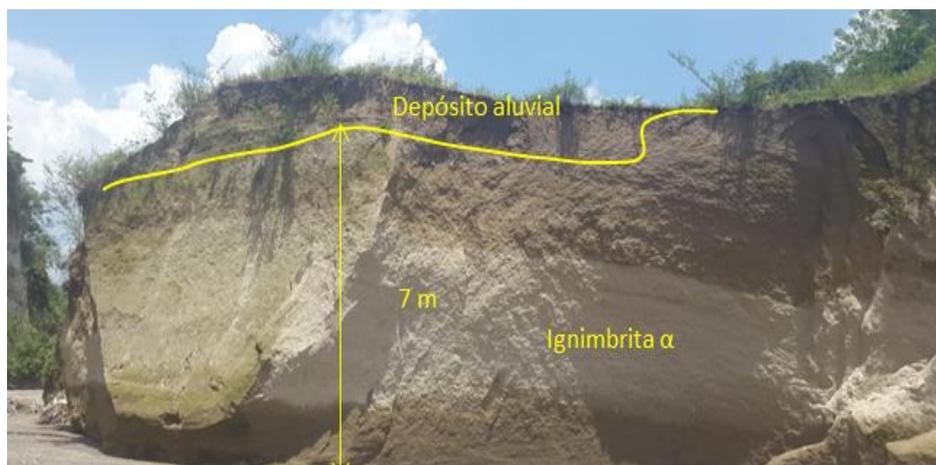


**Figura No. 2.6 Lapilli acrecional de la unidad D, Rio Las Cañas**

Fuente: De los autores

Fotografía tomada el 01/10/2015

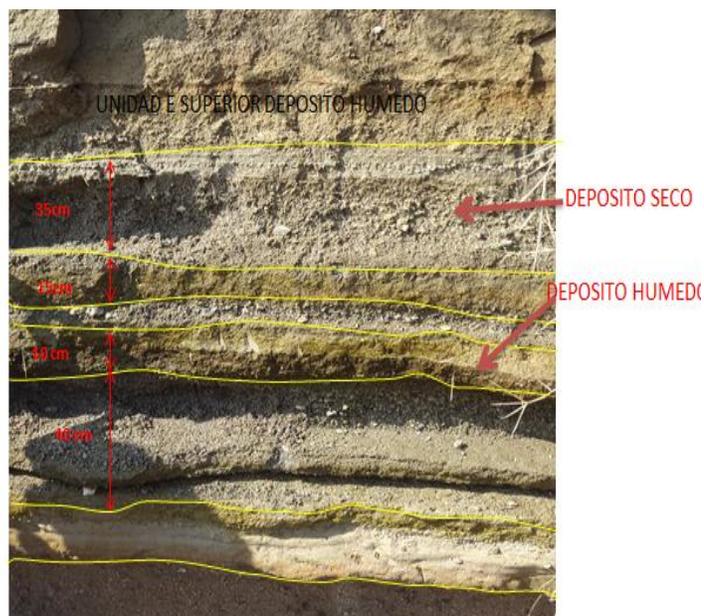
**Unidad ignimbrita Alfa ( $\alpha$ ):** en el sector entre Ilopango y Soyapango aflora una Ignimbrita masiva, con techo de color rosado tenue y beige en todo el depósito, posee matriz rica en cenizas finas, pómez centimétrico y pocos líticos, cementada en la base por sulfatos y silicatos, el resto de la unidad está poco consolidada. Presenta frecuentemente estructuras de tubos de desgasificación. En la secuencia de la TBJ se localiza entre el techo de la Unidad D y la base de la E. Posee un espesor máximo de 15 m según investigación realizada por Hernández W., 2004, y un desplazamiento aproximado de 6 km al noroeste a partir del borde caldérico del lago de Ilopango. (Ver **figura No. 2.7**)



**Figura No. 2.7. Ignimbrita  $\alpha$  encontrada al costado NW del aeropuerto de Ilopango, Finca Prusia, Ilopango, San Salvador**

Fuente: De los autores  
Fotografía tomada el 10/10/2016

**Unidad E:** está constituida por productos freatomagmáticos caracterizados por depósitos de caída finamente bandeados: depósitos secos y húmedos alternados (Ver **figura No. 2.8**). Los depósitos secos son color claro, están compuestos por cenizas gruesas con lapilli fino pumítico y líticos andesíticos (gravas y arenas), no consolidadas, bastante deleznable. Los depósitos húmedos están constituidos por cenizas muy finas, color café claro y café oscuro cuando están húmedos, se caracterizan por estar bastante consolidados y son ricos en fragmentos vítricos y en cristales (**Hart y McIntire, 1983**). Los depósitos húmedos muestran localmente deformaciones propias de sedimentos suaves indicando una deposición muy húmeda. Estos depósitos están medianamente distribuidos pero a veces están ausentes debida a la erosión producida por la ignimbrita sobreyacente (Unidad F). El máximo espesor medido es de 3.46 m.



**Figura No. 2.8. Unidad E encontrada al costado SE del aeropuerto de Ilopango, Zona franca San Bartolo, Ilopango, San Salvador**

Fuente: De los autores  
Fotografía tomada el 01/10/2016

**Subunidad Beta (Ignimbrita  $\beta$ ):** está constituida por una ignimbrita de color café claro, muy compacto, con abundante matriz fina con pómez y lítico en moderada presencia. Se localiza en el techo de Unidad E y subyace a la Unidad F. Esta ignimbrita frecuentemente no está presente debido a la erosión producida por la Ignimbrita F y cuando está presente los espesores son muy pequeños.

**Unidad F:** está compuesta por varios flujos piroclásticos masivos, no soldados, de color claro a beige claro (Ver **figura No. 2.9**), con granulometría mal seleccionada y de espesor de unos 20 m hacia el sur del lago de Ilopango. Presentan matriz de cenizas gruesas con abundantes fragmentos de pómez y líticos. Hacia el norte en el cantón La Cabaña y en los cortes de la carretera del

de Oro (Anillo Periférico de San Salvador), se observan 5 de estas ignimbritas que suman un espesor de 8 m. Con frecuencia muestran evidencias de erosión y estructuras de carga que producen en la unidad subyacente. Esta unidad es la de mayor volumen.



**Figura No. 2.9. Unidad F 5 km al norte de la caldera de Ilopango**

Fuente: De los autores  
Fotografía tomada el 01/10/2015

**Unidad G:** está conformada por una secuencia compuesta por flujos piroclásticos y coignimbritas. Los flujos son de matriz fina, de poco espesor (1 a 2 m en el sur del lago de Ilopango), masivas, poco cementadas y poco consolidadas. Las coignimbritas están formadas por capas delgadas (1 a 1.5 m en el sur) con bandas delgadas de cenizas finas relativamente bien seleccionadas con moderada presencia de lapilli acrecional, algunas bandas son muy deleznales.

El conjunto da un aspecto estratificado debido a los cambios granulométricos y en la estación lluviosa adoptan tonalidades claras y beige. El espesor de la Unidad G encontrada es de 2 m (Talud Padre Arrupe, Soyapango).

Debido a la posición estratigráfica dentro de la secuencia de estos depósitos piroclásticos, a sus mayores espesores y al hecho de servir de apoyo de las edificaciones del AMSS, la secuencia de ignimbritas y coignimbritas de la Unidad G y las ignimbritas de la Unidad F, son las unidades más importantes de la TBJ (**Hernández W. 2004**).

Destacando también el hecho de que por su posición estratigráfica, las unidades F y G, respectivamente presentan mayor susceptibilidad a los procesos erosivos (Ver **figura No. 2.10**). Sin embargo, depende mucho de las condiciones de exposición a las que estén sujetas las unidades, porque si se encuentran contiguas a ríos, las unidades que estén en contacto con éstos son las que estarán más vulnerables a la erosión.



**Figura No. 2.10 Erosión lateral de unidad F en talud ubicado contiguo a ribera de ríos.**

Fuente: De los autores  
Fotografía tomada el 01/10/2015

## 2.5 PROBLEMÁTICA CON LOS MATERIALES PIROCLÁSTICOS

El Salvador se ha convertido en el país ambientalmente más degradado de América Latina, junto con Haití, debido al avanzado estado de deforestación y erosión del suelo<sup>8</sup>, estos fenómenos, son actualmente unos de los principales puntos de estudio, ya que afectan el equilibrio de la naturaleza y el desarrollo de las actividades diarias.

Entre algunos de los problemas que se observan frecuentemente en el AMSS, pueden mencionarse: movimientos de ladera, inundaciones, terremotos, erosión, intervención antrópica desmedida, colapso de tuberías de aguas negras, potables y aguas lluvias, colapsos de calles, entre otros(**Chávez et al, 2012**), que dependiendo de la intensidad de la lluvia en el invierno, esta problemática puede presentarse en mayor o menor magnitud, por ejemplo, en el invierno del año 2015, los milímetros de lluvia que cayeron fueron de apenas de 1695 mm, el cual, está por debajo del promedio nacional de 1861 mm, debido al fenómeno del niño que se dio en el año 2015<sup>9</sup>, pero aun con la poca lluvia los problemas de erosión fueron evidentes.(Ver **figura No. 2.11 A y B**).

---

<sup>8</sup> Barry, D. (1994). El agua: Límite ambiental para el desarrollo futuro de El Salvador. *Prisma*, (5), 1-12.

<sup>9</sup> <http://www.snet.gob.sv/ver/meteorologia/clima/climatico+anual/>



**Fig. No. 2.11 Cambios mostrados sobre taludes ubicados a la orilla del rio arenal seco en Zona Franca de San Bartolo.**

Fuente: De los autores  
 Fotografías tomadas el: A) 02/07/2015  
 B) 23/10/2015

La urbanización acelerada en el AMSS, es un fenómeno que se agudiza cada día más, y se están utilizando zonas con pocas medidas de seguridad para la construcción de viviendas, por lo tanto, se recurre a la realización de rellenos en lugares con alto índice de susceptibilidad ante los fenómenos naturales y al presentarse lluvia estas áreas se ven afectadas grandemente con el colapso ya sea de viviendas y obras que sirven de protección a los mismos.

De los fenómenos mencionados, uno de los que tiene mayor incidencia en los materiales presentes en el AMSS, se encuentran los procesos erosivos, ya que estos al no estar suficientemente consolidados, debido a su naturaleza (productos volcánicos jóvenes provenientes de la última erupción pliniana de la Caldera de Ilopango, lo que se encuentran en una secuencia de estratos piroclásticos, flujos u oleadas, producida en el año 536 D.C.(Dull et al, 2010), y a la poca cobertura vegetal que poseen; al estar expuestos a factores como la

lluvia, el viento, entre otros, sus componentes se erosionan, ocasionando diferentes tipos de daños, tanto de índole social, ambiental y económico (ver **figura 2.12**).



**Figura No. 2.12 Laderas erosionadas en la zona del rio Las Cañas**

Fuente: De los autores  
Fotografía tomada el 7/05/2015

### **Factores que afectan los materiales piroclásticos.**

Como ya se había mencionado anteriormente, dentro de los factores que contribuyen a esta problemática, existen internos como externos, dentro de los cuales, cada uno influye de manera directa o indirecta en la alta tasa de erosión de los materiales piroclásticos (**Chávez et al**).

Dentro de estos, se presenta a continuación una clasificación general y una descripción de cada uno:

#### **Factores internos**

- Cambio de contenido de humedad
- Exfoliación
- Cementación
- Evaporación

### **Factores externos**

- Tectónica: Fallas jóvenes en TBJ y vibraciones causadas por sismos.
- Clima: Cambios diarios de temperatura y lluvia
- Vegetación (presencia de raíces)
- Factores antropogénicos: desequilibrio de los procesos naturales de infiltración – evapotranspiración debido a las urbanizaciones, deforestación, extracción de arena en ríos, construcción de obras en ríos y quebradas (bóvedas, gaviones), vibración por el paso de vehículos y urbanización acelerada.

A continuación se detalla cada uno de los factores antes mencionados:

### **Factores internos**

- **Cambio de contenido de humedad:**

En El Salvador, las estaciones se pueden definir solamente en dos: época seca y época lluviosa, por lo cual, un talud durante la época seca perderá humedad en su superficie, pero en época lluviosa, la humedad e infiltración irán aumentando conforme a la cantidad de lluvia a la que el talud se vea expuesto, destacando que en el mes de mayo tendrá una humedad baja, pero a finales del periodo lluvioso en el mes de octubre, los materiales estarán muy saturados (Ver **figura No. 2.13**).



**Figura No. 2.13 Cambio de humedad en taludes**  
Fuente: De los autores  
Fotografía tomada el: 01/10/2015

➤ **Exfoliación:**

La exfoliación es el mecanismo que genera esas discontinuidades que son planos de origen mecánico, resultante de las contracciones y expansiones diferenciales producidas por la acción térmica diaria del sol. Se caracterizan por tener superficies planares que separan en bloques al talud (**Hernández W., 2010**). La naturaleza isotrópica<sup>10</sup> de los depósitos de flujos piroclásticos permite que el intemperismo físico opere en estos materiales cuando en los taludes incide la acción solar. Esas discontinuidades surgen lentamente debido a varios factores como la variación diurna de la temperatura, a la acción de las lluvias, emplazamiento y desarrollo de raíces en su interior, y a los movimientos producidos por los sismos (Ver **figura No. 2.14**).

---

<sup>10</sup> Es cuando el material del cual está constituido un elemento presenta propiedades invariables.



**Figura No. 2.14** Proceso de exfoliación de las capas de los taludes

Fuente: De los autores

Fotografía tomada el 07/05/2016

➤ **Cementación:**

Se refiere al tipo de cementación que existe entre los materiales, ya sea que estos puedan presentar cambios físicos o cambios mineralógicos. En los cambios físicos, conllevan: porosidad, relación de vacíos y densidad de las rocas. Lo cual quiere decir, que puede haber una disminución de la porosidad al aumentar la densidad del suelo; como una mayor estabilidad de los taludes al aumentar la cohesión (**Hernández W., 2004**). Con respecto a los cambios mineralógicos, estos ocurren por la interacción del agua sulfatada o silicatada con los minerales presentes en los taludes, la cementación es mayor en las cercanías del borde de la caldera de Ilopango y disminuye conforme se aleja de este (**Hernández W., 2004**) (Ver **figura No. 2.15**).



**Figura No. 2.15 Estrato cementado de tierra blanca joven**

Fuente: De los autores

Fotografía tomada el 08/05/2016

➤ **Evaporación:**

Perdida de agua debido a la exposición directa a los rayos solares, esto tiene más incidencia en la época seca, ya que si el talud no posee recubrimiento vegetal que lo proteja, el agua será evaporada provocando la contracción de los materiales del talud, este fenómeno se puede presentar en menor o mayor escala dependiendo de la textura de los materiales que componen.<sup>11</sup>

**Factores externos**

➤ **Tectónica**

✓ **Fallas jóvenes en TBJ:**

El área metropolitana de San Salvador se encuentra en una zona de fallas geológicas producto de la intensa actividad sísmica y el proceso de subducción

---

<sup>11</sup> Ingelmo Sánchez, F., Cuadrado, S., & Blanco de Pablos, A. (1980). Evaporación de agua en suelos de distinta textura.

entre placas de Cocos y del Caribe, las cuales generan planos de fallas en los materiales, que en conjunto con los sismos y la presencia de otros factores, originan las caídas por vuelcos de los materiales que constituyen los taludes.

✓ **Vibraciones (causadas por sismos):**

Los movimientos de ladera constituidas por materiales piroclásticos se ven influenciados también por eventos sísmicos, debido a que se encuentran ubicadas en una región de intensa actividad sísmica. Ejemplo de ello, son los terremotos ocurridos en el año 2001 que produjeron una gran cantidad de deslizamientos y derrumbes (**Rolo et al, 2010**).

Asimismo, la presencia de volcanes activos como la Caldera de Ilopango y el volcán de San Salvador, potencialmente pueden activarse y provocar flujos de escombros (**Major et al., 2004; Sheets, 2004; Sofield, 2004**), y podrían afectar en gran medida la actividad económica del Área Metropolitana, debido a que la mayor concentración de población se encuentra en los municipios de San Martín, Ilopango, Soyapango, San Salvador, Nejapa y Apopa, que es en donde se está dando la mayor problemática de los suelos.

➤ **Clima:**

El clima es uno de los factores que influyen en el comportamiento del suelo y tiene gran importancia en el proceso de meteorización, ya que dicha

meteorización tiene efecto en las propiedades mecánicas del suelo. Dentro de este factor se puede encontrar un sub-clasificación de acuerdo a su naturaleza:

✓ **Cambios diarios de temperatura(Sequía):**

Se refiere a fenómenos que ocurren con cambios drásticos de temperaturas; como el que se dio en el año 2015 con el fenómeno del niño, el cual prolongó la estación seca hasta el mes de agosto con temperaturas que oscilaron entre los 37°C y 40°C. Estos cambios de temperatura causan efectos térmicos en los depósitos de flujos piroclásticos y producen contracciones y expansiones en la cabecera del talud, generando planos de falla en la cara más externa. (Hernández W., 2010), lo cual está asociado al proceso de exfoliación.

✓ **Lluvia:**

Durante el periodo de lluvias en el AMSS, las precipitaciones que se dan pueden ser moderadas o de alta intensidad, pero siempre favorecen la infiltración en los materiales piroclásticos, principalmente en las zonas con grietas, ya sea que estas sean producidas por vibraciones sísmicas o exfoliación, favoreciendo el ensanchamiento de estas debido a la presión de poros, provocando derrumbes por el aumento de fuerzas intersticiales. (Ver **figura No. 16**).



**Figura No. 2.16. Derrumbes provocados por la saturación de los materiales**

Fuente: De los autores  
Fotografía tomada el 23/10/2016

➤ **Vegetación (presencia de raíces):**

Tienen especial interés las acciones que ejerce la vegetación, ya que estos pueden influir positiva o negativamente sobre el talud. Actúa positivamente cuando la cubierta vegetal, a través de sus raíces ayuda a mantener la estabilidad de los taludes (Ver **figura No. 2.17**) debido a que sirve de unión entre los componentes de los suelos.

También contribuye al drenaje absorbiendo parte del agua contenida en el terreno y atenúa la degradación superficial del mismo. En su aspecto negativo, existen raíces capaces de disgregar el terreno y desplazar bloques de magnitud considerable, debido a sus efectos mecánicos en grietas y fisuras, actuando a modo de cuñas (Ver **figura No. 2.18**).

El engrosamiento de las raíces es mayor durante la estación lluviosa que en la seca y también es cuando la humedad es mayor en taludes constituidos por

TBJ, por eso, en la estación lluviosa son más numerosos los derrumbes en este tipo de suelos (**Hernández W., 2010**).



**Figura No. 2.17 Capa vegetal como protección del talud**

Fuente: De los autores

Fotografía tomada el: 08/05/2015



**Figura No. 2.18 Plano de falla debido a raíces de árbol**

Fuente: De los autores

Fotografía tomada el 07/05/2015

### ➤ Factores antropogénicos

- ✓ **Desequilibrio de los procesos naturales de infiltración – evapotranspiración debido a las urbanizaciones:**

El incremento en los flujos superficiales de agua y de suelos debido a la remoción de la superficie vegetal y a la impermeabilización de suelos, está reduciendo la capacidad subterránea de absorción y filtración de agua en el suelo; por lo tanto, el aumento de la escorrentía superficial está provocando

inundaciones, daño en urbanizaciones, colapso de obras de drenaje como bóvedas, gaviones, azolvamiento, presas de generación de energía eléctrica deslizamientos entre otros, esta problemática se presenta durante la estación lluviosa.

✓ **Deforestación:**

La deforestación de ciertos taludes incide adversamente en el régimen de agua en las capas más superficiales, contribuyendo a la erosión a causa de la lluvia, ya que la capa más superficial de los taludes queda expuesta, pudiéndose presentar en un primer escenario la erosión laminar, luego en zurcos y podría convertirse en barranco si no se le da el tratamiento adecuado.

✓ **Extracción de arena en ríos:**

Este es un fenómeno que está provocando cambios en el nivel de base de los ríos, debido a que las zonas donde se ha realizado la extracción de arena, vuelve a llenarse provocando un cambio en la morfología de los ríos, y por ende, cambio de dirección del flujo erosionando en otras zonas distintas. (Ver **figura No. 2.19**).



**Figura No. 2.19 Extracción de arena en río las cañas**

Fuente: De los autores  
Fotografía tomada el 23/10/2016

✓ **Construcción obras en cauces de ríos (bóvedas, gaviones).**

Estas obras son construidas en el cauce lateral de los ríos con el propósito de proteger construcciones aledañas, paso de carreteras, entre otros, pero que dan una solución de manera puntual, y a la larga influyen mucho en la morfología del río, ya que cambian la dirección del flujo y este a su vez ocasiona daños que en épocas anteriores no se presentaban (Ver **figura No. 2.20 y No. 2.21**).



**Figura No. 2.20 Construcción de obras de mitigación en Carretera de Oro contiguo a Parque Memorial Los Cipreses**

Fuente: De los autores  
Fotografía tomada el 10/10/2015



**Figura No. 2.21 Obras de protección para Zona Franca San Bartolo.**

Fuente: De los autores  
Fotografía tomada el 02/07/2016

### ✓ **Vibraciones por el paso de los vehículos**

Asimismo, es necesario mencionar que los procesos de vibración producidos por el tráfico y la inclinación de los taludes constituidos por materiales piroclásticos que se encuentran ubicados adyacentes a carreteras también afectan considerablemente la estabilidad de los mismos, aunque éstos daños no son tan perceptibles a corto plazo como cuando se ven afectados por la incidencia de la actividad sísmica, o cuando en época de lluvia se ven expuestos a periodos de precipitación intensa y/o prolongada, esto provoca un aumento en el tamaño de las grietas en el talud hasta que colapsan.(Ver **figura No. 2.22**)



**Figura No. 2.22 Vibraciones causadas por el paso de vehículos**

Fuente: De los autores  
Fotografía tomada el 02/07/2015

### ✓ **Urbanización acelerada**

La región más densamente poblada del país se encuentra dentro del graben central, debido a su favorable clima, vías de comunicación, vida cultural y

económica, en esta zona se asienta la ciudad de San Salvador y otras ciudades importantes, que actualmente están presentando algunos inconvenientes debido a los tipos de materiales poco consolidados sobre los que se asienta.

El alarmante incremento de las urbanizaciones, sobre todo en el Área Metropolitana de San Salvador (que ha crecido territorialmente en más de 64%, desde 1980<sup>12</sup>); junto con la topografía muy variada de materiales de origen volcánico poco consolidados, generan las condiciones propicias para la infiltración de aguas superficiales. Además, la impermeabilización producto del impacto de las urbanizaciones en donde se cubren grandes extensiones ya sea con asfalto o concreto, provocan la concentración de caudales que ocasionan fenómenos erosivos (Ver **figura No. 2.23**)



**Figura No. 2.23. Cárcava en reparto El Pepeto, Soyapango**  
Fuente: Cruz de Castro, S. (2015)<sup>13</sup>.  
Fotografía tomada el 02/12/2014

Es importante destacar, que este problema se sigue expandiendo al paso de los años, ya que el deterioro que experimenta la TBJ (proceso erosivo) es un

---

<sup>12</sup> Barry, D. (1994). El agua: Límite ambiental para el desarrollo futuro de El Salvador. *Prisma*, (5), 1-12.

<sup>13</sup> Primer informe de seguimiento: construcción de obras de drenaje y de mitigación en el cauce del río Las Cañas, Reparto El Pepeto III, municipio de Soyapango, departamento de San Salvador.

fenómeno que sigue avanzando de manera constante e intensa; ejemplo de ello, es la erosión vertical que presentan los cauces del río, propiciando un ajuste continuo del perfil de equilibrio de los mismos, (Ver **figura No. 2.24**).



**Figura No. 2.24. Ejemplo de profundización del cauce de un río. Zona Franca, San Bartolo**

Fuente: De los autores  
Fotografía tomada el 22/09/2015

Esta situación demanda la inversión anual de millones de dólares por parte del Estado; dinero que es destinado para llevar a cabo reparaciones de estructuras dañadas y la construcción de obras de protección que tratan de minimizar los deterioros que se producen durante cada invierno, debido a ello, la importancia del conocimiento de las propiedades geotécnicas de los materiales que constituyen la superficie de AMSS y el comportamiento que éstos presentan, pueden ser de gran utilidad; como por ejemplo, para una mejor planificación del territorio, definir áreas que cumplan las características necesarias de seguridad para desarrollar las ciudades y obras de carácter privado o público, tratando de minimizar la afectación del equilibrio que existe en la naturaleza, creando políticas que ayuden a mejorar las problemáticas presentadas.

Los antecedentes expuestos en los apartados anteriores suponen la innegable necesidad de comprender la manera en que se desarrolla el proceso erosivo y las condiciones que influyen en gran medida para que éste se produzca. Por lo que a continuación se presentan las generalidades de procesos de erosión, en los materiales.

## **2.6 EROSIÓN**

### **2.6.1 CONCEPTO**

La erosión es un fenómeno natural de permanente transformación de la superficie del suelo, principalmente ligado a la interacción con el agua, viento, o las actuaciones humanas como principales factores degradantes. Este fenómeno involucra daños de alta relevancia a los recursos edáficos<sup>14</sup> de un país y de un territorio en general, por lo cual, debe ser abordado con las herramientas de conocimiento apropiadas, a fin de evitar la ejecución inadecuada de medidas, que no logran controlar el proceso erosivo, y por el contrario, acentúan aún más el problema y las consecuencias que de él se derivan, las cuales están relacionadas principalmente con la economía, la sociedad y el medio ambiente del territorio nacional, y en específico en el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS), en donde la erosión regresiva ha causado un daño de zonas urbanizadas provocando el colapso de viviendas

---

<sup>14</sup> Recursos edáficos: Hace referencia a los recursos del suelo o relativo a él, especialmente en lo que se refiere a las plantas.

completas y formación de cárcavas en las cuales se han realizado inversiones millonarias tratando de controlar el avance de la erosión.

El inicio del movimiento de una partícula de suelo por acción hidráulica se define como el momento en el cual las fuerzas generadas por un fluido o viento, arrancan y levantan la partícula produciendo su movimiento, superándose así la fuerza estabilizadora debido a la gravedad y las fuerzas de fricción y cohesión(Suárez,1980).

Como se menciona anteriormente, el fenómeno erosivo comprende el desprendimiento, transporte y posterior depósito de materiales de suelo o roca por acción de la fuerza de un fluido en movimiento o por fuerza. Es decir, que el proceso erosivo origina un desgaste de forma natural y éste depende de las características climáticas, la naturaleza del suelo, la topografía y la vegetación.

### **2.6.2 TIPOS DE EROSIÓN**

Los tipos principales de erosión, son los provocados por la acción eólica y por acción fluvial, siendo esta última la que más efecto tiene en nuestro territorio, produciendo considerables problemas especialmente en el Área Metropolitana de San Salvador (AMSS) por lo que la investigación de estos procesos pueden ayudar a mejorar técnicas tanto de remediación ante los problemas actuales como la prevención de problemas futuros a manera de minimizar o controlar sus efectos. A continuación se detallan los dos tipos de erosión más

importantes definiendo en un primer instante la erosión eólica y luego la erosión fluvial.

➤ **Erosión por viento o eólica**

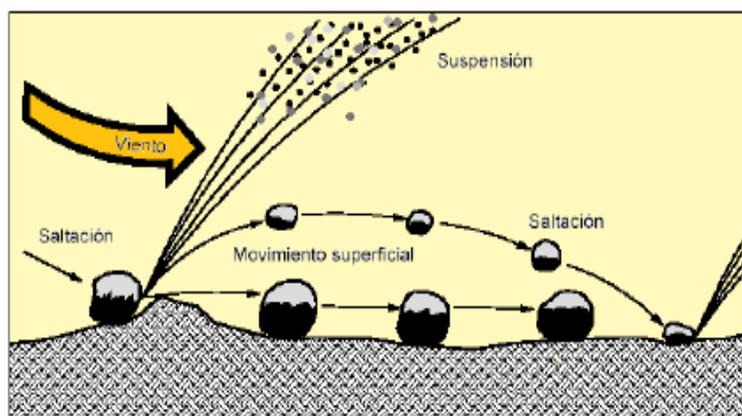
La erosión por viento o eólica, es el tipo de erosión que ocurre cuando los suelos desprovistos de vegetación son expuestos a las altas velocidades del viento (Ver **figura No. 2.25**). Este último ejerce una fuerza tractiva superior a las fuerzas gravitacionales y cohesivas de las partículas del suelo, el viento desprende las partículas y las transporta en suspensión. Generalmente las pequeñas partículas de entre 0.1 a 0.5 mm, son acarreadas por el viento en saltos o brincos, las partículas de mayor tamaño se mueven rodando, mientras que las finas son transportadas en suspensión tal y como se puede apreciar en la **figura No. 2.26**.

La temperatura y la humedad son los factores más importantes que intervienen en la erosión eólica, siendo solo los suelos secos los que presentan susceptibilidad a la erosión por viento. Tanto la longitud como la pendiente de los taludes tienen muy poca relevancia en este tipo de erosión.



**Figura No. 2.25. Remoción de la capa vegetativa del suelo por intervención antrópica provocando erosión eólica en la zona del municipio de Ilopango.**

Fuente: Del autor  
Fecha: 07/05/2016



**Figura No. 2.26 Mecanismos de Erosión por Acción del viento**  
 Fuente: Jaime S. 2001. "Control de Erosión en Zonas Tropicales".

El viento puede recoger y cargar partículas con un tamaño menor a 0.1 mm (limos o arcillas muy finas) provenientes de suelos secos<sup>15</sup>.

#### ➤ **Erosión hídrica superficial o erosión fluvial**

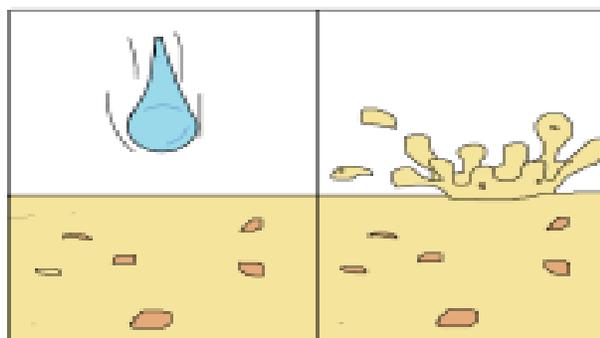
La erosión hídrica constituye uno de los principales procesos de pérdida de suelo y representa una de las formas más completas de degradación, englobando la degradación física, química y biológica del suelo (De Colomer 2001).

Por su parte, Mintegui y López (1990) definen este tipo de erosión como el proceso de disgregación de las partículas del suelo por la acción del agua, el cual culmina con el depósito de los materiales transportados por la corriente en áreas de sedimentación, cuando la capacidad de arrastre de las aguas se

<sup>15</sup> Fuente: Galdámez, C., Nieto, R. 2012. "Soluciones técnicas a problemas de socavación de gran tamaño llamadas cárcavas, en el municipio de Ilopango departamento de san salvador", Tesis Ingeniería Civil, Universidad de El Salvador.

reduce hasta el punto de no permitir la continuación en el flujo de las partículas terrosas previamente incorporadas al mismo.

El proceso de erosión hídrica comienza cuando las gotas de lluvia impactan la superficie con una energía suficiente para desplazar partículas de material sin consolidar, dando lugar al proceso desprendimiento del suelo por salpicadura (**SUDAS, 2006**). Estas gotas actúan compactando y destruyendo la estructura del suelo separándola en partículas relativamente pequeñas; cuando la gota de agua impacta sobre el suelo desnudo las partículas saltan a una cierta altura (Ver **figura No. 2.27**), formando un cráter que depende del tamaño y la velocidad del impacto, tamaño y densidad de las partículas del suelo y la profundidad del agua en la superficie del suelo (**Sebesta et al, 2010**). De esta manera se da el desprendimiento y remoción de capas delgadas de suelo. Posteriormente las partículas son transportadas por el flujo de agua.



**Figura No. 2.27** Proceso de erosión hídrica.  
Fuente: Galdámez & Nieto, 2012

La erosión fluvial atraviesa varios procesos conforme va avanzando, tal y como se muestra a continuación<sup>16</sup>:

- Erosión laminar (sheet run off)
- Erosión por surcos (rill erosion)
- Erosión por barrancos (gully erosion, Badlands)
- Erosión de río
  - ◆ Erosión vertical
  - ◆ Erosión lateral
- Erosión subterránea

- **Erosión Planar (laminar) (Sheet run off)**

Según (**Sebesta, J., Hernández, W. 2010**), la erosión planar se presenta cuando las superficies de los suelos son cubiertas por flujos de agua en forma de láminas delgadas; estos flujos ejercen esfuerzos cortantes en la superficie del suelo. La erosión planar tiende a ser mucho más evidente en suelos cuya pendiente es fuerte y se encuentran sin cobertura vegetal, no tiene un efecto inmediato, sino que se va presentando de forma gradual; es por ello que al principio no puede parecer preocupante; sin embargo, en intervalos largos de tiempo, sus efectos pueden ser muy críticos (Ver **figura No. 2.28**).

---

<sup>16</sup> Fuente: Sebesta, J., Hernández, W. 2010. Cartografía y evaluación para estudiar los procesos erosivos en el Área Metropolitana de San Salvador. Pág. 8



**Figura No. 2.28 Erosión planar, Municipio de Ilopango, San Salvador**

Fuente: Sebesta, J., Hernández, W. 2010. Cartografía y evaluación para estudiar los procesos erosivos en el Área Metropolitana de San Salvador

- **Erosión por surcos (Rills)**

Según investigaciones de National Soil Erosion Research Laboratory, en su investigación *Soil Erosion and WEPP Technology*, la erosión por surcos es el proceso que origina la remoción de suelo debido al paso de flujos de agua, dando lugar a la formación de canales que al principio tienen semejanza a pequeñas grietas, varían en tamaño con anchos entre 50-300 mm y profundidades arriba de los 30 mm (**Charlton, 2007**).

La formación de los surcos es influenciada por ciertas razones:

- ✓ Cuando los sedimentos transportados por el flujo de agua representan una carga que excede la resistencia del suelo por el que circundan.
- ✓ Cuando la capacidad de infiltración del suelo es excedida.
- ✓ Se presenta en zonas en dónde la topografía del terreno (pendientes) contribuye a las concentraciones de flujo.

Al mismo tiempo, se puede decir que la formación de los surcos continuará si el flujo del agua aumenta su caudal y su velocidad, ocasionando que los surcos se vuelvan mucho más anchos y profundos (Ver **figura No. 2.29 y No. 2.30**).

Algunas veces (cuando los surcos comienzan a formarse), las personas con el afán de eliminarlos, tratan de labrarlos, pero al paso del tiempo, lo único que se logra es que se formen surcos de mayores dimensiones y se pierdan más cantidades de suelo.

Como ejemplo de este tipo de erosión se pueden mencionar los surcos que se han formado frente a la Colonia Altavista, en el municipio de Ilopango, en donde se aprecian surcos que han alcanzado niveles de profundización considerable al no haber implementado algún tipo de protección. (Ver **figura No. 2.31**).



**Figura No. 2.29 Erosión por surcos, Cementerio Los Cipreses, municipio de Ilopango, San Salvador**

Fuente: Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador (OPAMSS)



**Figura No. 2.30 Erosión por surcos, Cementerio Los Cipreses, municipio de Ilopango, San Salvador**

Fuente: Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador (OPAMSS)



**Figura No. 2.31 Erosión por surcos, frente a Colonia Altavista, municipio de Ilopango, San Salvador**

Fuente: De los autores.  
Fotografía tomada el 7/05/2015

- **Erosión por barrancos (gully erosión, Badlands):** es una de las formas más comunes de erosión en suelos, que afecta la productividad del mismo, restringe el uso de la tierra y puede poner en peligro las carreteras, viviendas y edificios.

Este tipo de erosión (en cárcavas), se produce cuando la escorrentía se concentra y fluye a una velocidad suficiente para separar y transportar las partículas. Es por esta razón que la erosión por surcos (Rills) avanzada, puede convertirse en erosión por barrancos si no se implementan medidas de protección (Ver **figura No. 2.32**).



**Figura No. 2.32 Erosión por barrancos, municipio de San Martín, San Salvador**

Fuente: De los autores.

Fotografía tomada el 22/10/2015

Los barrancos (Gullies) permanentes se definen como canales que son muy profundos para cruzar o para rellenar con operaciones agrícolas normales. (Toy et al, 2002, p.63). Según la Soil Science Society of America, (1996), Los barrancos son relativamente profundos y estrechos, con paredes verticales y un

canal con pendiente inclinada; teniendo una profundidad de 0.5 m hasta 25-30 m.

- **Erosión de ríos**

- **Erosión vertical**

Este tipo de erosión se presenta en laderas desprotegidas en donde el cauce del río (que transporta sedimentos), va originando el desprendimiento de suelo poco consolidado, ocasionando una profundización del terreno. El proceso erosivo continuará hasta que quede descubierto un material mayormente consolidado, lo cual podría significar la pérdida de grandes cantidades de suelo antes que esto suceda. Como ejemplo de este tipo de erosión, se puede mencionar la que se presenta en la Zona Franca de San Bartolo, debido al paso de la quebrada Arenal Seco, la cual, durante la época lluviosa del año 2015, presentó un aumento en la profundidad de su lecho, desprendiendo materiales poco consolidados (TBJ). En la sección que se observa en la fotografía al principio de la época lluviosa presentaba profundidades de 1.50 m (Ver **figura No. 2.33**) y debido a la erosión vertical llegó a alcanzar los 4.30 m (Ver **figura No. 2.34**).



**Figura No. 2.33 Erosión vertical, Zona Franca de San Bartolo, municipio de Ilopango, San Salvador**  
Fuente: Los autores.  
Fotografía tomada el 28/08/2015



**Figura No. 2.34 Erosión vertical, Zona Franca de San Bartolo, municipio de Ilopango, San Salvador**  
Fuente: Los autores.  
Fotografía tomada el 22/09/2015

Entre algunos de los factores que contribuyen a que se desarrolle la erosión vertical se pueden mencionar: el tipo de deposición que han tenido los suelos expuestos a la erosión, la cobertura vegetal, las características granulométricas que posee y la permeabilidad.

➤ **Erosión horizontal (lateral).**

Según (**Sebesta, J., Hernández, W. 2010**), este tipo de erosión genera pérdidas de material en paredes de laderas desprotegidas, ocasionando derrumbes que se presentan de manera episódica (Ver **figura No. 2.35** y **figura No. 2.36**). Si no se implementan obras de protección para el control de la erosión horizontal, el proceso de tipo retrógrada va avanzando e intensificándose de tal manera que puede llegar a afectar a viviendas u otro tipo de obras civiles que se encuentren en la zona.



**Figura No. 2.35 Erosión lateral en quebrada Arenal Seco, Zona Franca de San Bartolo, municipio de Ilopango, San Salvador**

Fuente: Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador (OPAMSS)



**Figura No. 2.36 Erosión lateral en quebrada Arenal Seco, Zona Franca de San Bartolo, municipio de Ilopango, San Salvador**

Fuente: Los autores

Fotografía tomada el 28/08/2015

La erosión lateral depende en gran parte de la energía cinética que lleve el cauce del río, la cual se ve aumentada con la ocurrencia de lluvias intensas que ocasionan que el flujo aumente su fuerza y su velocidad. Es por ello que se puede afirmar que los lugares que están mucho más vulnerables a que se presente este tipo de erosión son en los **meandros**<sup>17</sup>.

- **Erosión subterránea**

Según (Sebesta, J., Hernández, W. 2010), la erosión subterránea está relacionada íntimamente con la erosión por **piping**, la cual podría considerarse

---

<sup>17</sup>Meandro: es un arco formado por el accionar del caudal de un río que presenta una gran ondulación en su recorrido. Los meandros se originan usualmente en los ríos ubicados en las llanuras aluviales que casi no presentan pendientes a causa de los sedimentos de la tierra que comúnmente se asientan en las zonas convexas del meandro.

como la etapa inicial a ésta. El suelo posee macro-poros y pequeñas hendiduras que han sido formadas por procesos naturales, que dan origen a canales o tuberías que contribuyen a la erosionabilidad del suelo en donde se encuentran, lo cual trae como consecuencia la **erosión por piping**. A pesar de que en un primer momento, el diámetro de los pequeños canales puede ser muy reducido, al paso del tiempo puede llegar a originar otros tipos de erosión, tales como la formación de surcos (rill), o la formación de barrancos (gully).

Es interesante destacar que la permeabilidad del material en donde se forman las pequeñas tuberías (erosión por piping), tiene mucho que ver con la forma en que se desarrolla el proceso erosivo. Ya que si el material tiene una misma permeabilidad en su profundidad, el flujo del agua se infiltrará de manera vertical, pero si el material está compuesto por estratos que poseen distinta permeabilidad, el agua fluirá en el material que posee mayor permeabilidad. Al transcurrir el tiempo, los flujos de agua circundante por los estratos más permeables ocasionarán el inicio de la erosión subterránea, debido a que los poros van creciendo producto del paso del agua.

Cerca de los nacimientos o salida del agua subterránea, el suelo está saturado por el agua, haciendo que la ladera inclinada sea inestable. Por eso la erosión subterránea produce un complejo de procesos que degradan el escarpe como son el colapso de la superficie (rápida y lentamente), así como los movimientos de ladera (reptación de suelo, movimientos de ladera pequeños o flujos del tipo "flowage"). El agua que sale afuera puede producir la erosión del suelo de tipo

planar (sheet run off o rill) o erosión de surcos (rill) hasta iniciar barrancos (gully).

En algunos casos la erosión subterránea puede producir cavernas subterráneas, que después colapsan o el terreno se hunde<sup>18</sup>.

Para ejemplificar la ocurrencia de este tipo de erosión se presentan fotografías en uno de los puntos de monitoreo de OPAMSS, frente a vía Galicia en el Municipio de Ilopango, en donde se puede observar el avance en el deterioro de una cárcava constituida por TBJ, que comenzó a ocurrir al inicio de la segunda mitad de la época lluviosa en el año 2015 (mes de septiembre).

La cárcava ya había presentado desprendimientos en periodos de lluvia en años anteriores, pero en el año 2015 a causa de la sobresaturación de los materiales, en el lugar se presentó evidente deterioro del suelo en la cara del talud. Sin embargo, la opinión de expertos en geología, geomorfología y geotecnia se contrasta con la primera hipótesis, ya que ellos manifiestan que el área tributaria no es lo suficientemente grande para recolectar la escorrentía necesaria para ocasionar deterioro por sobresaturación.

Es por esta razón que ellos proponen que estos desprendimientos han sido causados como producto de la existencia de aguas subterráneas en la zona, aunque aún no puede afirmarse, pues tienen que realizarse más estudios para reiterarlo. A continuación se presentan las fotografías en donde se evidencia el avance que ha tenido la cárcava, (Ver **figura No. 2.37** y **figura No. 2.38**).

---

<sup>18</sup> Fuente: Sebesta, J., Hernández, W. 2010. Cartografía y evaluación para estudiar los procesos erosivos en el Área Metropolitana de San Salvador. Pág. 21



**Figura No. 2.37 Erosión subterránea, Villa Galicia, San Salvador**  
Fuente: Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador (OPAMSS)



**Figura No. 2.38 Erosión subterránea, Villa Galicia, San Salvador**  
Fuente: Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador (OPAMSS)

Es importante mencionar ciertos factores que influyen en el desencadenamiento de la erosión fluvial, como los que se mencionan a continuación: el clima, la geología, la topografía y el uso del suelo.

➤ **Clima**

La erosión se ve influenciada por factores climatológicos, siendo las precipitaciones las que más efecto tienen sobre esta. Asimismo influye la temperatura, la velocidad del viento, la humedad y la radiación solar<sup>19</sup>.

➤ **La Geología**

La geología de los materiales presentes, es otro de los factores de los que depende el proceso erosivo. Teniendo mucha influencia la capacidad de infiltración y percolación, siendo estas dependientes de la textura del suelo. Pues, es sabido que ante la ocurrencia de una precipitación, un suelo arenoso o limoso presenta muy poca capacidad de retención de agua, dejando pasar los flujos a partes profundas. Pero cuando los materiales tienen presencia de arcillas, el agua que no es absorbida, es transportada sobre la superficie de estos materiales.

➤ **La Topografía**

Entre algunos de los factores topográficos que tienen efecto sobre la erosión fluvial se encuentra: el grado y longitud de la pendiente, las dimensiones y formas de la cuenca.

➤ **El uso del suelo**

Si el suelo posee cobertura vegetal, está protegido en cierta medida de la erosión, ya que la vegetación intercepta las gotas de agua lluvia, absorbe su energía y reduce las escorrentías; por lo tanto, retarda la erosión al disminuir la

---

<sup>19</sup> Fuente: <http://www.actaf.co.cu>

velocidad de la escorrentía, limitando el movimiento del suelo desprendido y aumentando la capacidad de almacenaje de agua en el suelo al disminuir su humedad por evapotranspiración.

Es por ello, que cuando existen superficies de suelo que han sido deforestadas, se encuentran mucho más susceptibles a presentar erosión, contribuyendo al transporte de sedimentos en los cauces de los ríos y alterando el ciclo hidrogeológico.

### **2.6.3 MONITOREO Y MEDICIÓN DE EROSIÓN**

La importante inversión económica que se realiza debido a los daños colaterales ocasionados por la pérdida de suelo, ha incentivado a que se implementen métodos para medir o cuantificar las pérdidas de suelo.

Con estos métodos se busca establecer relaciones entre cantidad de suelo erosionado y los factores que intervinieron en el deterioro durante el periodo de tiempo en que fueron aplicados. Si estas técnicas se implementan siguiendo una metodología adecuada, es posible obtener datos representativos que ayuden a comprender el comportamiento de los materiales ante diferentes condiciones de exposición, y de esta manera proponer medidas de mitigación que de alguna manera puedan solventar o minimizar las problemáticas que se desencadenan como consecuencia del proceso erosivo.

Hay diferentes métodos de medición de erosión, los cuales se agrupan de la siguiente manera: **medición de variaciones en el nivel superficial, medición**

**de la escorrentía superficial y otros tipos de medición de erosión.** Los cuales se describen a continuación:

➤ **Medición de variaciones en el nivel superficial**

La medición de este tipo, tiene como objetivo medir espesores de las variaciones que ocurren en los suelos, ya sean producto de la erosión o del azolvamiento. Estos datos recolectados se utilizan para poder calcular las pérdidas volumétricas en un área determinada.

En este tipo de medición se tiene:

✓ **Método de clavos y arandelas**

El método puede resumirse en la colocación de clavos o varillas de acero de 30 cm de longitud formando una cuadrícula, cuya longitud depende de la extensión del terreno a la que se pretende monitorear el deterioro.

Al introducir las varillas o clavos en el terreno, se dejan aproximadamente la mitad fuera de la superficie, en la cual se coloca una arandela (haciendo contacto con el terreno), de manera que puede cambiar de posición dependiendo del suelo erosionado o azolvado durante el periodo de estudio.

➤ **Medición de la escorrentía superficial**

Se define la escorrentía o escurrimiento superficial como el flujo de agua sobre la superficie del terreno, cuya capacidad erosiva viene dada por las condiciones topográficas y de cobertura vegetal del mismo.

Es el resultado de una insuficiente velocidad de penetración del agua lluvia en el material que constituye el suelo, es por ello que cuando se presentan precipitaciones intensas o duraderas, se produce la escorrentía<sup>20</sup>.

En este tipo de medición se tiene:

✓ **Método de parcelas de escorrentía**

Se divide el terreno en porciones limitadas por paredes que aíslan el agua producto de escorrentía, de manera que pueda cuantificarse con depósitos (tanques) que se encuentran al final del terreno delimitado.

La determinación de la cantidad de suelo contenido en los tanques variará con su tamaño, así (Hornung, 1990): en tanques de gran capacidad, el volumen de agua más sedimento es registrado inicialmente. El sedimento suspendido es comúnmente floculado, y el agua por encima drenada; el volumen de sedimento más agua remanente es registrado. Una sub-muestra, de volumen conocido, de sedimento más agua remanente es removida y secada, siendo así empleados el peso resultante y el volumen conocido de sedimento más agua remanente en el tanque, para calcular el peso total colectado.

➤ **Otros tipos de medición de erosión**

✓ **Método de transecto de cárcavas**

Se delimitan transectos<sup>21</sup> a lo largo de la cárcava; el número de transectos dependerá de la regularidad en la sección transversal que ésta presente. El

---

<sup>20</sup> <http://www.unalmed.edu.co/>

objetivo de este método es realizar dos mediciones de la sección transversal de la cárcava, una antes del inicio de la época lluviosa y otra al finalizar la misma, de manera que al multiplicar por la longitud del transecto pueda encontrarse el volumen de suelo que se perdió por efecto de las lluvias.

✓ **Método de trampas y sedimentos**

Se delimita el terreno en pequeñas parcelas, y se colocan depósitos de captación para recolectar los sedimentos desprendidos de la superficie del material producto de la escorrentía. Luego, durante cada monitoreo que se realice, se tomarán muestras del material en los depósitos, para determinar el peso seco del mismo y de esa manera saber cuánto material se ha erosionado (por peso)<sup>22</sup>.

✓ **Medición de raíces expuestas**

Este método fue implementado por Dunne (1977) en Kenia, África. Este investigador plantea que los indicadores más generales de disminución superficial en algunas áreas donde ocurre erosión intensa, son las raíces de los árboles o los montículos de suelo residual, protegidos bajo el dosel de árboles o arbustos mientras que el suelo a su alrededor es rebajado. De esta manera, si es posible datar los árboles o arbustos, es decir, estimar su edad mediante el conteo de anillos de crecimiento, la altura del montículo dividida por la edad de la planta, indica la tasa promedio de disminución de la superficie.

---

<sup>21</sup> Transecto: Área de muestreo, normalmente lineal o alargada, elegida como base para estudiar una característica particular del suelo.

<sup>22</sup> Fuente: "Manual de Métodos Sencillos para estimar Erosión Hídrica". 2005. Managua, Nicaragua

### ✓ **Medición aerofotogramétricas**

Estas técnicas se basan en la recolección de información en su estado estático, es decir, se auxilian de secuencias fotográficas para determinar los cambios ocurridos en la superficie de los suelos, tras la ocurrencia de procesos erosivos.

Se sabe de la existencia de muchos métodos que se están implementando en varios países alrededor del mundo para poder cuantificar las pérdidas de suelo, comprender su comportamiento y aplicar medidas preventivas o correctivas a los terrenos que sufren daños al paso del tiempo.

En esta investigación se persigue la finalidad de implementar un método que pueda adaptarse a las condiciones del terreno que se tienen en la zona de estudio; además que se puedan obtener registros de pérdidas de suelo de manera sencilla y sin incurrir en mucha inversión económica. Por las razones anteriormente expuestas se ha decidido profundizar más en el estudio de los métodos de **Clavos y arandelas, transecto de cárcavas y el método de trampas y sedimentos**, los cuales serán descritos en la **Sección 4.4 del Capítulo IV**.

Es preciso, además, (debido al objetivo final de este estudio) estudiar ciertos métodos que existen para predecir la tasa de erosión de suelo, para luego adaptarlas a los registros que se recopilarán (erosión y registros de milímetros de lluvia de las estaciones pluviométricas que tienen influencia en los taludes que se estudiarán).

## 2.7. MÉTODOS PARA ESTIMAR LAS PÉRDIDAS DE SUELO

Existen modelos físicos, analógicos, digitales para estimar las pérdidas de suelo. Los modelos digitales pueden ser estimados con base física, estocástica o empírica. Para este caso se estudiarán mayormente los modelos digitales con base empírica, debido a que es el modelo a que más se adapta a este tipo de investigación por los registros con los que se pretende realizar la estimación de la tasa de erosión.

Estos modelos se basan en la identificación de relaciones estadísticas significativas entre las variables importantes consideradas cuando se dispone de una base de datos razonables. Y se realizan tres tipos de análisis:

- ✓ Análisis de caja negra: sólo se estudian las entradas y salidas principales;
- ✓ Análisis de caja gris: se conocen algunos detalles de cómo funciona el sistema;
- ✓ Análisis de caja blanca: se conocen todos los detalles de cómo opera el sistema.

El modelo más sencillo es del tipo caja negra y relaciona la pérdida de sedimentos con la lluvia o con la escorrentía. Una relación típica es:

$$Q_s = aQ^b$$

Dónde:

$Q_s$  = es la descarga de sedimentos

$Q$  = es la descarga de agua

Jovanovic y Vukcevic (1958), utilizando datos de 16 estaciones de medida en la antigua Yugoslavia, establecieron que  $b = 2.25$ , mientras que, de acuerdo con Leopold, Wolman y Miller (1964),  $b$  tiene un valor entre 2.0 y 3.0. El valor de  $a$  es un índice de severidad de erosión. Para el ejemplo de Yugoslavia  $a > 0.0007$  indica una pérdida excesiva de suelo y  $a < 0.0003$  indica una baja tasa de erosión. Una desventaja es que no siempre es posible establecer estos valores con confianza debido a que la relación entre la descarga de sedimentos y de agua puede variar con el volumen de escorrentía y, por lo tanto, cambiar estacionalmente.

### **Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo**

Todas las ecuaciones que se tenían en un primer momento solamente eran válidas para grandes cuencas y no proporcionaban una técnica adecuada para evaluar pérdidas de suelo en áreas más pequeñas, como laderas o parcelas aisladas. Desarrollos posteriores permitieron incluir un factor climático basado en la precipitación máxima en 30 minutos con un período de retorno de 2 años (Musgrave 1947), un factor de cultivo que considera la eficacia protectora de los distintos cultivos (Smith 1958), un factor de conservación y un factor de erosionabilidad del suelo. Luego, cambiando el factor climático por el índice de erosividad pluvial ( $R$ ), se obtuvo finalmente la Universal Soil Loss Equation (USLE), la cual, teniendo en cuenta la experiencia derivada de su uso, fue más tarde modificada y puesta al día (Wischmeier y Smith 1978). La ecuación es:

$$E = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

**Dónde:**

$E$ = es la pérdida media anual de suelo (en Toneladas-Año/ hectárea)

$R$ = es el índice de erosividad<sup>23</sup> pluvial

$K$ = es el factor de erosionabilidad del suelo

$L$ = es el factor de longitud de la pendiente

$S$ = es el factor de pendiente

$C$ = es el factor de manejo del cultivo y;

$P$ = es el factor de prácticas de control de la erosión

Si el lector quiere profundizar en la forma de obtener cada uno de los parámetros comprendidos en la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo, consultar Morgan, R.P.C. (1997). Erosión y Conservación del Suelo. (2da ed.). España. (Pág. 129-134).

Debido a la sencillez de esta ecuación, se ha utilizado como técnica de investigación; pero esta ecuación no se recomienda utilizarla para estimar pérdidas de suelo en cárcavas o en riveras de los ríos, debido a que fue diseñada para predecir la erosión en regueros<sup>24</sup> y entre regueros.

---

<sup>23</sup> Erosividad: es la capacidad potencial de la lluvia para provocar erosión, estando dicha capacidad en función de las características físicas de la lluvia.

<sup>24</sup> Reguero: canal que se hace en la tierra para conducir por él el agua para el riego.

# **CAPITULO III**

## **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.1 INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se presenta la metodología para desarrollar el trabajo de graduación, describiendo la forma en que se llevará a cabo la determinación de la tasa de deterioro en taludes constituidos por materiales piroclásticos, la cual será posible mediante la implementación de técnicas de medición del deterioro en taludes. La aplicación de éstas, se basará en las condiciones presentes en el área de interés y en la medición de ciertas características en campo; además para la caracterización de los materiales se determinarán las propiedades físicas de las diferentes materiales que constituyen los taludes en estudio.

El trabajo será desarrollado en las etapas siguientes:

### **3.2 INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA**

En esta etapa se recopilará información bibliográfica y se realizarán consultas a expertos acerca de la geología presente en los taludes que se estudiarán; los cuales, debido al objeto de estudio de esta investigación, estarán constituidos por materiales piroclásticos. Asimismo, se pretende recopilar información acerca de antecedentes, así como de las variables que presentan mayor incidencia en el deterioro en taludes en la zona de estudio.

### **3.3 ESTABLECIMIENTO DE CRITERIOS QUE SE REQUIEREN ENCONTRAR EN LOS TALUDES QUE SERÁN LOS PUNTOS DE ESTUDIO PARA LLEVAR A CABO LA INVESTIGACIÓN**

Los parámetros que se utilizarán para evaluar el deterioro en taludes constituidos por materiales piroclásticos, deben reflejar la situación que experimentan éstos actualmente en el medio. Estos se determinarán a partir de investigaciones previas, observaciones en campo y del comportamiento geológico de los materiales presentes en la zona de estudio.

### **3.4 INVESTIGACIÓN DE ALGUNAS TÉCNICAS DE CUANTIFICACIÓN DE PÉRDIDAS DE SUELO QUE SE HAN IMPLEMENTADO EN PAÍSES DE LA REGIÓN CENTROAMERICANA Y QUE HAN SIDO APLICADAS EN DIVERSOS CAMPOS DE ESTUDIO**

Se realizará una recopilación de algunos de los distintos métodos que se han implementado en diferentes países de la región centroamericana, en los cuales las condiciones en campo son similares a las que tendremos en las zonas de estudio.

Posteriormente, se elegirán las técnicas para aplicarlas en este trabajo, tomando en cuenta las ventajas y desventajas que presentan cada una de ellas, la adaptación que pueda tener al tipo de materiales que se pretenden estudiar, el tipo de erosión que evalúan, y las características que cada punto de estudio posean (recubrimiento vegetal, pendiente, etc.).

### **3.5 SELECCIÓN PRELIMINAR DE PUNTOS DE INVESTIGACIÓN**

Se hará un recorrido general por la zona de estudio con la finalidad de identificar lugares que reúnan las condiciones que se requieren investigar, tomando en cuenta condiciones geomorfológicas, geológicas, hidrológicas (tipo de erosión presente), así como de los factores antrópicos que presenten.

### **3.6 SELECCIÓN DE PUNTOS DE ESTUDIO**

Esta selección se realizará en base a las condiciones encontradas en los puntos investigados y se procederá a comparar estas condiciones, con los criterios que se establezcan en la aplicación del **apartado 3.3** de este capítulo.

### **3.7 CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES INICIALES DE LOS TALUDES SELECCIONADOS**

Después de analizar y seleccionar los taludes que se estudiarán, se tomará registro de las condiciones iniciales en campo antes de la instalación del equipo.

Estos registros se pueden obtener con la inspección visual del talud y la medición de algunas características como:

- Dimensiones iniciales: altura, pendiente,

- Estratos: Número de estratos identificados, espesor, textura que posee cada uno, (cada estrato se referenciará a partir de la corona de cada talud) observando cada detalle y características que lo definen.

Además, se identificarán las condiciones a las que se encuentra expuesto cada talud, así como las obras civiles que han sido construidas y que pueden tener alguna influencia en su comportamiento y estabilidad.

A continuación, se mostrarán los distintos ítems que se tomaron en cuenta para el registro de datos:

➤ **Generalidades**

En este apartado se tendrá que adjudicar un nombre para cada talud seleccionado y registrar la fecha en que se van a tomar los datos (Ver **tabla No. 3.1**).

<b>A. Generalidades</b>
<b>1. Nombre del talud:</b>
<b>2. Fecha:</b>
<b>3. Responsable:</b>

**Tabla No. 3.1 Generalidades del talud**  
Fuente: De los autores

➤ **Localización**

Se tomará el registro de la ubicación exacta del talud, así como de las coordenadas geográficas del lugar auxiliándose de un GPS<sup>25</sup>. También es importante dejar registrada la distancia que hay entre el talud y el centro de

---

<sup>25</sup> GPS: Sistema de Posicionamiento Global.

emisión de donde provienen los materiales por los que están constituidos (auxiliándose de Google Earth). (Ver **tabla No. 3.2**).

<b>B. Localización</b>
<b>1. Ubicación:</b>
<b>2. Coordenadas:</b>
<b>3. Distancia al centro de emisión:</b>

**Tabla No. 3.2 Localización del talud**

Fuente: De los autores

### ➤ **Condiciones del entorno y elementos antrópicos**

Aquí se pretende dejar registradas las condiciones de origen natural que hay en la zona donde se encuentra ubicado el talud, así como también, los elementos antrópicos que se encuentran sobre o en las cercanías del mismo y que afectan su estabilidad, influyendo en su comportamiento y por supuesto, contribuyendo al deterioro que podrían experimentar. (Ver **tabla No. 3.3**).

<b>C. Condiciones del entorno y elementos antrópicos</b>
<b>1. Existencia de ríos o quebradas:</b>
<b>2. Nombre del río o quebrada:</b>
<b>3. Existencia de obras de protección:</b>
<b>4. Existencia de cárcavas:</b>
<b>5. Presencia de casas:</b>
<b>6. Presencia de zanjas:</b>
<b>7. Presencia de postes:</b>
<b>8. Presencia de otras estructuras:</b>
<b>9. Otros:</b>

**Tabla No. 3.3 Condiciones del entorno del talud**

Fuente: De los autores

### ➤ **Escarpe**

En este apartado se colocarán la altura aproximada del talud, y la pendiente del mismo (Ver **tabla No. 3.4**). Esta actividad podrá ser ejecutada mediante la utilización de una cinta métrica.

<b>D. Escarpe</b>
<b>1. Altura:</b>
<b>2. Pendiente:</b>

**Tabla No. 3.4 Escarpe del talud**  
Fuente: De los autores

➤ **Dimensiones estimadas**

Aquí se dejará un registro del ancho y del alto del talud de la zona a estudiar (Ver **tabla No. 3.5**), el cual será variable, debido al deterioro que se espera observar durante el periodo en que se realizará el monitoreo. Esta actividad se llevará a cabo utilizando una cinta métrica, cuya longitud sea la suficiente para cubrir las dimensiones que cada talud presenta.

<b>E. Dimensiones estimadas del sector del talud en estudio</b>
<b>1. Ancho:</b>
<b>2. Alto:</b>

**Tabla No. 3.5 Dimensiones estimadas del sector del talud en estudio**  
Fuente: De los autores

➤ **Características físicas del talud**

Se debe tomar nota de las características físicas observables en el talud, las cuales podrían influir a acelerar o a minimizar el deterioro que éste pueda experimentar a lo largo del periodo de estudio (Ver **tabla No. 3.6**).

<b>F. Características físicas del talud</b>
<b>1. Existencia de grietas:</b>
<b>2. Presencia de fallas geológicas:</b>
<b>3. Cobertura vegetal:</b>
<b>4. Afloramiento de aguas:</b>
<b>5. Descripción de la pendiente del talud:</b>

**Tabla No. 3.6 Características físicas del talud**  
Fuente: De los autores

➤ **Materiales existentes**

Auxiliándose de la bibliografía consultada sobre los tipos de materiales que se buscan para la realización de este estudio, se podrá realizar una caracterización

preliminar de los materiales que se identifican, destacando el número de estratos que se pueden identificar (Ver **tabla No. 3.7**).

<b>G. Materiales existentes</b>
<b>1. Tipo de materiales presentes:</b>
<b>2. Número de estratos identificables:</b>

**Tabla No. 3.7 Materiales existentes en el talud**

Fuente: De los autores

#### ➤ **Características de los estratos**

Basándose en la información consultada sobre la estratigrafía del tipo de material que se va a investigar en este trabajo, se llevará a cabo la inspección visual y será posible complementar información importante para caracterizar los taludes, como el nombre del estrato, altura, color, tamaño aproximado de los granos presentes, textura, tipos de rocas. (Ver **tabla No. 3.8**).

<b>H. Características de los estratos</b>
<b>1. Nombre del estrato:</b>
<b>2. Altura del estrato:</b>
<b>3. Color:</b>
<b>4. Tamaño aproximado del grano:</b>
<b>5. Textura (verificación visual-manual):</b>
<b>6. Tipos de rocas presentes:</b>

**Tabla No. 3.8 Características de los estratos presentes en el talud**

Fuente: De los autores

#### ➤ **Otros**

Aquí se deben registrar otras observaciones que pudieren existir en los alrededores del talud o en el mismo, los cuales no aparecen en los ítems antes mencionados. Se deben escribir todas las notas, observaciones y aclaraciones que la persona responsable de recolectar esta información considere relevante (Ver **tabla No. 3.9**).

<b>I. Otros:</b>
<b>1. Existencia de probabilidad de deslizamiento o flujos:</b>
<b>2. Observaciones:</b>

**Tabla No. 3.9 Otra información relevante en el talud**

Fuente: De los autores

➤ **Esquema y registro fotográfico**

Se tomarán fotografías del talud y se hará un esquema<sup>26</sup>, referenciando la información más importantes del talud: altura del talud, espesor de estratos, longitud del tramo a estudiar, y otras características particulares como la distancia existente entre la corona del talud y algún otro elemento que pueda servir como referencia para facilitar su posterior ubicación (Ver **tabla No. 3.10**)

<b>J. Esquema</b>
-------------------

**Tabla No. 3.10 Esquema del talud**

Fuente: De los autores

Todos los ítems anteriormente descritos, se resumen en la siguiente ficha de recolección de información en campo. (Ver **figura No. 3.1**).

---

<sup>26</sup> El esquema de las condiciones iniciales de cada talud, se presentará en el capítulo V de esta investigación.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA			
			
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DE ESTADO INICIAL DE TALUDES</b> <b>"TRABAJO DE GRADUACIÓN: "DETERMINACIÓN DE LA TASA DE DETERIORO EN TALUDES CONSTITUIDOS POR</b> <b>MATERIALES PIROCLASTICOS EN EL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR (AMSS)"</b>			
<b>A. GENERALIDADES</b>		FECHA:	
NOMBRE DEL TALUD:			
RESPONSABLE:			
<b>B. LOCALIZACIÓN</b>			
UBICACIÓN:			
COORDENADAS: X=                      (Longitud) Y=                      (Latitud)			
DISTANCIA AL CENTRO DE EMISIÓN:			
<b>C. CONDICIONES DEL ENTORNO Y ELEMENTOS ANTRÓPICOS</b>			
EXISTENCIA DE RIOS O QUEBRADAS:	SI___	NO___	
NOMBRE DEL RIO O QUEBRADA:			
EXISTENCIA DE OBRAS DE PROTECCIÓN:	SI___	NO___	
EXISTENCIA DE CÁRCAVAS:	SI___	NO___	
PRESENCIA DE CASAS:	SI___	NO___	
PRESENCIA DE ZANJAS:	SI___	NO___	
PRESENCIA DE POSTES:	SI___	NO___	
PRESENCIA DE OTRAS ESTRUCTURAS:	SI___	NO___	
DESCRIPCIÓN:			
<b>D. ESCARPE</b>			
ALTURA:			
PENDIENTE:			
<b>E. DIMENSIONES DEL SECTOR DEL TALUD EN ESTUDIO:</b>			
LONGITUD EN LA DIRECCIÓN X:			
LONGITUD EN LA DIRECCIÓN Y:			
<b>F. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL TALUD:</b>			
EXISTENCIA DE GRIETAS:	SI___	NO___	
COBERTURA VEGETAL:	SI___	NO___	
UBICACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL:			
TIPO DE COBERTURA VEGETAL : PASTO[ ] MATORRAL [ ] ARBUSTIVO [X] CULTIVO [ ]			
AFLORAMIENTO DE AGUAS:	SI___	NO___	
DESCRIPCIÓN DE LA PENDIENTE DEL TALUD:			
PLANO A LIGERAMENTE INCLINADO (0 - 2%) [ ] ONDULADO SUAVE (3-4%) [ ] ONDULADO (5-12%) [ ]			
ALOMADO (13-25%) [ ] QUEBRADO (26-35%) [ ] ACCIDENTADO (36-70%) [ ] MUY ACCIDENTADO (>70%) [ ]			
<b>G. MATERIALES EXISTENTES:</b>			
TIPO DE MATERIALES PRESENTES:			
NÚMERO DE ESTRATOS VISUALMENTE IDENTIFICABLES:			
<b>H. CARACTERÍSTICAS DE LOS ESTRATOS:</b>			
NOMBRE	ALTURA (m)	COLOR	TAMAÑO DEL GRANO(mm)
<b>I. OTROS:</b>			
EXISTE PROBABILIDAD DE DESLIZAMIENTO O FLUJOS: SI___ NO___			
OBSERVACIONES:			

**Figura No. 3.1 Ficha para recolección de información en campo**

Fuente: De los autores

### **3.8 SELECCIÓN DE TÉCNICA DE MONITOREO**

En base a las condiciones presentes en cada punto de estudio y del tipo de erosión que se pretende evaluar, se seleccionará la técnica a aplicar.

### **3.9 IDENTIFICACIÓN DE ESTRATOS QUE CONSTITUYEN A CADA TALUD SELECCIONADO**

Se aplicarán metodologías previamente establecidas para la identificación de los estratos constituyentes de los taludes, de manera visual-manual y en laboratorio.

Para esta investigación, es indispensable contar con una metodología que permita identificar los diferentes estratos por los que están compuestos los taludes que son objeto de estudio.

Anteriormente han sido aplicadas dos metodologías para identificar los estratos de la Tierra Blanca Joven<sup>27</sup>, las cuales han sido retomadas de las que describe el Ingeniero Oscar Ayala Valdez, en el trabajo de graduación **“Aplicación de los modelos constitutivos para representar el comportamiento de Tierra Blanca Joven (TBJ), Unidad G”** en el año 2013.

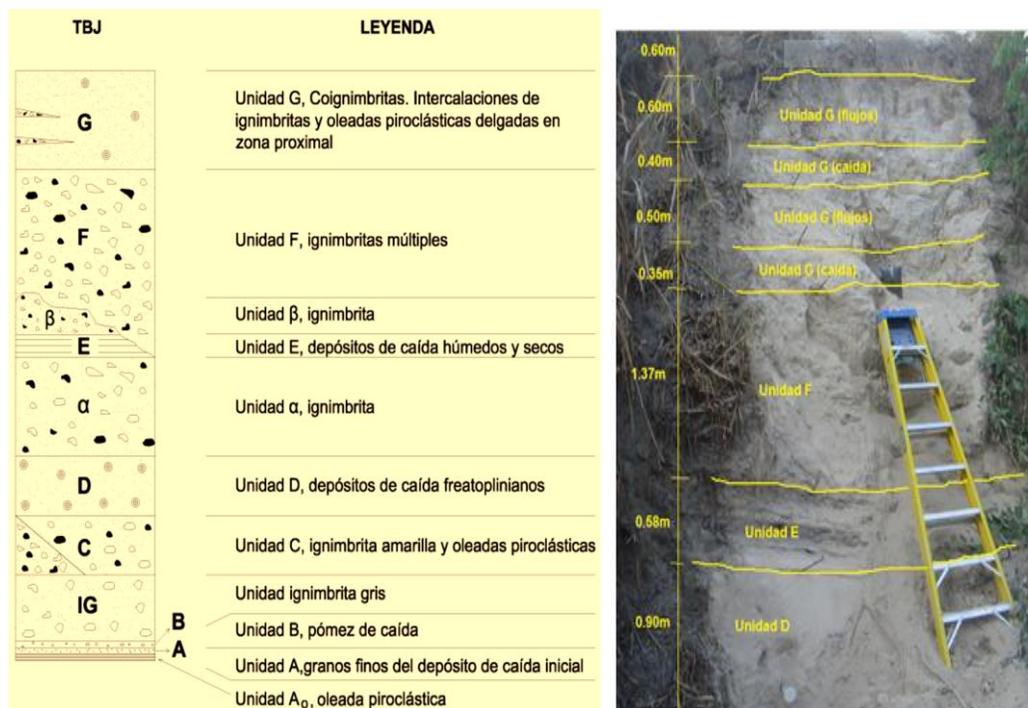
---

<sup>27</sup> Información obtenida de: Ayala O., “Aplicación de los modelos constitutivos para representar el comportamiento de Tierra Blanca Joven (TBJ), Unidad G”. Tesis, Universidad de El Salvador, 2013.

Las metodologías se describen a continuación:

### Metodología No. 1.

Consiste en el empleo de un perfil estratigráfico de TBJ, obtenido de la investigación realizada por Hernández [Modificado, 2008] a la Tierra Blanca Joven (Ver **figura No. 3.2.a**); con éste perfil se procederá a realizar la identificación en campo de la Unidad G de TBJ, depósito de caída, de la manera siguiente:



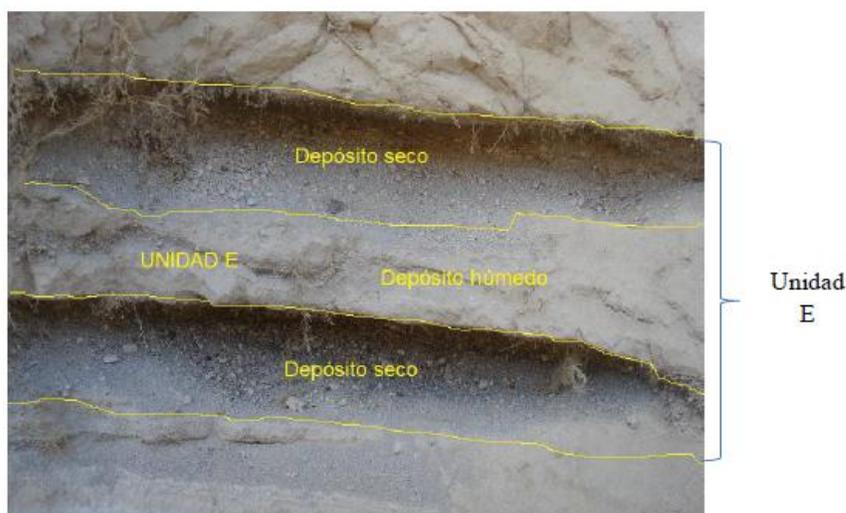
a)

b)

**Figura No. 3.2** Literales a) Hernández, E. W., “Características Geomecánicas y Vulcanológicas de las Tefras Tierra Blanca Joven, Caldera de Ilopango, El Salvador”, Tesis M.Sc., Tutor: Miguel Galera, Universidad Politécnica de El Salvador, 2004 (modificado, 2008), b) Ayala O., “Aplicación de los modelos constitutivos para representar el comportamiento de Tierra Blanca Joven (TBJ), Unidad G”. Tesis, Universidad de El Salvador, 2013.

✓ En primer lugar debe identificarse el estrato de Unidad E de TBJ (este juega un papel muy importante como capa guía en la identificación del resto de unidades de la Tierra Blanca Joven), que presenta las siguientes características:

1. Color café claro cuando está seca y café oscuro cuando está húmeda.
2. Alternancia de niveles de depósitos de caída secos, de granulometría gruesa suelta (grava y arena gruesa hasta fina) y depósitos de caída húmedos; de granulometría fina consolidada. Se puede observar la unidad E (Ver **figura No. 3.3**).



**Figura No. 3.3 Unidad E de TBJ**

Fuente: Ayala O., "Aplicación de los modelos constitutivos para representar el comportamiento de Tierra Blanca Joven (TBJ), Unidad G". Tesis, Universidad de El Salvador, 2013.

✓ Posteriormente, se identifica la Unidad D, la cual podrá encontrarse por debajo de la Unidad E<sup>28</sup>, según bibliografía (observar perfil estratigráfico, **figura No 3.2**). Esta unidad presenta las siguientes características.

1. Posee una textura deleznable<sup>29</sup>.
2. Granulometría con tamaño dominante de partículas finas, fragmentos de líticos angulares y pómez en forma dispersa.
3. Abundante presencia de lapilli acrecional, conformando coignimbritas (poco consolidadas) compuestas por cenizas finas y polvo volcánico, de color beige o grisácea al encontrarse húmeda (Ver fotografía de la unidad D en la **Figura No. 3.4**).

Esta unidad servirá para identificar correctamente la unidad E, o sea como estrato de referencia.



**Figura No. 3.4 Unidad D de TBJ**

Fuente: Ayala O., “Aplicación de los modelos constitutivos para representar el comportamiento de Tierra Blanca Joven (TBJ), Unidad G”. Tesis, Universidad de El Salvador, 2013.

<sup>28</sup> En ocasiones, no todos los estratos presentados en el “Perfil estratigráfico de TBJ” se encontraran en el campo, esto puede deberse a procesos erosivos o al alcance de la erupción, por lo que de no encontrarse la Unidad D, se puede identificar la Unidad C (ver bibliografía; Hernández, 2004).

<sup>29</sup> **Deleznable:** fácilmente se desmenuza o desarma.

- ✓ Luego, se identifica la Unidad F, ésta podrá encontrarse por encima de la Unidad E (Ver **figura No. 3.2**), presenta las siguientes características.
  1. Se encuentra constituida de múltiples depósitos de flujos piroclásticos, masivos, isotrópicos, de coloración blanca, los cuales se conforman por una matriz de arena limosa y grava, que engloba grandes fragmentos de pómez y líticos dispersos en toda la matriz (ignimbritas).
  2. Tamaño de líticos y pómez hasta de 15 cm de diámetro. (Ver fotografía de la unidad F en la **figura No. 3.5**).



**Figura No. 3.5 Unidad F de TBJ**

Fuente: Ayala O., "Aplicación de los modelos constitutivos para representar el comportamiento de Tierra Blanca Joven (TBJ), Unidad G". Tesis, Universidad de El Salvador, 2013.

- ✓ Identificada la Unidad F, se procede a identificar la Unidad G, que podrá encontrarse por encima de la Unidad F, según bibliografía (Ver **figura No. 3.2**). Esta unidad está formada por una secuencia compuesta por depósitos piroclásticos de caída (coignimbritas), flujos piroclásticos de textura fina (ignimbritas) y oleadas piroclásticas (surge). A continuación se describen las características de cada uno de ellos:

- ✓ **Coignimbritas**, se caracterizan por poseer materiales poco consolidados, de consistencia suave parecida al talco, producto de la caída por gravedad del material fino (ceniza volcánica) de la nube acompañante, con moderada presencia de lapilli acrecional.
- ✓ **Ignimbritas**, se caracterizan por tener una matriz de suelo fino (ceniza volcánica) consolidada, con presencia de líticos angulares y abundante pómez vesicular.
- ✓ **Surges**: se caracterizan por poseer un estrato delgado con alto grado de consolidación de coloración café claro (Ver talud en la **Figura No. 3.2.b** y unidad G, depósito de caída en la **figura No. 3.6**).



**Figura No. 3.6 Unidad G de TBJ**

Fuente: Ayala O., "Aplicación de los modelos constitutivos para representar el comportamiento de Tierra Blanca Joven (TBJ), Unidad G". Tesis, Universidad de El Salvador, 2013.

Con las características anteriores podrá identificarse el estrato de la Unidad G, pero como es de notarse, no es suficiente identificar únicamente el tipo de unidad, sino que también es necesario definir el sistema de deposición. En el caso de esta investigación, deberán identificarse los depósitos de caída, una manera conveniente de hacerlo, es comparar el grado de consolidación o

dureza de un estrato con respecto a otros, esto puede realizarse, utilizando un martillo de geólogo, con el cual se cortará el suelo, para observar el grado de consolidación. Generalmente, el depósito de caída posee una consolidación menor que el de flujos y oleadas piroclásticas. Por lo que, si la consolidación se percibe muy blanda, podría tratarse de un estrato de Unidad G de caída, pero si la consolidación se percibe muy dura, podría tratarse de un estrato de flujos u oleadas piroclásticas. Otra marcada diferencia para distinguir o identificar si se trata de un estrato de Unidad G de caída, es verificar la presencia de abundante lapilli acrecional dentro del estrato, también, se pueden observar las características físicas mencionadas para cada sistema de deposición y compararlas. La presencia de líticos podría indicar que se trata de un depósito de flujos piroclásticos.

### **Metodología No. 2.**

Consiste en aplicar la **metodología No. 1** y realizar ensayos de granulometría a diferentes estratos del talud o ladera y obtener sus curvas granulométricas, posteriormente comparar éstas, con las curvas granulométricas de la unidad G y unidades D, E y F, obtenidas de la investigación realizada por Hernández (2004) a la Tierra Blanca Joven (Ver curvas granulométricas en la **figura No. 3.7 A y B.** y porcentajes que pasa en la **Tabla No 3.11 y 3.12.** Las Unidades; D, E y F, se utilizarán únicamente como referencia.

A continuación, se explica la metodología propuesta para el reconocimiento de la unidad:

- ✓ Identificar, diferentes estratos dentro del talud o ladera a estudiar, esto podrá realizarse observando los cambios en las características del suelo (utilizar **Metodología No. 1**).

Obtener muestras alteradas de cada uno de los estratos definidos y especificar; la profundidad a la que se obtuvo, características visuales (color, textura, grado de consolidación, etc.), humedad natural, espesor de la capa, etc.

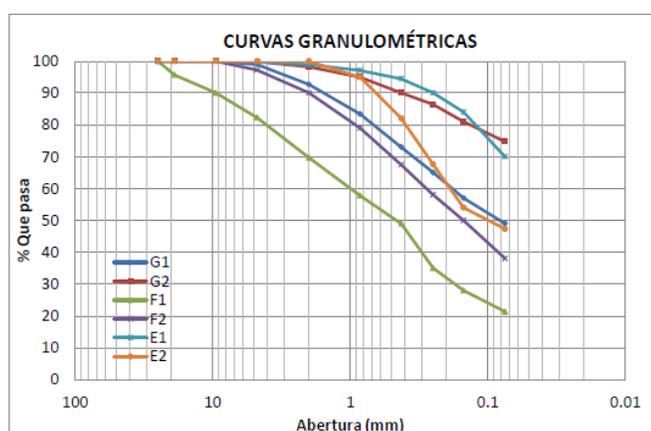
- ✓ Luego, realizar ensayos de granulometría (mecánico e hidrométrico), a cada una de las muestras extraídas, y elaborar las curvas.
- ✓ Comparar las curvas granulométricas obtenidas de los ensayos de laboratorio contra las curvas granulométricas presentadas por Hernández (Ver curvas de **figura No. 3.7 A y B** y porcentajes en la **Tabla No. 3.11 y Tabla No. 3.12**), para las unidades C, D, E, F y G (zona proximal e intermedia).

Las curvas que se aproximen más a los porcentajes que pasan de una determinada unidad, serán identificadas como esa unidad.

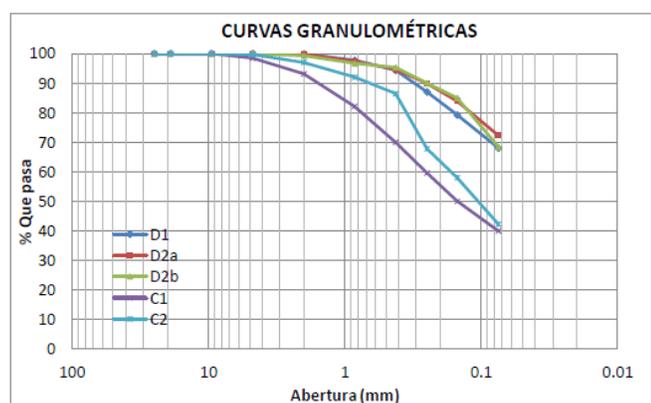
- ✓ Comparadas las curvas, proceda a identificar si la Unidad G se encuentra dentro del talud o ladera, de encontrarse, se deberán identificar las demás unidades y elaborar un perfil estratigráfico, en este deberán de colocarse en orden las unidades definidas, a la profundidad registrada en campo, luego, éste

deberá ser comparado con el perfil estratigráfico de TBJ<sup>30</sup> (Ver **figura No. 3.2**), para observar las similitudes en las estratigrafía, y así verificar que la unidad identificada al inicio es la Unidad G.

- ✓ Luego del reconocimiento de la Unidad G, se deberá identificar los depósitos de caída, este podrá realizarse empleando la **Metodología No. 1**.



**Figura No. 3.7 (A) Curvas granulométricas de la Tierra Blanca Joven; Hernández (2004)**  
Fuente: Hernández, E. W., “Características Geomecánicas y Vulcanológicas de las Tefras Tierra Blanca Joven, Caldera de Ilopango, El Salvador”, Tesis M.Sc., Tutor: Miguel Galera, Universidad Politécnica de El Salvador, San Salvador, 2004.



**Figura No. 3.7 (B) Curvas granulométricas de la Tierra Blanca Joven; Hernández (2004)**  
Fuente: Hernández, E. W., “Características Geomecánicas y Vulcanológicas de las Tefras Tierra Blanca Joven, Caldera de Ilopango, El Salvador”, Tesis M.Sc., Tutor: Miguel Galera, Universidad Politécnica de El Salvador, San Salvador, 2004.

<sup>30</sup> Debe tenerse en cuenta que algunas unidades no aparecerán, esto debido a los procesos erosivos, pero el orden del perfil si debe ser respetado

UNIDAD		G1	G2	F1	F2	E1	E2
Nº de malla	Tamaño (mm)						
1"	25.00	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
3/4"	19.00	100.0	100.0	95.7	100.0	100.0	100.0
3/8"	9.50	100.0	100.0	90.0	100.0	100.0	100.0
No 4	4.75	99.0	99.8	82.3	97.2	99.8	100.0
No 10	2.00	92.7	98.2	69.7	90.0	99.0	100.0
No 20	0.850	83.4	95.0	57.8	79.0	97.1	95.0
No 40	0.425	73.0	90.0	49.0	67.5	94.5	82.0
No 60	0.250	65.0	86.4	35.0	58.0	90.0	67.6
No 100	0.150	57.0	81.0	28.0	50.0	84.0	54.0
No 200	0.075	49.0	74.7	21.3	38.0	70.0	47.3

**Tabla No. 3.11. Resultados granulométricos para las unidades de TBJ, Hernández (2004)**

UNIDAD		D1	D2 (a)	D2 (b)	C1	C2
Nº de malla	Tamaño (mm)					
1"	25.00	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
3/4"	19.00	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
3/8"	9.50	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
No 4	4.75	100.0	100.0	100.0	98.4	99.6
No 10	2.00	99.8	99.9	99.2	93.1	97.0
No 20	0.850	97.7	97.4	96.6	82.1	92.0
No 40	0.425	94.3	94.6	95.3	70.0	86.4
No 60	0.250	87.0	89.8	90.0	59.6	67.8
No 100	0.150	79.2	83.9	85.0	50.0	58.0
No 200	0.075	68.0	72.3	68.4	40.0	42.3

**Tabla No. 3.12. Resultados granulométricos para las unidades de TBJ, Hernández (2004)**

Fuente: Realizado con curvas granulométricas de: Hernández, E. W., "Características Geomecánicas y Vulcanológicas de las Tefras Tierra Blanca Joven, Caldera de Ilopango, El Salvador", Tesis M.Sc., Tutor: Miguel Galera, Universidad Politécnica de El Salvador, San Salvador, 2004.

### 3.10 APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE EVALUACIÓN DE DETERIORO A LOS TALUDES SELECCIONADOS

Para poder aplicar la técnica de monitoreo seleccionada, se buscará una sección de la zona de estudio (talud) dónde se pueda apreciar una mayor evidencia del deterioro que está experimentando este. Este sector, será el lugar donde se instalará el equipo. Además, se dejará un registro fotográfico de los puntos en estudio y de sus alrededores, para poder evaluar las condiciones iniciales.

### **3.11 RECOPIACIÓN DE REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS**

Será necesario establecer una relación entre la cantidad de material-perdido durante el monitoreo en campo, junto con los registros de las lluvias ocurridas durante el período de estudio, de manera que puedan establecerse la relación entre pérdidas importantes de materiales después de una precipitación corta e intensa o después de una precipitación de larga duración. Es por esta razón, que se acudirá a instituciones encargadas de llevar el registro de estos datos, para poder utilizarlos y llevar a cabo el análisis correspondiente.

### **3.12 EXTRACCIÓN DE MUESTRAS**

El muestreo se realizará con la finalidad de estudiar las características de los materiales presentes en la zona en estudio. Para esto, se evaluarán las diferentes unidades que conforman los taludes, realizando ensayos de laboratorio y de esa manera obtener las propiedades físicas. Para el caso, se realizarán ensayos de laboratorio tanto en muestras alteradas como inalteradas, dependiendo de la característica a estudiar.

El procedimiento para realizar la extracción de muestras alteradas se describe a continuación:

➤ **Muestras alteradas**

Las muestras inalteradas se extraen con la finalidad de ser utilizadas para procesos de identificación y caracterización del material que se está investigando.

Para llevar a cabo la extracción de muestras alteradas se seguirá el siguiente procedimiento:

- **PROCEDIMIENTO**

- ✓ Identificar cada estrato presente en el talud, utilizando la metodología presentada en la **sección 3.9** de este capítulo.
- ✓ Extraer muestras alteradas de cada estrato que se haya identificado (Ver **figura No. 3.8**).
- ✓ Recolectar la cantidad suficiente de material de cada estrato según lo que indican los métodos para la realización de los ensayos de laboratorio que se pretenden realizar.



**Figura No. 3.8 Extracción de muestra alterada**

Fuente: De los autores  
Fotografía tomada el 1/09/2015

- ✓ Registrar la altura del estrato a dónde se extrajo la muestra y tomar fotografía para tener referencia visual.
- ✓ Identificar cada muestra colocando en la bolsa el nombre del talud y nombre del estrato al que pertenece el suelo extraído.
- ✓ Introducir en una segunda bolsa si es necesario, debido a que se necesita conservar las condiciones que posee In Situ cada estrato

### ➤ **MUESTRAS INALTERADAS**

Este tipo de muestra es extraída llevando a cabo procedimientos de manera que sea posible conservar las condiciones que el material extraído poseía in situ.

Para llevar a cabo la extracción de muestras inalteradas se seguirá el siguiente procedimiento:

#### • **PROCEDIMIENTO**

- ✓ Identificar cada estrato presente en el talud, utilizando la metodología presentada en la **sección 3.9** de este capítulo.
- ✓ Se descubre la capa de material a la que, se pretende tomar la muestra.
- ✓ Luego, se trata de alisar la superficie.
- ✓ Se excava una pequeña zanja alrededor de la marca, dejando entre el borde de la muestra y el borde interior de la zanja unos 10 cm, de manera que esta pequeña excavación no afecte la muestra. La zanja

deberá ser suficientemente ancha para permitir las operaciones de tallado, parafinado "in situ" y corte.

- ✓ Con las herramientas adecuadas, se le dará una forma aproximadamente cúbica y se tallará hasta que tenga el tamaño final que se requiere, cuidando la muestra a medida que el proceso de tallado se acerque a la cara superior y a las cuatro caras laterales.
- ✓ Una vez que la zanja esté suficientemente profunda y las caras de la muestra estén perfiladas, se procederá a extraer la muestra utilizando cuchillos, paletas o sierras, y se retira cuidadosamente (Ver **figura No. 3.9**).
- ✓ Si la muestra tiene una buena consistencia, se tallará la cara inferior antes de proceder a parafinarla.
- ✓ Utilizando una brocha, se aplicará la parafina: una primera capa y se cubre con una venda. El proceso se repetirá hasta obtener un recubrimiento impermeable de 3 mm de espesor como mínimo.
- ✓ Si la muestra no tiene suficiente consistencia, antes de proceder a la extracción, una vez tallada la cara superior y las cuatro caras laterales, éstas deben parafinarse como se describió en el párrafo anterior.
- ✓ Luego se confina la muestra con una caja y se procede a la extracción.
- ✓ La última cara (inferior), se parafina inmediatamente después de la extracción.

- ✓ Se debe colocar a la muestra una etiqueta con la siguiente información: Procedencia, especificando con marcas las caras superior e inferior, y ubicación dentro; se cierra la caja y se coloca exteriormente otra etiqueta con los mismos datos, indicando adicionalmente advertencias de las precauciones requeridas para el transporte de la misma<sup>31</sup>.



**Figura No. 3.9 Extracción de muestra inalterada**  
Fuente: De los autores.  
Fotografía tomada el 12/02/2016

- ✓ Registrar la altura del estrato a dónde se extrajo la muestra y tomar fotografía para tener referencia visual, (Ver **figura No. 3.10**).
- ✓ La altura a la que se extrajo la muestra se registrará a partir del pie del talud hasta el lugar de la extracción, y si fuese posible, desde la corona del talud hacia la misma.

---

<sup>31</sup> Información obtenida de norma I.N.V. E -112 "Toma de muestras superficiales de suelo inalterado"



**Figura No. 3.10 Registro de altura a la que se extrajeron muestras inalteradas.**

Fuente: De los autores.

Fotografía tomada el 12/02/2016

### **3.13 OBTENCIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS**

Se realizarán ensayos de laboratorio, que permitan caracterizar los estratos pertenecientes a los taludes en estudio.

### **3.14 PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA TASA DE EROSIÓN EN TALUDES CONSTITUIDOS POR MATERIALES PIROCLÁSTICOS**

Se presentará el procedimiento para calcular la tasa de erosión en los taludes constituidos por materiales piroclásticos que serán objeto de estudio en esta investigación.

### **3.15 INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

El objetivo de este apartado será presentar de manera sencilla y ordenada la información obtenida, como resultado del monitoreo del deterioro de los taludes

en campo y los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio que permitan la caracterización de los estratos que constituyen los taludes.

También, se analizarán los resultados presentados en conjunto con los registros pluviométricos obtenidos durante el periodo de estudio (época lluviosa), determinando la relación que existe entre el tipo de material constituyente, ubicación con respecto al centro de emisión y condiciones de exposición al deterioro que presentan los taludes que son objeto de estudio en el desarrollo de esta investigación; todo esto con la finalidad de determinar la tasa de erosión que éstos experimentan.

# **CAPITULO IV**

## **APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA**

## **4.1 INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se describirá el procedimiento que se llevó a cabo para el desarrollo de la metodología de la investigación en cada punto de la zona de estudio. Además, se presentarán los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio realizados a las muestras que fueron extraídas a estos, con la finalidad de caracterizar los materiales que los constituyen.

## **4.2 INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA**

En la investigación bibliográfica se logró determinar el origen de los materiales piroclásticos en los que se centra esta investigación, así como también, la estratigrafía que presentan éstos. Asimismo, se determinó que a través de los años, se ha observado que estos materiales han presentado un comportamiento susceptible a la erosión, la cual puede ser causada por diversos factores, y a su vez, desencadenan problemas en el AMSS.

Debido a la situación crítica que actualmente se está generando por el deterioro de estos tipos de materiales (por procesos erosivos), se está indagando en la implementación de diversas técnicas para poder cuantificar el deterioro, de manera que pueda hacerse énfasis en la importancia de aplicar medidas de mitigación para poder frenar en alguna medida esta problemática. El resumen de los factores investigados se muestra a continuación en la siguiente tabla (Ver **tabla No.4.1**).

TEMÁTICA	DESCRIPCIÓN
➤ <b>El origen de los materiales piroclásticos</b>	Los materiales presentes en la zona de estudio son los siguientes: La unidad TBJ: Tierra Blanca Joven, es producto de la última erupción pliniana de la caldera de Ilopango en el año 536 D.C. Además, se tienen Tierras Blancas, que son producto de erupciones más antiguas.
➤ <b>La estratigrafía que presentan los materiales piroclásticos</b>	Primero se encuentra la Tierra Blanca Joven (TBJ), que está compuesta por diferentes depósitos piroclásticos de caída y flujos de la última erupción explosiva de la caldera de Ilopango, denotándolas con los literales A, B, C, D, E, F, y G, sin embargo, en los trabajos realizados por Hernández W. 2004, se encontraron las ignimbritas alfa, beta y gris.
➤ <b>Factores que afectan la estabilidad de estos materiales</b>	<b>Factores internos:</b> Cambio de contenido de humedad, exfoliación, cementación, evaporación <b>Factores externos:</b> Factores antropogénicos: infiltración, vegetación, evapotranspiración, deforestación, extracción de arena en ríos, construcción de obras en ríos (bóvedas, gaviones), vibración por el paso de vehículos, urbanización acelerada, clima, tectónica y ocurrencia de sismos.
➤ <b>Comportamiento de los materiales piroclásticos en el área metropolitana de San Salvador</b>	Los taludes constituidos por materiales piroclásticos están experimentando deterioro principalmente por los siguientes tipos de procesos erosivos: erosión por viento o eólica, erosión hídrica superficial o erosión fluvial: erosión laminar, erosión por surcos, erosión por barrancos, erosión en ríos: vertical y lateral, y erosión subterránea.
➤ <b>Antecedentes sobre la problemática que está generando el deterioro de estos materiales en la zona de estudio</b>	Desde hace muchos años, se ha ido evidenciando la susceptibilidad que los materiales piroclásticos presentan ante diversos factores naturales y antrópicos que alteran su comportamiento; lo cual ha provocado que se desencadenen problemas en las zonas del AMSS en donde existe la presencia de estos materiales. Ejemplo: colapso de puentes, muros gaviones y el avance de la erosión en colonias en el AMSS (Urbanización Las Cañas). Es por ello, que ha sido necesaria la construcción de obras de protección para minimizar el daño causado a estos materiales.
➤ <b>El conocimiento general de los métodos que están siendo utilizados en diferentes países para el monitoreo del deterioro de los materiales que constituyen los suelos que presentan la problemática<sup>32</sup>.</b>	<b>Medición de variaciones en el nivel superficial:</b> método de clavos y arandelas, <b>medición de la escorrentía superficial:</b> método de parcelas de escorrentía, <b>otros tipos de medición de erosión:</b> método de transecto de cárcavas, método de trampas y sedimentos, método de raíces expuestas y mediciones aerofotogramétricas.

**Tabla No. 4.1 Generalidades de los materiales piroclásticos**

Fuente: De los autores

<sup>32</sup> Los temas presentados en este apartado se desarrollan en el Capítulo II: Marco Teórico

#### **4.3 CRITERIOS QUE SE REQUIEREN ENCONTRAR EN LOS TALUDES QUE SERÁN LOS PUNTOS DE ESTUDIO PARA LLEVAR A CABO LA INVESTIGACIÓN**

Para cumplir con los objetivos planteados en este trabajo, se pretende evaluar las condiciones que tengan influencia en el deterioro de los taludes presentes en el AMSS, así como también considerar que el entorno donde se realizará la investigación sea accesible y seguro; por lo tanto, los lugares que se seleccionen deben cumplir con la mayoría de las siguientes características:

1. Constituido por materiales piroclásticos.
2. Expuesto al paso de escorrentía superficial y/o arroyos (Ríos o quebradas).
3. Expuesto a vibraciones provocadas por el paso del tráfico (adyacente a carreteras).
4. Presencia de sobrecargas (edificios, por ejemplo).
5. Recubierto por capa vegetal que proteja o en otros casos que afecte la estabilidad del mismo.
6. Localizado cercano a zonas en donde factores antrópicos hayan alterado las condiciones naturales del lugar.
7. Ubicado en una zona relativamente segura (sin problemas sociales), de manera que no hayan inconvenientes al realizar el estudio<sup>33</sup>.

---

<sup>33</sup> El cumplimiento de este numeral, dependerá de la zona en donde se implemente el monitoreo

#### **4.4 TÉCNICAS DE CUANTIFICACIÓN DE PÉRDIDAS DE SUELO QUE SE HAN IMPLEMENTADO EN PAÍSES DE LA REGIÓN CENTROAMERICANA Y QUE HAN SIDO APLICADAS EN DIVERSOS CAMPOS DE ESTUDIO**

Es importante implementar técnicas que permitan determinar de manera cuantitativa el deterioro que experimentan los taludes constituidos por los materiales objeto de estudio, de manera que pueda obtenerse información representativa que refleje la gravedad del fenómeno erosivo.

Es por ello, que se realizó una investigación de las técnicas que se están utilizando en la región centroamericana para cuantificar pérdidas de materiales. Principalmente, estas técnicas han sido aplicadas en el ámbito agropecuario, en donde los agricultores buscan de alguna manera cuantificar las pérdidas de suelos durante el invierno, para, posteriormente implementar algunas medidas de protección para sus cultivos. Sin embargo, estas técnicas pueden ofrecer alternativas para cuantificar los daños ocasionados por la erosión que se están estudiando en esta investigación.

Las técnicas investigadas se describen a continuación:

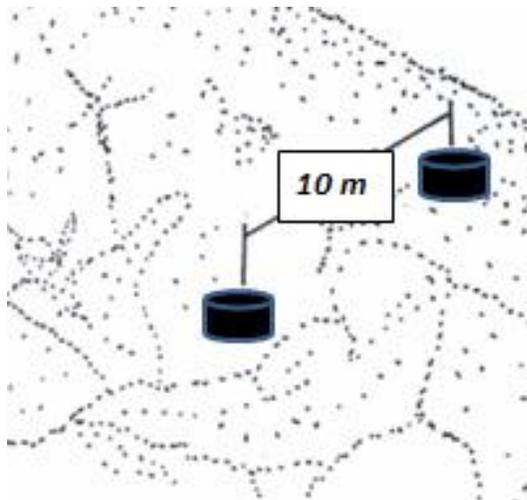
##### **4.4.1 MÉTODO DE CLAVOS Y RONDANAS (ARANDELAS)**

El método de clavos y arandelas puede considerarse uno de los más sencillos y fáciles de aplicar para cuantificar las pérdidas de suelo ocasionadas por la erosión hídrica. Su efectividad ha sido validada en la Cuenca Sur del Lago de Managua, en terrenos con diferentes grados de pendientes y con cultivos

diversos. El término rondana se toma como sinónimo de arandela, palabra más común en El Salvador. Se utilizará la primera por estar reconocida desde el origen del método.

### Metodología

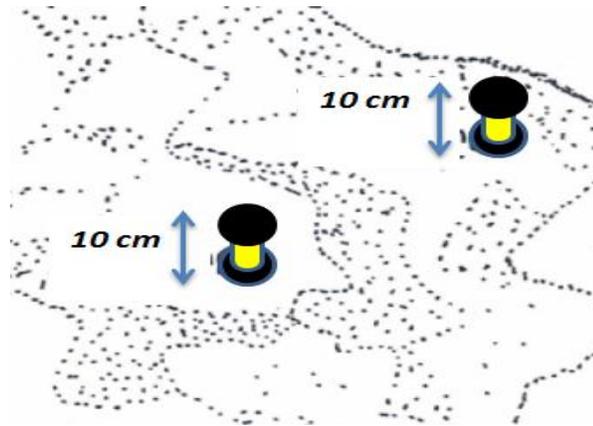
El método consiste en utilizar clavos con rondanas, colocados a lo largo de un transecto<sup>34</sup> a intervalos regulares, (**Ver figura No. 4.1**). La rondana se coloca de manera que descansa sobre la superficie del suelo, tocando ligeramente la cabeza del clavo (Colegio Postgraduados Chapingo 1982). El propósito de la arandela es marcar cortes en el terreno ocasionados por erosión y de esta forma medir el espesor de la capa de suelo perdido (**Ver figura No. 4.2**).



**Figura No. 4.1 Técnica de clavos y arandelas**

Fuente: De los autores, consultando el "*Manual de Métodos Sencillos para estimar Erosión Hídrica*". 2005. Managua, Nicaragua

<sup>34</sup> Transecto: Es un área de muestreo, normalmente lineal o alargada, elegida como base para estudiar una característica particular del suelo.



**Figura No. 4.2 Medición de erosión en el método de clavos y arandelas.**

Fuente: De los autores, consultando el "*Manual de Métodos Sencillos para estimar Erosión Hídrica*". 2005. Managua, Nicaragua

### Limitaciones del método

- I. Presenta dificultad en la colocación de las arandelas debido a la irregularidad del terreno.
- II. Muchas veces las arandelas quedan suspendidas en el aire después de las lluvias y no logran demarcar bien la pérdida de suelo.
- III. Dificultades para medir el espesor de suelo que se pierde porque en las partes superiores de las arandelas quedan residuos de sedimentos.

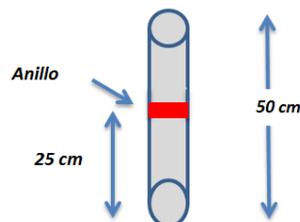
### Desventajas del método

- I. El espacio que ocupan los pines y arandelas perturba el suelo en el punto de medida, ya que acelera la erosión alrededor de estas, indicando una tasa de erosión mayor de lo que realmente es. Sin embargo, no es posible determinar la magnitud de la influencia para realizar los ajustes necesarios. (Toy, et al. 2002).
- II. La fauna a los alrededores podrían causar alteraciones.

### Método mejorado

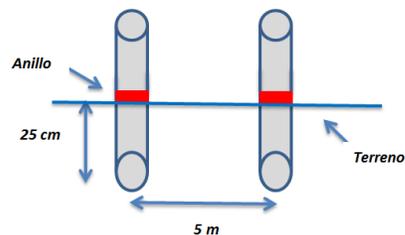
Debido a las dificultades mencionadas al método se le hicieron varias modificaciones para poder ser adaptado a las características topográficas de la región (Mendoza y Tinoco 1994).

Se utilizan varillas de acero liso de 3/8 de diámetro y 50 cm de largo, se marcan al centro (25 cm) con un anillo rojo de aproximadamente 10 mm de ancho. La varilla marcada se introduce en la tierra hasta la marca de los 25 cm., de manera que la parte inferior del anillo toque ligeramente la superficie del suelo. Se colocan a distancias de 5 metros formando un transecto (Ver **figuras No. 4.3 y No. 4.4**).



**Figura No. 4.3 Método de clavos y rondanas modificado**

Fuente: De los autores, consultando el "Manual de Métodos Sencillos para estimar Erosión Hídrica". 2005. Managua, Nicaragua



**Figura No. 4.4 Pérdida de suelo en milímetros.**

Fuente: De los autores, consultando el "Manual de Métodos Sencillos para estimar Erosión Hídrica". 2005. Managua, Nicaragua

## Materiales y costos del método mejorado

Los materiales para la aplicación del método son fáciles de adquirir y de costo módico (**Ver tabla No. 4.2**).

Material/herramienta	Descripción/cantidad
Varillas lisas de 3/8"	1 qq
Pintura	½ galón (cualquier color menos verde)
Cinta métrica	1 de 10 m.
Tabla de campo	1 con papel

**Tabla No. 4.2 Materiales necesarios para aplicar el método mejorado de clavos y arandelas.**

Fuente: "Manual de Métodos Sencillos para estimar Erosión Hídrica". 2005. Managua, Nicaragua

## Cuantificación de pérdidas

La cuantificación de los resultados se hace a través de la siguiente fórmula:

$$P = H * A * DAP$$

Dónde:

P= pérdida de suelo (*g*)

H= altura de la lámina pérdida (*cm*)

A= área medida (*cm*<sup>2</sup>)

DAP= densidad aparente ( $\frac{g}{cm^3}$ )

Para complementar el análisis de los resultados se debe tomar en cuenta los registros de las precipitaciones que se dieron en el período que duró la investigación y correlacionarla con la cantidad de suelo perdido.

## Ventajas del método

- 1) Es un método sencillo y fácil de instalar
- 2) La toma de datos es según la disponibilidad de tiempo del investigador
- 3) La toma de datos puede ser realizada por el mismo productor

- 4) Las varillas pueden instalarse en cualquier pendiente y terreno
- 5) Los materiales son reutilizables
- 6) El método puede combinarse con otros métodos con el mismo propósito

#### **Recomendaciones del método**

- 1) Las varillas se deben instalar después de las primeras labores de siembra (cuando aún no han caído las precipitaciones más fuertes).
- 2) En fincas privadas la aplicación del método requiere de recomendaciones especiales al productor:
  - a) Al momento del aporque y deshierba se debe resguardar un radio de aproximadamente 10 cm, con el fin de no dañar los clavos al realizar labores agrícolas.
  - b) La introducción de personas al área de estudio sea limitada.
  - c) Resguardar las áreas de estudio del pisoteo de animales pesados.
- 3) Se recomienda hacer las respectivas mediciones después de aguaceros fuertes, donde son más notorias las variaciones en los datos.

#### **4.4.2 MÉTODO DE TRANSECTO DE CÁRCAVAS**

##### **Metodología**

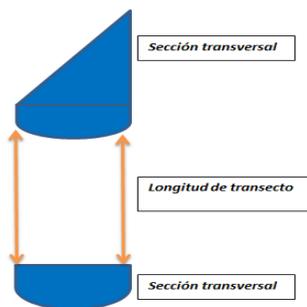
La cárcava a evaluar es medida longitudinalmente y dividida en transectos de igual dimensión. O sea un transecto es una parte de la longitud de la cárcava y posee dos secciones transversales: inicio y final (**Ver figura No. 4.5**). La

longitud de los transectos depende de la regularidad de la sección transversal, pudiendo variar de 10 a 20 metros. Es decir, si las secciones son bastante irregulares la longitud será más corta.

Los límites de cada transecto son marcados con estacas, que se disponen a una distancia de la orilla de la cárcava de 2.5 a 3 m en ambos márgenes. Esto permite mantener la marca para el mismo sitio en dos momentos diferentes del período lluvioso sin peligro de que un derrumbe las desaparezca. Una distancia mayor sería recomendable si el ancho de la cárcava es mayor de 20 m dada su mayor capacidad de causar derrumbes en los márgenes.

Un recorrido de campo en la zona permite establecer el área de aporte de escorrentía superficial a la cárcava.

Otra forma es haciendo uso de un mapa topográfico y delimitando el área considerando la topografía del terreno. Para todos los transectos, en cada límite se determina el área de su sección transversal en dos momentos durante el período lluvioso o al inicio y final del mismo.



**Figura No. 4.5 Esquema representando el transecto y las secciones transversales de una cárcava.**

Fuente: De los autores, consultando el "*Manual de Métodos Sencillos para estimar Erosión Hídrica*". 2005. Managua, Nicaragua

**Medición de la sección transversal**

Para medir la distancia de la sección transversal se puede utilizar: Cinta métrica, nylon y nivel de burbuja.

Por la facilidad de obtención de este material y manejo sencillo se explica a continuación el procedimiento de cinta y nylon:

Una cuerda lo suficientemente larga para cubrir la sección transversal más ancha de la cárcava más unos diez metros de complemento, es necesaria.

La longitud de la cuerda es dividida en segmentos de igual dimensión (d) de 0.5 m estableciendo marcas. La cuerda marcada es colocada en cada sección, tomando como puntos de referencia las estacas en ambos márgenes.

El ancho de la cárcava se obtiene de contar las veces que se observan las marcas multiplicadas por 0.5 m, más la distancia de la marcas en los extremos hacia cada margen, para lo cual se hace uso de la cinta métrica. Para medir la profundidad (h) de la cárcava, se anota la lectura observada desde cada marca en la cuerda hasta el lecho de la cárcava, midiendo con una cinta métrica.

Otra forma de medir la profundidad de la cárcava es colocando en las marcas de la cuerda, otras cuerdas que son a su vez marcadas cada 0.5 m, entonces se miden con el auxilio de estas cuerdas la distancia hacia el lecho.

### Cálculo del área de la sección transversal

Una aclaración importante es que para cada sección se debe identificar la forma de la cárcava, con el fin de seleccionar la fórmula del cálculo del área de la sección transversal. La sección transversal de cada cárcava puede tener la forma de U o de V (Ver **figuras No. 4.6 y figura No. 4.7**), respectivamente. Con la información obtenida en cada sección transversal de sus profundidades y de la distancia constante, se aplica una de las siguientes fórmulas.

#### Cálculo de área para Cárcava en forma de U:

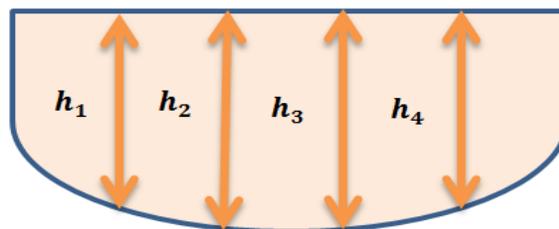
$$A = d \Sigma h_i$$

Dónde:

A: área de la sección transversal ( $m^2$ )

d: distancia constante (0.5 m)

$h_i$ : profundidad de la marca  $i$  (m)



**Figura No. 4.6 Esquema de sección transversal de una cárcava en forma de U.**

Fuente: De los autores, consultando el "Manual de Métodos Sencillos para estimar Erosión Hídrica". 2005. Managua, Nicaragua

#### Cálculo de área para Cárcava en forma de V:

$$A = d \Sigma (he/2 + \Sigma h_i + he'/2)$$

Dónde:

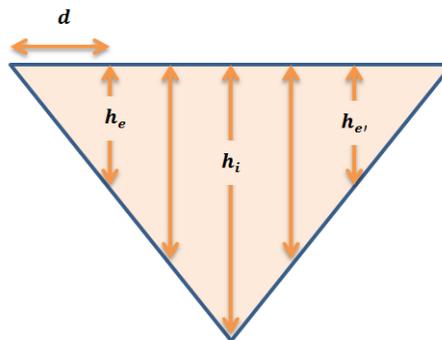
**A:** área de la sección transversal ( $m^2$ )

**d:** distancia constante (0.5 m)

**$h_e$ :** profundidad de primera marca ( $m$ )

**$h_i$ :** profundidad del resto de las marcas ( $m$ )

**$h_{e'}$ :** profundidad de la última marca ( $m$ )



**Figura No. 4.7 Esquema de sección transversal de una cárcava en forma de V.**

Fuente: De los autores, consultando el "Manual de Métodos Sencillos para estimar Erosión Hídrica". 2005. Managua, Nicaragua

### Cálculo de la pérdida de suelo

La determinación del área de la sección transversal se efectúa dos veces, durante el período de evaluación.

Una necesariamente antes del inicio de las lluvias para tener un dato del estado inicial de la cárcava. Posteriormente el segundo momento se realiza al finalizar la temporada lluviosa o según los objetivos de la medición se pueden hacer a intervalos por períodos más cortos.

Para el cálculo la pérdida de suelo, se procede primero a determinar la diferencia de área entre los dos momentos observados. Basados en los resultados obtenidos de las áreas con la fórmula utilizada.

El área de la sección puede también ser determinada a partir de graficar en papel milimetrado la figura de la sección con los datos de ancho y profundidades observados en el campo. Al unir los puntos se forma la figura de la sección transversal y el área se determina finalmente con el uso de un planímetro.

### **Cálculo del volumen de suelo perdido**

El volumen de suelo perdido ( $V_{sp}$ ) se obtiene de multiplicar el valor de la diferencia de área ( $A_d$ ) de la sección transversal por la longitud del transecto ( $L_t$ ).

$$V_{sp} = A_d * L_t$$

Un valor de suelo perdido medio se obtiene de sumar los resultados de cada transecto de suelo perdido y dividido entre el número de transectos sumados ( $N_t$ ).

$$V_{sm} = \Sigma V_{sp} / N_t$$

El valor del suelo perdido medio se divide entre los metros de la longitud del transecto y se puede expresar la pérdida de suelo en volumen de suelo perdido por metro lineal de cárcava ( $m^3/m$ ).

### **Ventajas del método**

1. Este método es aplicable por un equipo de 3 personas.

2. Aproximadamente se pueden cubrir en un terreno con poca vegetación o consistente de arbustos y pastizales de 200 a 250 metros lineales por día.
3. Los medios para realizar la actividad tanto de campo (estacas, cinta métrica y cuerda) y de gabinete (calculadora), son sencillos y de bajo costo.
4. El procedimiento matemático es simple y las fórmulas sencillas.

### **Recomendaciones**

El manejar la cuerda principal con cuerdas en cada marca hace un poco atrasado el proceso de traslado en el campo y enrollar y desenrollar en cada sección transversal.

Los puntos de referencias deben de estar muy bien ubicados para poder identificarlos fácilmente después de algunos meses de lluvia y a una distancia de la cárcava que evite su pérdida por arrastre.

Se debe de manejar un cuaderno de notas muy ordenado y efectuar los cálculos de las áreas de las secciones inmediatamente después de cada etapa de campo a fin de evitar confusiones de los datos o pérdida.

Es necesario elaborar un esquema gráfico de la cárcava y de la ubicación de cada transecto, numerándolos para evitar comparar áreas inicial y final de distintos transectos.

Cuando se utiliza la representación gráfica de la sección transversal de la cárcava, conviene asumir una orientación de la cárcava, utilizando los puntos cardinales a fin de evitar tener gráficas invertidas en la orientación, dando la imagen de que en una parte del perímetro de la cárcava se erosionó y en otra parte se depositó sedimentos.

### **Limitaciones**

Para este tipo de método las limitaciones tienen que ver con el nivel de escolaridad del que ejecuta las lecturas, y de poder tener acceso a un calculador de bolsillo.

### **4.4.3 MÉTODO DE TRAMPAS Y SEDIMENTOS**

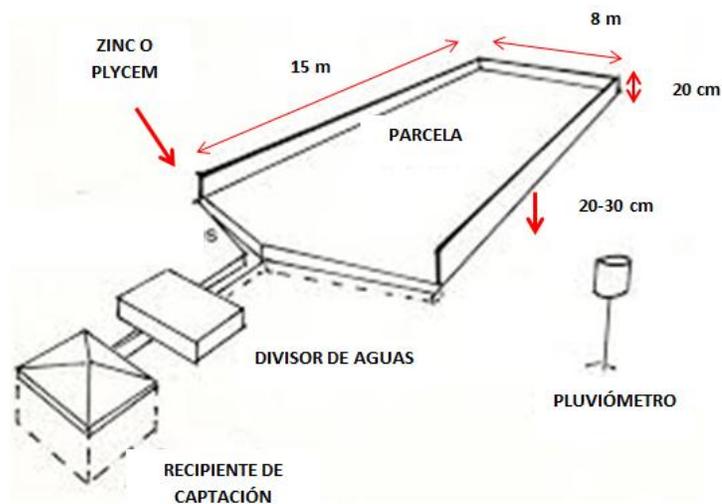
#### **Metodología**

Este método tiene la finalidad de captar los sedimentos provenientes de la escorrentía. Para ello se establecen parcelas con bordes que limiten los escurrimientos y se colocan estructuras en los puntos de descarga del área de la parcela.

#### **Componentes:**

La parcela a considerar está compuesta de un área de escurrimiento con bordes definidos y un recipiente de captación. Los bordes que dividen las parcelas pueden ser de lámina de plicem o de zinc, enterrados 20 a 30 cm y con una altura libre de 20 cm sobre el suelo. El recipiente puede ser un medio

barril o cualquier tanque que se adapte al tamaño necesario para captar el sedimento proveniente de la parcela. Las dimensiones de la parcela pueden variar pero se han utilizado parcelas de 8m de ancho por 15 m de largo (Ver **figura No. 4.8**) (Vallejos C. y Velásquez J. 1998).



**Figura No. 4.8 Parcela de medición para aplicar el método de trampas y sedimentos**  
Fuente: De los autores

### Procedimiento:

Se realiza el monitoreo de los sedimentos interceptados y almacenados en los tanques, se recomienda hacerlo periódicamente y en dependencia de la frecuencia e intensidad de eventos de lluvia. Puede ser semanal, cada 2 semanas o una vez al mes.

Los sedimentos son pesados en el campo, esto es el peso de campo húmedo. Luego se toman muestras (1 kg de suelo) por tratamiento para llevar al laboratorio y determinar peso de suelo seco y peso húmedo por muestra. La relación para obtener el peso del suelo seco en las parcelas es la siguiente:

$$\frac{PS1}{PH1} = \frac{PS2}{PH2}$$

Dónde:

PS1 = Peso del suelo seco determinado en el Laboratorio

PS2 = Peso de suelo seco de campo

PH1 = Peso de suelo húmedo determinado en el Laboratorio

PH2 = Peso de suelo húmedo de campo

### **Ventajas y recomendaciones**

- ✓ No se captan grandes volúmenes de escorrentía, solamente los sedimentos son atrapados en los recipientes de captación.
- ✓ Los cálculos para obtener la pérdida de suelos son bastantes sencillos.

### **Limitaciones**

- ✓ Su construcción implica gastos en los materiales e instalación de las mismas.
- ✓ Esta actividad debe supervisarse de cerca para garantizar resultados fidedignos.

A continuación se presenta un cuadro comparativo de las técnicas de cuantificación de erosión antes descritas, de manera que se pueda determinar las ventajas y desventajas de cada técnica, y las condiciones en que se pueden aplicar (Ver **tabla No. 4.3**).

MÉTODO	CARACTERÍSTICAS	VENTAJAS COMPARATIVAS
<b>CLAVOS Y RONDANAS (ARANDELAS)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Varillas enterradas en la superficie para medir la lámina de suelo erosionada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Es sencillo, fácil de instalar y de registrar datos.</li> <li>✓ Las varillas pueden instalarse en terrenos aproximadamente planos y en terrenos con pendientes fuertes.</li> <li>✓ Los materiales que se utilizan pueden ser reutilizables.</li> </ul>
<b>TRANSECTO DE CÁRCAVAS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Se mide la longitud de la cárcava y se divide en transectos de igual dimensión.</li> <li>✓ La sección transversal es estimada de acuerdo a la forma de la cárcava: U o V.</li> <li>✓ La medición se realiza en dos momentos, antes y al final del período lluvioso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Los materiales que se utilizan son sencillos y de bajo costo.</li> <li>✓ El cálculo y ecuaciones utilizadas son sencillas.</li> </ul>
<b>TRAMPAS Y SEDIMENTOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Se utilizan pequeñas estructuras para captar los sedimentos.</li> <li>✓ Las parcelas se delimitan por barreras físicas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Los sedimentos recolectados se comparan con la frecuencia de la lluvia.</li> </ul>

**Tabla No. 4.3 Tabla comparativa de las técnicas de cuantificación de pérdidas por erosión.**

Fuente: De los autores, consultando el "*Manual de Métodos Sencillos para estimar Erosión Hídrica*". 2005. Managua, Nicaragua

## 4.5 SELECCIÓN PRELIMINAR DE PUNTOS DE INVESTIGACIÓN

Se buscaron taludes que estuvieran constituidos por materiales piroclásticos., llevando a cabo una inspección visual y manual. Al mismo tiempo, se buscaron taludes que presentaran las condiciones y parámetros descritos en el apartado **4.3 de este capítulo**, de los cuales se espera que cumplan uno o más parámetros para decidir si podrían ser tomados en cuenta para esta investigación.

A continuación se hará una descripción de los puntos que fueron preseleccionados para cuantificar el deterioro en taludes:

(Ver desde **tabla No. 4.4 a la tabla No. 4.14**).

**PUNTO NO. 1 TALUD VILLA GALICIA**



**Figura No. 4.9 Estratigrafía del talud Galicia**

Fuente: De los autores.

Fotografía tomada el 01/10/2015

**Ubicación:** Autopista Este-Oeste (Carretera de Oro), frente a Villa Galicia, Municipio de Ilopango, San Salvador (Ver **figura No. 4.10**)

**Coordenadas:** X= 89°5'32.76" (longitud) Y= 13°43' 11.80" (latitud)



**Figura No. 4.10 Localización de Talud Galicia**

Fuente: Google Earth

**Criterios que cumple:**

- Materiales piroclásticos: TBJ: Unidad F (Ver **figura No. 4.9**)
- Pendiente: la pendiente es casi vertical, aproximadamente de 90°.
- Vegetación: presencia de abundante vegetación en la cresta
- Río o quebrada con influencia: Quebrada Las Pavas.
- Deterioro: Tiene la característica de estar sujeto al flujo frontal del agua que pasa por la quebrada, ya que prácticamente forma una pantalla que cambia la dirección del flujo del agua. Además, se observó la presencia del desprendimiento en la parte media del talud, a causa de la erosión lateral y vertical (Ver **figura No. 4.9**)
- Se encuentra ubicado en una zona de fácil acceso para realizar el monitoreo.

**Tabla No. 4.4 Información del Talud Villa Galicia**

Fuente: De los autores

### PUNTO NO. 2 TALUD PLAZA MÉXICO



**Figura No. 4.11 Talud ubicado Frente a Plaza México**  
 Fotografía tomada el 07/05/2015  
 Fuente: De los autores

**Ubicación:** Frente a Plaza México, intersección entre Calle Los Sisimiles y 33 Avenida Norte, San Salvador (Ver **figura No. 4.12**).

**Coordenadas:** X= 89°12'30.40" (Longitud) Y= 13°42'22.08" (Latitud)



**Figura No. 4.12 Localización de Talud Galicia**  
 Fuente: Google Earth

#### Crterios que cumple:

- Materiales piroclásticos: Unidad no identificada
- Pendiente: la pendiente es casi vertical, aproximadamente de 90°
- Vegetación: Se encuentra recubierto por una capa vegetal, producto de la cual se logra observar importante presencia de raíces, tanto en la corona como en el cuerpo del talud.
- Deterioro: Se visualizan zonas del talud donde hay presencia de desprendimientos de material, (probablemente causada por las raíces) (Ver **figura No. 4.11**). Se observa que está experimentando erosión laminar.
- Factores antrópicos: Se encuentra expuesto a vibraciones por el tráfico vehicular, debido a que la Plaza México es un redondel muy transitado. Además, está soportando la sobrecarga de un parqueo de vehículos en la cresta.
- Se encuentra ubicado en una zona de fácil acceso para realizar el monitoreo.

**Tabla No. 4.5 Información del Talud Plaza México**  
 Fuente: De los autores

**PUNTO NO. 3 TALUD URBANIZACIÓN CUMBRES DE CUSCATLÁN**



A)



B)

**Figura No. 4.13 Talud ubicado en colonia Cumbres de Cuscatlán**  
Fotografías tomadas el 07/05/2015  
Fuente: De los autores

**Ubicación:** Urbanización Cumbres de Cuscatlán, IV etapa, Calle Conchagua, Senda Jocoaitique, Antiguo Cuscatlán, San Salvador. (Ver **figura No. 4.14**).

**Coordenadas:** X= 89°14'50.55" (Longitud) Y= 13°39'47.71" (Latitud)



**Figura No. 4.14 Localización de Cumbres de Cuscatlán**  
Fuente: Google Earth

**Criterios que cumple:**

- Materiales piroclásticos: Unidad no identificada
- Pendiente: la pendiente es casi vertical, aproximadamente de 90°
- Vegetación: se encuentra recubierto por una capa vegetal (Ver **figura No. 4.13 A**), producto de la cual se logra observar importante presencia de raíces, tanto en la corona como en el cuerpo del talud.
- Deterioro: se observa desprendimiento del material que constituye el talud, a consecuencia de la infiltración del agua lluvia. Debido a que el drenaje (canaleta ubicada en la corona), no tiene la capacidad hidráulica suficiente, lo que genera que el agua corra por el cuerpo del talud y se presente erosión de tipo laminar (Ve **figura No. 4.13 B**).
- Se encuentra ubicado en una zona de fácil acceso para realizar el monitoreo.

**Tabla No. 4.6 Información del Talud Cumbres de Cuscatlán**

Fuente: De los autores

PUNTO NO. 4 TALUD HUIZÚCAR	
 <p data-bbox="296 784 615 846">Parcialmente recubierto por capa vegetal</p> <p data-bbox="541 870 569 894">A)</p>  <p data-bbox="541 1222 569 1247">B)</p> <p data-bbox="226 1247 884 1328">Figura No. 4.15 Talud ubicado en carretera hacia Huizúcar Fotografías tomadas el 07/05/2015 Fuente: De los autores</p>	<p data-bbox="951 399 1772 423"><b>Ubicación:</b> Carretera a Huizúcar, Km 10, San Salvador (Ver figura No. 4.16)</p> <p data-bbox="951 428 1656 453"><b>Coordenadas:</b> X= 89°14'2.20" (Longitud) Y=13°38'36.32" (Latitud)</p>  <p data-bbox="1108 735 1640 784">Figura No. 4.16 Localización de Talud Huizúcar Fuente: Google Earth</p> <p data-bbox="951 792 1199 816"><b>Criterios que cumple:</b></p> <ul data-bbox="999 821 1801 1360" style="list-style-type: none"> <li>➤ Materiales piroclásticos: Unidad no identificada. Sin embargo, lo componen dos formaciones: la formación San Salvador, producto de la erupción de la Caldera de Ilopango (superior), y otra formación no identificada. Localizado a aprox. 20 km de la Caldera de Ilopango, se puede observar la disminución del espesor de la formación San Salvador (Ver figura No. 4.15 B).</li> <li>➤ Pendiente: la pendiente es casi vertical, aproximadamente de 90°</li> <li>➤ Vegetación: se encuentra parcialmente recubierto por una capa vegetal, producto de la cual se logra observar importante presencia de raíces, tanto en la corona como en el cuerpo del talud (Ver figura No. 4.15 A y B).</li> <li>➤ Deterioro: son visibles algunos desprendimientos de materiales.</li> <li>➤ Factores antrópicos: expuesto a vibraciones por el tráfico vehicular, debido a que se encuentra al paso de la carretera hacia Huizúcar,</li> <li>➤ Además se puede determinar que presenta erosión laminar.</li> <li>➤ Otros: se observa una capa superficial en el cuerpo del talud (costra), la cual podría considerarse que protege al talud de la infiltración hídrica.</li> <li>➤ Se encuentra ubicado en una zona de fácil acceso para realizar el monitoreo.</li> </ul>

Tabla No. 4.7 Información del Talud Huizúcar

Fuente: De los autores

### PUNTO NO. 5 TALUD UES



A)



B)

**Figura No. 4.17 Estratigrafía del talud UES**

Fuente: De los autores.  
Fotografía tomada el 07/05/2015

**Ubicación:** Ciudad Universitaria, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, costado norte de la Escuela de Ingeniería Civil. (Ver **figura No. 4.18**).

**Coordenadas:** X= 89°2'3.65"(Longitud) Y=13°43'15.62"(Latitud)



**Figura No. 4.18 Localización de Talud UES**

Fuente: Google Earth

#### Crterios que cumple:

- Materiales piroclásticos: TBJ: Unidad F, G y una capa orgánica (Ver **figura No. 4.17 A**)
- Pendiente: la pendiente es casi vertical, aproximadamente unos 80°
- Vegetación: se encuentra recubierto por una capa vegetal, producto de la cual se logra observar importante presencia de raíces, tanto en la corona como en el cuerpo del talud (Ver **figura No. 4.17 B**).
- Deterioro: se encuentra expuesto a erosión laminar.
- Factores antrópicos: soporta la sobrecarga que ejerce el edificio de dos niveles de la Escuela de Ingeniería Civil y es afectado por el flujo de agua condensada que emanan los dispositivos de aires acondicionados que hay en el edificio (Ver **figura No. 4.17 B**).
- Se encuentra ubicado en una zona de fácil acceso para realizar el monitoreo, y por estar ubicado en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, presenta la factibilidad de utilizar equipo de topografía con la finalidad de general un perfil con datos mucho más exactos de las condiciones iniciales del talud.

**Tabla No. 4.8 Información del Talud UES**

Fuente: De los autores

### PUNTO NO. 6 ARRUPE I



A)



B)

Figura No. 4.19 Estratigrafía del Talud Arrupe I

Fuente: De los autores.

Fotografía tomada el 09/07/2015

**Ubicación:** Km 21, Autopista Este-Oeste (Carretera de Oro), en las cercanías del Colegio Español Padre Arrupe, en Soyapango, San Salvador, El Salvador (Ver figura No. 4.20).

**Coordenadas:** X= 89° 9'34.29" (Longitud) Y= 13°43'5.28" (Latitud)

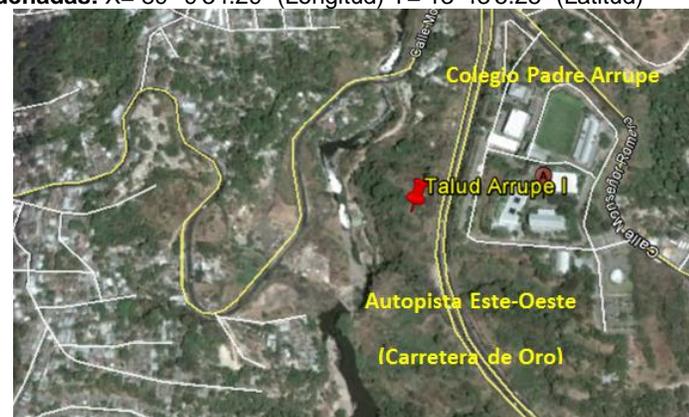


Figura No. 4.20 Localización de Talud Arrupe I

Fuente: Google Earth

#### Criterios que cumple:

- Materiales piroclásticos: TBJ: Unidad D, E, F y G, (Ver figura No. 4.19 A y B)
- Pendiente: la pendiente es casi vertical, aproximadamente de 80°-90°.
- Vegetación: se encuentra recubierto por una capa vegetal, la cual no es espesa y no lo recubre en su totalidad (Ver figura No. 4.19 B)
- Deterioro: se observa que el talud se encuentra expuesto a erosión laminar.
- Se encuentra ubicado en una zona de fácil acceso para realizar el monitoreo.

Tabla No. 4.9 Información del Talud Arrupe I

Fuente: De los autores

### PUNTO NO. 7 TALUD ARRUPE II



A)



B)

**Figura No. 4.21 Estratigrafía del Talud Arrupe II**  
Fuente: De los autores.  
Fotografía tomada el 16/10/2015

**Ubicación:** Km 19, Autopista Este-Oeste (Carretera de Oro), en las cercanías del Colegio Español Padre Arrupe, en Soyapango, San Salvador, El Salvador (Ver **figura No. 4.22**).

**Coordenadas:** X= 89° 9'37.80" (Longitud) Y= 13°44'1.70" (Latitud)



**Figura No. 4.22 Localización de Talud Arrupe II**

Fuente: Google Earth

#### Crterios que cumple:

- Materiales piroclásticos: Cuatro estratos (aún sin identificar) (Ver **figura No. 4.21 A**), los cuales se observan en estado muy consolidado (Ver **figura No. 4.21 B**).
- Pendiente: la pendiente es muy vertical, aproximadamente 80°-85°
- Vegetación: se encuentra recubierto por una capa vegetal en la cresta. Sin embargo, el cuerpo del talud se encuentra directamente expuesto a las lluvias (Ver **figura No. 4.21 B**)
- Deterioro: se encuentra expuesto a la erosión laminar. Además, se puede observar algunas fallas geológicas.
- Factores antrópicos: expuesto a vibraciones provocadas por el tráfico vehicular que transita la Carretera de Oro.
- Se encuentra ubicado en una zona de fácil acceso para realizar el monitoreo.

**Tabla No. 4.10 Información del Talud Arrupe II**

Fuente: De los autores

### PUNTO NO. 8 TALUD CIPRESES I



A)



B)

**Figura No. 4.23 Estratigrafía del Talud Cipreses I**  
**Fuente: De los autores.**  
**Fotografía tomada el 16/10/2015**

**Ubicación:** Frente al Parque Memorial Los Cipreses, Km. 11, sobre Autopista Este-Oeste, a 100 m del costado Nor- Oriente del Aeropuerto de Ilopango, San Salvador, El Salvador (Ver **figura No. 4.24**).

**Coordenadas:** X= (longitud)= 89°07'14.45" Y= (latitud)= 13°42'28.80"



**Figura No. 4.24 Localización de Talud Cipreses I**  
**Fuente: Google Earth**

#### Crterios que cumple:

- Materiales piroclásticos: TBJ: Unidad D, Ignimbrita  $\alpha$  y un depósito aluvial (Ver **figura No. 4.23 A**).
- Pendiente: la pendiente es casi vertical, aproximadamente 90°. Y la cresta presenta características topográficas regulares (aproximadamente plana). (Ver **figura No. 4.23 B**)
- Vegetación: La cabecera (cresta) se encuentra recubierta por una capa vegetal (Ver **figura No. 4.23 B**).
- Río o quebrada con influencia: Quebrada Arenal de San Bartolo. (Ver **figura No. 4.23 A**).



**Figura No. 4.25 Muro gavión construido frente al talud Cipreses I**

**Fuente: De los autores.**

**Fotografía tomada el 28/08/2015**



**Figura No. 4.26 Deterioro de muro gavión construido frente al talud Cipreses I**

**Fuente: De los autores.**

**Fotografía tomada el 28/08/2015**

- Deterioro: se puede observar que el talud ha sufrido deterioro por efectos erosivos. Debido a la quebrada a la que se encuentra contiguo, se ve afectado por erosión lateral y vertical.
- Factores antrópicos: frente al talud se han construido muros gavión, con la finalidad de frenar en alguna medida la erosión que se ha estado experimentando (Ver **figura No. 4.25**).
- Se encuentra ubicado en una zona de fácil acceso para realizar el monitoreo.

El punto Cipreses I, presenta vulnerabilidad ante la erosión lateral y azolvamiento, ya que se encuentra en la desembocadura del Arenal de San Bartolo hacia el río Las Cañas, presentando evidente deterioro. Como consecuencia del caudal y el régimen crítico del mismo que está afectando a este punto, se puede observar el deterioro de los muros gaviones que han sido construidos como obras de protección para evitar que el daño de los taludes del Cementerio Los Cipreses siga avanzando (Ver **figura No. 4.25** y **figura No. 4.26**).

**Tabla No. 4.11 Información del Talud Cipreses I**

**Fuente: De los autores**

### PUNTO NO. 9 TALUD CIPRESES II



**Figura No. 4.27 Estratigrafía del Talud Cipreses II**  
 Fuente: De los autores.  
 Fotografía tomada el 01/10/2015

**Ubicación:** Parque Memorial Los Cipreses, Km. 17 ½ Autopista Este-Oeste (Carretera de Oro). Se encuentra a unos 50 m del punto Cipreses I. (Ver **figura No. 4.28**).

**Coordenadas:** X= (longitud)= 89°7'16.60" Y= (latitud)= 13°42'23.05"



**Figura No. 4.28 Localización de Talud Cipreses II**  
 Fuente: Google Earth

#### Crterios que cumple:

- Materiales piroclásticos: TBJ: Ignimbrita  $\alpha$  inferior y superior y un depósito aluvial. (Ver **figura No. 4.27**).
- Pendiente: la pendiente es casi vertical, aproximadamente 90°. Y la cresta presenta características topográficas regulares (aproximadamente planas).
- Vegetación: La cabecera (cresta) se encuentra recubierta por una capa vegetal. (Ver **figura No. 4.27**).
- Río o quebrada con influencia: Quebrada Arenal de San Bartolo.
- Deterioro: debido a la quebrada a la que se encuentra contiguo, se ve afectado por erosión lateral y vertical.



**Figura No. 4.29 Deterioro de muro gavi3n en talud Cipreses II**  
**Fuente: De los autores.**  
**Fotograf3a tomada el 23/10/2015**



**Figura No. 4.30 Deterioro de muro gavi3n en talud Cipreses II**  
**Fuente: De los autores.**  
**Fotograf3a tomada el 23/10/2015**

- Factores antr3picos: Lateralmente al pie del talud, ha sido construido un muro gavi3n para detener o minimizar el da3o causado por los efectos erosivos sobre el mismo. (Ver **figura No. 4.29**).
- Se encuentra ubicado en una zona de f3cil acceso para realizar el monitoreo.
- Un evento que es interesante mencionar, es que debido a la erosi3n al pie del talud, colaps3 el muro gavi3n que hab3a sido construido precisamente con la finalidad de proteger al talud de la erosi3n causada por el paso de la quebrada (Ver **figura No. 4.29 y No. 4.30**).

**Tabla No. 4.12 Informaci3n del Talud Cipreses II**  
**Fuente: De los autores**

### PUNTO NO. 10 ZONA FRANCA I



**Figura No. 4.31 Estratigrafía del Talud ZF-I**  
**Fuente: De los autores.**  
**Fotografía tomada el 01/10/2015**

**Ubicación:** Zona Franca de San Bartolo, al costado Sur-Oriente del Aeropuerto de Ilopango, San Salvador. (Ver **figura No. 4.32**).

**Coordenadas:** X= 89°100'49.34" (Longitud) Y=13°42'5.49" (Latitud)



**Figura No. 4.32 Localización de Talud ZF-I**  
**Fuente: Google Earth**

#### **Criterios que cumple:**

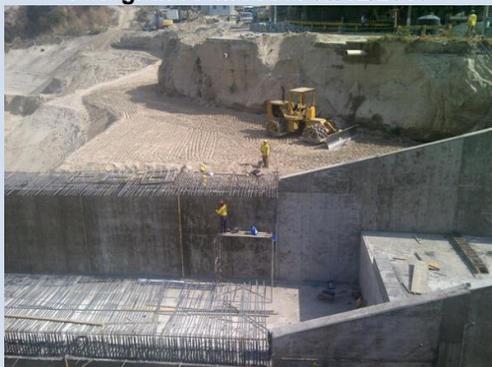
- Materiales piroclásticos: TBJ: Unidad F y un depósito aluvial (Ver **figura No. 4.31**).
- Pendiente: la pendiente es casi vertical, aproximadamente 90°. Y la cresta presenta características topográficas regulares (aproximadamente planas).
- Vegetación: La cabecera (cresta) se encuentra recubierta por una capa vegetal (Ver **figura No. 4.33**).
- Río o quebrada con influencia: Quebrada Arenal Seco.
- Deterioro: debido a la quebrada a la que se encuentra contiguo, se ve afectado por erosión lateral y vertical.
- Factores antrópicos: se encuentra muy cercano a la construcción de una obra de protección para frenar o minimizar el deterioro de los taludes que se encuentran cercanos. (Ver **figura No. 4.33**).



**Figura No. 4.33 Estratigrafía del Talud ZF-I**

Fuente: De los autores.

Fotografía tomada el 03/12/2015



**Figura No. 4.34 Construcción de obras de protección en Zona Franca de San Bartolo**

Fuente: @gersonmop

Fotografía tomada el 03/04/2013

- Se encuentra dentro de la Zona Franca (zona industrial), por lo tanto, sería factible acceder para efectuar el monitoreo.

Entre algunos de los antecedentes que se pueden mencionar, se tiene el colapso del puente Avenida Chaparrastique, en la Zona Franca sobre Arenal Seco, debido a las lluvias en el año 2012, ya que desde varios años atrás, el puente ya había presentado problemas en las bases en que fue cimentado (Tierra Blanca Joven). Las TBJ presentan erodabilidad<sup>35</sup> ante la velocidad que pueden alcanzar los caudales de los ríos o quebradas durante las intensas y prolongadas lluvias durante el invierno, lo que provocó que las obras de descarga y las gradas disipadoras que estaban construidas colapsaran inevitablemente.

Es imprescindible mencionar que, cada vez que un fenómeno natural afectaba el país (Tormenta Ida 2009, Depresión Tropical 12-E, 2011), ya se habían realizado obras de dragado del río, se habían emprendido proyectos de estabilización de taludes en la zona y canalización de aguas; sin embargo, para el año 2012, ya no se pudo postergar el colapso del puente<sup>36</sup>. A raíz de este problema, se realizaron inspecciones a la zona y se determinó la necesidad de la construcción de obras de contingencia para evitar más daños (Ver **figura No. 4.34**).

**Tabla No. 4.13 Información del Talud Zona Franca I**

Fuente: De los autores

<sup>35</sup> Erodabilidad: Vulnerabilidad que presenta un tipo de suelo a ser erosionado y depende de sus propiedades intrínsecas.

<sup>36</sup> Fuente: www.mop.gob.sv

### PUNTO NO. 11 ZONA FRANCA II

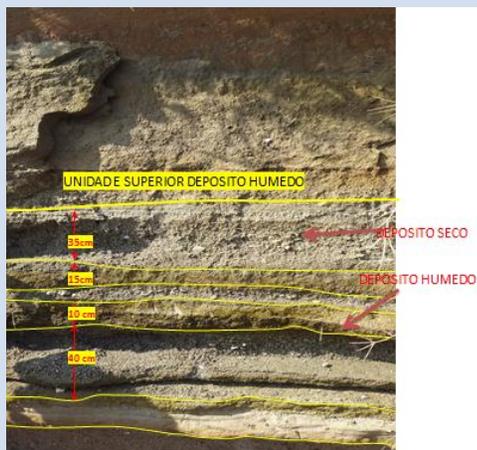


Figura No. 4.35 Unidades estratigráficas de la TBJ presentes en el talud ZF-II

Fuente: De los autores.

Fotografía tomada el 01/10/2015



Figura No. 4.36 Talud ubicado en autopista Este-Oeste (Carretera de Oro)

Fotografía tomada el 08/05/2015

Fuente: De los autores

**Ubicación:** Zona Franca de San Bartolo, al costado Sur-Oriente del Aeropuerto de Ilopango, San Salvador. (Ver figura No. 4.37).

**Coordenadas:** X= 89°6'51.30" (Longitud) Y= 13°42'7.11" (Latitud)



Figura No. 4.37 Localización de Talud ZF-II

Fuente: Google Earth

#### Criterios que cumple:

- Materiales piroclásticos: TBJ: estratos húmedos y secos de la Unidad E y un estrato más profundo constituido por Ignimbritas  $\alpha$  (Ver figura No. 4.35)
- Pendiente: la pendiente es casi vertical, aproximadamente 90°. Y la cresta presenta características topográficas regulares (aproximadamente planas).
- Vegetación: La cabecera (cresta) se encuentra recubierta por una capa vegetal, la cual es muy escasa y solamente se encuentra en algunos sectores (Ver figura No. 4.36).
- Río o quebrada con influencia: Quebrada Arenal Seco.



**Figura No. 4.38 Vista del punto de monitoreo ZF-II**

Fuente: De los autores.

Fotografía tomada el 22/09/2015



**Figura No. 4.39 Sección 1-1 del talud ZF-II**

Fuente: De los autores.

Fotografía tomada el 28/08/2015

- Deterioro: debido a la quebrada a la que se encuentra contiguo, se ve afectado por erosión lateral y vertical, se puede observar que han ocurrido desprendimientos de material, producido por las crecidas del cauce durante la ocurrencia de lluvias. Al mismo tiempo, se puede observar un ensanchamiento de la sección (Ver **figura No. 4.36**).
- Se encuentra dentro de la Zona Franca (zona industrial), por lo tanto, sería posible acceder para efectuar el monitoreo.

Además, se esperaría que en este lugar se experimenten cambios muy importantes, por las condiciones a las que está expuesto, por esta razón, se consideró, que de ser elegido como punto de monitoreo, sería necesario seleccionar dos secciones del cauce del río (Ver **figura No. 4.38** y **figura No. 4.39**) para efectuar el monitoreo del deterioro, de manera que se puedan obtener registros que sean representativos con respecto a la erosión lateral y vertical que van experimentando las secciones en el transcurso de la época lluviosa del año 2015.

**Tabla No. 4.14 Información del Talud Zona Franca II**

Fuente: De los autores

En base a los puntos que se seleccionaron de manera preliminar y a las características que se pudieron observar en estos, se pudo determinar que todos presentaban dos o más de los factores/criterios definidos en el **apartado 4.3** de este capítulo.

Para seleccionar los puntos definitivos en donde se efectuará el monitoreo, los factores que cada uno de los taludes preseleccionados cumplieron, se pueden resumir en la siguiente tabla (Ver **tabla No. 4.15**).

TALUD	CRITERIOS QUE CUMPLE	Nº DE CRITERIOS QUE CUMPLE	TALUD	CRITERIOS QUE CUMPLE	Nº DE CRITERIOS QUE CUMPLE
Villa Galicia	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Materiales piroclásticos</li> <li>2. Expuesto al paso de escorrentía</li> <li>3. Erosión lateral y vertical</li> <li>4. Vegetación</li> <li>5. Zona accesible y segura</li> </ol>	5	Padre Arrupe II	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Materiales piroclásticos</li> <li>2. Erosión laminar</li> <li>3. Expuesto a vibraciones por tráfico</li> <li>4. Vegetación</li> <li>5. Zona accesible y segura</li> </ol>	5
Plaza México	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Materiales piroclásticos</li> <li>2. Erosión laminar</li> <li>3. Vegetación</li> <li>4. Expuesto a vibraciones por tráfico</li> <li>5. Soporta sobrecarga</li> <li>6. Zona accesible y segura</li> </ol>	6	Cementerio Los Cipreses I	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Materiales piroclásticos</li> <li>2. Erosión lateral y vertical</li> <li>3. Expuesto al paso de escorrentía</li> <li>4. Vegetación</li> <li>5. Factores antrópicos</li> <li>6. Zona accesible y segura</li> </ol>	6
Cumbres de Cuscatlán	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Materiales piroclásticos</li> <li>2. Erosión laminar</li> <li>3. Vegetación</li> <li>4. Zona accesible y segura</li> </ol>	4	Cementerio Los Cipreses II	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Materiales piroclásticos</li> <li>2. Erosión lateral y vertical</li> <li>3. Expuesto al paso de escorrentía</li> <li>4. Vegetación</li> <li>5. Factores antrópicos</li> <li>6. Zona accesible y segura</li> </ol>	6
Huizúcar	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Materiales piroclásticos</li> <li>2. Erosión laminar</li> <li>3. Vegetación</li> <li>4. Expuesto a vibraciones por el tráfico</li> <li>5. Zona accesible y segura</li> </ol>	5	Zona Franca de San Bartolo I	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Materiales piroclásticos</li> <li>2. Erosión lateral y vertical</li> <li>3. Expuesto al paso de escorrentía</li> <li>4. Vegetación</li> <li>5. Factores antrópicos</li> <li>6. Zona accesible y segura</li> </ol>	6
UES	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Materiales piroclásticos</li> <li>2. Erosión laminar</li> <li>3. Vegetación</li> <li>4. Soporta sobrecarga</li> <li>5. Factores antrópicos</li> <li>6. Zona accesible y segura</li> </ol>	6	Zona Franca de San Bartolo II	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Materiales piroclásticos</li> <li>2. Erosión lateral y vertical</li> <li>3. Expuesto al paso de escorrentía</li> <li>4. Vegetación</li> <li>5. Zona accesible y segura</li> </ol>	5
Padre Arrupe I	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Materiales piroclásticos</li> <li>2. Erosión laminar</li> <li>3. Vegetación</li> <li>4. Zona accesible y segura</li> </ol>	4			

**Tabla No. 4.15 Criterios de selección que cumplen los taludes previamente escogidos**

Fuente: De los autores

#### 4.6 SELECCIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO

Para la selección de los puntos definitivos, se tomaron en cuenta el número de criterios que cumplía cada uno de los taludes (Ver **tabla No. 4.15**), así como también, el hecho de contar con una diversidad de condiciones de exposición y de tipos de erosión que los afectan, enfocándose en aquellos tipos de erosión que actualmente están causando daños a los taludes en nuestro medio. Todo esto para obtener información que refleje de manera representativa la tasa de erosión que presentan los taludes en el AMSS.

Otro factor importante que se tomó en cuenta, fue la cercanía entre los puntos de estudio para poder efectuar cada monitoreo en una misma jornada de trabajo.

Los taludes seleccionados fueron:

1. Talud Padre Arrupe I, identificado como “**Arrupe I**”
2. Talud Padre Arrupe II, identificado como “**Arrupe II**”
3. Talud Cementerio Los Cipreses I, identificado como “**Cipreses I**”
4. Talud Cementerio Los Cipreses II, identificado como “**Cipreses II**”
5. Talud Zona Franca de San Bartolo I, identificado como “**ZF-I**”
6. Talud Zona Franca de San Bartolo II, identificado como “**ZF-II**”
7. Talud Villa Galicia, identificado como “**Galicia**”
8. Talud UES, identificado como “**UES**”

#### **4.7 CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES INICIALES DE LOS TALUDES SELECCIONADOS**

Las condiciones iniciales de cada talud se registraron en fichas de recolección de información presentadas en la **sección 3.7 del Capítulo III**. A continuación se presenta una ficha de recolección completada con la información del talud Arrupe I (Ver **figura No. 4.40**).

**Nota:** Para ver la caracterización inicial de cada talud (Ver **Anexo No.1**).

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA



**FICHA DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DE ESTADO INICIAL DE TALUDES**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN: "DETERMINACIÓN DE LA TASA DE DETERIORO EN TALUDES CONSTITUIDOS POR MATERIALES PIROCLASTICOS EN EL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR (AMSS)"**

---

**A. GENERALIDADES**  
 NOMBRE DEL TALUD: Arrupe I FECHA: agosto de 2015  
 RESPONSABLE: Bautista Mendoza, Cruz Rivas

---

**B. LOCALIZACIÓN**  
 UBICACION: Km 21, Autopista Este-Oeste (Carretera de Oro), en las cercanías del Colegio Español Padre Arrupe, en Soyapango, San Salvador, El Salvador  
 COORDENADAS: X(LONGITUD)= 89° 9'34.29" Y(LATITUD)= 13°43'5.28"  
 DISTANCIA AL CENTRO DE EMISIÓN: Aproximadamente 12.68 Km

---

**C. CONDICIONES DEL ENTORNO Y ELEMENTOS ANTRÓPICOS**  
 EXISTENCIA DE RIOS O QUEBRADAS: SI\_\_\_ NO\_X\_\_\_  
 NOMBRE DEL RIO O QUEBRADA: Ninguna  
 EXISTENCIA DE OBRAS DE PROTECCIÓN: SI\_\_\_ NO\_X\_\_\_  
 EXISTENCIA DE CÁRCAVAS: SI\_\_\_ NO\_X\_\_\_  
 PRESENCIA DE CASAS: SI\_\_\_ NO\_X\_\_\_  
 PRESENCIA DE ZANJAS: SI\_\_\_ NO\_X\_\_\_  
 PRESENCIA DE POSTES: SI\_\_\_ NO\_X\_\_\_  
 PRESENCIA DE OTRAS ESTRUCTURAS: SI\_\_\_ NO\_X\_\_\_  
 DESCRIPCIÓN: El talud posee poca cobertura vegetal en el cuerpo y en la cresta, y esta ubicado aproximadamente a 25 m de la carretera de oro

---

**D. ESCARPE**  
 ALTURA PROMEDIO: 4.70 m  
 PENDIENTE: aproximadamente vertical (80°)

---

**E. DIMENSIONES DEL SECTOR DEL TALUD EN ESTUDIO:**  
 LONGITUD EN X: 4.50 m  
 LONGITUD EN Y: 4.70 m

---

**F. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL TALUD:**  
 EXISTENCIA DE GRIETAS: SI\_\_\_ NO\_X\_\_\_  
 COBERTURA VEGETAL: SI\_X\_\_\_ NO\_\_\_  
 UBICACIÓN DE COBERTURA VEGETAL: Escasa en el cuerpo y en la cresta  
 TIPO DE COBERTURA : PASTO [ ] MATORRAL [ ] ARBUSTO [ X ]  
 AFLORAMIENTO DE AGUAS: SI\_\_\_ NO\_X\_\_\_  
 DESCRIPCIÓN DE LA PENDIENTE DEL TALUD:  
 PLANO A LIGERAMENTE INCLINADO (0 - 2%) [ ] ONDULADO SUAVE (3-4%) [ ] ONDULADO (5-12%) [ ] ALOMADO (13-25%) [ ] QUEBRADO (26-35%) [ ] ACCIDENTADO (36-70%) [ ] MUY ACCIDENTADO (>70x) [ X ]

---

**G. MATERIALES EXISTENTES:**  
 TIPO DE MATERIALES PRESENTES: Tierra Blanca Joven (TBJ)  
 NÚMERO DE ESTRATOS VISUALMENTE IDENTIFICABLES: 4

---

**H. CARACTERÍSTICAS DE LOS ESTRATOS:**

NOMBRE	ESPESOR DEL ESTRATO(m)	COLOR	TAMAÑO DEL GRANO
Unidad G	1.55	café claro, blanco	3mm
Unidad F	1.36	café claro	3-5 mm
Unidad E (húmedo)	0.21	gris oscuro	1-3 mm
Unidad E (seco)	0.20	gris	1 mm
Unidad D	1.24	café claro	1-3mm

---

**I. OTROS:**  
 EXISTE PROBABILIDAD DE DESLIZAMIENTO O FLUJOS: SI\_X\_\_\_ NO\_\_\_  
 OBSERVACIONES: El talud está siendo monitoreado por la OPAMSS

**Figura No. 4.40 Ficha de recolección de información inicial, talud Arrupe I**  
 Fuente: De los autores

## 4.8 SELECCIÓN DE TÉCNICA DE MONITOREO

La técnica ha debido adaptarse lo más posible a las diversas características topográficas y tipo de material que presenta cada talud seleccionado; al mismo tiempo, debe ser de fácil aplicación y que implique un costo que sea accesible para cualquier persona que desee aplicarlo. Para el caso, se ha decidido tomar como base el **Método de Clavos y Arandelas** (Ver **sección 4.4.1 de este capítulo**). Este método se seleccionó debido a las ventajas que representa con respecto a las demás técnicas investigadas (Ver **tabla No.4.3**) y a la semejanza al tipo de medición que se pretende realizar en esta investigación. Además, puede ser implementado en diversos tipos de superficies haciendo sencilla la obtención de datos de pérdidas de suelo que son producto de los procesos erosivos.

Sin embargo, en este trabajo se le han realizado ciertas modificaciones al Método de Clavos y Arandelas para que sea aplicable a las condiciones que se esperan encontrar en los distintos puntos de estudio y de acuerdo a los materiales y equipo disponibles en El Salvador.

Estas modificaciones se describen a continuación:

- I. Se reemplazaron los clavos por varillas de acero corrugado de  $\varnothing = 3/8"$  .
- II. Se sustituyeron las arandelas por una marca a partir de la cual se estará monitoreando la erosión o azolvamiento, según las condiciones que presente cada punto de monitoreo.

III. La técnica se subdividió en dos:

1. **Técnica “A”**. Taludes con superficie aproximadamente plana en la cresta y expuestos a erosión lateral y vertical (Ver **figura No. 4.41**).
2. **Técnica “B”** para aplicarse a taludes con pendiente fuerte (Ver **figura No. 4.52**).

A continuación se describirá en qué consiste cada técnica, para ser aplicada en campo.

**Técnica “A” .Taludes con superficie aproximadamente plana en la cresta y expuestos a erosión lateral y vertical**



**Figura No. 4.41 Ejemplo de talud para aplicar la Técnica “A”. Talud con superficie aproximadamente plana en la cresta y expuesto a erosión lateral.**

Fuente: De los autores.  
Fotografía tomada 16/10/2015

## Pasos a seguir para la aplicación de la Técnica “A”:

### Paso No. 1: Equipo

Los materiales y herramientas necesarias para la aplicación de la Técnica “A” son las siguientes: (Ver tabla No. 4.16).

MATERIAL O HERRAMIENTA	DESCRIPCIÓN
Acero corrugado de $\varnothing = 3/8$ "	C/U de 40 cm de longitud
Spray	1 frasco de color naranja o rojo
Cinta métrica	1 de 5 m o mayor
Tabla de campo	1 con papel bond
Machete	1 para limpiar la zona donde se colocarán las varillas
Almádana de 3 libras	1 para insertar las varillas en el suelo
Hilo nylon	2 rollos para alineación de cuadrícula, medición de profundidad y de deterioro
Escalera	2 Para el acceso a las partes más altas de los taludes.
Plomadas	Para la alineación de la cuadrícula

**Tabla No. 4.16 Materiales y herramientas necesarias para aplicar la Técnica “A”**

Fuente: De los autores.

### Paso No. 2: Seleccionar el sector del talud en donde se colocará el equipo

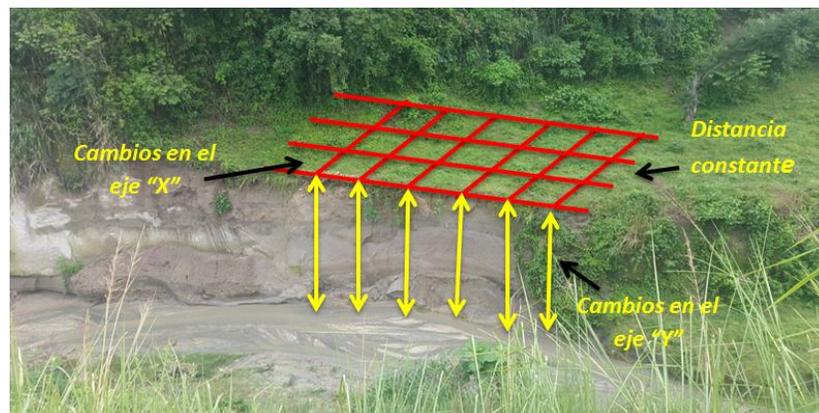
Se tomarán en cuenta ciertos aspectos:

- i. El lugar del talud en donde se observe mayor incidencia de erosión (de cualquiera de los tipos que se han mencionado anteriormente en el apartado **2.6.2 del Capítulo II**).
- ii. Las condiciones del talud tienen que permitir la instalación del equipo.
- iii. Ser de fácil acceso para llevar a cabo el monitoreo.

### Paso No. 3: Colocación de equipo

- i. Identificar puntos que puedan servir de referencia antes de realizar cualquier trazo sobre el talud.

- ii. Trazar una cuadrícula (auxiliándose de cintas y plomadas), sobre la superficie plana del talud que se desea monitorear dejando entre cada eje una distancia constante de separación (si las condiciones lo permiten), tanto en dirección longitudinal como en dirección transversal, dependiendo del área que se pretende cubrir durante el estudio (Ver **figura No. 4.42**).

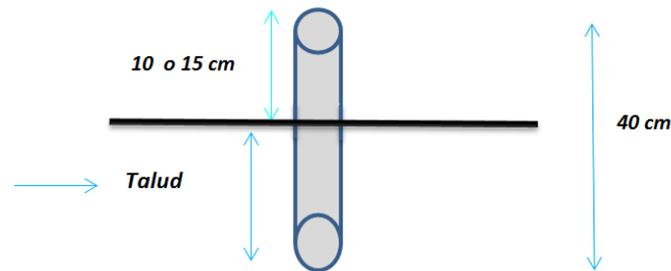


**Figura No. 4.42** Ejemplo del trazo de la cuadrícula en un talud con superficie aproximadamente plana en la cresta.

Fuente: De los autores.

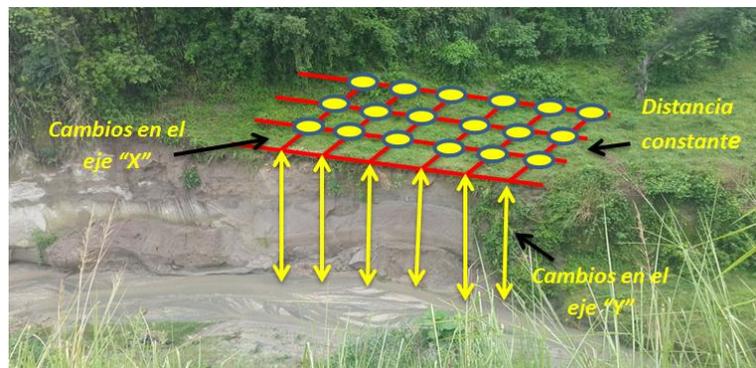
Fotografía tomada el 16/10/2015

- iii. Identificar claramente los ejes de la cuadrícula y la orientación que poseen éstos con respecto a la dirección del cauce del río o quebrada que está influyendo en el deterioro erosivo.
- iv. En cada intersección de la cuadrícula, utilizando la almádana, colocar una varilla corrugada de acero aproximadamente de 40 cm de longitud y de  $\varnothing=3/8$ " de diámetro, dejando una longitud descubierta de aproximadamente 10 o 15 cm fuera del talud. (Ver **figura No. 4.43**).



**Figura No. 4.43 Esquema de colocación de varilla para efectuar el monitoreo.**  
Fuente: De los autores.

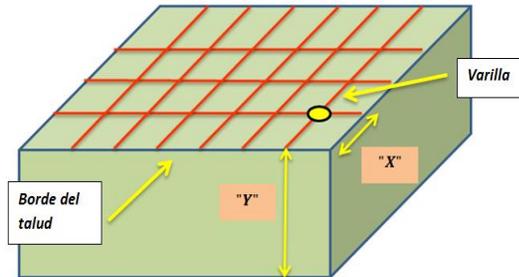
- v. Esquema del talud con el equipo colocado (Ver **figura No. 4.44**).



**Figura No. 4.44 Talud con representación de equipo colocado para monitorear pérdidas por erosión.**  
Fuente: De los autores.  
Fotografía tomada 16/10/2015

- vi. Registrar en la libreta de campo la longitud que hay entre cada varilla introducida y el borde del talud, distancia " $X$ ". Y la profundidad que existe entre cada eje desde el borde del talud hasta el lecho del río " $Y$ ". (Ver **figura No. 4.45**). Durante cada monitoreo que se realice en el período de estudio, será necesario dejar registro de la varilla más cercana al borde y de dos varillas que se encuentren detrás de ésta, con el objetivo de tener información de respaldo en caso de perder algún eje

de varillas por la ocurrencia de grandes pérdidas de materiales durante alguna precipitación intensa.



**Figura No. 4.45 Esquema representativo de distancias “X” y “Y”, para la Técnica “A”.**  
Fuente: De los autores.

- vii. Es importante que las varillas se recubran con spray de un color de fácil identificación para que sea factible su localización cada vez que se realice el monitoreo.
- viii. Para evitar que se dificulte encontrar las varillas, además de cubrirlas con spray, se deben dejar referenciadas con respecto a algún árbol, cerca o alguna roca que sea visible y que se tenga la certeza que no va a cambiar de posición.

#### **Paso No. 4: Registro de datos**

Como en este caso se estará monitoreando la **erosión lateral** y los cambios en la profundidad (ya sea por erosión o por azolvamiento: **erosión vertical**), en cada visita se medirán los cambios que ha sufrido la distancia desde el borde del talud hasta el lugar donde se ha instalado la varilla (para la erosión lateral en el eje “X”).

Es por ello que él  $\Delta_{x_i}$  *de erosión* será la diferencia entre la medición registrada en la visita previa  $X_1$  menos la que se realice en la visita posterior  $X_2$ ,

$$\Delta_{x_i} \text{ de erosión} = X_1 - X_2$$

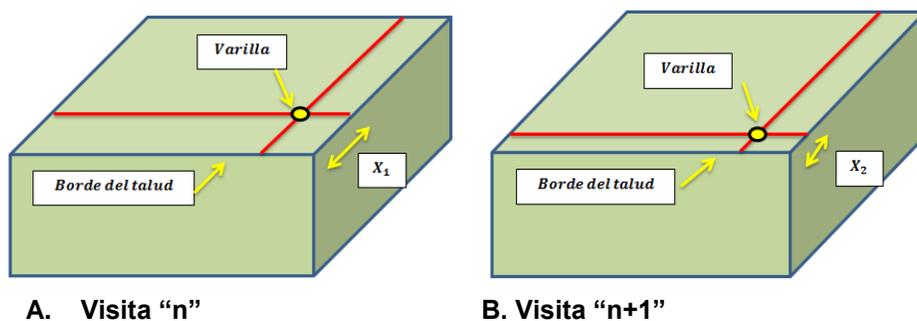
**Dónde:**

$\Delta_{x_i}$  *de erosión* = Cambio que ha ocurrido en el talud debido a la erosión en el eje X, entre dos visitas consecutivas al lugar.

$X_1$  = Distancia registrada entre el borde del talud y la varilla más próxima a éste en una visita de monitoreo.

$X_2$  = Distancia registrada entre el borde del talud y la varilla más próxima a éste en una visita de monitoreo posterior a la distancia registrada como  $X_1$ .

Para tener una mejor comprensión del registro de datos de las pérdidas de materiales, podemos auxiliarnos del siguiente esquema (Ver **figura No. 4.46**).



**A. Visita "n"**

**B. Visita "n+1"**

**Figura No. 4.46 Esquema de registro de datos, para la Técnica "A".**

Fuente: De los autores.

Para monitorear el deterioro en el eje "Y" (con respecto a los cambios en la profundidad), se medirá con una cinta métrica con la longitud suficiente para

abarcando la profundidad del talud. Estas profundidades se medirán en cada eje de la cuadrícula donde se hayan colocado las varillas.

Así:

$$\Delta_{y_i} \text{ de erosión} = Y_1 - Y_2$$

**Dónde:**

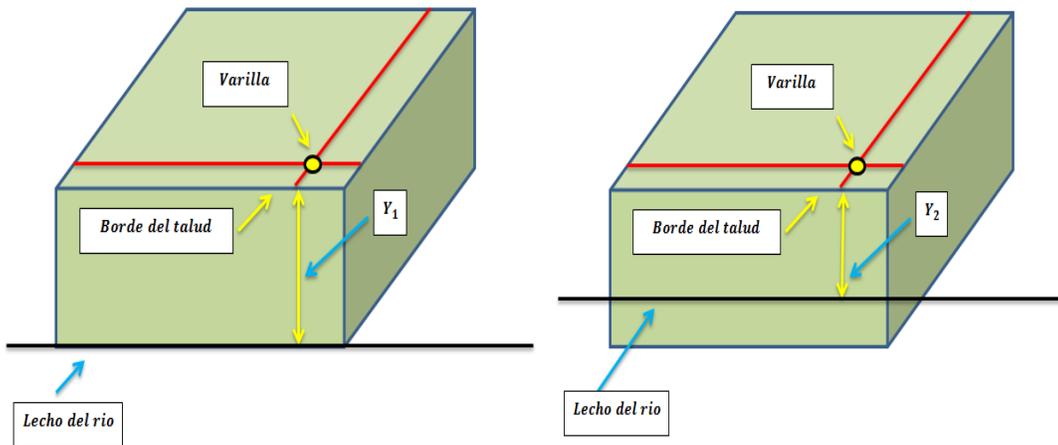
$\Delta_{y_i} \text{ de erosión}$  = Cambio que ha ocurrido en el talud debido a la erosión o azolvamiento en el eje Y, entre dos visitas consecutivas al lugar.

$Y_1$  = Profundidad registrada entre el borde del talud (en la dirección de cada eje de la cuadrícula de varillas) hasta el pie del mismo en una visita de monitoreo.

$Y_2$  = Profundidad registrada entre el borde del talud (en la dirección de cada eje de la cuadrícula de varillas) hasta el pie del mismo en una visita de monitoreo posterior a la profundidad registrada como  $Y_1$ .

**Observaciones:**

- ✓ Si el resultado obtenido al calcular el  $\Delta_{y_i} \text{ de erosión}$  tiene signo **(+)**, es decir que  $Y_1 > Y_2$ , significa que entre dos visitas consecutivas, el talud experimentó **AZOLVAMIENTO** en el eje donde se registró la profundidad inicial (Ver **figura No. 4.47**).



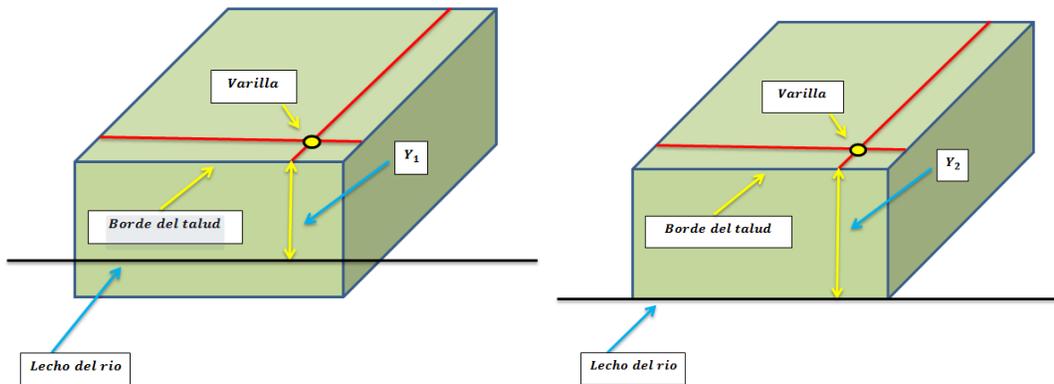
A. Visita "n"

B. Visita "n+1"

Figura No. 4.47 Esquema de registro de datos, para la Técnica "A".

Fuente: De los autores.

- ✓ Si el resultado obtenido al calcular el  $\Delta y_i$  *de erosión* tiene signo (-), es decir que  $Y_1 < Y_2$ , significa que entre dos visitas consecutivas, el talud experimentó **EROSIÓN** en el eje donde se registró la profundidad inicial (Ver figura No. 4.48).



B. Visita "n"

B. Visita "n+1"

Figura No. 4.48 Esquema de registro de datos, para la Técnica "A".

Fuente: De los autores.

- ✓ Las visitas a campo para la toma de datos se realizarán aproximadamente cada 15 días o más cercanas entre sí cuando haya

ocurrido una precipitación de considerable intensidad o duración durante este intervalo de tiempo. Ya que es preciso monitorear los cambios que ocurren cuando se presentan estos eventos naturales.

- **Variación a la Técnica “A”. Taludes con superficie aproximadamente plana en la cresta y expuestos a erosión lateral y vertical.**

Algunas veces será necesario monitorear el deterioro en la sección media del talud en estudio, ya sea porque ésta, presente notables cambios en cortos periodos de tiempo, o, porque se necesita una medición auxiliar para llevar el registro de los cambios en la erosión o azolvamiento que el talud pueda presentar.

Para la aplicación de la variación de esta técnica, se seguirán los pasos siguientes:

#### **Paso No. 1: Equipo**

Los materiales y herramientas necesarias para la aplicación de la variación de la Técnica “A” son los mismos que se utilizan para la Técnica “A”, (**Ver tabla No. 4.16**).

### **Paso No. 2: Seleccionar el sector del talud en donde se colocará el equipo de monitoreo**

Los aspectos que se tomarán en cuenta para la selección del sector en donde se colocará el equipo, son los mismos que los de la Técnica "A", (Ver **Paso No.2 para aplicar la Técnica "A"**).

### **Paso No. 3: Colocación de equipo**

La colocación del equipo será de la misma forma que se describió en la Técnica "A", (Ver **paso No. 3 para la aplicación de la técnica "A"**). Sin embargo, como en este caso se pretende llevar a cabo el monitoreo del deterioro en la sección media del talud , se utiliza una medición auxiliar que consta de un eje de varillas proyectado a la altura media de este (Ver **figura No. 4.49**), en la cual se puede medir tanto el desplazamiento horizontal (en el eje colocado en la parte media del talud), así como también, el azolvamiento o erosión registrado en el eje de varillas que se coloca sobre el lecho del río, (debido a que el río constantemente transporta sedimentos o erosiona la zona donde se coloca el eje mencionado), quedando el equipo de medición expuesto a sufrir daños o pérdida total; por esta razón, es necesario colocar una referencia a una distancia prudencial desde donde se puedan realizar las respectivas mediciones.

### **Paso No. 4: Registro de datos**

El registro de datos se llevará a cabo de la misma manera que se describió en la Técnica "A", (Ver **Paso No.4 para aplicar la Técnica "A"**). Sin embargo,

ahora habrá un eje de varillas en la parte media del talud, el cual servirá junto con el eje que se colocó en el lecho del río, para determinar los cambios horizontales en la parte media del talud y verticales sobre el lecho del río. Por lo tanto, esta distancia deberá registrarse en cada monitoreo que se realice, siendo las distancias “X” y “Y”, las que se muestran en la imagen, (Ver **figura No. 4.49**).

- Nótese que el monitoreo en la sección media del talud se llevará a cabo a la altura de la cuerda, (Ver **figura No. 4.49**).

Es indispensable destacar que, esta variación se implementó con la finalidad de registrar con mayor precisión los cambios que va experimentando un talud cuando éste presenta evidentes variaciones en lo alto y ancho; por lo tanto, al final de esta investigación se determinará en qué medida esta variación implementada, aumenta la eficacia o enriquece al método “A”.



**Figura No. 4.49 Ejemplo de colocación de equipo en talud en donde se aplicará la variante del método para taludes con superficie aproximadamente plana en la cresta y expuesto a erosión lateral y vertical.**

Fuente: De los autores.

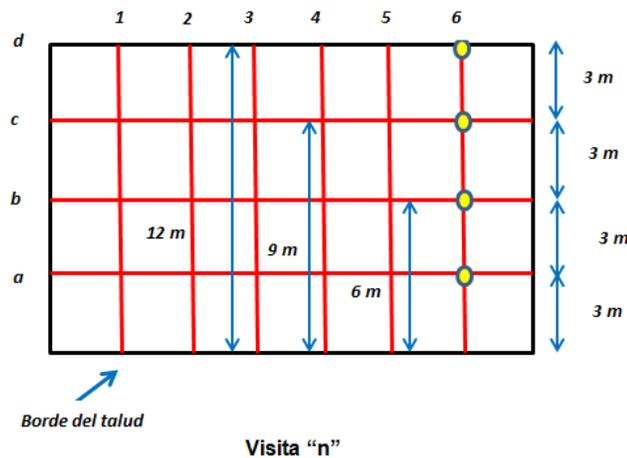
Fotografía tomada el 18/08/2015

### Limitaciones del método

- ✓ Algunas veces se dificulta la colocación de las varillas en el terreno debido a sus irregularidades y la inclinación del talud.
- ✓ La técnica no se puede aplicar cuando los cauces de los ríos son muy profundos, ya que en estos casos el monitoreo no sería posible de ejecutar.
- ✓ Cuando las varillas se utilizan para medir la erosión lateral y erosión vertical ocasionada por el cauce de un río, éstas pueden perderse por el arrastre de sedimentos. Sin embargo, pueden llevarse a cabo procedimientos que permitan obtener registros de respaldo en el caso de perder información de uno de los puntos de monitoreo, el cual se explica a continuación.
  - ❖ **Procedimiento a seguir cuando una o más de las varillas han sido extraídas por agentes externos o por el arrastre de sedimentos.**
- ✓ **Ejemplo:** A continuación se presenta la vista en planta de la cuadrícula instalada en un talud (Ver **figura No. 4.50**).
- ✓ Es necesario establecer una nomenclatura en los ejes de la cuadrícula, para llevar un control de manera ordenada y evitar que exista una confusión con los registros que se toman en cada visita.
- ✓ Para el caso, el punto (varilla) más inmediata a la toma de datos del deterioro que va sufriendo el talud con respecto a su borde es la varilla

(a-6), (Ver **figura No. 4.50**). Como puede observarse, la distancia entre el borde del talud y la varilla (a-6) se ha registrado con una longitud de 3.0 m en una visita “n” que se haya realizado. Asimismo, se deben registrar en cada visita las distancias entre las demás varillas que se encuentran subsecuentes a la varilla (a-6), de la siguiente forma:

- Distancia de (b-6) al borde del talud:  $3\text{m} + 3\text{m} = 6\text{m}$
- Distancia de (c-6) al borde del talud:  $3\text{m} + 3\text{m} + 3\text{m} = 9\text{m}$
- Distancia de (d-6) al borde del talud:  $3\text{m} + 3\text{m} + 3\text{m} + 3\text{m} = 12\text{m}$



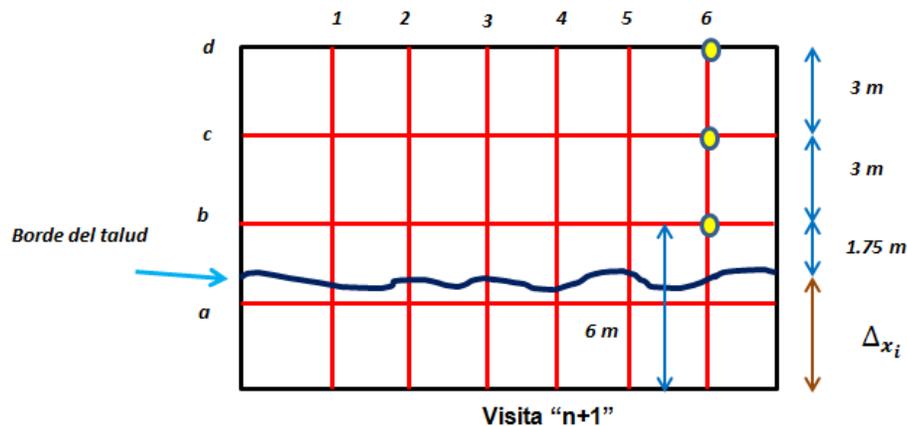
**Figura No. 4.50** Ejemplo del procedimiento a seguir cuando se pierde un punto de monitoreo.

Fuente: De los autores.

- ✓ En la siguiente visita “n+1”, el talud se encuentra de la siguiente manera (Ver **figura No. 4.51**), en donde se observa que debido al arrastre de sedimentos por el cauce del río que lo está erosionando, el eje “a” y los puntos de monitoreo que ahí se encontraban han sido alcanzados por el desprendimiento de suelos y los registros de pérdidas de suelo se han perdido.

- ✓ En este caso se tiene que auxiliar de las medidas del deterioro que se estaban tomando con respecto a los ejes que aún quedan (los subsecuentes), pues se cuenta con registros desde la visita anterior “n”.

Para el caso, la varilla que quedó más inmediata a medir la cantidad de material perdido con respecto al borde del talud es la varilla **(b-6)**, y aplicando la ecuación  $\Delta_{x_i} \text{ de erosión} = X_1 - X_2$ , se procede a encontrar el registro que se necesita para el monitoreo. Como ejemplo de cálculo (Ver **figura No. 4.51**), para tener una mejor idea del estado del talud en la visita “n+1”.



**Figura No. 4.51** Ejemplo del procedimiento a seguir cuando se pierde un punto de monitoreo.

Fuente: De los autores.

- ✓ Y el cálculo se lleva a cabo de la siguiente manera:

$$\Delta_{x_i} \text{ de erosión} = X_1 - X_2$$

$$\Delta_{x_i} \text{ de erosión} = 6m - 1.75m$$

$$\Delta_{x_i} \text{ de erosión} = 4.25m$$

### **Ventajas del método**

- 1) Es un método sencillo y fácil de instalar
- 2) Los materiales a utilizar son de bajo costo y fáciles de conseguir
- 3) Solamente se necesitan dos personas para la instalación del equipo
- 4) Las varillas pueden instalarse en cualquier pendiente y terreno
- 5) Los materiales pueden reutilizarse

### **Desventajas**

1. Las varillas pueden ser extraídas por personas que habiten la zona
2. Siempre existe un % de error en los registros de datos, el cual es atribuible a la precisión del instrumento de medición que se ha utilizado y a la forma en que cada persona toma las lecturas de las medidas. Además de estos factores, en ésta técnica el error se incrementa y se va acumulando cuando el deterioro registrado en una visita determinada es despreciable por ser muy pequeño o cuando las pérdidas de suelo son muy grandes y se pierden puntos de referencia por el arrastre de sedimentos.

En este último caso, se tendrá que auxiliar de otros puntos de referencia previamente establecidos; más sin embargo, el error seguirá acumulándose.

También se ha adaptado la técnica para el caso en donde se desea monitorear el deterioro en taludes con pendiente fuerte (Ver **figura No. 4.52**). El cual se describe a continuación:

### **Técnica “B” Taludes con pendiente fuerte**



**Figura No. 4.52** Ejemplo de talud donde se puede aplicar la Técnica “B”. Taludes con pendiente fuerte.

Fuente: Del autor. Fotografía tomada 16/10/2015

### **Pasos a seguir para la aplicación de la Técnica “B”:**

#### **Paso No. 1: Equipo**

Los materiales necesarios para la aplicación de la Técnica “B” son los mismos a utilizar en la Técnica “A” (Ver **Tabla No. 4.16**).

#### **Paso No. 2: Seleccionar el sector del talud en donde se colocará el equipo de monitoreo**

Se tomarán en cuenta los mismos aspectos descritos en la Técnica “A” (Ver **Paso 2 de “Pasos a seguir para la aplicación de la Técnica “A”**).

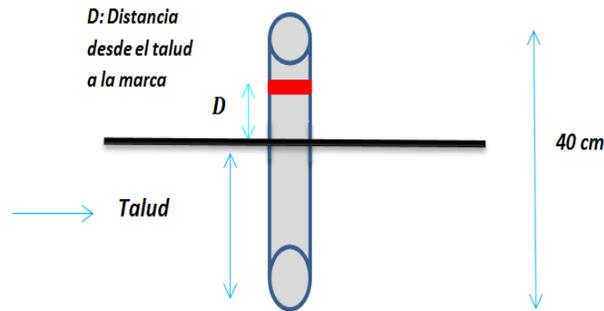
### Paso No. 3: Colocación de equipo

- i. Trazar una cuadrícula sobre la superficie inclinada del talud que se desea monitorear dejando entre cada eje una distancia constante de separación (si las condiciones lo permiten), tanto en dirección longitudinal como en dirección transversal, dependiendo del área que se pretende cubrir durante el monitoreo (Ver **figura No. 4.53**).



**Figura No. 4.53** Ejemplo de cuadrícula para utilizar Técnica "B". Taludes con pendiente.  
Fuente: De los autores.  
Fotografía tomada el 16/10/2015

- ii. En cada intersección de la cuadrícula, utilizando la almadana, colocar una varilla de acero aproximadamente de 40 cm de longitud y de  $\varnothing=3/8$ " de diámetro.
- iii. Colocar una marca en el extremo de la varilla que quedó fuera del terreno. Esta servirá para tomarla como referencia y de esta manera poder medir la erosión o azolvamiento que vaya presentando durante el monitoreo (Ver **figura No. 4.54**).



**Figura No. 4.54 Esquema de identificación de varilla para efectuar el monitoreo.**  
Fuente: De los autores.

- iv. Registrar en la libreta de campo la longitud que hay entre la marca que se le hizo a la varilla y el extremo que quedó descubierto "D" (Ver **figura No. 4.54**).
- v. Es importante que las varillas se recubran con spray de un color de fácil identificación para que sea posible su localización cada vez que se realice el monitoreo.
- vi. Para evitar que se dificulte encontrar las varillas, además de cubrirlas con spray, se deben dejar referenciadas con respecto a algún árbol, cerca o alguna roca que sea visible y que se tenga la certeza que no va a cambiar de posición.
- vii. Si las condiciones y seguridad del lugar lo permitieran, las varillas introducidas para llevar a cabo el monitoreo podrían referenciarse utilizando una Estación Total.
- viii. Ver el esquema del talud con el equipo colocado (Ver **figura No. 4.55**).

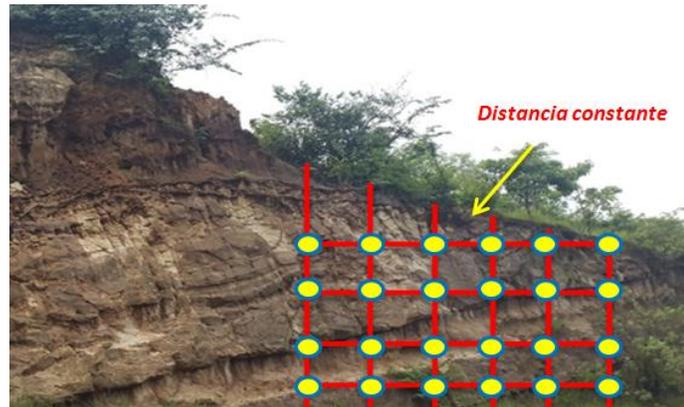


Figura No. 4.55 Ejemplo de cuadrícula para utilizar Técnica "B". Taludes con pendiente fuerte.

Fuente: Del autor.

Fotografía tomada el 16/10/2015

#### Paso No. 4: Registro de datos

- ✓ Para llevar a cabo el monitoreo, luego de haber colocado las varillas sobre la superficie inclinada del talud separadas a una distancia constante (siempre que las condiciones del talud lo permitan), procurando formar una cuadrícula lo más uniforme posible (Ver **figura No. 4.55**), se irán registrando los cambios de erosión o de azolvamiento que se observen con respecto a la marca que se le colocó a la varilla y a la medida inicial que tenía ésta con respecto al borde que quedó descubierto " $D_1$ ". (Ver **figura No. 4.56**).

Es por ello que el  $\Delta_i$  de erosión será la diferencia entre la medición registrada en la visita previa  $D_1$  menos la que se realice en la visita posterior  $D_2$ .

$$\Delta_i \text{ de erosión} = D_1 - D_2$$

**Dónde:**

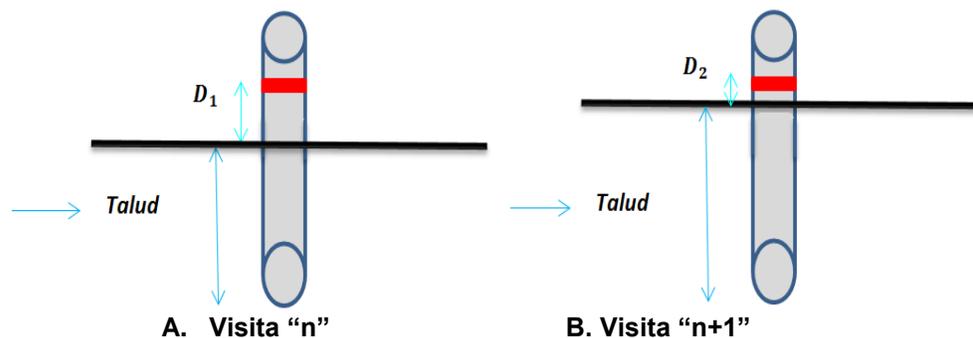
$\Delta_i$  *de erosión* = Cambio que ha ocurrido en el talud debido a la erosión o azolvamiento entre dos visitas consecutivas al lugar.

$D_1$  = Profundidad registrada entre el talud y la marca de la varilla en una visita de monitoreo.

$D_2$  = Profundidad registrada entre el talud y la marca de la varilla en una visita de monitoreo posterior a la distancia registrada como  $D_1$ .

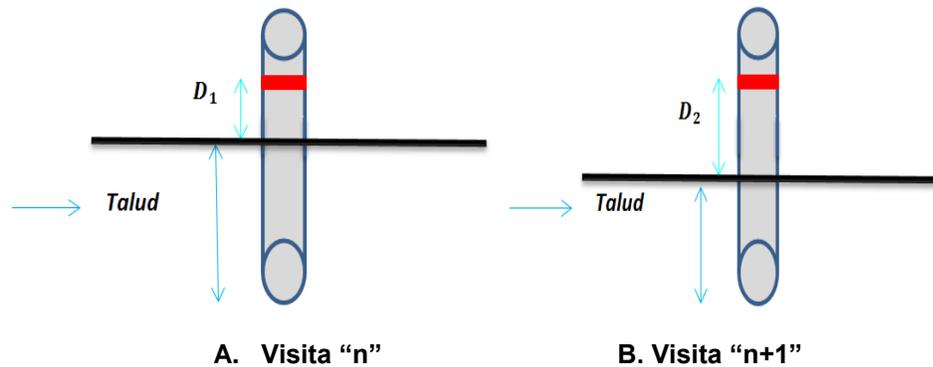
**Observaciones:**

- ✓ Si el resultado obtenido al calcular el  $\Delta_i$  *de erosión* tiene signo (+), es decir que  $D_1 > D_2$ , significa que entre dos visitas de monitoreo consecutivas, el talud experimentó **AZOLVAMIENTO** en el lugar donde se introdujo esa varilla (Ver **figura No. 4.56**).



**Figura No. 4.56 Ejemplo de registro de datos en caso de Azolvamiento**  
Fuente: De los autores.

- ✓ Si el resultado obtenido al calcular el  $\Delta_i$  *de erosión* tiene signo (-), es decir que  $D_1 < D_2$ , significa que entre dos visitas de monitoreo consecutivas, el talud experimentó **EROSIÓN** en el lugar donde se introdujo esa varilla (Ver **figura No. 4.57**).



**Figura No. 4.57 Ejemplo de registro de datos en caso de Erosión**  
Fuente: De los autores.

- ✓ Al igual que en la **Técnica “A”**, las visitas a campo para el registro de datos se realizarán aproximadamente cada 15 días o más cercanas entre sí cuando haya ocurrido una precipitación de considerable intensidad o duración durante este intervalo de tiempo. Ya que es preciso monitorear los cambios que ocurren cuando se presentan estos eventos naturales.

**NOTA:** Las limitaciones, ventajas y desventajas que presenta este método son las mismas descritas en la **Técnica “A”**.

#### **4.9 IDENTIFICACIÓN DE ESTRATOS QUE CONSTITUYEN A CADA TALUD SELECCIONADO**

Para la identificación de los estratos que constituyen cada talud, se aplicó la metodología presentada en el apartado **3.9 del Capítulo III**, y los resultados se muestran en el apartado **4.13.2 de este capítulo**.

#### 4.10 APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE EVALUACIÓN DE DETERIORO A LOS TALUDES SELECCIONADOS

Después de haber adaptado las técnicas investigadas al medio en que se van a aplicar en esta investigación, fue necesario asociarlas a las características particulares que presenta cada talud para poder ser aplicadas. Por lo tanto, para seleccionar la técnica con la que se medirá el deterioro, se auxilió de la siguiente tabla (Ver **Tabla No. 4.17**)

TIPO DE EROSIÓN/CARACTERÍSTICAS DEL TALUD	TÉCNICA SUGERIDA
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Estar ubicados contiguos a ríos o quebradas</li> <li>✓ Presenta una superficie aproximadamente plana en la cresta</li> <li>✓ Expuestos a erosión lateral y vertical</li> <li>✓ Se encuentra ubicado en la parte cóncava de meandros, en donde los suelos son más vulnerables a presentar erosión.</li> </ul>	<p><b>Técnica “A” .Taludes con superficie aproximadamente plana en la cresta y expuestos a erosión lateral y vertical</b></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Estar ubicados contiguos a ríos o quebradas</li> <li>✓ Presenta una superficie aproximadamente plana en la cresta</li> <li>✓ Expuestos a erosión lateral y vertical</li> <li>✓ Presenta signos de deslizamiento en la parte media del talud.</li> <li>✓ Se encuentra ubicado en la parte cóncava de meandros, en donde los suelos son más vulnerables a presentar erosión.</li> </ul>	<p><b>Variación a la Técnica “A”. Taludes con superficie aproximadamente plana en la cresta y expuestos a erosión lateral y vertical.</b></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ La pendiente del talud es casi vertical.</li> <li>✓ Presenta evidencia de erosión laminar.</li> <li>✓ Está expuesto a sufrir deterioro a causa del paso del tráfico (por vibraciones).</li> </ul>	<p><b>Técnica “B” Taludes con pendiente fuerte</b></p>

**Tabla No. 4.17** Tabla para llevar a cabo la selección de la técnica de monitoreo del deterioro del talud.

Fuente: De los autores.

#### 4.10.1 DEFINICIÓN DE TÉCNICAS A APLICAR A CADA UNO DE LOS TALUDES SELECCIONADOS

Cada uno de los taludes seleccionados tienen diferentes características y particulares condiciones de exposición. Después de analizar todos esos factores y compararlos con la **Tabla No. 4.17**, las técnicas que serán aplicadas a los taludes para llevar a cabo el monitoreo de pérdidas de materiales por efectos erosivos, son las siguientes (Ver **Tabla No. 4.18**):

NOMBRE DEL TALUD	TIPO DE EROSIÓN	TÉCNICA A APLICAR
Arrupe I	Laminar	“B”
Arrupe II	Laminar	“B”
Cipreses I	Erosión en ríos: lateral y vertical	“A”
Cipreses II	Erosión en ríos: lateral y vertical	“A”
ZF-I	Erosión en ríos: lateral y vertical	“A”
ZF-II	Erosión en ríos: lateral y vertical	“A”
Galicia	Erosión en ríos: lateral y vertical	Técnica “A” (variación)
UES	Laminar	“B”

**Tabla No. 4.18 Técnicas a aplicar a cada talud seleccionado**  
Fuente: De los autores

#### 4.10.2 ETAPA PREVIA A LA INSTALACIÓN DEL EQUIPO

Antes de comenzar a aplicar cualquiera de las dos Técnicas de monitoreo descritas en el apartado anterior: Técnica “A” y su variación, y la Técnica “B”, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- ✓ Se debe contar con el equipo necesario para implementar cualquiera de las dos técnicas antes descritas (Ver **Tabla No. 4.16, Materiales necesarios para aplicar la Técnica “A”**), Los cuales son los mismos materiales necesarios para aplicar la **Variación de la Técnica “A”** y para la **Técnica “B”**.

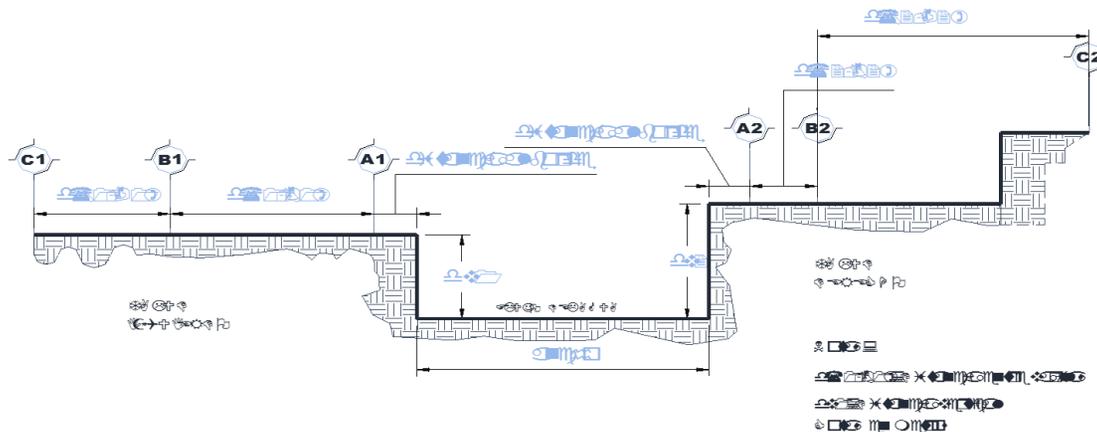
- ✓ En campo se elegirá el sector del talud en donde se llevará a cabo la instalación del equipo de monitoreo, tomando en cuenta las características presentadas anteriormente (Ver **Paso No. 2: “Seleccionar el sector del talud en donde se colocará el equipo de monitoreo”**).
- ✓ Se procederá a la instalación del equipo (Ver **Paso No. 3: “Colocación de equipo”**), ya sea en la **Técnica “A”** o en la **Técnica “B”**).
- ✓ Se dará comienzo al monitoreo del talud, y se llevará el registro de datos, tal y como se describió anteriormente (Ver **Paso No. 4: Registro de datos**, según la técnica que estemos aplicando).
- ✓ Para llevar de manera clara y ordenada los registros en campo se hará uso de la siguiente ficha de monitoreo (Ver **figura No. 4.58**).

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
 DEPARTAMENTO DE GEOTÉCNIA  
 FICHA DE MONITOREO DE EROSIÓN EN TALUDES



TRABAJO DE GRADUACIÓN: “DETERMINACIÓN DE LA TASA DE DETERIORO EN TALUDES CONSTITUIDOS POR MATERIALES PIROCLÁSTICOS EN EL ÁREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR (AMSS)”

RESPONSABLE: \_\_\_\_\_ FECHA: \_\_\_\_\_  
 NOMBRE DEL TALUD: \_\_\_\_\_  
 FECHA DE PRECIPITACIÓN MÁS CERCANA AL MONITOREO: \_\_\_\_\_  
 MM DE LLUVIA REGISTRADOS: \_\_\_\_\_  
 ESQUEMA:



OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

Figura No. 4.58 Ficha de monitoreo de erosión en taludes  
 Fuente: De los autores.

### **4.10.3 INSTALACIÓN DE EQUIPO EN CADA TALUD SELECCIONADO**

A continuación se hará una descripción del proceso que se llevó a cabo para la colocación del equipo de monitoreo para cada uno de los taludes que fueron seleccionados.

#### **❖ Talud Arrupe I: Técnica “B”**

##### **Tipo de erosión que presenta: Laminar**

Este talud en particular, se toma como referencia para la identificación de las unidades D, E, F y G<sup>37</sup> de la TBJ, ya que se logra apreciar claramente el cambio en la estratigrafía de estos materiales, y puede hacerse un reconocimiento visual de los mismos por las características que presentan.

A continuación se describe la forma en que se realizó la instalación del equipo en éste talud:

##### **Instalación de equipo:**

- ✓ Se identificaron preliminarmente las unidades de TBJ presentes en el talud, siguiendo la Metodología N° 1 presentada en el apartado **3.9 del Capítulo III.**

---

<sup>37</sup>La unidad G de TBJ en este talud ya ha sido estudiada por el ingeniero Óscar Ayala Valdez en el desarrollo de su tesis “Aplicación de los modelos constitutivos para representar el comportamiento de Tierra Blanca Joven (TBJ), Unidad G”, en el año 2013

- ✓ Se aplicaron los pasos que se describen en la Técnica “B” Taludes con pendiente fuerte, (Ver **Pasos a seguir para la aplicación de la Técnica “B”**).
- ✓ Se trazaron los ejes y se colocaron las varillas en las respectivas intersecciones. Colocando 3 ejes verticales (Y) nombrándolos con números (1, 2 y 3, respectivamente) en dirección Este-Oeste; dejando una separación de 2.50 m entre el eje 1 y eje 2, y una separación de 2 m entre el eje 2 y eje 3.
- ✓ En la dirección horizontal (eje X) se colocaron 5 ejes nombrados con letras (A, B, C, D y E, respectivamente) en dirección Noroeste –Sureste a  $35^\circ$  del Norte. (Ver **figura No. 4.59 A y B**).



**Figura No. 4.59 Colocación de equipo de monitoreo en talud Arrupe I**

Fuente: De los autores.

Fotografías tomadas el 09/07/2015

- ✓ El talud con los ejes de varillas colocados se puede apreciar a continuación (Ver **figura No. 4.60**).

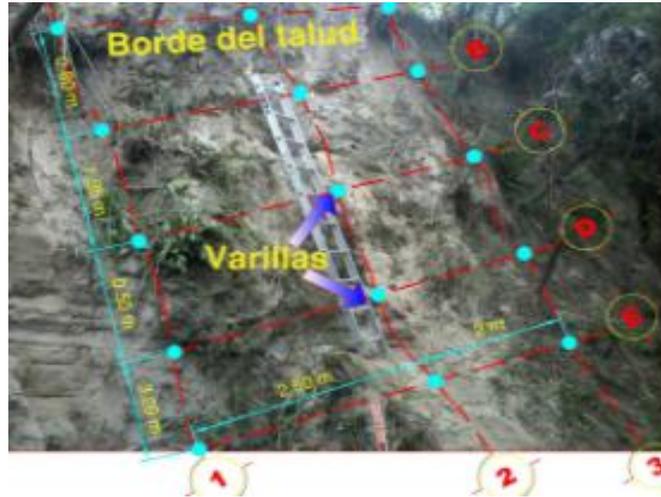


Figura No. 4.60 Colocación de equipo de monitoreo en talud Arrupe I  
Fuente: De los autores.  
Fotografía tomadas el 18/08/2015

#### ❖ Talud Arrupe II: Técnica “B”

##### Tipo de erosión que presenta: Laminar

El talud tiene una longitud aproximada de 100 metros, sin embargo, para este estudio se tomarán 12 metros de longitud, por ser el sector en donde se observa susceptibilidad ante deslizamientos y erosión. Esta porción del talud presenta una altura media de 5 metros y una inclinación aproximadamente de  $80^{\circ}$ - $85^{\circ}$  con respecto a la horizontal de la carretera.

A continuación se describe la forma en que se realizó la instalación del equipo en éste talud:

##### Instalación de equipo:

- ✓ Se identificaron preliminarmente el número de estratos presentes en el talud, pero en este caso, los materiales presentes no corresponden a la

unidad de TBJ, sino que el talud está constituido por Tierras Blancas Inferiores, provenientes de erupciones más antiguas.

- ✓ Se aplicaron los pasos que se describen en la Técnica “B” Taludes con pendiente fuerte, (Ver **Pasos a seguir para la aplicación de la Técnica “B”**).
- ✓ Se trazaron los ejes y se colocaron las varillas en las respectivas intersecciones.
- ✓ Se seleccionó la dirección norte como el eje de las abscisas y la dirección oeste como el eje de las ordenadas, debido a que el talud no está contiguo al cauce de algún río o quebrada en donde pueda tomarse como referencia la dirección del flujo del agua.
- ✓ Se distribuyeron cinco ejes en la dirección Este-Oeste nombrados con letras (A, B, C, D y E, respectivamente), y cinco ejes en la dirección Norte-Sur nombrados con números (1, 2, 3, 4 y 5, respectivamente). (Ver **figura No. 4.61 A y B**).
- ✓ Para la instalación del equipo y debido a la dificultad para acceder al talud se utilizaron escaleras de aluminio para colocar las varillas en cada intersección de los ejes.
- ✓ Debido a la irregularidad en la deposición de los estratos, el trazo de la cuadrícula siguiendo una tendencia regular no fue posible; sino que se procuró instalar un eje cada vez que ocurría un cambio de estrato en el

talud para poder monitorear el deterioro que experimenta cada uno de ellos.



**Figura No. 4.61 Colocación de equipo de monitoreo en talud Arrupe II**

Fuente: De los autores.

Fotografías tomadas el 10/07/2015

- ✓ El talud con los ejes de varillas colocados se puede apreciar a continuación (Ver **figura No. 4.62**).



**Figura No. 4.62 Colocación de equipo de monitoreo en talud Arrupe II**

Fuente: De los autores.

Fotografía tomadas el 18/08/2015

### ❖ Talud Cipreses I: Técnica “A”

#### **Tipo de erosión que presenta: Lateral y Vertical**

Se observó que el talud estaba expuesto a erosión lateral y vertical, debido a que se encuentra contiguo a la quebrada Arenal de San Bartolo. Además, es un talud cuya superficie puede aproximarse a una planicie del 5-10%, por lo cual fue conveniente aplicar la Técnica “A”, para llevar a cabo el monitoreo del deterioro que se espera que presente durante el invierno del año 2015.

A continuación se describe la forma en que se realizó la instalación del equipo en éste talud:

#### **Instalación de equipo:**

- ✓ Se identificaron preliminarmente las unidades de TBJ presentes en el talud, siguiendo la Metodología N° 1 presentada en el **apartado 3.9 del Capítulo III**.
- ✓ Se aplicaron los pasos que se describen en la Técnica “A” Taludes con superficie aproximadamente plana en la cresta y expuesto a erosión lateral y vertical, (Ver **Pasos a seguir para la aplicación de la Técnica “A”**).
- ✓ Se trazaron los ejes y se colocaron las varillas en las respectivas intersecciones. (Ver **figura No. 4.63**).

- ✓ Tomando como referencia la dirección del flujo del agua se colocaron 4 ejes paralelos al flujo del agua nombrados con letras (A, B, C y D, respectivamente) y en la dirección perpendicular al flujo del agua se colocaron 6 ejes nombrados con números (1, 2, 3, 4, 5 y 6, respectivamente).
- ✓ La medición del deterioro se hará dejando una distancia prudencial (2 m aproximadamente), entre el borde del talud y el eje de varillas más cercano a éste, considerando la ocurrencia de precipitaciones intensas que pudiesen llevar consigo el arrastre de importantes cantidades de material que constituye al talud, y por ende, perder registros importantes para este estudio.

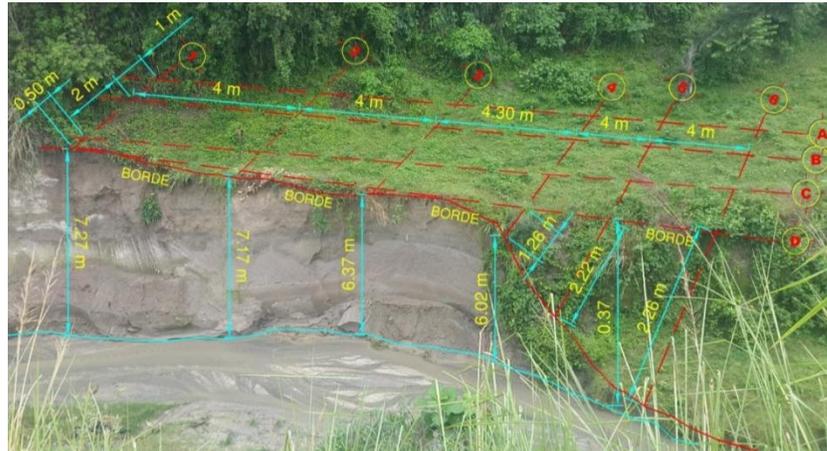


**Figura No. 4.63 Colocación de equipo de monitoreo en talud Cipreses I**

Fuente: De los autores.

Fotografía tomada el 28/08/2015

- ✓ El talud con la distribución de la cuadrícula se puede apreciar a continuación (Ver **figura No. 4.64**)



**Figura No. 4.64 Colocación de equipo de monitoreo en talud Cipreses I**

Fuente: De los autores.

Fotografía tomada el 16/10/2015

#### ❖ Talud Cipreses II: Técnica “A”

##### **Tipo de erosión que presenta: Lateral y Vertical**

En este caso las condiciones del talud son muy similares a las de “Cipreses I”, ya que la base del talud también está expuesta a erosión en ríos: Lateral y Vertical, debido a su contigüidad a la quebrada Arenal de San Bartolo.

A continuación se describe la forma en que se realizó la instalación del equipo en éste talud:

**Instalación de equipo:** se siguieron los mismos pasos preliminares que para el talud Cipreses I, y los ejes se colocaron de la siguiente manera:

- ✓ Tomando como referencia la dirección del flujo del agua se colocaron 2 ejes paralelos al flujo del agua nombrados con letras (A y B, respectivamente) y en la dirección perpendicular al flujo del agua se

colocaron 4 ejes nombrados con números (1, 2, 3 y 4, respectivamente). (Ver **figura No. 4.65**).

- ✓ Debido a que en la zona transitan muchas personas y animales, se colocaron estacas de madera en sustitución a las varillas de acero (en el segundo eje paralelo al cauce del río), quedando totalmente introducidas en terreno para evitar que éstas puedan ser extraídas.
- ✓ La medición del deterioro se hará dejando una distancia prudencial (2 m aproximadamente), entre el borde del talud y el eje de varillas más cercano a éste, considerando la ocurrencia de precipitaciones intensas que pudiesen llevarse consigo el arrastre de importantes cantidades de material que constituye al talud, y por ende, perder registros importantes para este estudio.

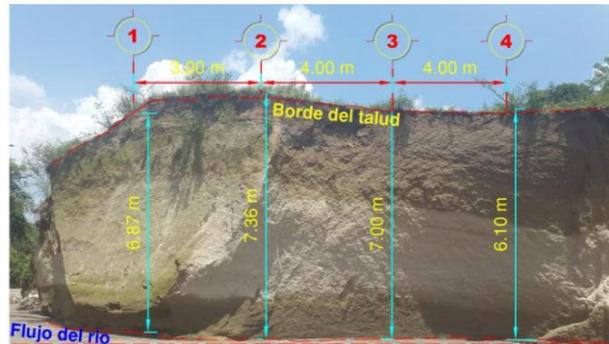


**Figura No. 4.65 Colocación de equipo en talud Cipreses II**

Fuente: De los autores.

Fotografía tomada el 28/08/2015

- ✓ El talud con la distribución de la cuadrícula se puede apreciar a continuación (Ver **figura No. 4.66**), y la vista en planta se puede visualizar en la **figura No. 5.19** de la **Sección 5.2 del capítulo V**.



**Figura No. 4.66 Colocación de equipo de monitoreo en talud Cipreses II**

Fuente: De los autores.

Fotografía tomada el 01/10/2015

#### ❖ Talud ZF-I: Técnica “A”

#### **Tipo de erosión que presenta: Lateral y Vertical**

La obra de protección construida en la Zona Franca de San Bartolo provocó el desvío del cauce del río, originando que en zonas donde antes no se presentaba erosión, actualmente se vean expuestas a esta. Tomando como base este parámetro, se eligió un tramo del talud ubicado al costado Sur-Oriente del Aeropuerto de Ilopango para monitorearlo, con la finalidad de observar el comportamiento que va a presentar durante el invierno del año 2015.

A continuación se describe el procedimiento que se realizó para la instalación del equipo en éste talud:

#### **Instalación de equipo:**

- ✓ Tomando como referencia la dirección del flujo del agua se colocaron 3 ejes paralelos al flujo del agua identificados con letras (A, B y C,

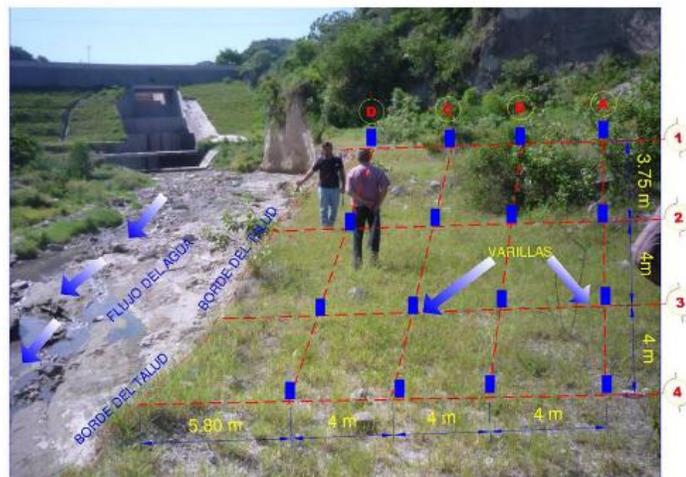
respectivamente) y en la dirección perpendicular al flujo se colocaron 4 ejes nombrados con números (1, 2, 3 y 4, respectivamente). (Ver **figura No. 4.67**).

- ✓ Se tomó como referencia un árbol de la zona, de manera que fuese mucho más sencillo la localización del equipo en cada monitoreo.



**Figura No. 4.67 Colocación de equipo en talud ZF-I**  
Fuente: De los autores.  
Fotografía tomada el 28/08/2015

- ✓ El talud con la distribución de la cuadrícula se puede apreciar a continuación (Ver **figura No. 4.68**)



**Figura No. 4.68 Colocación de equipo de monitoreo en talud ZF-I**  
Fuente: De los autores.  
Fotografía tomada el 02/07/2015

### ❖ Talud ZF-II: Técnica “A”

#### Tipo de erosión que presenta: Lateral y Vertical

El propósito de monitorear este punto es medir los cambios que presentarían las secciones transversales de los dos tramos seleccionados por efecto de la erosión lateral y vertical originada por la quebrada Arenal Seco, durante el invierno del año 2015.

A continuación se describe el procedimiento que se realizó para la instalación del equipo en cada sección de este tramo seleccionado:

#### Instalación de equipo:

- ✓ Se trazaron los ejes de la cuadrícula y se colocaron las varillas en las respectivas intersecciones. (Ver **figura No. 4.69**).



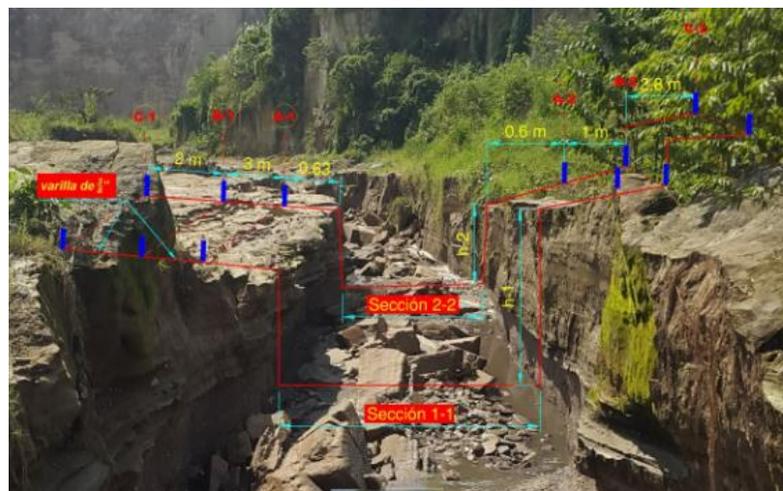
**Figura No. 4.69 Colocación de equipo en la corona del talud ZF-II**

Fuente: De los autores.

Fotografía tomada el 28/08/2015

- ✓ Se tomaron dos secciones transversales para poder monitorear el deterioro del tramo.

- ✓ En la sección 1-1 se midió el ancho actual del río y se colocaron varillas de 3/8" de diámetro a cada lado del río para formar los ejes, dejando aproximadamente 6 metros de separación desde el borde del talud hacia el primer eje de varillas; esto, con la finalidad de guardar un margen de seguridad para los puntos de registro en el caso de ocurrir incrementos en el caudal que pudiese provocar grandes desprendimientos de materiales.
- ✓ Se definió ubicar la sección 2-2, 3 metros aguas abajo de la sección 1-1. Se midió el ancho del río, y los ejes de varillas para realizar el monitoreo, fueron colocados siguiendo las mismas precauciones para la sección 1-1.
- ✓ Cada sección de este punto de monitoreo con la distribución de la cuadrícula se puede apreciar a continuación (Ver **figura No. 4.70**)



**Figura No. 4.70 Colocación de equipo de monitoreo en talud ZF-II**  
Fuente: De los autores.

### ❖ Talud Galicia: Variación de la Técnica “A”

#### Tipo de erosión que presenta: Lateral y Vertical

A continuación se describe el procedimiento que se realizó para la instalación del equipo en cada sección de este tramo:

#### Instalación de equipo:

- ✓ Se identificaron preliminarmente las unidades de TBJ presentes en el talud, siguiendo la Metodología N° 1 presentada en el apartado **3.9 del Capítulo III**.
- ✓ Se aplicaron los pasos que se describen en la **Variación** de la Técnica “A” Taludes con superficie aproximadamente plana en la cresta y expuesto a erosión lateral y vertical, (Ver **Pasos a seguir para la aplicación de la Variación de la técnica “A”**).
- ✓ Se trazaron los ejes y se colocaron las varillas en las respectivas intersecciones. (Ver **figura No. 4.71**).



**Figura No. 4.71 Colocación de equipo en talud Galicia**

Fuente: De los autores.

Fotografía tomada el 18/08/2015

- ✓ Se colocaron 3 ejes paralelos al flujo, nombrados con letras (A, B y C, respectivamente) y en la dirección perpendicular al flujo del agua se colocaron 3 ejes nombrados con números (1, 2 y 3, respectivamente).
- ✓ Tal y como se describe en la **Variación** de la técnica “A”, se colocará un eje en el sector medio del talud, para medir sus cambios que se prevé experimentará durante el período de estudio.
- ✓ El talud con los ejes de varillas colocados se puede apreciar a continuación. (Ver **figura No. 4.72**)



**Figura No. 4.72 Colocación de equipo de monitoreo en talud Galicia**

Fuente: De los autores.

Fotografía tomadas el 07/05/2015

#### ❖ Talud UES: Técnica “B”

**Tipo de erosión que presenta: Laminar**

A continuación se describe la forma en que se realizó la instalación del equipo:

### Instalación de equipo:

- ✓ Se colocaron 7 ejes verticales (Y) identificándolos con números (1,2, 3, 4, 5, 6 y 7, respectivamente); dejando una separación aproximadamente de 3.0 m entre cada uno de ellos.
- ✓ En la dirección horizontal (eje X) se colocaron 7 ejes identificados con letras (A, B, C, D, E, F, y G, respectivamente). Se instalaron 5 ejes en el cuerpo del talud, uno en la corona y el último eje en la parte superior.
- ✓ Por la accesibilidad y seguridad que se tiene en el lugar, fue posible utilizar una estación total para poder dejar mejor referenciada la cuadrícula de varillas y llevar a cabo el monitoreo (Ver **figura No. 4.73**).



A)



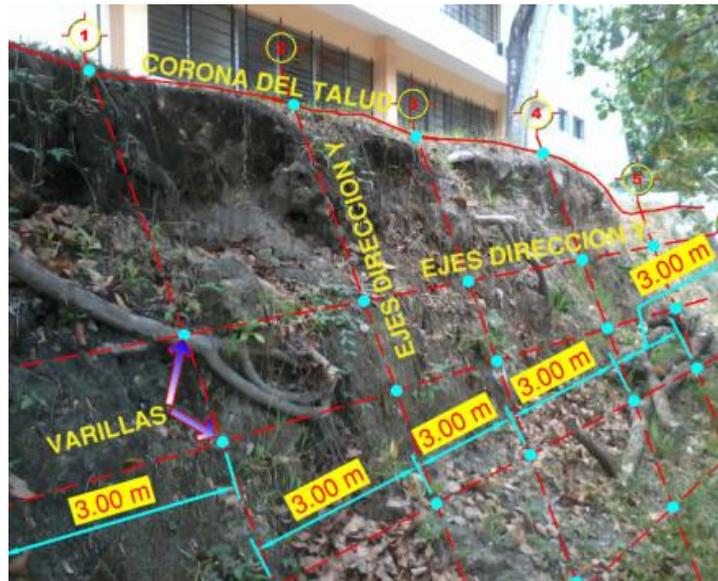
B)

**Figura No. 4.73 A y B Colocación de equipo en talud UES**

Fuente: De los autores.

Fotografías tomadas el 11/08/2015

- ✓ El talud con la distribución de la cuadrícula se puede apreciar a continuación (Ver **figura No. 4.74**)



**Figura No. 4.74 Colocación de equipo de monitoreo en talud UES**  
 Fuente: De los autores.  
 Fotografía tomadas el 07/05/2015

#### 4.10.4 REGISTROS OBTENIDOS DURANTE EL MONITOREO EN CAMPO

Los registros obtenidos en campo se mostrarán en la **Sección 5.2 del Capítulo V**.

#### 4.11 RECOPIACIÓN DE REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS

Para poder analizar la información obtenida en campo (cantidad de material desprendido o erosionado durante el monitoreo) con respecto a las lluvias que ocurrieron durante el periodo de estudio para esta investigación (época lluviosa del año 2015), ha sido necesario hacer una recopilación de los registros pluviométricos durante este periodo de tiempo, los cuales fueron obtenidos gracias a la colaboración solicitada a la Dirección General del Observatorio Ambiental (DGOA).

De acuerdo al área de estudio, los registros pluviométricos que se requieren para realizar el análisis, son los que fueron registrados en las siguientes estaciones pluviométricas: **Estación Ilopango, Belloso y UES.**

La información que se mostrará en la presente investigación referente a los registros pluviométricos, se plasmará en forma de gráfico para cada talud en la **sección 5.2 del Capítulo V.**

#### **4.12 EXTRACCIÓN DE MUESTRAS**

A continuación se presenta una descripción del procedimiento que se llevó a cabo para la extracción de muestras alteradas e inalteradas, en cada punto establecido para el monitoreo de taludes.

##### **➤ Muestras alteradas**

Con ayuda de asesores de la Universidad de El Salvador, de asesores externos de OPAMSS, se identificaron los distintos estratos que están presentes en cada uno de los taludes que fueron seleccionados para esta investigación, después se procedió a la extracción de muestras en el lugar más adecuado, accesible y representativo del estrato. (Ver **figura No. 4.75**).



A)



B)

Figura No. 4.75 A y B. Extracción de muestras alteradas en talud Arrupe II

Fuente: De los autores

### ➤ Muestras inalteradas

Con ayuda de ingenieros asesores de la UES y OPAMSS, se determinó el lugar adecuado y representativo en los taludes seleccionados para poder realizar la extracción de muestras inalteradas. (Ver **figura No. 4.76 A y B**).



A)



**B.**  
**Figura No. 4.76 A y B. Extracción de muestras inalteradas en talud Cipreses I**  
 Fuente: De los autores

#### **4.13 OBTENCIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS**

La caracterización de los materiales que constituyen los taludes en estudio se logrará obteniendo los siguientes parámetros: Humedad Natural, Densidad de muestras de suelo inalteradas, Gravedad Específica, Granulometría y Límites de Atterberg.

- ✓ Los ensayos que se realizarán para obtener las propiedades físicas, así como también, el tipo de muestra que se requiere para cada uno de ello, se presentan en la siguiente tabla (Ver **tabla No. 4.19**).

TIPO DE ENSAYO	NORMA	TIPO DE MUESTRA	OBJETO DE ESTUDIO
Contenido de humedad natural	ASTM D-2216	Alterada	Se utiliza para conocer la humedad natural de los materiales piroclásticos in situ.
Determinación del tamaño de las partículas de suelos	ASTM D-422	Alterada	Se utiliza con la finalidad de clasificar el suelo mediante el sistema de clasificación SUCS.
Determinación de la gravedad específica de los sólidos del suelo	ASTM D-854	Alterada	Utilizada para calcular la relaciones gravimétricas y granulométricas de un material y para el análisis hidrométrico.
Determinación de Límites de Atterberg	ASTM D-4318	Alterada	Se utilizan para identificar si los estratos que constituyen a los taludes en estudio poseen o no plasticidad.
Densidad de los suelos	ASTM D-7263	Inalterada	Se utiliza para determinar la forma en que fueron depositados los distintos estratos que se están investigando (si fue por oleaje o de caída)

**Tabla No. 4.19 Resumen de ensayos de laboratorio a realizar en esta investigación.**

Fuente: De los autores

#### **4.13.1 RESULTADOS OBTENIDOS EN ENSAYOS DE LABORATORIO**

En este apartado se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio para cada uno de los taludes en estudio:.

- Talud Arrupe I (Ver **tabla No. 4.20, 4.21, 4.22 y 4.23**; y **figura No.4.77**).
- Talud Arrupe II (Ver **tabla No. 4.24, 4.25, 4.26 y No. 4.27**; y **figura No. 4.78**).

- Talud Cipreses I (Ver **tabla No. 4.28, 4.29,4.30 y 2.31; y figura No. 4.79**).
- Talud Cipreses II (Ver **tabla No. 4.32, 4.33, 4.34 y 4.35; y figura No. 4.80**).
- Talud ZF-I (Ver **tabla No. 4.36, 4.37, 4.38 y 4.39; y figura No. 4.81**).
- Talud ZF-II (Ver **tabla No. 4.40, 4.41, 4.42 y 4.43; y figura No. 4.82**).
- Talud Galicia (Ver **tabla No. 4.44, 4.45, 4.46 y 4.47; y figura No. 4.83**).
- Talud UES (Ver **tabla No. 4.48, 4.49, 4.50 y 4.51; y figuras No. 4.84**).

#### ❖ Talud Arrupe I

TALUD ARRUPE I										
Estrato/ Ensayo	% $\omega$ natural				Gravedad Específica $G_s$			LL % $\omega$	LP % $\omega$	IP
	% $\omega_1$	% $\omega_2$	% $\omega_3$	% $\omega_{prom}$	$G_{s1}$	$G_{s2}$	$G_{s prom}$			
Unidad G	6.38	6.21	6.21	6.26	2.39	2.39	2.39	NP	NP	NP
Unidad F	17.76	18.28	18.49	18.18	2.28	2.30	2.29	NP	NP	NP
Unidad E Superior (HUMEDO)	17.52	17.27	17.60	17.46	2.48	2.45	2.47	NP	NP	NP
Unidad E Inferior (SECO)	7.43	7.30	7.17	7.30	2.42	2.40	2.41	NP	NP	NP
Unidad D	17.75	17.83	17.70	17.76	2.38	2.38	2.38	NP	NP	NP

**Tabla No. 4.20. Resultados de ensayos de laboratorio, Talud Arrupe I**

Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina", año 2015

TALUD ARRUPE I			
Estrato/ Ensayo	% $\omega$ natural	Densidad húmeda ( $g/cm^3$ )	Densidad seca ( $g/cm^3$ )
Unidad F	7.93	1.35	1.25
Unidad D	4.89	1.49	1.42

**Tabla No. 4.21. Resultados de ensayos de laboratorio, Talud Arrupe I**

Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina", año 2015

No. De Malla	UNIDAD D				UNIDAD E (INFERIOR SECO)				UNIDAD E SUPERIOR (HÚMEDO)				UNIDAD F				UNIDAD G			
	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 1		Muestra 2		Muestra 1		Muestra 2		Muestra 1		Muestra 2		Muestra 1		Muestra 2	
	Tamaño <sup>38</sup> (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa
3/8"	9,53	100,00	9,53	100,00	9,53	99,38	9,53	100,00	9,53	100,00	9,53	100,00	9,53	99,22	9,53	98,08	9,53	99,44	9,53	99,71
N°4	4,75	99,85	4,75	99,91	4,75	96,41	4,75	97,75	4,75	99,96	4,75	99,96	4,75	96,42	4,75	95,35	4,75	98,94	4,75	99,45
N°8	2,36	99,45	2,36	99,60	2,36	84,79	2,36	87,51	2,36	99,48	2,36	99,71	2,36	91,48	2,36	90,48	2,36	98,46	2,36	98,93
N° 10	2	99,29	2	99,42	2	80,97	2	83,65	2	99,30	2	99,48	2	90,21	2	89,48	2	98,30	2	98,79
N° 16	1,18	98,68	1,18	98,56	1,18	62,91	1,18	66,21	1,18	98,16	1,18	98,44	1,18	86,04	1,18	85,65	1,18	97,55	1,18	98,18
N° 30	0,6	96,74	0,6	96,80	0,6	34,60	0,6	36,43	0,6	92,97	0,6	93,70	0,6	78,03	0,6	86,78	0,6	96,19	0,6	98,10
N° 50	0,3	92,72	0,3	92,88	0,3	11,95	0,3	10,93	0,3	76,61	0,3	77,41	0,3	66,25	0,3	73,42	0,3	93,82	0,3	95,69
N° 100	0,15	84,96	0,15	85,24	0,15	8,22	0,15	6,50	0,15	57,96	0,15	59,07	0,15	54,60	0,15	60,11	0,15	90,13	0,15	92,02
N° 200	0,075	74,34	0,075	74,76	0,075	7,80	0,075	5,78	0,075	49,15	0,075	51,00	0,075	45,03	0,075	49,59	0,075	83,99	0,075	85,83
HIDROMETRÍA	0,02945	41,53	0,02912	42,05					0,030336	23,12	0,030336	23,86	0,033522	16,82	0,033213	17,11	0,026180	60,47	0,026474	60,73
	0,02019	33,03	0,01996	33,50					0,019748	20,66	0,019932	20,69	0,021777	14,47	0,021966	13,65	0,018138	50,80	0,018342	50,97
	0,01254	23,60	0,01240	24,01					0,011922	16,98	0,011922	17,52	0,013108	10,95	0,013056	11,34	0,011764	36,84	0,011783	37,95
	0,00907	18,22	0,00907	18,32					0,008679	14,52	0,008714	14,35	0,009452	9,19	0,009452	9,03	0,008813	29,32	0,008739	29,60
	0,00666	13,50	0,00666	13,57					0,006284	12,07	0,006332	11,82	0,006811	7,43	0,006736	7,50	0,006438	22,88	0,006387	24,18
	0,00331	7,55	0,00331	7,59					0,003182	7,98	0,003193	7,60	0,003384	5,28	0,003384	5,20	0,003238	14,66	0,003250	15,89
	0,00143	3,78	0,00143	4,08					0,001380	5,71	0,001384	5,26	0,001468	3,11	0,001468	3,06	0,001420	10,74	0,001410	11,93

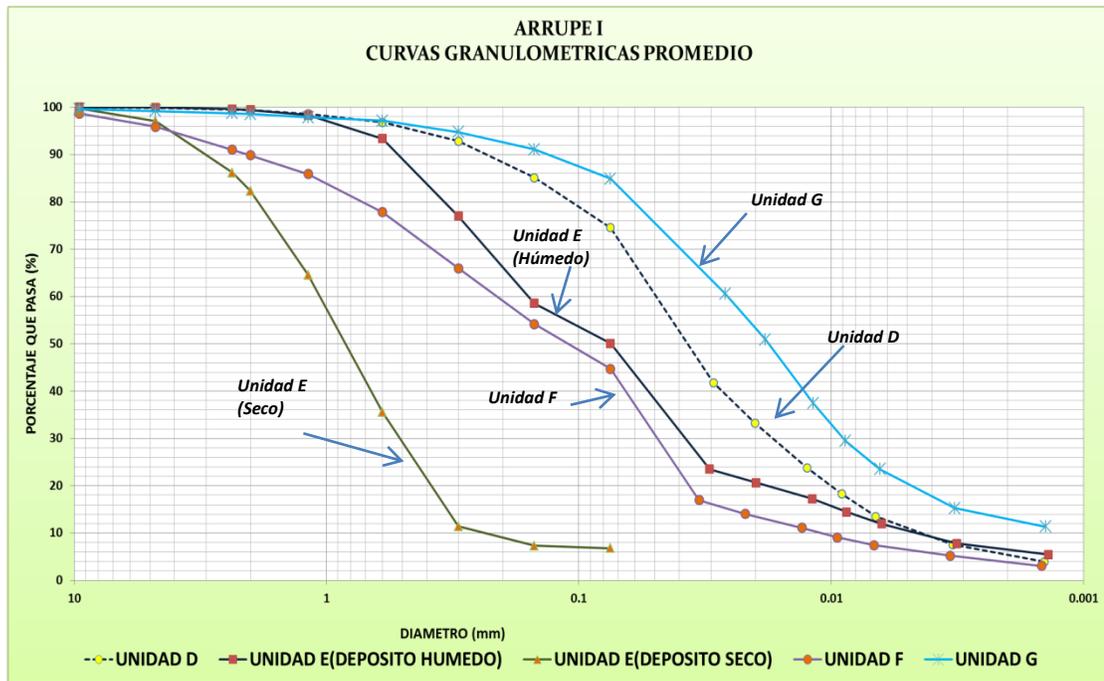
**Tabla No. 4.22. Resultados de ensayos granulométricos, Talud Arrupe I**

Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina", año 2015

<sup>38</sup> Tamaño: se refiere al tamaño de la partícula en mm.

No. De Malla	UNIDAD D		UNIDAD E INFERIOR (SECO)		UNIDAD E SUPERIOR (HÚMEDO)		UNIDAD F		UNIDAD G	
	Tamaño promedio (mm)	% promedio que pasa	Tamaño promedio (mm)	% promedio que pasa	Tamaño promedio (mm)	% promedio que pasa	Tamaño promedio (mm)	% promedio que pasa	Tamaño promedio (mm)	% promedio que pasa
3/8"	9,53	100,00	9,53	99,69	9,53	100,00	9,53	98,65	9,53	99,57
N°4	4,75	99,91	4,75	97,08	4,75	99,96	4,75	95,88	4,75	99,20
N°8	2,36	99,60	2,36	86,15	2,36	99,60	2,36	90,98	2,36	98,69
N° 10	2	99,42	2	82,31	2	99,39	2	89,85	2	98,54
N° 16	1,18	98,56	1,18	64,56	1,18	98,30	1,18	85,85	1,18	97,87
N° 30	0,6	96,80	0,6	35,52	0,6	93,33	0,6	77,84	0,6	97,14
N° 50	0,3	92,88	0,3	11,44	0,3	77,01	0,3	65,97	0,3	94,76
N° 100	0,15	85,24	0,15	7,36	0,15	58,52	0,15	54,19	0,15	91,07
N° 200	0,075	74,76	0,075	6,79	0,075	50,07	0,075	44,70	0,075	84,91
HIDROMETRÍA	0,029	41,79			0,030336	23,49	0,033368	16,97	0,026327	60,60
	0,020	33,27			0,019840	20,68	0,021871	14,06	0,018240	50,88
	0,012	23,80			0,011922	17,25	0,013082	11,15	0,011773	37,40
	0,009	18,27			0,008696	14,44	0,009452	9,11	0,008776	29,46
	0,007	13,53			0,006308	11,94	0,006774	7,46	0,006413	23,53
	0,003	7,57			0,003187	7,79	0,003384	5,24	0,003244	15,27
	0,001	3,93			0,001382	5,49	0,001468	3,09	0,001415	11,33

**Tabla No. 4.23. Resultados promedio de ensayos granulométricos, Talud Arrupe I**  
 Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina", año 2015



**Figura No. 4.77 Curvas granulométricas promedio, Talud Arrupe I**  
 Fuente: De los autores

## ❖ Talud Arrupe II

Estrato/ Ensayo	% $\omega$ natural				Gravedad Específica $G_s$			LL	LP	IP
	% $\omega_1$	% $\omega_2$	% $\omega_3$	% $\omega_{prom}$	$G_{s1}$	$G_{s2}$	$G_{s_{prom}}$	% $\omega$	% $\omega$	
Estrato 4	17.06	16.99	16.81	16.95	2.37	2.36	2.37	NP	NP	NP
Estrato 3	21.84	21.02	20.37	21.08	2.51	2.51	2.51	43.56	27	16.56
Estrato 2	13.11	13.43	11.09	12.54	2.36	2.39	2.38	NP	NP	NP
Estrato 1	18.35	23.88	18.18	20.14	2.56	2.57	2.57	38.50	25	13.5

**Tabla No. 4.24. Resultados de ensayos de laboratorio, Talud Arrupe II**

Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina", año 2015

TALUD ARRUPÉ II			
Estrato/ Ensayo	% $\omega$ natural	Densidad húmeda ( $g/cm^3$ )	Densidad seca ( $g/cm^3$ )
Estrato 3	3.15	1.21	1.17
Estrato 2	4.51	1.70	1.63

**Tabla No. 4.25. Resultados de ensayos de laboratorio, Talud Arrupe II**

Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina", año 2015

	ESTRATO N° 1				ESTRATO N° 2				ESTRATO N° 3				ESTRATO N° 4			
	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 1		Muestra 2		Muestra 1		Muestra 2		Muestra 1		Muestra 2	
No. De Malla	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa
3/8"	9,53	79,64	9,53	82,38	9,53	99,06	9,53	99,76	9,53	99,67	9,53	100,01	9,53	100,00	9,53	100,00
N°4	4,75	72,02	4,75	74,63	4,75	98,29	4,75	98,29	4,75	98,71	4,75	99,18	4,75	100,00	4,75	100,00
N°8	2,36	65,71	2,36	67,87	2,36	96,16	2,36	95,67	2,36	97,07	2,36	97,55	2,36	100,00	2,36	100,00
N° 10	2	64,31	2	66,40	2	95,59	2	95,07	2	96,65	2	96,96	2	100,00	2	100,00
N° 16	1,18	58,63	1,18	61,75	1,18	94,23	1,18	93,75	1,18	95,33	1,18	94,89	1,18	99,77	1,18	99,55
N° 30	0,6	51,01	0,6	54,32	0,6	90,77	0,6	90,08	0,6	89,87	0,6	88,94	0,6	99,17	0,6	98,65
N° 50	0,3	39,98	0,3	42,62	0,3	82,29	0,3	81,38	0,3	74,48	0,3	72,51	0,3	97,52	0,3	96,79
N° 100	0,15	29,97	0,15	32,82	0,15	70,74	0,15	69,81	0,15	59,88	0,15	57,84	0,15	94,36	0,15	93,50
N° 200	0,075	24,46	0,075	26,99	0,075	59,11	0,075	58,36	0,075	48,86	0,075	46,56	0,075	89,07	0,075	88,39
HIDROMETRÍA	0,032723	5,78	0,032587	6,71	0,030571	27,05	0,030571	26,71	0,031346	15,92	0,031346	15,16	0,025213	59,06	0,025406	57,51
	0,021123	4,81	0,021038	5,65	0,020557	21,64	0,020557	21,37	0,020363	13,30	0,020540	12,04	0,016899	53,34	0,017243	50,70
	0,012389	4,17	0,012389	4,95	0,012481	16,23	0,012481	16,02	0,012208	10,02	0,012208	9,54	0,011071	38,48	0,011247	35,94
	0,008794	3,85	0,008794	4,35	0,009090	13,37	0,008989	13,20	0,008736	8,71	0,008736	8,30	0,008430	28,19	0,008507	26,85
	0,006266	3,53	0,006196	3,99	0,006609	10,28	0,006536	10,15	0,006179	7,63	0,006179	7,27	0,006255	20,18	0,006307	18,91
	0,003069	2,45	0,003057	3,06	0,003274	5,91	0,003262	6,60	0,003119	4,36	0,003119	4,15	0,003238	9,15	0,003250	7,95
	0,001312	1,70	0,001317	2,12	0,001400	4,10	0,001400	4,04	0,001339	3,28	0,001324	3,31	0,001420	2,63	0,001420	2,61

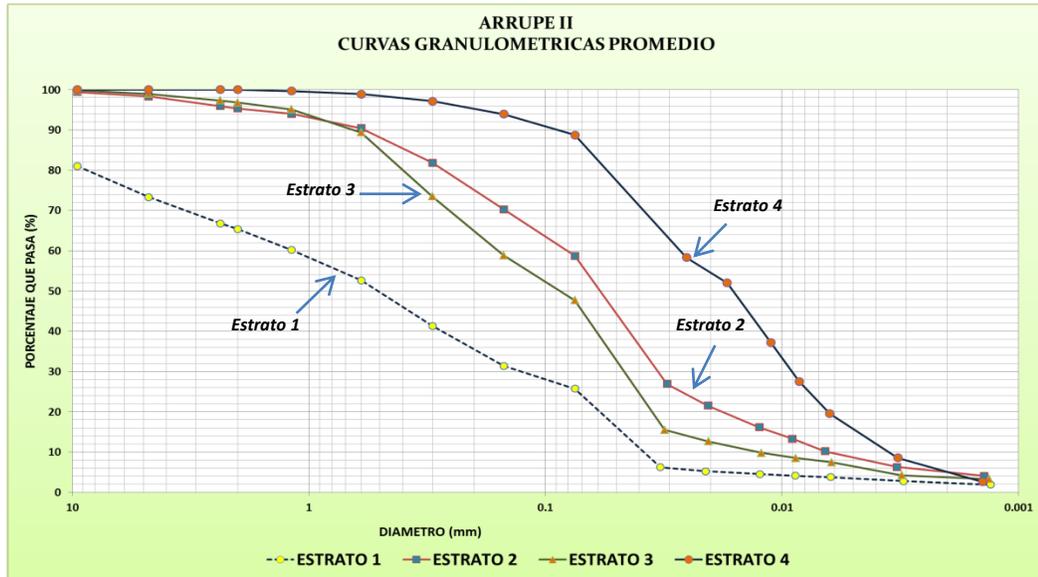
**Tabla No. 4.26. Resultados de ensayos granulométricos, Talud Arrupe II**

Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina", año 2015

No. De Malla	ESTRATO N° 1		ESTRATO N° 2		ESTRATO N° 3		ESTRATO N° 4	
	Tamaño promedio (mm)	% promedio que pasa	Tamaño promedio (mm)	% promedio que pasa	Tamaño promedio (mm)	% promedio que pasa	Tamaño promedio (mm)	% promedio que pasa
3/8"	9,530	81,01	9,53	99,412	9,53	99,84	9,53	100,00
N°4	4,750	73,32	4,75	98,291	4,75	98,95	4,75	100,00
N°8	2,360	66,79	2,36	95,911	2,36	97,31	2,36	100,00
N° 10	2,000	65,36	2	95,328	2	96,81	2	100,00
N° 16	1,180	60,19	1,18	93,989	1,18	95,11	1,18	99,66
N° 30	0,600	52,66	0,6	90,423	0,6	89,40	0,6	98,91
N° 50	0,300	41,30	0,3	81,836	0,3	73,49	0,3	97,16
N° 100	0,150	31,40	0,15	70,278	0,15	58,86	0,15	93,93
N° 200	0,075	25,73	0,075	58,738	0,075	47,71	0,075	88,73
HIDROMETRÍA	0,033	6,24	0,031	26,879	0,031	15,54	0,025	58,28
	0,021	5,23	0,021	21,503	0,020	12,67	0,017	52,02
	0,012	4,56	0,012	16,128	0,012	9,78	0,011	37,21
	0,009	4,10	0,009	13,286	0,009	8,50	0,008	27,52
	0,006	3,76	0,007	10,214	0,006	7,45	0,006	19,54
	0,003	2,76	0,003	6,257	0,003	4,25	0,003	8,55
	0,001	1,91	0,001	4,070	0,001	3,29	0,001	2,62

**Tabla No. 4.27. Resultados promedio de ensayos granulométricos, Talud Arrupe II**

Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina", año 2015



**Figura No. 4.78** Curvas granulométricas promedio, Talud Arrupe II  
Fuente: De los autores

❖ **Talud Cipreses I**

TALUD CIPRESES I										
Estrato/ Ensayo	%ω natural				Gravedad Específica $G_s$			LL	LP	IP
	%ω <sub>1</sub>	%ω <sub>2</sub>	%ω <sub>3</sub>	%ω <sub>prom</sub>	$G_{s1}$	$G_{s2}$	$G_{sprom}$			
Depósito aluvial	11.69	11.76	11.72	11.73	2.42	2.43	2.43	NP	NP	NP
Ignimbrita α	10.98	11.06	10.76	10.94	2.31	2.30	2.31	NP	NP	NP
Unidad D	19.63	20.00	20.24	19.96	2.39	2.39	2.39	NP	NP	NP

**Tabla No. 4.28.** Resultados de ensayos de laboratorio, Talud Cipreses I

Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”, año 2015

TALUD CIPRESES I			
Estrato/ Ensayo	%ω natural	Densidad húmeda ( $g/cm^3$ )	Densidad seca ( $g/cm^3$ )
Ignimbrita	7.52	1.54	1.44
1-A (Depósito de caída)	13.99	1.51	1.33
1-B (Coignimbrita)	17.13	1.69	1.44
1-C (Depósito de caída)	27.46	1.88	1.49
1-D (Coignimbrita)	28.19	1.32	1.03
1-E (Depósito de caída)	24.79	1.78	1.42

**Tabla No. 4.29.** Resultados de ensayos de laboratorio, Talud Cipreses I

Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”, año 2015

	UNIDAD D				IGNIMBRITA $\alpha$				DEPÓSITO ALUVIAL			
	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 1		Muestra 2		Muestra 1		Muestra 2	
No. De Malla	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa
3/8"	9,53	99,77	9,53	99,96	9,53	97,20	9,53	97,99	9,53	98,19	9,53	97,53
N°4	4,75	99,62	4,75	99,70	4,75	92,61	4,75	94,81	4,75	94,34	4,75	92,66
N°8	2,36	98,95	2,36	99,06	2,36	85,72	2,36	88,26	2,36	86,04	2,36	83,64
N° 10	2	98,73	2	98,84	2	84,06	2	86,59	2	83,29	2	80,70
N° 16	1,18	97,52	1,18	97,31	1,18	76,65	1,18	79,51	1,18	72,99	1,18	70,27
N° 30	0,6	93,03	0,6	93,84	0,6	62,64	0,6	65,24	0,6	53,74	0,6	52,14
N° 50	0,3	83,25	0,3	83,96	0,3	45,68	0,3	47,69	0,3	31,21	0,3	29,50
N° 100	0,15	69,45	0,15	70,20	0,15	32,50	0,15	33,96	0,15	15,91	0,15	14,32
N° 200	0,075	54,16	0,075	55,01	0,075	22,31	0,075	23,54	0,075	6,23	0,075	8,92
HIDROMETRIA	0,032297	18,97	0,032297	19,05	0,037163	3,74	0,037163	3,94				
	0,021432	14,17	0,021610	13,54	0,024106	2,55	0,023935	3,00				
	0,013027	8,68	0,013027	9,41	0,013966	2,26	0,013966	2,38				
	0,009280	7,99	0,009383	7,34	0,010013	1,67	0,009945	2,07				
	0,006683	5,93	0,006683	5,96	0,007104	1,37	0,007104	1,45				
	0,003329	2,74	0,003329	2,76	0,003488	0,89	0,003488	0,93				
	0,001454	0,89	0,001454	0,69	0,001508	0,30	0,001508	0,31				

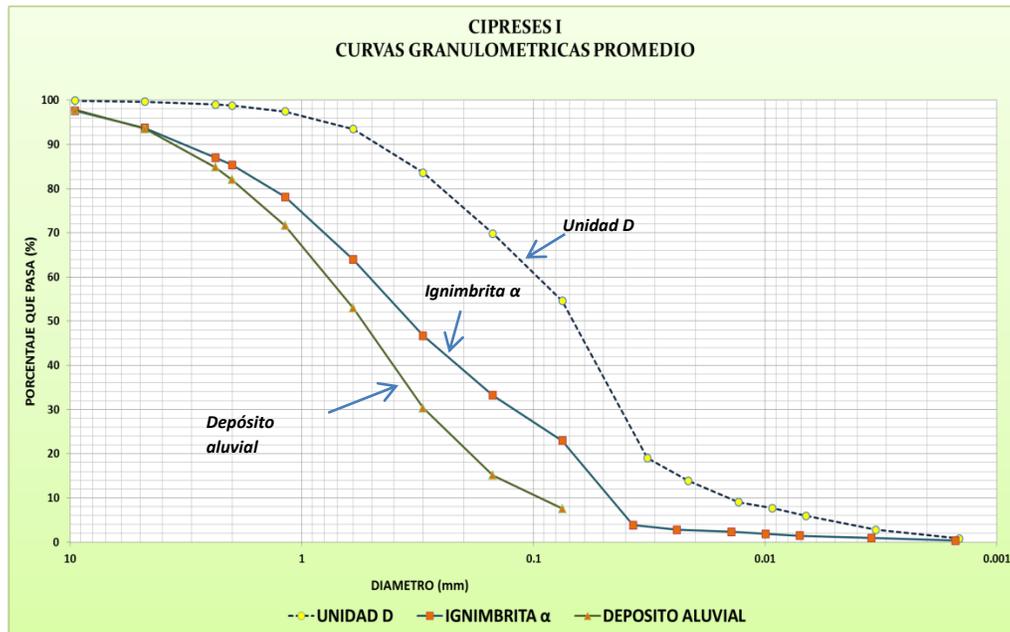
**Tabla No. 4.30. Resultados de ensayos granulométricos, Cipreses I**

Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina", año 2015

No. De Malla	UNIDAD D		IGNIMBRITA $\alpha$		DEPÓSITO ALUVIAL	
	Tamaño promedio (mm)	% promedio que pasa	Tamaño promedio (mm)	% promedio que pasa	Tamaño promedio (mm)	% promedio que pasa
3/8"	9,53	99,86	9,53	97,59	9,53	97,86
N°4	4,75	99,66	4,75	93,71	4,75	93,50
N°8	2,36	99,01	2,36	86,99	2,36	84,84
N° 10	2	98,79	2	85,32	2	82,00
N° 16	1,18	97,41	1,18	78,08	1,18	71,63
N° 30	0,6	93,44	0,6	63,94	0,6	52,94
N° 50	0,3	83,60	0,3	46,68	0,3	30,36
N° 100	0,15	69,83	0,15	33,23	0,15	15,12
N° 200	0,075	54,59	0,075	22,93	0,075	7,57
HIDROMETRÍA	0,032	19,01	0,037163	3,84		
	0,022	13,85	0,024021	2,78		
	0,013	9,04	0,013966	2,32		
	0,009	7,67	0,009979	1,87		
	0,007	5,95	0,007104	1,41		
	0,003	2,75	0,003488	0,91		
	0,001	0,79	0,001508	0,30		

**Tabla No. 4.31. Resultados promedio de ensayos granulométricos, Cipreses I**

Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina", año 2015



**Figura No. 4.79 Curvas granulométricas promedio, Talud Cipreses I**  
Fuente: De los autores

## ❖ Talud Cipreses II

TALUD CIPRESES II										
Estrato/ Ensayo	% $\omega$ natural				Gravedad Específica $G_s$			LL	LP	IP
	% $\omega_1$	% $\omega_2$	% $\omega_3$	% $\omega_{prom}$	$G_{s1}$	$G_{s2}$	$G_{s prom}$			
Depósito aluvial	22.15	22.43	22.62	22.40	2.29	2.30	2.30	NP	NP	NP
Ignimbrita $\alpha$ (superior)	9.59	9.64	9.63	9.62	2.38	2.36	2.37	NP	NP	NP
Ignimbrita $\alpha$ (inferior)	17.29	17.14	17.39	17.27	2.44	2.44	2.44	NP	NP	NP

**Tabla No. 4.32. Resultados de ensayos de laboratorio, Talud Cipreses II**  
Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina", año 2015

TALUD CIPRESES II			
Estrato/ Ensayo	% $\omega$ natural	Densidad húmeda ( $g/cm^3$ )	Densidad seca ( $g/cm^3$ )
Ignimbrita $\alpha$ (superior)	7.47	1.23	1.14
Ignimbrita $\alpha$ (inferior)	13.27	1.44	1.27

**Tabla No. 4.33. Resultados de ensayos de laboratorio, Talud Cipreses II**  
Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina", año 2015

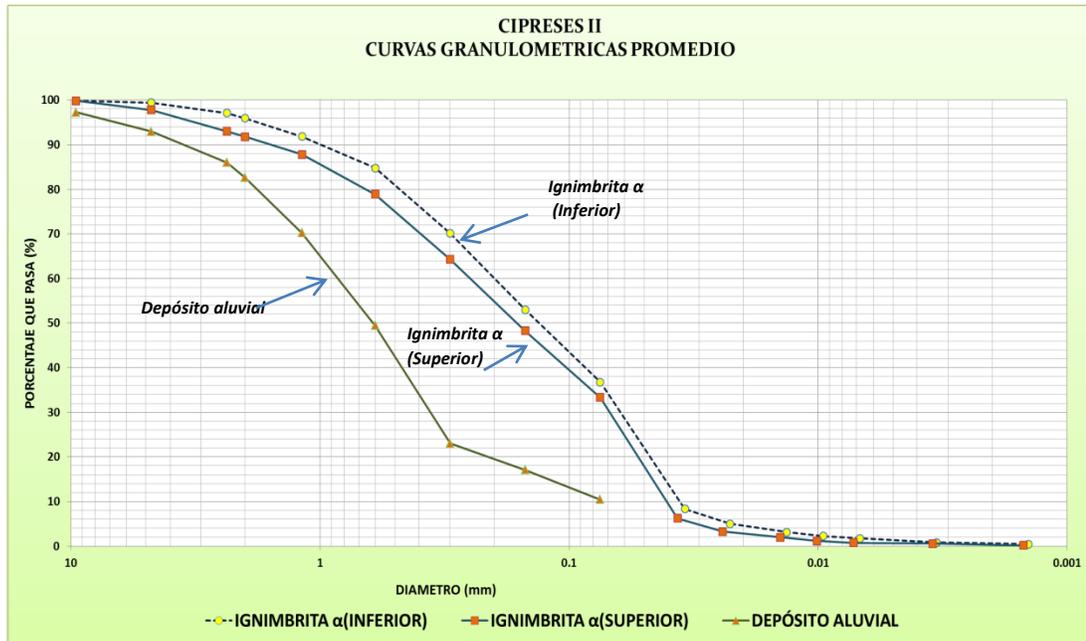
	IGNIMBRITA $\alpha$ ( <i>inferior</i> )				IGNIMBRITA $\alpha$ ( <i>superior</i> )				DEPÓSITO ALUVIAL			
	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 1		Muestra 2		Muestra 1		Muestra 2	
No. De Malla	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa
<b>3/8"</b>	9,53	99,84	9,53	99,84	9,53	99,88	9,53	99,82	9,53	97,65	9,53	96,82
<b>N°4</b>	4,75	99,40	4,75	99,39	4,75	98,04	4,75	97,50	4,75	93,08	4,75	92,81
<b>N°8</b>	2,36	97,10	2,36	97,02	2,36	93,32	2,36	92,72	2,36	85,82	2,36	86,18
<b>N° 10</b>	2	95,97	2	95,86	2	92,03	2	91,50	2	82,28	2	82,95
<b>N° 16</b>	1,18	92,33	1,18	91,32	1,18	88,64	1,18	86,98	1,18	69,44	1,18	71,01
<b>N° 30</b>	0,6	83,53	0,6	86,01	0,6	80,17	0,6	77,55	0,6	48,52	0,6	50,40
<b>N° 50</b>	0,3	69,15	0,3	71,09	0,3	65,77	0,3	62,71	0,3	21,95	0,3	24,07
<b>N° 100</b>	0,15	52,29	0,15	53,76	0,15	49,45	0,15	47,07	0,15	15,87	0,15	18,25
<b>N° 200</b>	0,075	36,07	0,075	37,51	0,075	33,92	0,075	32,68	0,075	9,32	0,075	11,58
<b>HIDROMETRÍA</b>	0,034252	8,33	0,034252	8,28	0,036638	6,33	0,036638	6,10				
	0,022582	5,02	0,022582	5,00	0,024140	3,32	0,024140	3,19				
	0,013364	3,14	0,013364	3,12	0,014184	2,02	0,014184	1,95				
	0,009547	2,19	0,009547	2,35	0,010133	1,16	0,010133	1,12				
	0,006796	1,72	0,006796	1,71	0,007213	0,73	0,007213	0,71				
	0,003363	0,78	0,003325	0,77	0,003476	0,56	0,003476	0,54				
	0,001433	0,47	0,001433	0,47	0,001500	0,17	0,001500	0,17				

**Tabla No. 4.34. Resultados de ensayos granulométricos, Cipreses II**

Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina", año 2015

No. De Malla	IGNIMBRITA $\alpha$ (inferior)		IGNIMBRITA $\alpha$ (superior)		DEPÓSITO ALUVIAL	
	Tamaño promedio (mm)	% promedio que pasa	Tamaño promedio (mm)	% promedio que pasa	Tamaño promedio (mm)	% promedio que pasa
3/8"	9,53	99,84	9,53	99,85	9,53	97,23
N°4	4,75	99,40	4,75	97,77	4,75	92,95
N°8	2,36	97,06	2,36	93,02	2,36	86,00
N° 10	2	95,92	2	91,76	2	82,61
N° 16	1,18	91,83	1,18	87,81	1,18	70,23
N° 30	0,6	84,77	0,6	78,86	0,6	49,46
N° 50	0,3	70,12	0,3	64,24	0,3	23,01
N° 100	0,15	53,02	0,15	48,26	0,15	17,06
N° 200	0,075	36,79	0,075	33,30	0,075	10,45
HIDROMETRÍA	0,034	8,30	0,037	6,21		
	0,023	5,01	0,024	3,26		
	0,013	3,13	0,014	1,99		
	0,010	2,27	0,010	1,14		
	0,007	1,72	0,007	0,72		
	0,003	0,78	0,003	0,55		
	0,001	0,47	0,001	0,17		

**Tabla No. 4.35. Resultados promedio de ensayos granulométricos, Cipreses II**  
 Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina", año 2015



**Figura No. 4.80 Curvas granulométricas promedio, Talud Cipreses II**  
 Fuente: De los autores

## ❖ Talud ZF-I

TALUD ZF-I										
Estrato/ Ensayo	% $\omega$ natural				Gravedad Específica $G_s$			LL	LP	IP
	% $\omega_1$	% $\omega_2$	% $\omega_3$	% $\omega_{prom}$	$G_{s1}$	$G_{s2}$	$G_{s_{prom}}$			
Depósito aluvial	9.58	9.33	10.92	9.94	2.66	2.65	2.66	NP	NP	NP
Unidad F	32.69	33.97	33.47	33.38	2.26	2.27	2.27	NP	NP	NP

Tabla No. 4.36. Resultados de ensayos de laboratorio, Talud ZF-I

Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina", año 2015

TALUD ZF-I			
Estrato/ Ensayo	% $\omega$ natural	Densidad húmeda ( $g/cm^3$ )	Densidad seca ( $g/cm^3$ )
Depósito aluvial	7.14	1.15	1.08
Unidad F	28.27	1.41	1.10

Tabla No. 4.37. Resultados de ensayos de laboratorio, Talud ZF-I

Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina", año 2015

	UNIDAD F				DEPÓSITO ALUVIAL				
	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 1		Muestra 2		
	No. De Malla	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa
	3/8"	9,53	94,28	9,53	94,04	9,53	96,87	9,53	94,00
	N°4	4,75	79,38	4,75	77,95	4,75	92,34	4,75	90,10
	N°8	2,36	58,07	2,36	55,84	2,36	83,44	2,36	81,05
	N° 10	2	53,35	2	51,21	2	80,57	2	77,93
	N° 16	1,18	49,25	1,18	47,28	1,18	68,12	1,18	64,51
	N° 30	0,6	42,99	0,6	41,46	0,6	41,57	0,6	38,11
	N° 50	0,3	34,91	0,3	33,85	0,3	14,65	0,3	13,12
	N° 100	0,15	27,51	0,15	26,71	0,15	4,59	0,15	4,31
	N° 200	0,075	21,49	0,075	20,70	0,075	2,63	0,075	2,47
HIDROMETRÍA		0,03564	6,80	0,03595	6,20				
		0,02369	4,84	0,02369	4,58				
		0,01410	3,44	0,01410	3,23				
		0,01022	2,32	0,01022	2,16				
		0,00727	1,48	0,00727	1,43				
		0,00358	0,74	0,00277	0,81				
		0,00153	0,64	0,00153	0,54				

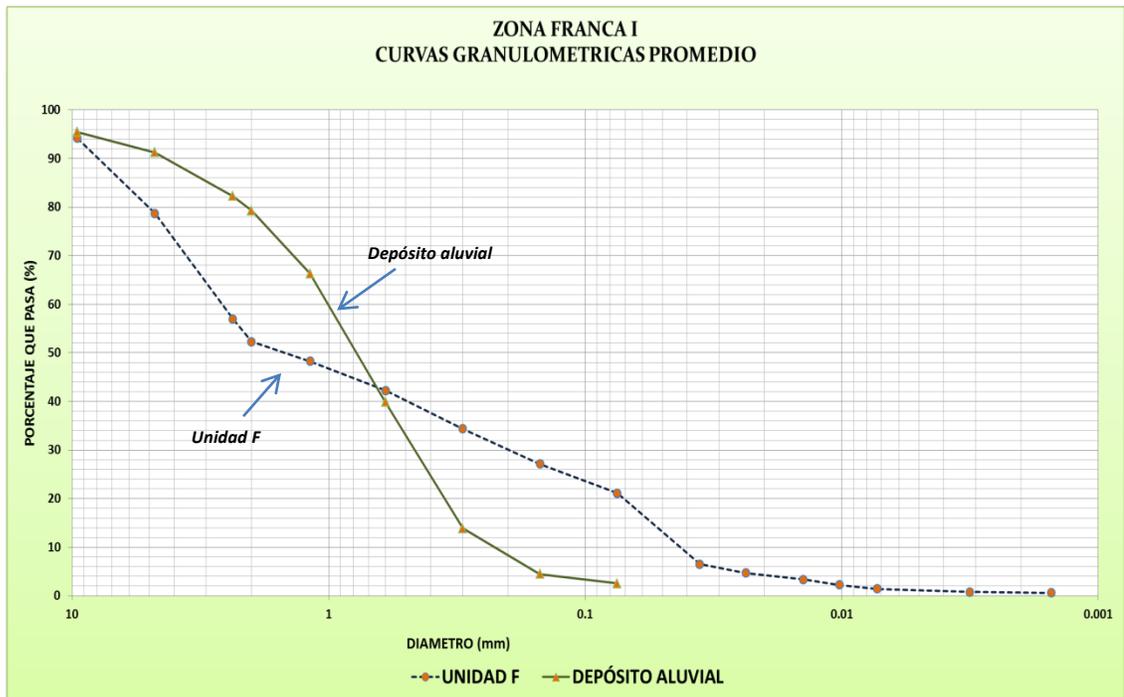
Tabla No. 4.38. Resultados de ensayos granulométricos, ZF-I

Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina", año 2015

No. De Malla	UNIDAD F		DEPÓSITO ALUVIAL	
	Tamaño promedio (mm)	% promedio que pasa	Tamaño promedio (mm)	% promedio que pasa
3/8"	9,53	94,16	9,53	95,43
N°4	4,75	78,66	4,75	91,22
N°8	2,36	56,96	2,36	82,25
N° 10	2	52,28	2	79,25
N° 16	1,18	48,26	1,18	66,32
N° 30	0,6	42,23	0,6	39,84
N° 50	0,3	34,38	0,3	13,88
N° 100	0,15	27,11	0,15	4,45
N° 200	0,075	21,10	0,075	2,55
HIDROMETRÍA	0,036	6,50		
	0,024	4,71		
	0,014	3,34		
	0,010	2,24		
	0,007	1,46		
	0,003	0,78		
	0,002	0,59		

**Tabla No. 4.39. Resultados promedio de ensayos granulométricos, ZF-I**

Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina", 2015



**Figura No. 4.81 Curvas granulométricas promedio, Talud ZF-I**

Fuente: De los autores

## ❖ Talud ZF-II

TALUD ZF-II										
Estrato/ Ensayo	% $\omega$ natural				Gravedad Específica $G_s$			LL	LP	IP
	% $\omega_1$	% $\omega_2$	% $\omega_3$	% $\omega_{prom}$	$G_{s1}$	$G_{s2}$	$G_{s_{prom}}$			
Unidad E Superior (húmedo)	11.98	12.11	11.99	12.03	2.50	2.51	2.51	NP	NP	NP
Unidad E (seco 2)	21.93	20.15	20.05	20.71	2.50	2.50	2.50	NP	NP	NP
Unidad E (húmedo 2)	20.29	20.48	20.96	20.58	2.52	2.49	2.49	NP	NP	NP
Unidad E (húmedo 1)	23.25	23.06	23.01	23.11	2.50	2.48	2.49	24.63	21	3.63
Unidad E (seco 1)	20.19	19.75	20.37	20.10	2.38	2.40	2.39	NP	NP	NP
Ignimbrita $\alpha$	19.13	19.17	18.47	18.93	2.36	2.39	2.38	NP	NP	NP

**Tabla No. 4.40. Resultados de ensayos de laboratorio, Talud ZF-II**

Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina", año 2015

TALUD ZF-II			
Estrato/ Ensayo	% $\omega$ natural	Densidad húmeda	Densidad seca
		( $g/cm^3$ )	( $g/cm^3$ )
Unidad E (superior)	24.22	1.96	1.57
Unidad E (seco 2)	12.60	1.21	1.08
Ignimbrita $\alpha$	13.90	1.58	1.39

**Tabla No. 4.41. Resultados de ensayos de laboratorio, Talud ZF-II**

Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina", año 2015

No. De Malla	UNIDAD C				UNIDAD E (SECO 1)				UNIDAD E (HÚMEDO 1)				UNIDAD E (HÚMEDO 2)				UNIDAD E (SECO 2)				UNIDAD E SUPERIOR (HÚMEDO)			
	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 1		Muestra 2		Muestra 1		Muestra 2		Muestra 1		Muestra 2		Muestra 1		Muestra 2		Muestra 1		Muestra 2	
	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa
3/8"	9,53	99,06	9,53	98,08	9,53	94,54	9,53	94,64	9,53	99,81	9,53	99,55	9,53	99,62	9,53	100,00	9,53	97,18	9,53	97,04	9,53	100,00	9,53	100,00
N°4	4,75	95,38	4,75	94,61	4,75	88,95	4,75	89,36	4,75	99,20	4,75	98,96	4,75	98,17	4,75	98,70	4,75	91,87	4,75	90,96	4,75	100,00	4,75	99,99
N°8	2,36	88,45	2,36	87,75	2,36	74,76	2,36	75,95	2,36	96,25	2,36	95,01	2,36	94,14	2,36	94,52	2,36	81,50	2,36	79,77	2,36	99,98	2,36	99,93
N° 10	2	86,51	2	85,88	2	69,72	2	70,07	2	94,75	2	93,48	2	92,96	2	93,15	2	77,76	2	76,48	2	99,94	2	99,90
N° 16	1,18	77,89	1,18	79,16	1,18	49,95	1,18	51,20	1,18	90,24	1,18	88,68	1,18	87,24	1,18	88,07	1,18	63,34	1,18	63,48	1,18	99,77	1,18	99,83
N° 30	0,6	62,93	0,6	64,84	0,6	22,62	0,6	25,13	0,6	78,62	0,6	76,41	0,6	71,93	0,6	73,13	0,6	40,05	0,6	41,17	0,6	99,17	0,6	99,27
N° 50	0,3	45,51	0,3	46,76	0,3	6,10	0,3	7,95	0,3	62,92	0,3	61,87	0,3	51,13	0,3	51,24	0,3	15,83	0,3	16,22	0,3	97,17	0,3	97,38
N° 100	0,15	31,62	0,15	32,43	0,15	4,12	0,15	4,82	0,15	56,04	0,15	55,44	0,15	37,80	0,15	36,86	0,15	8,06	0,15	7,97	0,15	90,53	0,15	91,16
N° 200	0,075	21,44	0,075	21,96	0,075	3,56	0,075	3,47	0,075	49,52	0,075	49,29	0,075	33,11	0,075	32,08	0,075	6,33	0,075	6,07	0,075	76,35	0,075	77,73
HIDROMETRÍA	0,03678	3,43	0,03706	3,24					0,03124	17,66	0,03124	17,55	0,03263	9,79	0,03235	10,00					0,02874	34,87	0,02889	33,58
	0,02388	2,35	0,02388	2,41					0,02089	13,35	0,02089	13,27	0,02135	7,75	0,02109	8,42					0,01984	25,52	0,01971	25,02
	0,01404	1,54	0,01377	1,94					0,01248	10,27	0,01248	10,21	0,01258	6,53	0,01233	7,63					0,01200	18,04	0,01205	17,41
	0,00981	1,62	0,00984	1,38					0,00907	7,81	0,00907	7,77	0,00900	5,71	0,00886	6,05					0,00877	13,37	0,00877	13,60
	0,00701	1,08	0,00701	1,11					0,00651	5,97	0,00648	5,69	0,00646	4,20	0,00636	4,86					0,00632	10,56	0,00639	8,85
	0,00339	0,72	0,00341	0,46					0,00322	3,26	0,00323	2,63	0,00326	2,16	0,00323	2,49					0,00319	4,35	0,00321	3,47
	0,00147	0,19	0,00147	0,19					0,00140	1,05	0,00137	2,02	0,00142	0,29	0,00140	1,07					0,00139	0,28	0,00139	0,29

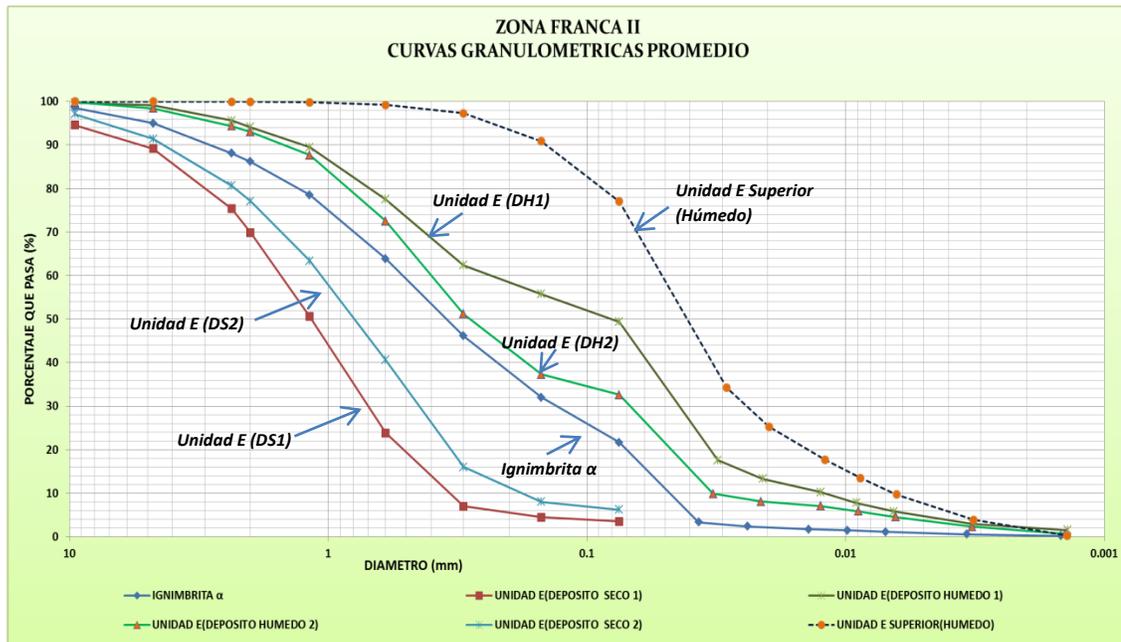
Tabla No. 4.42. Resultados de ensayos granulométricos, ZF-II

Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina", año 2015

No. De Malla	UNIDAD C		UNIDAD E (SECO 1)		UNIDAD E (HÚMEDO 1)		UNIDAD E (HÚMEDO 2)		UNIDAD E (SECO 2)		UNIDAD E SUPERIOR (HÚMEDO)	
	Tamaño promedio (mm)	% promedio que pasa	Tamaño promedio (mm)	% promedio que pasa	Tamaño promedio (mm)	% promedio que pasa	Tamaño promedio (mm)	% promedio que pasa	Tamaño promedio (mm)	% promedio que pasa	Tamaño promedio (mm)	% promedio que pasa
3/8"	9,53	98,57	9,53	94,59	9,53	99,68	9,53	99,81	9,53	97,11	9,53	100,00
N°4	4,75	94,99	4,75	89,16	4,75	99,08	4,75	98,43	4,75	91,41	4,75	100,00
N°8	2,36	88,10	2,36	75,35	2,36	95,63	2,36	94,33	2,36	80,63	2,36	99,95
N° 10	2	86,20	2	69,90	2	94,11	2	93,05	2	77,12	2	99,92
N° 16	1,18	78,53	1,18	50,58	1,18	89,46	1,18	87,66	1,18	63,41	1,18	99,80
N° 30	0,6	63,88	0,6	23,87	0,6	77,51	0,6	72,53	0,6	40,61	0,6	99,22
N° 50	0,3	46,13	0,3	7,02	0,3	62,39	0,3	51,18	0,3	16,02	0,3	97,27
N° 100	0,15	32,03	0,15	4,47	0,15	55,74	0,15	37,33	0,15	8,01	0,15	90,84
N° 200	0,075	21,70	0,075	3,52	0,075	49,41	0,075	32,60	0,075	6,20	0,075	77,04
HIDROMETRÍA	0,037	3,33			0,031	17,61	0,032	9,89			0,029	34,22
	0,024	2,38			0,021	13,31	0,021	8,08			0,020	25,27
	0,014	1,74			0,012	10,24	0,012	7,08			0,012	17,72
	0,010	1,50			0,009	7,79	0,009	5,88			0,009	13,49
	0,007	1,09			0,006	5,83	0,006	4,53			0,006	9,70
	0,003	0,59			0,003	2,95	0,003	2,33			0,003	3,91
	0,001	0,19			0,001	1,53	0,001	0,68			0,001	0,28

**Tabla No. 4.43. Resultados promedio de ensayos granulométricos, ZF-II**

Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina", año 2015



**Figura No. 4.82 Curvas granulométricas promedio, Talud ZF-II**  
Fuente: De los autores

❖ **Talud Galicia**

TALUD GALICIA										
Estrato/ Ensayo	%ω natural				Gravedad Específica $G_s$			LL	LP	IP
	%ω <sub>1</sub>	%ω <sub>2</sub>	%ω <sub>3</sub>	%ω <sub>prom</sub>	$G_{s1}$	$G_{s2}$	$G_{s prom}$			
Unidad F	10.23	9.81	9.84	9.96	2.38	2.34	2.36	NP	NP	NP

**Tabla No. 4.44. Resultados de ensayos de laboratorio, Talud Galicia**  
Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”, año 2015

TALUD GALICIA			
Estrato/ Ensayo	%ω natural	Densidad húmeda ( $g/cm^3$ )	Densidad seca ( $g/cm^3$ )
Unidad F	6.78	1.20	1.12

**Tabla No. 4.45. Resultados de ensayos de laboratorio, Talud Galicia**  
Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador “Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina”, año 2015

UNIDAD F				
No. De Malla	Muestra 1		Muestra 2	
	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa
3/8"	9,53	94,32	9,53	93,97
N°4	4,75	85,90	4,75	84,94
N°8	2,36	75,65	2,36	73,69
N° 10	2	73,52	2	71,54
N° 16	1,18	66,61	1,18	62,96
N° 30	0,6	55,65	0,6	52,07
N° 50	0,3	42,41	0,3	39,95
N° 100	0,15	31,84	0,15	30,46
N° 200	0,075	24,63	0,075	23,78
HIDROMETRÍA	0,029198	5,88	0,036052	5,37
	0,023347	4,30	0,023347	4,16
	0,013736	3,36	0,013736	3,25
	0,009820	2,73	0,009820	2,64
	0,006960	2,20	0,006984	1,82
	0,003442	1,04	0,003465	0,70
	0,001495	0,44	0,001488	0,21

**Tabla No. 4.46. Resultados de ensayos granulométricos, Galicia**

Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina", año 2015

UNIDAD F		
No. De Malla	Tamaño promedio (mm)	% promedio que pasa
3/8"	9,53	94,14
N°4	4,75	85,42
N°8	2,36	74,67
N° 10	2	72,53
N° 16	1,18	64,78
N° 30	0,6	53,86
N° 50	0,3	41,18
N° 100	0,15	31,15
N° 200	0,075	24,21
HIDROMETRÍA	0,033	5,62
	0,023	4,23
	0,014	3,30
	0,010	2,69
	0,007	2,01
	0,003	0,87
	0,001	0,33

**Tabla No. 4.47. Resultados promedio de ensayos granulométricos, Galicia**

Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina", 2015

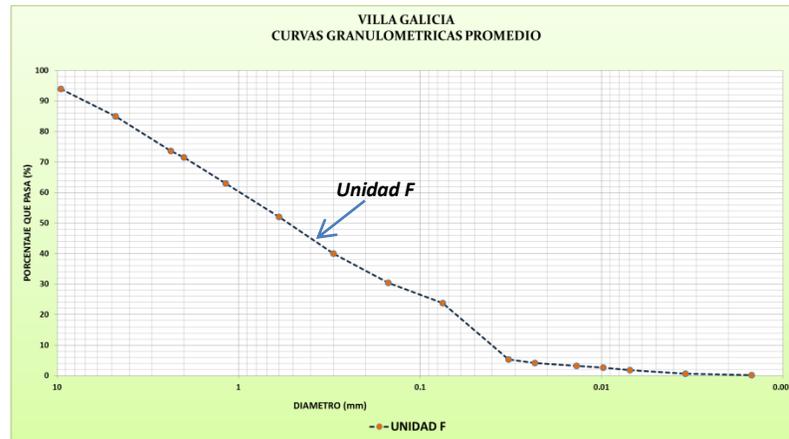


Figura No. 4.83 Curva granulométrica promedio, Talud Galicia  
Fuente: De los autores

### ❖ Talud UES

TALUD UES										
Estrato/ Ensayo	% $\omega$ natural				Gravedad Específica $G_s$			LL	LP	IP
	% $\omega_1$	% $\omega_2$	% $\omega_3$	% $\omega_{prom}$	$G_{s1}$	$G_{s2}$	$G_{s prom}$			
Unidad F	2.86	2.79		2.83	2.40	2.41	2.41	NP	NP	NP
Unidad G	17.77	17.73		17.75	2.37	2.39	2.38	NP	NP	NP

Tabla No. 4.48. Resultados de ensayos de laboratorio, UES  
Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina", año 2015

TALUD UES			
Estrato/ Ensayo	% $\omega$ natural	Densidad húmeda ( $g/cm^3$ )	Densidad seca ( $g/cm^3$ )
Unidad F	24.58	1.67	1.35
Unidad G	25.08	1.61	1.29

Tabla No. 4.49. Resultados de ensayos de laboratorio, UES  
Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina", año 2015

No. De Malla	UNIDAD G				UNIDAD F			
	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 1		Muestra 2	
	Tamaño (mm)	% que pasa						
3/8"	9,53	99,91	9,53	100,00	9,53	99,28	9,53	98,71
N°4	4,75	98,99	4,75	99,51	4,75	97,63	4,75	97,44
N°8	2,36	96,94	2,36	97,79	2,36	95,06	2,36	95,21
N° 10	2	96,32	2	97,18	2	94,28	2	94,44
N° 16	1,18	94,78	1,18	95,72	1,18	92,00	1,18	92,68
N° 30	0,6	90,57	0,6	94,47	0,6	86,94	0,6	87,33
N° 50	0,3	82,16	0,3	86,84	0,3	77,69	0,3	77,54
N° 100	0,15	73,23	0,15	77,55	0,15	66,80	0,15	66,27
N° 200	0,075	61,89	0,075	66,33	0,075	57,29	0,075	56,61
HIDROMETRÍA	0,03010	33,25	0,02978	35,46	0,032997	24,89	0,032621	24,93
	0,02002	28,46	0,02002	29,64	0,021781	19,61	0,021709	19,71
	0,01226	22,07	0,01216	23,82	0,013080	14,33	0,012833	15,36
	0,00896	18,08	0,00896	18,83	0,009315	12,00	0,009315	11,88
	0,00651	14,89	0,00651	15,50	0,006706	9,37	0,006706	9,27
	0,00332	9,30	0,00331	10,52	0,003361	4,40	0,003377	4,92
	0,00142	6,63	0,00142	6,90	0,001421	3,21	0,001421	3,18

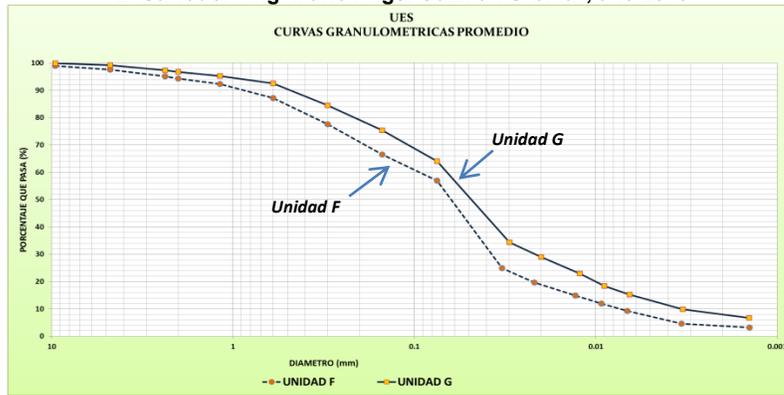
**Tabla No. 4.50. Resultados de ensayos granulométricos, UES**

Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina", año 2015

No. De Malla	UNIDAD G		UNIDAD F	
	Tamaño promedio (mm)	% promedio que pasa	Tamaño promedio (mm)	% promedio que pasa
3/8"	9,53	99,95	9,53	98,99
N°4	4,75	99,25	4,75	97,54
N°8	2,36	97,36	2,36	95,13
N° 10	2	96,75	2	94,36
N° 16	1,18	95,25	1,18	92,34
N° 30	0,6	92,52	0,6	87,14
N° 50	0,3	84,50	0,3	77,61
N° 100	0,15	75,39	0,15	66,54
N° 200	0,075	64,11	0,075	56,95
HIDROMETRÍA	0,02994	34,35	0,032809	24,91
	0,02002	29,05	0,021745	19,66
	0,01221	22,94	0,012957	14,85
	0,00896	18,45	0,009315	11,94
	0,00651	15,20	0,006706	9,32
	0,00331	9,91	0,003369	4,66
	0,00142	6,76	0,001421	3,19

**Tabla No. 4.51. Resultados promedio de ensayos granulométricos, UES**

Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina", año 2015



**Figura No. 4.84 Curvas granulométricas promedio, Talud UES**

Fuente: De los autores

#### **4.13.2 COMPARACIONES GRANULOMÉTRICAS PARA DETERMINAR CORRESPONDENCIA CON UNIDADES DE TBJ**

Se presentan tablas comparativas en donde se puede determinar si las granulométrías obtenidas por Walter Hernández (2004) y Óscar Ayala (2013) corresponden con las unidades de TBJ, nombradas en esta investigación.

##### **Comparaciones con las distintas unidades de TBJ**

Para realizar las comparaciones correspondientes, se utilizaron los valores promedio de granulometría obtenidos para las unidades de esta investigación junto con las obtenidas por el ingeniero Walter Hernández y Óscar Ayala. (Ver desde **tabla No. 4.52 hasta 4.56**).

Los gráficos en donde se realizan las comparaciones granulométricas se presentan en el **Anexo No.9**.

COMPARACION GRANULOMETRICA UNIDAD G												
	G1 (WH) <sup>39</sup>		G2 (WH)		G1 ARRUIPE (OA)		G2 ARRUIPE (OA)		G ARRUIPE I		G UES	
Malla	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa
3/8"	9.53	100.00	9.53	100.00	9.5	99.94	9.5	100.00	9.53	99.57	9.53	99.95
N°4	4.75	98.16	4.75	99.66	4.75	99.73	4.75	99.98	4.75	99.20	4.75	99.25
N°8	2.36	95.00	2.36	98.00	2.36	99.08	2.36	99.77	2.36	98.69	2.36	97.36
N° 10	2	94.00	2	97.00	2	98.86	2	99.65	2	98.54	2	96.75
N° 16	1.18	88.00	1.18	94.00	0.85	97.18	0.85	98.34	1.18	97.87	1.18	95.25
N° 30	0.6	78.00	0.6	93.00	0.425	94.27	0.425	95.02	0.6	97.14	0.6	92.52
N° 50	0.3	67.00	0.3	88.00	0.25	91.08	0.25	89.92	0.3	94.76	0.3	84.50
N° 100	0.15	57.00	0.15	80.00	0.15	86.78	0.15	84.99	0.15	91.07	0.15	75.39
N° 200	0.075	49.00	0.075	74.00	0.075000	81.54	0.075000	75.27	0.075	84.91	0.075	64.11
Hidrometría	0.031000	39.50	0.042000	66.00	0.024070	49.18	0.027360	39.49	0.026327	60.60	0.029939	34.35
	0.026000	33.00	0.033000	60.00	0.017260	39.67	0.019290	30.51	0.018240	50.88	0.020024	29.05
	0.018000	28.00	0.012000	35.00	0.011180	28.43	0.012150	20.72	0.011773	37.40	0.012210	22.94
	0.014000	23.00	0.009000	28.00	0.008400	21.52	0.009040	15.21	0.008776	29.46	0.008962	18.45
	0.009000	19.00	0.008000	24.00	0.006190	16.33	0.006620	10.32	0.006413	23.53	0.006512	15.20
	0.003100	8.00	0.004000	10.00	0.003150	9.64	0.003390	4.61	0.003244	15.27	0.003315	9.91
	0.001800	6.00	0.001700	6.00	0.001360	5.96	0.001450	2.16	0.001415	11.33	0.001424	6.76
									Semejante a G1 Oscar Ayala y a G2 Walter Hernández		Semejante a G2 de Oscar Ayala	

**Tabla No. 4.52. Comparaciones granulométricas, de Unidad G de Walter Hernández, Oscar Ayala y resultados de esta investigación**

Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina", año 2015, (Hernández, 2004) y (Ayala, 2013).

<sup>39</sup> WH: Walter Hernández, OA: Óscar Ayala. Los resultados de ensayos granulométricos de esta investigación se reportan con el nombre de los taludes en estudio.

COMPARACION GRANULOMETRICA UNIDAD F												
	F1 WH <sup>40</sup>		F2 WH		F ARRUEPE I		F ZF- I		F GALICIA		F UES	
Malla	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa
3/8"	9.53	90.00	9.53	100.00	9.53	98.65	9.53	94.16	9,53	94,14	9.53	98.99
N°4	4.75	83.00	4.75	97.00	4.75	95.88	4.75	78.66	4,75	85,42	4.75	97.54
N°8	2.36	71.00	2.36	92.00	2.36	90.98	2.36	56.96	2,36	74,67	2.36	95.13
N°10	2	68.50	2	90.00	2	89.85	2	52.28	2	72,53	2	94.36
N°16	1.18	61.00	1.18	84.00	1.18	85.85	1.18	48.26	1,18	64,78	1.18	92.34
N°30	0.6	53.00	0.6	73.00	0.6	77.84	0.6	42.23	0,6	53,86	0.6	87.14
N°50	0.3	36.00	0.3	61.00	0.3	65.97	0.3	34.38	0,3	41,18	0.3	77.61
N°100	0.15	27.00	0.15	45.00	0.15	54.19	0.15	27.11	0,15	31,15	0.15	66.54
N°200	0.075	22.00	0.075	38.00	0.075	44.70	0.075	21.10	0,075	24,21	0.075	56.95
Hidrometría	0.042000	20.00	0.043000	35.00	0.033368	16.97	0.035792	6.50	0,033	5,62	0.032809	24.91
	0.030000	18.00	0.030000	30.00	0.021871	14.06	0.023686	4.71	0,023	4,23	0.021745	19.66
	0.025000	15.00	0.025000	25.00	0.013082	11.15	0.014099	3.34	0,014	3,30	0.012957	14.85
	0.015000	11.00	0.018000	21.00	0.009452	9.11	0.010225	2.24	0,010	2,69	0.009315	11.94
	0.010000	8.00	0.014000	17.00	0.006774	7.46	0.007274	1.46	0,007	2,01	0.006706	9.32
	0.004000	4.00	0.003700	4.00	0.003384	5.24	0.003175	0.78	0,003	0,87	0.003369	4.66
	0.001700	3.00	0.001700	3.00	0.001468	3.09	0.001527	0.59	0,001	0,33	0.001421	3.19
					Semejante a F2 Walter Hernández		Semejante a F1 Walter Hernández		Semejante a F1 Walter Hernández		Semejante a F2 de Walter Hernández	

**Tabla No. 4.53. Comparaciones granulométricas, de Unidad F de Walter Hernández y resultados de esta investigación**

Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina", año 2015, (Hernández, 2004)

<sup>40</sup> WH: Walter Hernández. Los resultados de ensayos granulométricos de esta investigación se reportan con el nombre de los taludes en estudio.

COMPARACION GRANULOMETRICA UNIDAD E (DEPÓSITO SECO)										
Malla	E1 WH <sup>41</sup>		E2 WH		E SECO ARRUPE I		E SECO 1 ZONA FRANCA II		E SECO 2 ZONA FRANCA II	
	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa
3/8"	9.53	100.00	9.53	100.00	9.53	99.69	9.53	94,59	9.53	97.11
Nº4	4.75	100.00	4.75	100.00	4.75	97.08	4.75	89,16	4.75	91.41
Nº8	2.36	99.00	2.36	100.00	2.36	86.15	2.36	75,35	2.36	80.63
Nº 10	2	98.00	2	99.00	2	82.31	2	69,90	2	77.12
Nº 16	1.18	97.00	1.18	98.00	1.18	64.56	1.18	50,58	1.18	63.41
Nº 30	0.6	95.00	0.6	90.00	0.6	35.52	0.6	23,87	0.6	40.61
Nº 50	0.3	92.00	0.3	72.00	0.3	11.44	0.3	7,02	0.3	16.02
Nº 100	0.15	84.00	0.15	54.00	0.15	7.36	0.15	4,47	0.15	8.01
Nº 200	0.075	71.00	0.075	46.00	0.075	6.79	0.075	3,52	0.075	6.20

**Tabla No. 4.54. Comparaciones granulométricas, de Unidad E de Walter Hernández y resultados de esta investigación Unidad E (Depósito Seco)**

Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina", año 2015, (Hernández, 2004)

Al realizar las comparaciones, no se asemejan a ninguna de las granulometrías realizadas por Walter Hernández; sin embargo, por su ubicación estratigráfica y las propiedades físicas que se obtuvieron a partir de las pruebas de laboratorio realizadas, puede determinarse que se trata de la unidad E de TBJ (depósito seco). Además, los resultados granulométricos para esta unidad (en esta investigación) son semejantes entre sí, constatando lo anterior<sup>42</sup>.

<sup>41</sup> WH: Walter Hernández. Los resultados de ensayos granulométricos de esta investigación se reportan con el nombre de los taludes en estudio.

<sup>42</sup> No hay curvas granulométricas para comparar el depósito húmedo de la Unidad E, por lo tanto, de acuerdo a los resultados de los ensayos de laboratorio y a su ubicación estratigráfica, se tratará como depósito húmedo de la unidad E.

COMPARACION GRANULOMETRICA UNIDAD D										
Malla	UNIDAD D2b (WH <sup>43</sup> )		D1 (WH)		D2a (WH)		D ARRUPE I		D CIPRESSES I	
	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa
3/8"	9.53	100.00	9.53	100.00	9.53	100.00	9.53	100.00	9.53	99.86
N°4	4.75	100.00	4.75	100.00	4.75	100.00	4.75	99.91	4.75	99.66
N°8	2.36	99.00	2.36	98.00	2.36	99.00	2.36	99.60	2.36	99.01
N° 10	2	98.00	2	98.00	2	99.00	2	99.42	2	98.79
N° 16	1.18	97.00	1.18	97.00	1.18	97.00	1.18	98.56	1.18	97.41
N° 30	0.6	95.00	0.6	95.00	0.6	95.00	0.6	96.80	0.6	93.44
N° 50	0.3	92.00	0.3	92.00	0.3	92.00	0.3	92.88	0.3	83.60
N° 100	0.15	80.00	0.15	78.00	0.15	85.00	0.15	85.24	0.15	69.83
N° 200	0.075	68.00	0.075	68.00	0.075	72.00	0.075	74.76	0.075	54.59
Hidrometría	0.050000	60.00					0.029286	41.79	0.032297	19.01
	0.030000	50.00					0.020073	33.27	0.021521	13.85
	0.015000	30.00					0.012473	23.80	0.013027	9.04
	0.009000	20.00					0.009065	18.27	0.009332	7.67
	0.005000	10.00					0.006662	13.53	0.006683	5.95
	0.004000	4.00					0.003307	7.57	0.003329	2.75
	0.001890	2.00					0.001433	3.93	0.001454	0.79
							SEMEJANTE a D2a (WH)		SEMEJANTE a D1 (WH)	

**Tabla No. 4.55. Comparaciones granulométricas, de Unidad D de Walter Hernández y resultados de esta investigación**

Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina", año 2015, (Hernández, 2004)

<sup>43</sup> WH: Walter Hernández. Los resultados de ensayos granulométricos de esta investigación se reportan con el nombre de los taludes en estudio.

COMPARACION GRANULOMETRICA IGNIMBRITA $\alpha$												
	C1 WH <sup>44</sup>		C2 WH		CIPRESES II(Inferior)		CIPRESES II(Superior)		IGNIMBRITA A ZF II		CIPRESES I	
Malla	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa	Tamaño (mm)	% que pasa
3/8"	9.53	100.00	9.53	100.00	9.53	99.84	9.53	99.85	9.53	98.57	9.53	97.59
N°4	4.75	97.00	4.75	100.00	4.75	99.40	4.75	97.77	4.75	94.99	4.75	93.71
N°8	2.36	95.00	2.36	97.00	2.36	97.06	2.36	93.02	2.36	88.10	2.36	86.99
N° 10	2	94.00	2	96.00	2	95.92	2	91.76	2	86.20	2	85.32
N° 16	1.18	87.00	1.18	94.00	1.18	91.83	1.18	87.81	1.18	78.53	1.18	78.08
N° 30	0.6	75.00	0.6	88.00	0.6	84.77	0.6	78.86	0.6	63.88	0.6	63.94
N° 50	0.3	63.00	0.3	72.00	0.3	70.12	0.3	64.24	0.3	46.13	0.3	46.68
N° 100	0.15	50.00	0.15	58.00	0.15	53.02	0.15	48.26	0.15	32.03	0.15	33.23
N° 200	0.075	41.00	0.075	43.00	0.075	36.79	0.075	33.30	0.075	21.70	0.075	22.93
Hidrometría					0.034252	8.30	0.036638	6.21	0.036921	3.33	0.037163	3.84
					0.022582	5.01	0.024140	3.26	0.023880	2.38	0.024021	2.78
					0.013364	3.13	0.014184	1.99	0.013903	1.74	0.013966	2.32
					0.009547	2.27	0.010133	1.14	0.009824	1.50	0.009979	1.87
					0.006796	1.72	0.007213	0.72	0.007007	1.09	0.007104	1.41
					0.003344	0.78	0.003476	0.55	0.003402	0.59	0.003488	0.91
					0.001433	0.47	0.001500	0.17	0.001472	0.19	0.001508	0.30
					SEMEJANTE C1 (WH)		SEMEJANTE C1 (WH)		SEMEJANTE IGNIMBRITA ALFA CIPRESES I		SEMEJANTE IGNIMBRITA ALFA	

**Tabla No. 4.56. Comparaciones granulométricas, de Ignimbritas  $\alpha$  de Walter Hernández y resultados de esta investigación**  
Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina", año 2015, (Hernández, 2004)

<sup>44</sup> WH: Walter Hernández. Los resultados de ensayos granulométricos de esta investigación se reportan con el nombre de los taludes en estudio.

#### **4.14 DETERMINACIÓN DE LA TASA DE EROSIÓN EN TALUDES CONSTITUIDOS POR MATERIALES PIROCLÁSTICOS**

Estos resultados se mostrarán en el **apartado 5.3 del Capítulo V**.

#### **4.15 ANÁLISIS DE RESULTADOS**

El análisis de la información obtenida, en campo, laboratorio y los registros pluviométricos, se llevará a cabo en el **apartado 5.2 del capítulo V**.

En este apartado (**5.2 del capítulo V**) se presentará el análisis de los cambios experimentados por erosión y azolvamiento comparados con el régimen de lluvia que se tuvo durante el periodo de estudio. Seguido del cálculo de la tasa de erosión en cada talud constituido por el tipo de materiales que se están tratando en esta investigación.

# **CAPITULO V**

## **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

## **5.1 INTRODUCCIÓN**

En el presente capítulo se presenta el análisis de los resultados de los ensayos de laboratorio y de los resultados producto de los cambios que experimentaron los taludes durante el periodo de estudio.

También, se muestra un análisis comparativo entre la cantidad de suelo perdido por procesos erosivos en cada talud estudiado junto con los milímetros de lluvia acumulada registrados en estaciones pluviométricas cercanas a cada punto.

Al final, se presentan los resultados de tasas de erosión por talud, calculadas a partir de correlaciones entre el área de influencia, volumen perdido (por talud) durante el periodo de estudio, densidad húmeda de las unidades que constituyen los taludes y el tiempo de estudio.

## **5.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO Y DE LOS RESULTADOS PRODUCTO DE LOS CAMBIOS QUE EXPERIMENTARON LOS TALUDES DURANTE EL PERIODO DE ESTUDIO**

Para realizar el análisis de los resultados, se presentarán de manera ordenada por talud las condiciones originales, resultados de ensayos de laboratorio, resultados de los diferentes monitoreos, así como la obtención de la tasa de erosión que experimentaron. Además, se explicarán las metodologías utilizadas para la obtención de algunos parámetros requeridos.

Los aspectos que se abarcaran serán los siguientes:

- **Condiciones iniciales:**

En este apartado se mostrarán las condiciones que presentaban los taludes al iniciar el estudio: cobertura vegetal, dimensiones, número de estrato, tipo de erosión y configuración de puntos de monitoreo en ejes (los que se colocaron siguiendo la configuración de las diferentes unidades presentes), así como un esquema en planta de ubicación de estos.

- **Ensayos de laboratorio**

Se realiza el análisis geotécnico de las propiedades que caracterizan a cada estrato que componen a los taludes; con el fin de determinar las características que poseen, así como su clasificación en base al sistema SUCS.

- **Evaluación y análisis de los resultados producto de los cambios que experimentaron los taludes en estudio.**

Se presentan los registros obtenidos en campo, así como las pérdidas o acumulación de material, que se experimentaron a lo largo del periodo de estudio, que sirvieron de base para la generación de gráficas donde se permite comparar los registros de lluvia instantánea diaria (registros pluviométricos de la estación con mayor influencia), con la erosión acumulada que experimentó cada talud por eje, evaluando la influencia de los efectos de las lluvias en el deterioro que presentan los taludes.

- **Comportamiento de la lluvia durante el periodo de estudio:**

En El Salvador se presentan dos estaciones bien definidas: (seca y lluviosa) y dos transiciones (seca-lluviosa y lluviosa-seca). Durante el periodo de estudio, el invierno presentó un comportamiento irregular, en comparación con los años anteriores, debido a la influencia del fenómeno del niño, lo que se demuestra al comparar los registros de la lluvia acumulada “normal” que se tienen año con año con las registradas en el año 2015, los cuales presentan claras diferencias (déficit). Ejemplo de ello, se demuestra al comparar el régimen de precipitación nacional promedio que es de 1861 mm, con el del año 2015, que fue de 1695 mm<sup>45</sup>.

---

<sup>45</sup> Fuente: Boletín Climático Anual del año 2015 presentado por el SNET

- **Cálculo de tasa de erosión**

En este apartado se propone la metodología a aplicar, para el cálculo de la tasa de erosión en taludes, que experimentan erosión laminar y en ríos (lateral y vertical), basándose en el cálculo del volumen total desprendido en base a la densidad húmeda pondera de cada talud, tiempo de estudio y la área de influencia, obteniéndose este parámetro en unidades de Toneladas-año/m<sup>2</sup>.

El análisis descrito anteriormente, se presenta para cada uno de los ocho taludes: **Arrupe I, Arrupe II, Cipreses I, Cipreses II, ZF-I, ZF-II, Galicia y UES.**

- ❖ **Talud Arrupe I**

- ✓ **Condiciones iniciales:** se presenta un resumen de las condiciones iniciales del talud y un esquema en planta de la configuración de las diferentes unidades y puntos de estudio (Ver **tabla No. 5.1 y figura No. 5.1**).

CONDICIONES INICIALES TALUD ARRUPE I	
Nombre del talud	Arrupe I
Período de estudio	6 meses
Dimensiones del área de estudio	
Altura Inicial promedio	4.70 m
Ancho inicial promedio	4.50 m
Área del talud	21. 15 m <sup>2</sup>
Cobertura vegetal	Escasa en el cuerpo y la cresta
Inclinación	80°-90°
Número de estratos	4
Unidades presentes	TBJ: Unidad D,E,F y G
Tipo de erosión que presenta	Laminar
UBICACIÓN DE EJES	
Ejes en la dirección horizontal (X)	Identificados con letras desde la A hasta la F, en dirección Noroeste –Sureste aproximadamente a 35° respecto al Norte. (Ver <b>figura No. 5.1</b> )
Ejes en dirección vertical (Y)	Identificados con números desde el eje 1 hasta el eje 3, en dirección Este –Oeste.(Ver <b>figura No. 5.1</b> )

**Tabla No. 5.1 Condiciones iniciales del talud Arrupe I**

Fecha: 09 de julio de 2015

Fuente: De los autores.

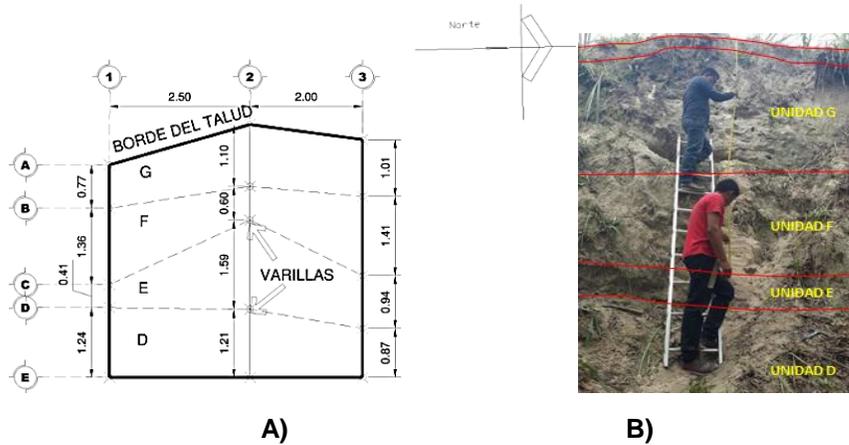


Figura No. 5.1 Condiciones iniciales de la zona de estudio: A) Vista frontal de la ubicación de varillas B) Estratos presentes en el Talud Arrupe I

Fuente: De los autores

✓ **Caracterización geotécnica de los estratos presentes**

**Identificación geotécnica de estratos:** los materiales se clasificaron siguiendo los parámetros del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), teniendo en cuenta los rangos siguientes (Ver **tabla No. 5.2**).

CLASIFICACIÓN	RANGO DE DIÁMETROS
Grava	75 mm a 4.75 mm
Arena	4.75 mm a 0.075 mm
Limo y arcilla (finos)	0.075 mm a 0.002 mm
Arcillas	< 0.002 mm

Tabla No.5.2 Rango de diámetros para la clasificación de suelos en el sistema SUCS

Fuente: Brajas M. Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica.

Los parámetros  $C_u$  y  $C_c$  (según sean de utilidad para cada suelo) se calcularon de la siguiente manera:

a) **Coficiente de uniformidad**

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

## b) Coeficiente de graduación o coeficiente de curvatura

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

La identificación geotécnica del talud Arrupe I se muestra a continuación (Ver **tabla No. 5.3**).

DESCRIPCIÓN	UNIDAD G	UNIDAD F	UNIDAD E (DEPÓSITO HÚMEDO)	UNIDAD E (DEPÓSITO SECO) <sup>46</sup>	UNIDAD D
<b>Gruesos</b>	<b>15.10</b>	<b>55.30</b>	<b>49.93</b>	<b>93.2</b>	<b>25.45</b>
% grava	0.80	4.12	0.04	2.92	0.12
% arena	14.30	51.18	49.89	90.28	25.33
<b>Finos</b>	<b>84.9</b>	<b>44.7</b>	<b>50.07</b>	<b>6.80</b>	<b>74.55</b>
% limos	69.63	39.46	42.28	6.80	66.98
% arcillas	15.27	5.24	7.79		7.57
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
Cu	18.67	16.92	32	4.8	10
Cc	1.93	0.87	1.71	0.83	1.3
Plasticidad	NP	NP	NP	NP	NP
Color	Beige claro	Beige claro	Beige oscuro	Gris claro	Beige claro
<b>Clasificación</b>	Limo con arena	Arena Limosa	Limo arenoso	Arena mal graduada con limo	Limo con arena
<b>Símbolo del grupo</b>	<b>ML</b>	<b>SM</b>	<b>ML</b>	<b>SP-SM</b>	<b>ML</b>
<b>Gravedad específica promedio</b>	<b>2.39</b>	<b>2.29</b>	<b>2.47</b>	<b>2.41</b>	<b>2.38</b>
<b>Densidad húmeda (<math>g/cm^3</math>)</b>	1.18 (Ayala, O, 2013)	1.35	1.96 (ZF-II)	1.21 (ZF-II)	1.49
<b>Densidad seca (<math>g/cm^3</math>)</b>	-	1.25	-	1.08 (ZF-II)	1.42
<b>%<math>\omega</math> natural</b>	-	7.93	-	-	4.89
<b>Espesor de unidad (m)</b>	<b>1.55</b>	<b>1.36</b>	<b>0.21</b>	<b>0.20</b>	<b>1.24</b>
<b>Densidad húmeda ponderada</b>	1.35 $T/m^3$				

**Tabla No. 5.3 Identificación geotécnica de estratos del talud Arrupe I**

Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina", año 2015

### • Resultados del monitoreo de erosión

Se presentan los registros obtenidos en campo en cada una de las visitas detallando las fechas en que fueron realizadas, así como los  $\Delta$  de erosión

<sup>46</sup> Para el caso de la unidad E (depósito seco), el porcentaje de limos representa el porcentaje de limos y arcillas menores que 0.075 mm.

laminar (parcial y acumulada), exceptuando el eje A, ya que no experimentó ningún cambio. (Ver **tabla No. 5.4**).

REGISTROS DE LA VARIACIÓN EN PROFUNDIDAD(R), VARIACIONES LAMINARES PARCIALES (P) Y ACUMULADAS(A) PARA EJES DEL TALUD ARRUPE I (cm)									
Fecha/Eje	B-1(R)	B-1(P)	B-1(A)	B-2(R)	B-2(P)	B-2(A)	B-3(R)	B-3(P)	B-3(A)
09/07/2015	3	0	0	3	0	0	3.5	0	0
07/08/2015	3	0	0	3	0	0	3.5	0	0
16/09/2015	3	0	0	3	0	0	4.5	-1	-1
16/10/2015	3	0	0	3	0	0	4.5	0	-1
23/10/2015	3	0	0	3	0	0	4.5	0	-1
03/12/2015	3	0	0	3	0	0	4.5	0	-1
29/01/2016	3	0	0 <sup>47</sup>	3	0	0	4.5	0	-1 <sup>48</sup>
Fecha/Eje	C-1(R)	C-1(P)	C-1(A)	C-2(R)	C-2(P)	C-2(A)	C-3(R)	C-3(P)	C-3(A)
09/07/2015	2.5	0	0	2	0	0	2	0	0
07/08/2015	2.5	0	0	2	0	0	2	0	0
16/09/2015	2.8	-0.3	-0.3	5	-3	-3	17	-15	-15
16/10/2015	3.3	-0.5	-0.8	6.5	-1.5	-4.5	18	-1	-16
23/10/2015	3.3	0	-0.8	6.5	0	-4.5	18	0	-16
03/12/2015	3.3	0	-0.8	15	-8.5	-13	18	0	-16
29/01/2016	3.3	0	-0.8	15	0	-13	18	0	-16
Fecha/Eje	D-1(R)	D-1(P)	D-1(A)	D-2(R)	D-2(P)	D-2(A)	D-3(R)	D-3(P)	D-3(A)
09/07/2015	2	0	0	2	0	0	2	0	0
07/08/2015	2	0	0	2	0	0	2	0	0
16/09/2015	5.5	-3.5	-3.5	3.5	-1.5	-1.5	5	-3	-3
16/10/2015	2.8	2.7	-0.8	3.7	-0.2	-1.7	4	1	-2
23/10/2015	2.8	0	-0.8	3.7	0	-1.7	4	0	-2
03/12/2015	2.8	0	-0.8	3.5	0.2	-1.5	4	0	-2
29/01/2016	2.8	0	-0.8	3.5	0	-1.5	4	0	-2
Fecha/Eje	E-1(R)	E-1(P)	E-1(A)	E-2(R)	E-2(P)	E-2(A)	E-3(R)	E-3(P)	E-3(A)
09/07/2015	5	0	0	5	0	0	5	0	0
07/08/2015	5	0	0	5	0	0	5	0	0
16/09/2015	7	-2	-2	10	-5	-5	5	0	0
16/10/2015	5.8	1.2	-0.8	3	7	2	5	0	0
23/10/2015	7.6	-1.8	-2.6	3	0	2	5	0	0
03/12/2015	7.6	0	-2.6	3	0	2	5	0	0
29/01/2016	7.6	0	-2.6	3	0	2	5	0	0

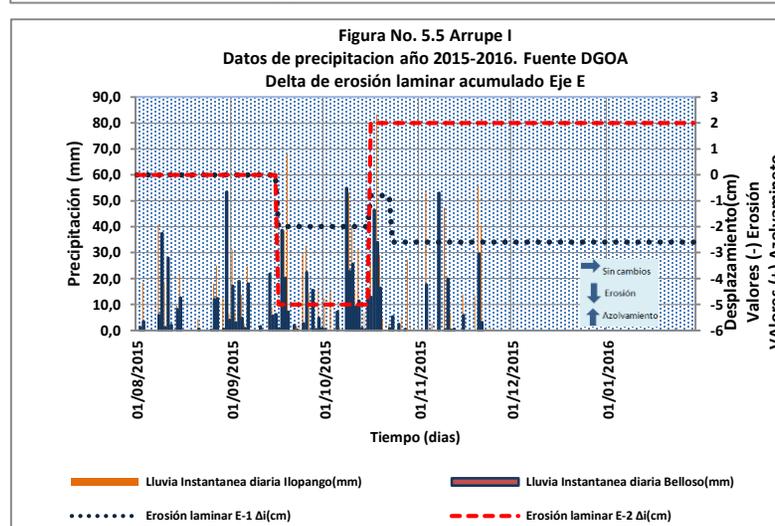
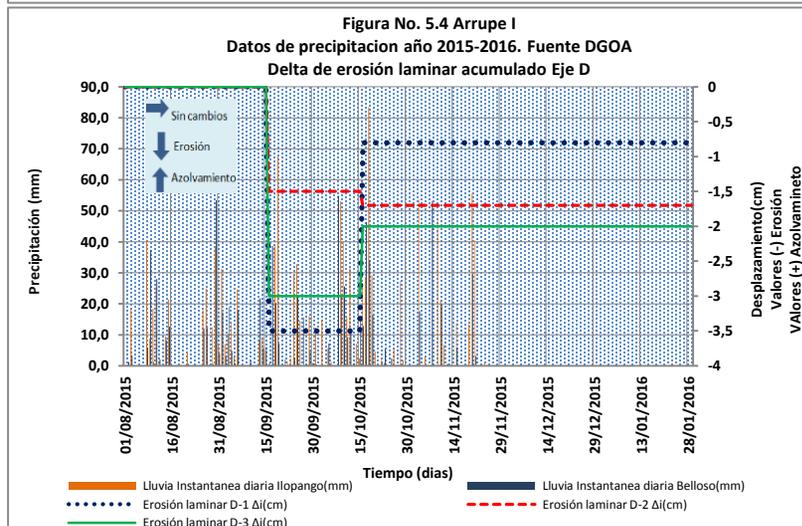
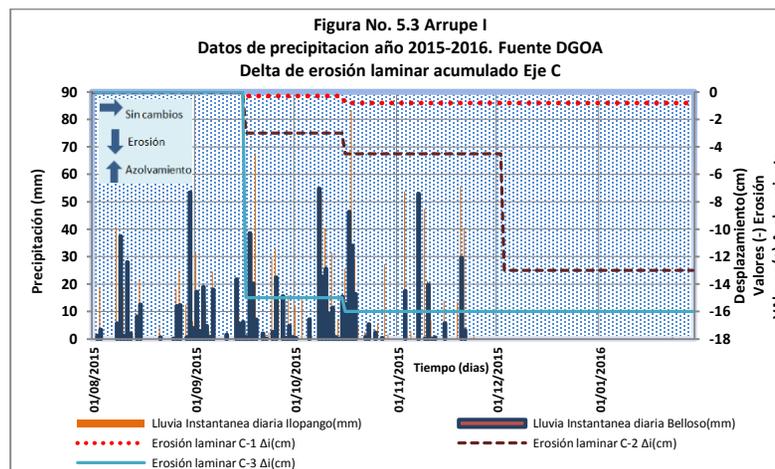
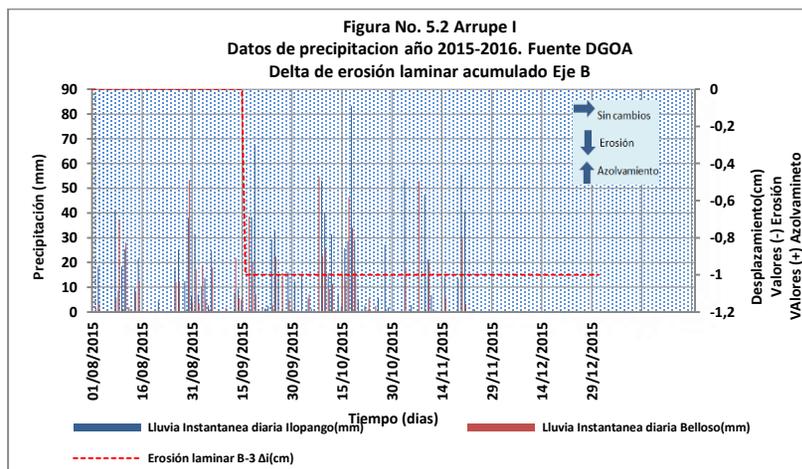
**Tabla No. 5.4 Registros obtenidos en campo, Variaciones laminares parciales (P) y acumuladas (A), Ejes del talud Arrupe I**

Fuente: De los autores.

En las **figuras No. 5.2 hasta la 5.5** se muestra el comportamiento de la lluvia instantánea y de los  $\Delta$  de erosión acumulada, tomando como referencia la estación Beloso e Ilopango (debido a que las dos se encuentran cercanas a la zona de influencia de este talud).

<sup>47</sup> Los puntos de cada eje que no hayan presentado cambios no se graficarán.

<sup>48</sup> Las celdas sombreadas representan el valor final acumulado de erosión o azolvamiento en los puntos de cada eje.



**Figuras No. 5.2, 5.3, 5.4 y 5.5 Precipitación instantánea-erosión laminar acumulada, Talud Arrupe I, Eje B, C, D y E**  
 Fuente: De los autores

- **Análisis de resultados de erosión laminar para talud Arrupe I**

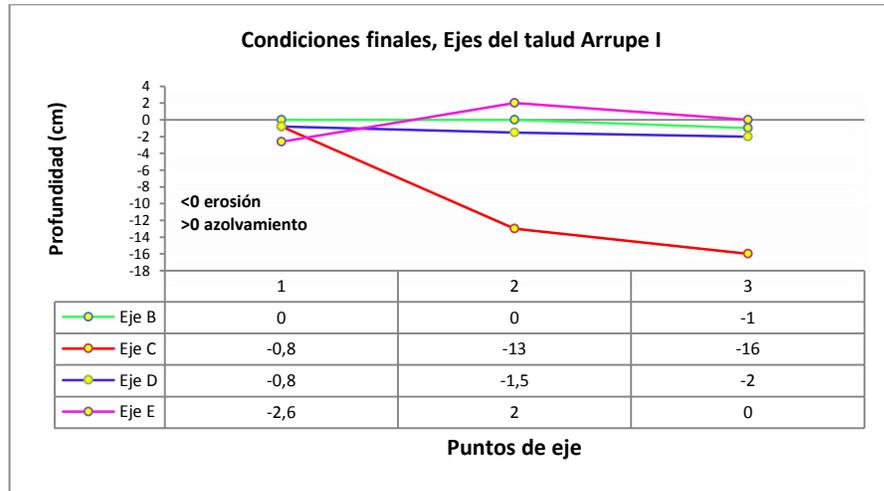
En este talud se esperaba mayores (procesos erosivos), pérdidas de material por dos factores: escasa vegetación (que poseía en el cuerpo del talud), así como a la fuerte pendiente (aproximadamente vertical) que presentaba.

Al analizar los gráficos de registros de lluvia instantánea diaria contra  $\Delta$  acumulados de erosión laminar; se puede determinar que los ejes que se encuentran más cercanos a la cresta experimentaron erosión (Eje B, C y D), y el eje que se encuentra cerca del pie del talud experimento azolvamiento (Eje E). Los cambios más importantes en los ejes (exceptuando el eje A, que no sufrió cambios), se registraron el 16/09/2015, en la cual se tenía un registro de lluvia acumulada<sup>49</sup> de 360.6 mm en la estación Ilopango y de 281.8 mm para la estación Beloso. Cabe destacar, que el eje que presentó mayores pérdidas fue el eje C (ubicado a 1.65 m del pie del talud en el depósito seco de la unidad E), con un  $\Delta$  de erosión entre -0.3 cm en el punto C-1, hasta -15 cm en el punto C-3. (Ver **figura No. 5.3**). Por otra parte, el que presentó mayor cantidad de azolvamiento fue el Eje E ubicado al pie del talud en el punto E-2, con un  $\Delta$  acumulado de azolvamiento de 2 cm el 16/10/2015, con una lluvia acumulada de 774.7 mm en la estación Ilopango y 557.2 mm en la estación Beloso. (Ver **figura No. 5.5**).

---

<sup>49</sup> Los registros de lluvia acumulada con los que se realizan las comparaciones con erosión y azolvamiento en todos los taludes, se han acumulado desde el día en que se instaló el equipo para comenzar a monitorear el fenómeno erosivo. Esta fecha de "instalación de equipo" puede variar en cada talud.

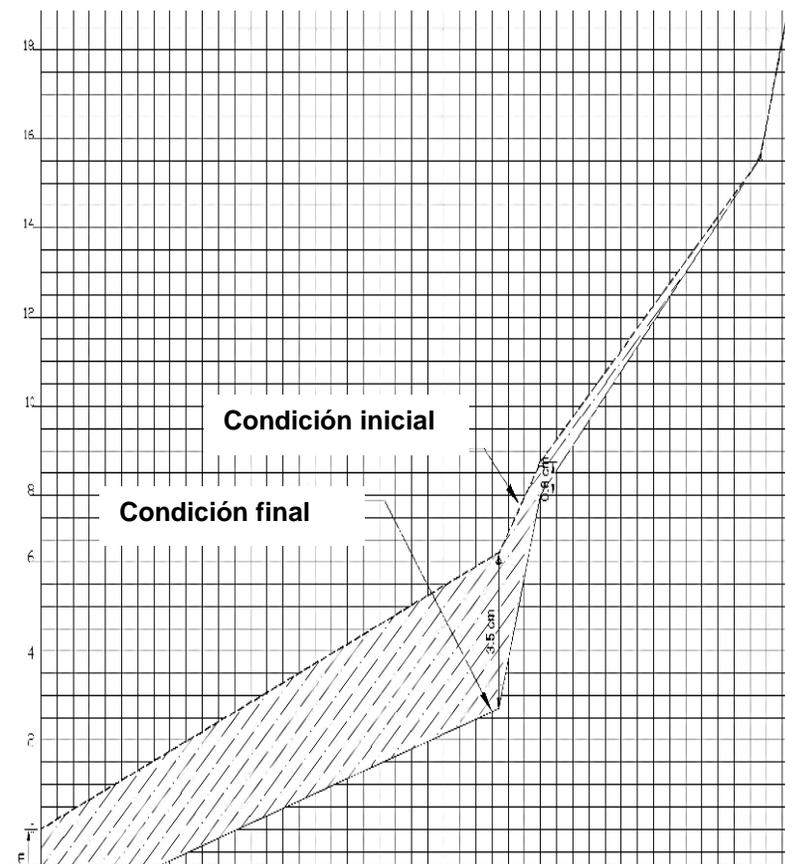
En el gráfico siguiente (Ver **figura No. 5.6**), se puede observar los  $\Delta$  acumulados de los ejes del talud al finalizar el periodo de estudio.



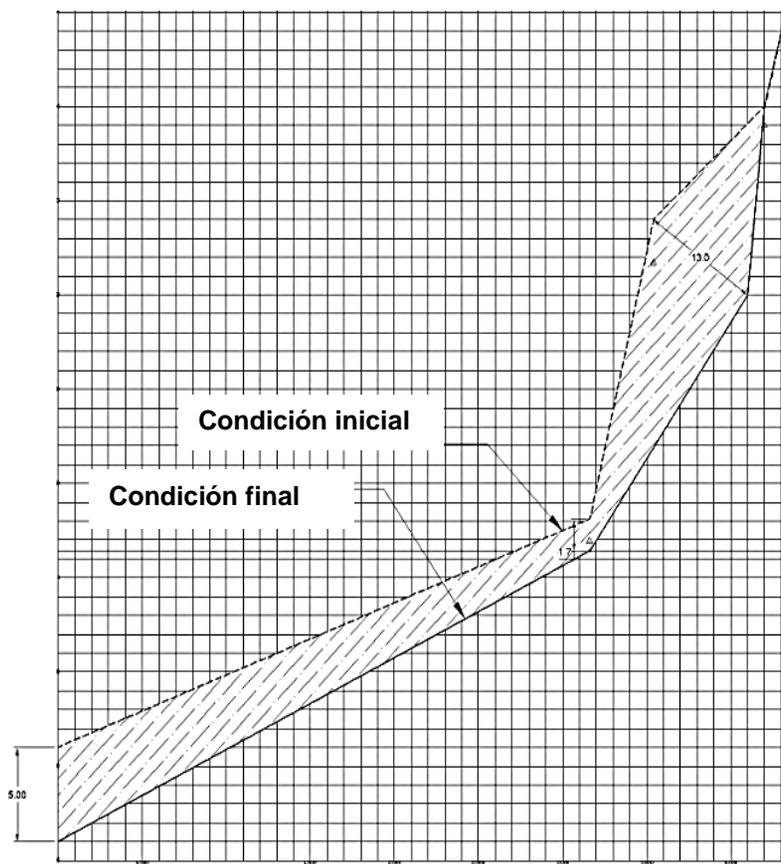
**Figura No. 5.6 Condiciones finales, Ejes del Talud Arrupe I**  
Fuente: De los autores

La condición final que resultó producto del estudio fue que se generaron variaciones acumuladas por erosión laminar en el rango de -0.8 cm (punto C-1 y D-1) hasta -16 cm (punto C-3), sin embargo, existió un punto que quedó azolvado, presentando un valor acumulado de 2 cm (punto E-2). (Ver **figura No. 5.6**).

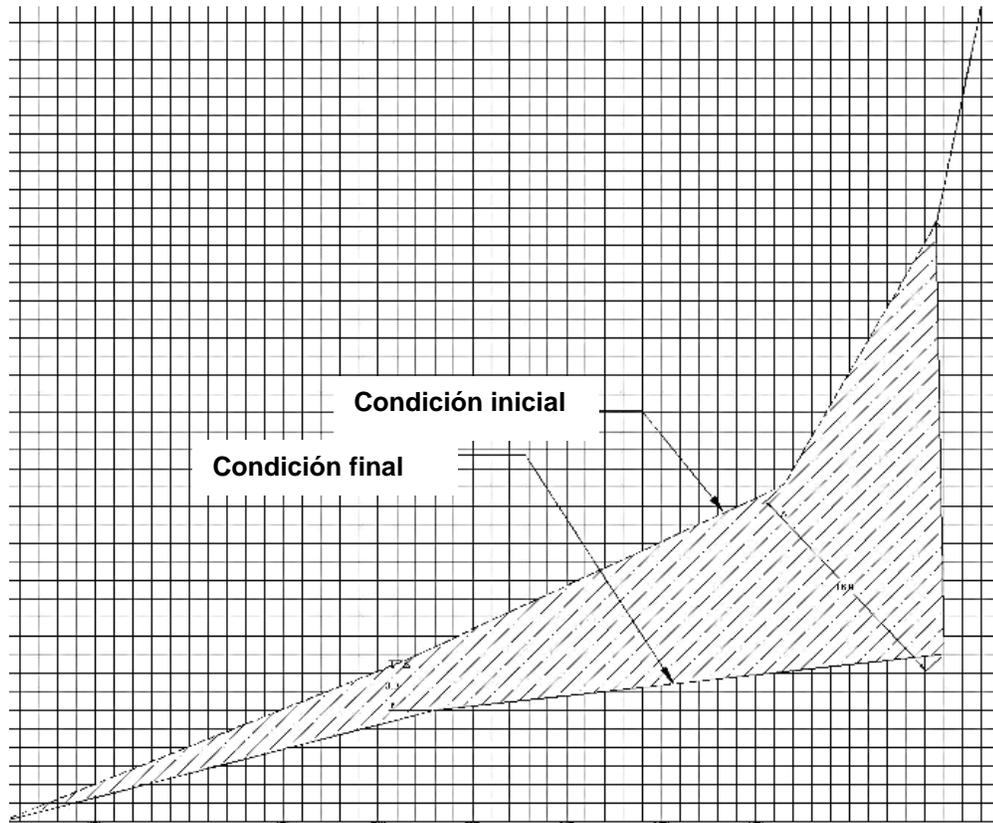
A continuación, se muestran los tres ejes verticales del talud, en donde se refleja el  $\Delta$  máximo de erosión que experimentó cada punto. A partir de estos, se obtuvo que el volumen total erosionado fue de: 0.88 m<sup>3</sup>. (Ver **figura No. 5.7**).



A) Perfil Eje 1



B) Perfil Eje 2



**C) Perfil Eje 3**

**Figura No. 5.7 A, B y C Condiciones de erosión máxima alcanzada, Ejes del Talud Arrupe**

Fuente: De los autores

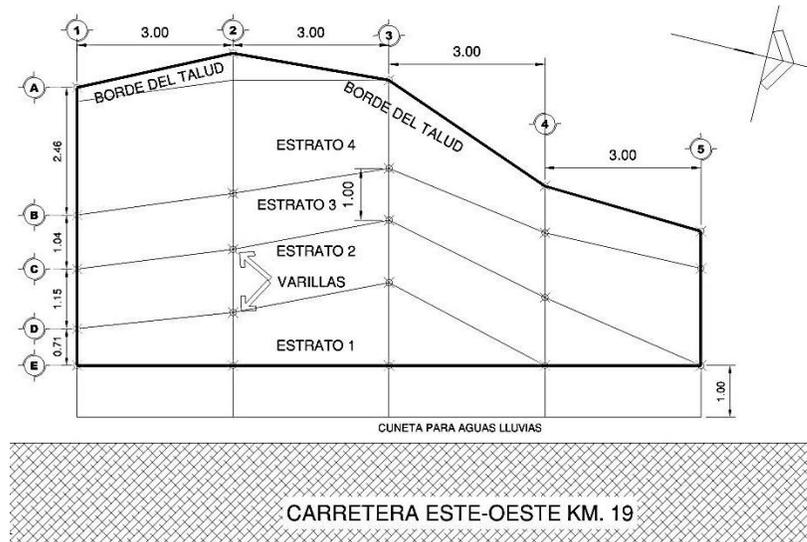
### ❖ Talud Arrupe II

- **Condiciones iniciales:** se presenta un resumen de las condiciones iniciales del talud y un esquema en planta de la configuración de las diferentes unidades y puntos de estudio (Ver **tabla No. 5.5 y figura No. 5.8**).

CONDICIONES INICIALES TALUD ARRUPE II	
Nombre del talud	Arrupe II
Periodo de estudio	5 meses
Altura Inicial(m)	4.98
Longitud del tramo(m)	12
Área del talud(m <sup>2</sup> )	59.76
Cobertura vegetal	Abundante en la cresta y algunos sectores del cuerpo. El área donde se colocó la cuadrícula estaba descubierta.
Elementos antrópicos	Vibraciones por el tráfico en la Carretera de Oro.
Inclinación	80° - 85°
Número de estratos	4
Unidades identificables	Tierras blancas inferiores
Tipo de erosión que presenta	Laminar
UBICACIÓN DE EJES	
Ejes en la dirección horizontal(X)	Identificados con letras desde la A hasta la E, en dirección Este-Oeste. (Ver figura No. 5.8)
Ejes en dirección vertical (Y)	Identificados con números desde el eje 1 hasta el eje 5, en dirección Norte-Sur. (Ver figura No. 5.8)

**Tabla No. 5.5 Condiciones iniciales del talud Arrupe II**

Fuente: De los autores.



**Figura No. 5.8 Vista frontal de ubicación de cuadrícula del Talud Arrupe II**

Fuente: De los autores

✓ **Caracterización geotécnica de los estratos presentes**

**Identificación geotécnica de estratos:** a continuación se muestra la identificación geotécnica del talud Arrupe II (Ver **tabla No. 5.6**).

DESCRIPCIÓN	ESTRATO 4	ESTRATO 3	ESTRATO 2	ESTRATO 1
<b>Gruesos</b>	<b>11.27</b>	<b>52.29</b>	<b>41.26</b>	<b>74.27</b>
% grava	0	1.06	1.71	26.67
% arena	11.27	51.23	39.55	47.60
<b>Finos</b>	<b>88.73</b>	<b>47.71</b>	<b>58.74</b>	<b>25.73</b>
% limos	80.18	43.46	52.48	22.97
% arcillas	8.55	4.25	6.26	2.76
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
LL	0	0	43.6	38.5
IP	0	0	16.6	13.5
Plasticidad	NP	NP	ML o OL (Limo de baja plasticidad o Limo Orgánico de baja plasticidad)	ML o OL (Limo de baja plasticidad o Limo Orgánico de baja plasticidad)
CU	0	13.85	-	-
CC	0	0.87	-	-
Color	Blanco con mucha presencia de finos	Café oscuro con de arenas	Blanco a beige con presencia de muchos finos	Café oscuro con presencia de gravas y arenas
<b>Clasificación</b>	Limo con arena	Arena Limosa	Limo arenoso de mediana compresibilidad	Arena limosa con grava, tamaño máximo de 9.5 mm
<b>Símbolo del grupo</b>	ML	SM	ML	SM
<b>Gravedad específica promedio</b>	2.37	2.51	2.38	2.57
<b>Densidad húmeda (<math>g/cm^3</math>)</b>	-	1.21	1.70	-
<b>Densidad seca (<math>g/cm^3</math>)</b>	-	1.17	1.63	-
<b>%<math>\omega</math> natural</b>	-	3.15	4.51	-
<b>Espesor de la unidad (m)</b>	2.16	1.20	1.02	0.60
<b>Densidad húmeda ponderada<sup>50</sup></b>	1.52 T/m <sup>3</sup>			

**Tabla No. 5.6 Identificación geotécnica de estratos del talud Arrupe II**

Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina", año 2015

- **Resultados del monitoreo de erosión**

Los registros de campo,  $\Delta$ 's de erosión parcial, acumulada y los gráficos comparados con los registros de lluvia se muestran a continuación (Ver **tabla No. 5.7** y **figuras No.5.9 hasta 5.13**).

<sup>50</sup> Para el estrato 1 se consideró una densidad húmeda de  $1.21 g/cm^3$  y para el estrato 4 de  $1.70 g/cm^3$  por su similitud en gravedades específicas con los estratos 3 y 2, respectivamente.

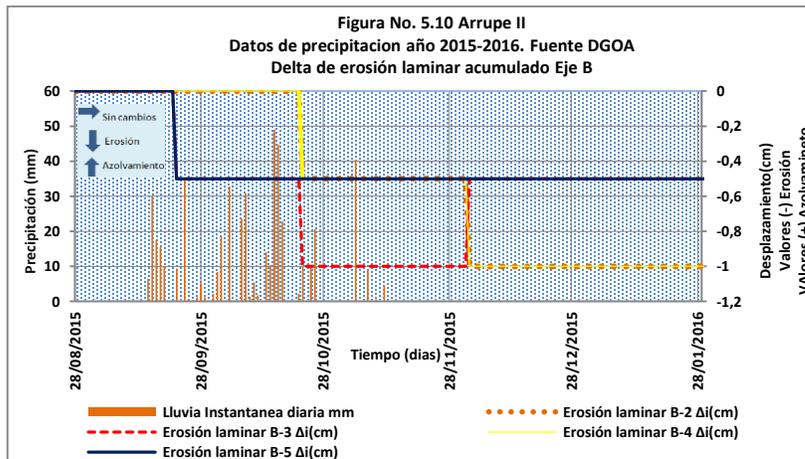
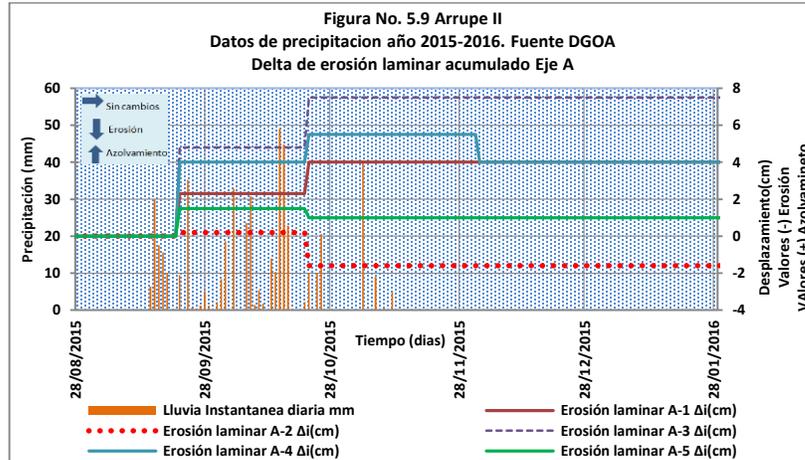
REGISTROS DE LA VARIACIÓN EN PROFUNDIDAD(R), Δ DE EROSIÓN LAMINAR PARCIAL (P) Y ACUMULADA(A) EJES DEL TALUD ARRUPE II (cm)															
Fecha/Eje	A-1(R)	A-1(P)	A-1(A)	A-2(R)	A-2(P)	A-2(A)	A-3(R)	A-3(P)	A-3(A)	A-4(R)	A-4(P)	A-4(A)	A-5(R)	A-5(P)	A-5(A)
18/08/2015	5	0	0	0.4	0	0	9	0	0	7	0	0	3	0	0
22/09/2015	2.7	2.3	2.3	0.2	0.2	0.2	4.2	4.8	4.8	3	4	4	1.5	1.5	1.5
23/10/2015	1	1.7	4	2	-1.8	-1.6	1.5	2.7	7,5	1.5	1.5	5,5	2	-0.5	1
12/11/2015	1	0	4	2	0	-1,6	1,5	0	7,5	1,5	0	5,5	2	0	1
03/12/2016	1	0	4	2	0	-1,6	1,5	0	7,5	3	-1,5	4	2	0	1
29/01/2016	1	0	4 <sup>51</sup>	2	0	-1,6	1,5	0	7,5	3	0	4	2	0	1
Fecha/Eje	B-1(R)	B-1(P)	B-1(A)	B-2(R)	B-2(P)	B-2(A)	B-3(R)	B-3(P)	B-3(A)	B-4(R)	B-4(P)	B-4(A)	B-5(R)	B-5(P)	B-5(A)
18/08/2015	2	0	0	1.5	0	0	3.5	0	0	5	0	0	5.5	0	0
22/09/2015	2	0	0	1.5	0	0	4	-0.5	-0.5	5	0	0	6	-0.5	-0.5
23/10/2015	2	0	0	2	-0.5	-0.5	4.5	-0.5	-1	5.5	-0.5	-0.5	6	0	-0.5
12/11/2015	2	0	0	2	0	-0.5	4.5	0	-1	5.5	0	-0.5	6	0	-0.5
03/12/2016	2	0	0	2.5	-0.5	-1	4	0.5	-0.5	6	-0.5	-1	6	0	-0.5
29/01/2016	2	0	0 <sup>52</sup>	2.5	0	-1	4	0	-0.5	6	0	-1	6	0	-0.5
Fecha/Eje	C-1(R)	C-1(P)	C-1(A)	C-2(R)	C-2(P)	C-2(A)	C-3(R)	C-3(P)	C-3(A)	C-4(R)	C-4(P)	C-4(A)	C-5(R)	C-5(P)	C-5(A)
18/08/2015	3.5	0	0	1.22	0	0	7.5	0	0	5	0	0	5	0	0
22/09/2015	3.5	0	0	3	-1.78	-1.78	7.5	0	0	4.5	0.5	0.5	4	1	1
23/10/2015	4.5	-1	-1	4	-1	-2.78	8.5	-1	-1	4.5	0	0.5	4	0	1
12/11/2015	4.5	0	-1	4	0	-2.78	8.5	0	-1	4.5	0	0.5	4	0	1
03/12/2015	4	0.5	-0.5	3.5	-0.5	-3.28	8	0.5	-0.5	5	-0.5	0	4	0	1
29/01/2016	4	0	-0.5	3.5	0	-3.28	8	0	-0.5	5	0	0	4	0	1
Fecha/Eje	D-1(R)	D-1(P)	D-1(A)	D-2(R)	D-2(P)	D-2(A)	D-3(R)	D-3(P)	D-3(A)	D-4(R)	D-4(P)	D-4(A)			
18/08/2015	11	0	0	3	0	0	4	0	0	7	0	0			
22/09/2015	11.5	-0.5	-0.5	5	-2	-2	2	2	2	7	0	0			
23/10/2015	12	-0.5	-1	5	0	-2	2.5	-0.5	1.5	7	0	0			
12/11/2015	12	0	-1	5	0	-2	2.5	0	1.5	7	0	0			
03/12/2015	12	0	-1	5	0	-2	2	0.5	2	7	0	0			
29/01/2016	12	0	-1	5	0	-2	2	0	2	7	0	0			
Fecha/Eje	E-1(R)	E-1(P)	E-1(A)	E-2(R)	E-2(P)	E-2(A)	E-3(R)	E-3(P)	E-3(A)						
18/08/2015	10	0	0	7	0	0	7	0	0						
22/09/2015	5.5	4.5	4.5	4.5	2.5	2.5	4	3	3						
23/10/2015	5.3	0.2	4.7	4.5	0	2.5	4	0	3						
12/11/2015	5.3	0	4.7	4.5	0	2.5	4	0	3						
03/12/2015	5.3	0	4.7	5	-0.5	2	4	0	3						
29/01/2016	5.3	0	4.7	5	0	2	4	0	3						

Tabla No. 5.7 Δ de erosión laminar acumulada, Ejes del Talud Arrupe II (cm)

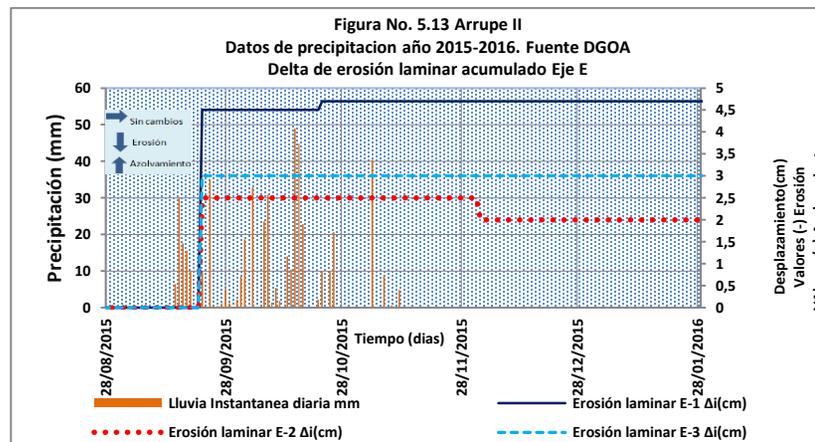
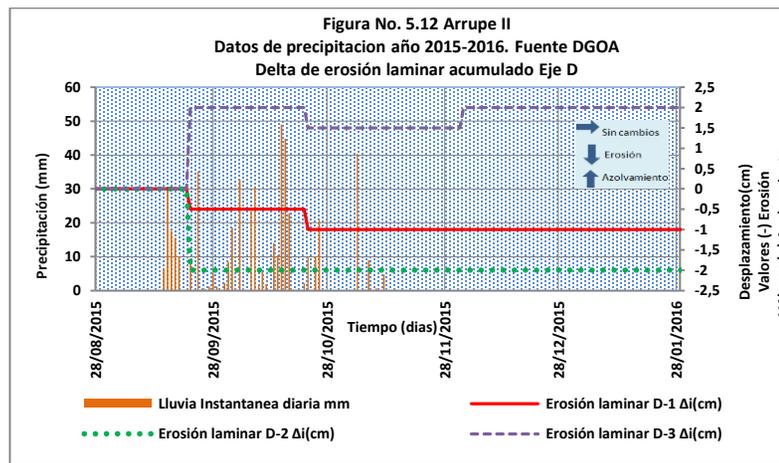
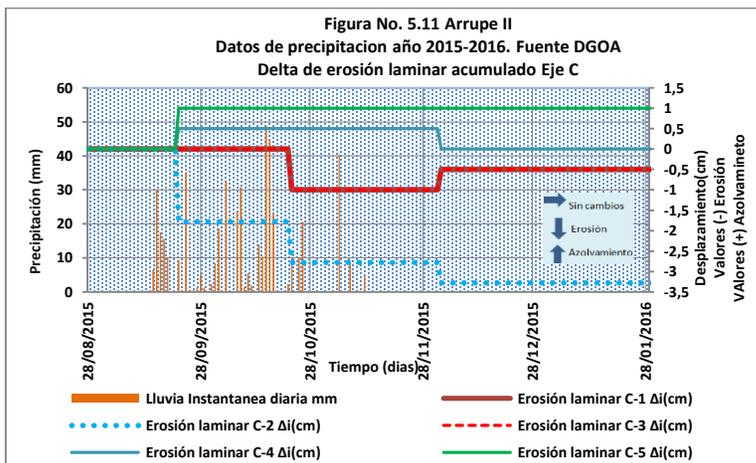
Fuente: De los autores.

<sup>51</sup> Las celdas sombreadas representan el valor final acumulado de erosión o azolvamiento en los puntos de cada eje

<sup>52</sup> Los puntos de cada eje que no hayan presentado cambios no se graficarán.



**Figuras No. 5.9 y 5.10, Precipitación instantánea-erosión laminar acumulada, Talud Arrupe II, Eje A y B**  
**Fuente: De los autores**



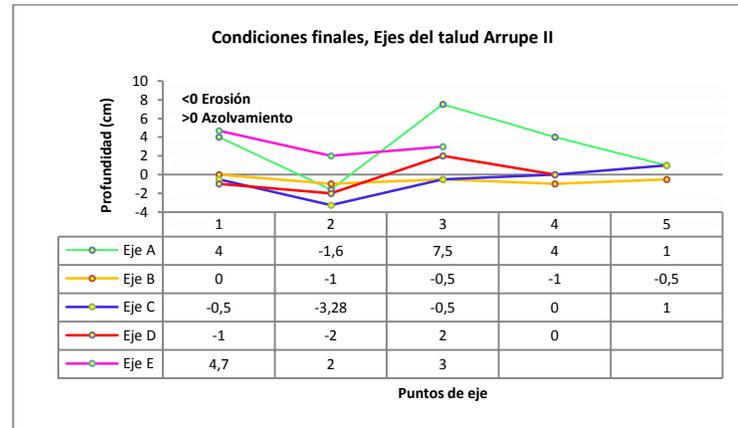
**Figuras No. 5.11, 5.12 y 5.13, Precipitación instantánea-erosión laminar acumulada, Talud Arrupe II, Eje C, D y E**  
 Fuente: De los autores

- **Análisis de resultados de erosión laminar para talud Arrupe II**

El deterioro que podría experimentar este talud estaba influenciado por dos factores: se encuentra adyacente a la Carretera de Oro, por lo que se ve afectada por las vibraciones producto del paso de vehículos, ausencia de vegetación, así como la fuerte pendiente (aproximadamente vertical) que presentaba.

Los cambios relevantes que se presentaron fueron los siguientes: en el Eje A (ubicado en la cresta, a 5.36 m del pie del talud, estrato 4), presentó 7.5 cm de azolvamiento (en el punto A-3) en la fecha del 23/10/2015, para un valor de lluvia acumulado de 660.8 mm en la estación UES (Ver **figura No. 5.9**). Y, para la misma fecha, el eje E (ubicado al pie del talud, en el estrato 1), presentó  $\Delta$  de azolvamiento acumulado hasta de 4.7 cm en el punto E-1 (Ver **figura No. 5.13**). El mayor  $\Delta$  acumulado de erosión se registró en el eje C (-3.28 cm, punto C-2), ubicado aproximadamente a 1.86 m del pie del talud, entre el estrato 3 y 4, el 3/12/2015, con un registro de lluvia acumulada de 746.8 mm.

Las condiciones de los ejes del talud al final del periodo de estudio se pueden ver en el gráfico siguiente. (Ver **figura No. 5.14**).



**Figura No. 5.14 Condiciones finales, Ejes del talud Arrupe II**  
Fuente: De los autores

Para este talud hubieron pérdidas acumuladas por erosión laminar que oscilan entre -0.5 cm (punto B-3, B-5, C-1 y C-3) hasta -3.28 cm (punto C-2); y  $\Delta$  de azolvamientos acumulados entre 1 cm (punto A-5 y C-5) hasta 7.5 cm (punto A-3).

El volumen total erosionado fue de 0.22 m<sup>3</sup>. Y los cinco ejes verticales, en donde se refleja el  $\Delta$  máximo de erosión que experimentó cada punto se pueden observar en Anexos (**Ver Anexo No. 8**).

#### ❖ Talud Cipreses I

- **Condiciones iniciales:** se presenta un resumen de las condiciones iniciales del talud y un esquema en planta de la configuración de las diferentes unidades y puntos de estudio (Ver **tabla No. 5.8 y figura No. 5.15**).

CONDICIONES INICIALES TALUD CIPRESSES I	
Nombre del talud	Cipresses I
Periodo de estudio	5 meses
Altura Inicial (m)	5.5
Ancho inicial (m)	21.23
Área del talud (m <sup>2</sup> )	116.77
Cobertura vegetal	De espesor considerable en la cresta. El cuerpo sin recubrimiento
Elementos antrópicos	Adyacente a la quebrada Arenal de San Bartolo
Inclinación	Aproximadamente 90°
Número de estratos	3
Unidades identificables	TBJ: Unidad D, Ignimbrita α y una depósito aluvial
Tipo de erosión que presenta	Horizontal y vertical
UBICACIÓN DE EJES	
Ejes en la dirección horizontal(X)	Identificados con letras desde la A hasta la D, en dirección Este-Oeste aproximadamente, con respecto a la norte magnético. (Ver figura No. 5.15)
Ejes en dirección vertical (Y)	Identificados con números desde el eje 1 hasta el eje 6, en dirección Suroriente-Nororiente aproximadamente, con respecto al norte magnético. (Ver figura No. 5.15)

Tabla No. 5.8 Condiciones iniciales del talud Cipresses I  
Fuente: De los autores.

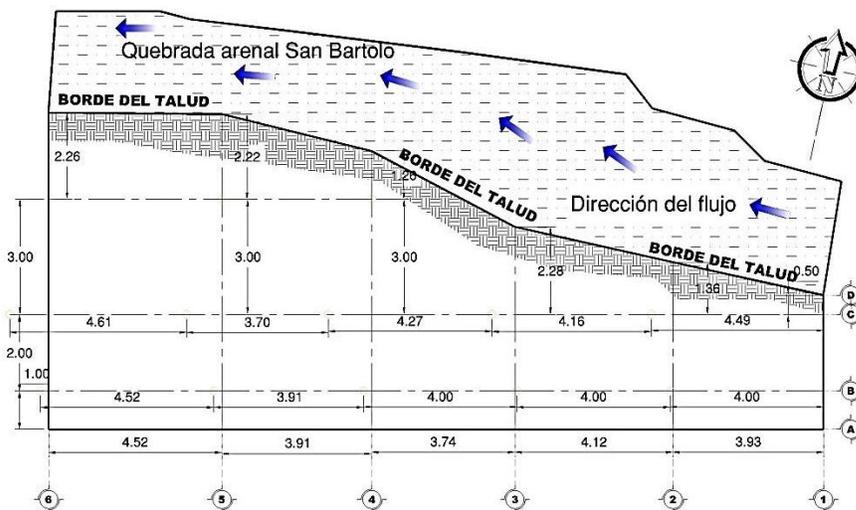


Figura No. 5.15. Condiciones iniciales (Vista en planta) del talud Cipresses I  
Fuente: De los autores

- **Caracterización geotécnica de los estratos presentes**

**Identificación geotécnica de estratos:** a continuación se muestra la identificación geotécnica del talud Cipresses I (Ver tabla No. 5.9).

DESCRIPCIÓN	DEPÓSITO ALUVIAL <sup>53</sup>	IGNIMBRITA $\alpha$	UNIDAD D
<b>Gruesos</b>	<b>92.43</b>	<b>77.07</b>	<b>45.41</b>
% grava	6.50	6.29	0.34
% arena	85.93	70.78	45.07
<b>Finos</b>	<b>7.57</b>	<b>22.93</b>	<b>54.59</b>
% limos	7.57	22.02	51.84
% arcillas		0.91	2.75
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
Cu	8.00	10	6.25
Cc	1.13	0.78	1.00
Plasticidad	NP	NP	NP
Color	Color gris con poca presencia de finos, tamaño máximo 9.5 mm	Color blanco con abundante presencia de pómez, tamaño máximo 9.5 mm	Color blanco con presencia de finos y arenas
<b>Clasificación</b>	Arena bien graduada con limo	Arena Limosa	Limo arenoso
<b>Símbolo del grupo</b>	SW-SM	SM	ML
<b>Gravedad específica promedio</b>	2.43	2.31	2.39
<b>Estrato</b>	<b>Densidad húmeda (<math>g/cm^3</math>)</b>	<b>Densidad seca (<math>g/cm^3</math>)</b>	<b>Espesor (m)</b>
<b>Depósito aluvial</b>	1.15 (ZF-I)	-	2.0
<b>Ignimbrita <math>\alpha</math></b>	1.54 ( $\% \omega = 7.52$ )	1.44	1.70
<b>1-A (Depósito de caída)</b>	1.51 ( $\% \omega = 13.99$ )	1.33	0.80
<b>1-B (Coignimbrita)</b>	1.69 ( $\% \omega = 17.13$ )	1.44	0.24
<b>1-C (Depósito de caída)</b>	1.88 ( $\% \omega = 27.46$ )	1.49	0.21
<b>1-D (Coignimbrita)</b>	1.32 ( $\% \omega = 28.19$ )	1.03	0.30
<b>1-E (Depósito de caída)</b>	1.78 ( $\% \omega = 24.79$ )	1.42	0.50
<b>H total</b>			5.75
<b>Densidad húmeda ponderada</b>	1.43 T/m <sup>3</sup>		

**Tabla No. 5.9 Identificación geotécnica de estratos del talud Cipreses I**

Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina", año 2015

- **Resultados del monitoreo de erosión**

Se obtuvieron los siguientes  $\Delta$  de erosión lateral<sup>54</sup> y vertical acumulada para el talud Cipreses I<sup>55</sup>. (Ver **tabla No. 5.10**). Y los gráficos comparativos con los registros de lluvia se muestran en las **figuras No. 5.16 y 5.17**.

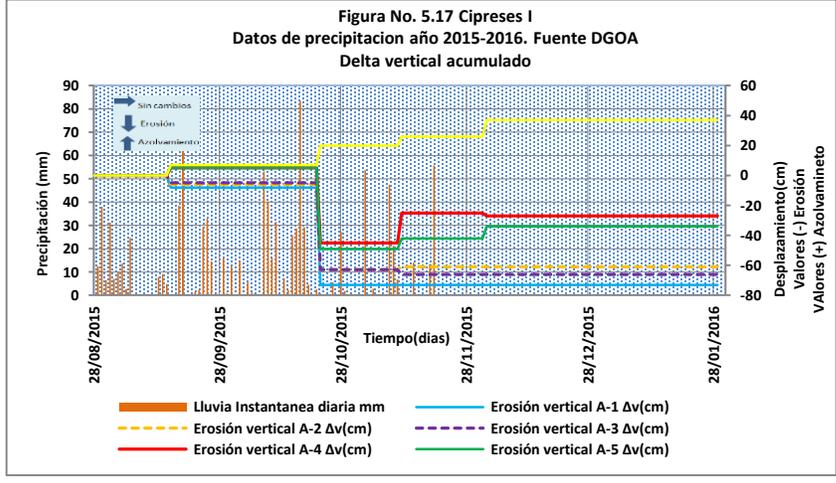
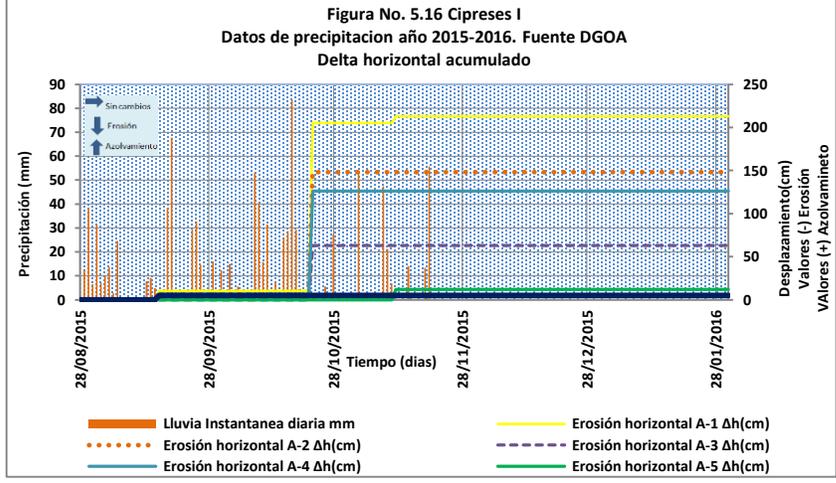
<sup>53</sup> El porcentaje menor que 0.075 mm incluye tanto los limos como las arcillas presentes en la depósito aluvial (arena).

<sup>54</sup> Al calcular el delta de erosión horizontal, se consideró como marco de referencia el eje más alejado del borde del talud, ya que es el que permaneció fijo durante el transcurso del período de monitoreo. Para el talud Cipreses I, el eje que se tomó de referencia, fue el eje "A". (Ver **figura No. 5.18**).

<sup>55</sup> Los registros obtenidos en campo para los taludes cuyas tablas reflejan solamente las variaciones acumuladas, pueden apreciarse en el **Anexo No. 7**.

VARIACIÓN HORIZONTAL (H) Y VERTICAL <sup>56</sup> (V) ACUMULADA (cm) EN TALUD CIPRESSES I.												
Fecha/Eje	A-1(H)	1(V)	A-2(H)	2(V)	A-3(H)	3(V)	A-4(H)	4(V)	A-5(H)	5(V)	A-6(H)	6(V)
28/08/2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16/09/2015	10	-8	6	-6	0	-5	6	5	0	5	5	7
23/10/2015	205	-73	148	-63	63	-63	126	-45	0	-49	5	20
12/11/2015	213	-73	148	-61	63	-66	126	-25	12	-42	5	26
03/12/2015	213	-73	148	-61	63	-66	126	-27	12	-34	5	37
29/01/2016 <sup>57</sup>	213	-73	148	-61	63	-66	126	-27	12	-34	5	37

**Tabla No. 5.10 Δ de erosión horizontal y vertical acumulada, Talud Cipresses I**  
Fuente: De los autores.



**Figuras No. 5.16 y 5.17 Precipitación instantánea-erosión horizontal y vertical acumulada (respectivamente), Talud Cipresses I**  
Fuente: De los autores

<sup>56</sup> Variaciones verticales (profundidades).

<sup>57</sup> Las filas sombreadas representan el valor final acumulado de erosión o azolvamiento en los ejes colocados.

- **Análisis de resultados de erosión horizontal y vertical para talud Cipreses I**

Para este talud se esperaba que la mayor influencia en su deterioro fuera la quebrada Arenal de San Bartolo; además, por la ausencia de cobertura vegetal en el cuerpo y su fuerte pendiente, se tenían condiciones favorables para presentar erosión horizontal y vertical.

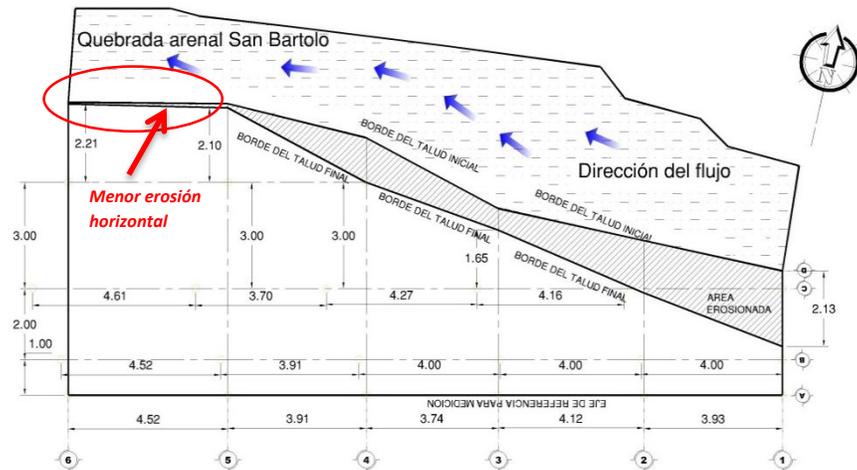
Asimismo, para entender el comportamiento que experimento este, es necesario describir el efecto del flujo del agua sobre el: la corriente del agua impacta aguas arriba en los ejes 1 y 2, reduciendo y re-direccionando la velocidad del flujo; disminuyendo la influencia de este en los ejes 3, 4, 5 y 6.

**Eje A (Erosión horizontal):** Se colocaron 6 puntos, de los cuales, los que experimentaron las más pequeñas variaciones fueron: A-5 y A-6, llegando a valores acumulados de erosión horizontal de 12 cm y 5 cm, respectivamente (Ver zona marcada en **figura No. 5.18**), y una variación un poco mayor en A-3 de 63 cm. Estas variaciones pudieron deberse a que el punto A-3 se encuentra localizado en una concavidad del talud, lo que, evita que quede expuesto directamente al flujo de la quebrada. Los puntos A-5 y A-6 se encuentran localizados en un sector donde cambia de dirección el flujo, por lo tanto, el impacto que tiene el agua sobre los mismos no es tan fuerte como el que se presenta en los puntos: A-1, A-2 y A-4. A partir del 23/10/2015, se registraron mayores cambios, llegando a valores acumulados de erosión hasta de 205 cm

en el Eje A-1 (Ver **figura No. 5.16**), a esta fecha se tenían registros de lluvia acumulada en la estación Ilopango de 731.8 mm; sin embargo, las tormentas del 16 (lluvia diaria de 25.7mm), 17 (28.6 mm) y el 18 de octubre (83.4 mm de lluvia) pudieron haber tenido mayor influencia, debido a su intensidad.

**Erosión vertical:** los cambios más importantes en este tipo de erosión, se registraron el 23/10/2015; con un acumulado de lluvia en la estación Ilopango de 731.8 mm. Se puede destacar también, la importancia de la lluvia instantánea ocurrida el 18/10/2015, la cual fue de 83.4 mm. Los ejes que experimentaron cambios fueron los ejes: 1 (-73 cm), 2 (-63 cm), 3 (-63 cm), 4 (-45 cm) y 5 (-49 cm), y azolvamiento solo el eje 6 (20 cm). Lo que se puede atribuir a la ubicación de este eje, (se encuentra en la parte más baja del talud), ocasionando que el material erosionado quede acumulado en este punto (Ver **figura No.5.17**).

Las condiciones finales del talud Cipreses I, se muestra en la figura siguiente. (Ver **figura No. 5.18**).



**Figura No. 5.18. Condiciones finales (Vista en planta) del talud Cipreses I**  
Fuente: De los autores

El factor que más predominó en el deterioro del talud fue la influencia de la quebrada Arenal de San Bartolo, ya que las mayores pérdidas por erosión se presentaron cuando el caudal creció a consecuencia de las lluvias.

Al final del periodo de estudio, el mayor  $\Delta$  acumulado de erosión horizontal fue de 213 cm en el Eje A-1 y el menor fue de 5 cm en el eje A-6; y el rango de variaciones verticales (erosión) acumuladas oscila entre -27 cm (Eje 4) hasta -73 cm (Eje 1). Y el único eje que quedó azolvado con respecto a la condición inicial, fue el Eje 6, con un valor acumulado de azolvamiento de 37 cm.

El volumen total erosionado para este talud fue de 127.57 m<sup>3</sup>.

#### ❖ Talud Cipreses II

- **Condiciones iniciales:** se presenta un resumen de las condiciones iniciales del talud y un esquema en planta de la configuración de las diferentes unidades y puntos de estudio (Ver **tabla No. 5.11** y **figura No. 5.19**).

CONDICIONES INICIALES TALUD CIPRESES II	
Nombre del talud (m)	Cipreses II
Periodo de estudio	5 meses
Altura Inicial (m)	7.10
Ancho inicial (m)	10.83
Área (m <sup>2</sup> )	76.89
Recubrimiento vegetal	En la cresta y cuerpo sin recubrimiento
Elementos antrópicos	Contiguo a quebrada Arenal de San Bartolo
Inclinación	Aproximadamente 90°
Número de estratos	3
Unidades identificables	TBJ: Ignimbrita $\alpha$ inferior y superior y una depósito aluvial
Tipo de erosión que presenta	Horizontal y vertical
UBICACIÓN DE EJES	
Ejes en la dirección horizontal(X)	Identificados con letras A y B, en dirección Suroriente-Noroeste con respecto al norte magnético. (Ver figura No. 5.19)
Ejes en dirección vertical (Y)	Identificados con números desde el eje 1 hasta el eje 4, en dirección Suroeste-Noreste con respecto al norte magnético. (Ver figura No. 5.19)

Tabla No. 5.11 Condiciones iniciales del talud Cipreses II  
Fuente: De los autores.

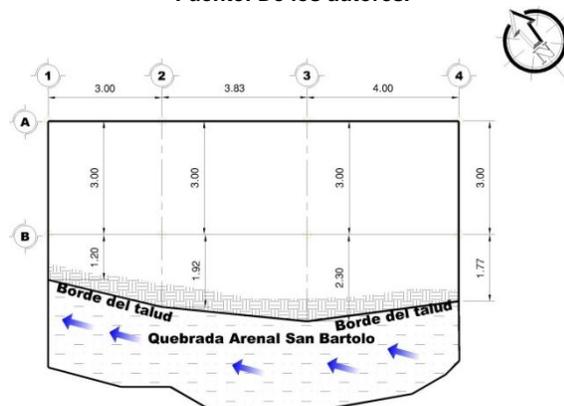


Figura No. 5.19. Condiciones iniciales (Vista en planta) del talud Cipreses II  
Fuente: De los autores

### ✓ Caracterización geotécnica de los estratos presentes

**Identificación geotécnica de estratos:** a continuación se muestra la identificación geotécnica del talud Cipreses II (Ver **tabla No. 5.12**).

DESCRIPCIÓN	DEPÓSITO ALUVIAL <sup>58</sup>	IGNIMBRITA α (SUPERIOR)	IGNIMBRITA α (INFERIOR)
<b>Gruesos</b>	<b>89.56</b>	<b>66.7</b>	<b>63.22</b>
% grava	7.06	2.23	0.61
% arena	82.50	64.47	62.61
<b>Finos</b>	<b>10.45</b>	<b>33.3</b>	<b>36.79</b>
% limos	10.45	32.75	36.01
% arcillas		0.55	0.78
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
Cu	10.93	5.63	5.41
Cc	1.99	0.54	0.49
Plasticidad	NP	NP	NP
Color	Color gris con presencia de pómez de tamaño máximo 9.53 mm y finos	Color blanco con-presencia de pómez tamaño máximo 9.53 mm	Color blanco con presencia de pómez de tamaño máximo de 4.75 mm
Clasificación	Arena bien graduada con limo	Arena Limosa	Arena limosa
Símbolo del grupo	SW-SM	SM	SM
Gravedad específica promedio	2.30	2.37	2.44
Densidad húmeda ( $g/cm^3$ )	1.15 (ZF-I)	1.23	1.44
Densidad seca ( $g/cm^3$ )	-	1.14	1.27
% $\omega$ natural	-	7.47	13.27
Espesor de la unidad (m)	1.20	5.00	0.90
Densidad húmeda ponderada		1.24 T/m <sup>3</sup>	

**Tabla No. 5.12 Identificación geotécnica del talud Cipreses II**

Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina", año 2015

- **Resultados del monitoreo de erosión**

Las tablas de variación horizontal<sup>59</sup> y vertical acumulada se muestran a continuación. (Ver **tabla No. 5.13**). Asimismo, se presentan la superposición de gráficos de erosión acumulada junto con registros de lluvia ver las **figuras No. 5.20 y No. 5.21**.

VARIACIÓN HORIZONTAL (H) Y VERTICAL (V) ACUMULADA (cm) DE TALUD CIPRESSES II							
Fecha/Eje	A-1(H) <sup>60</sup>	A-2(H)	2(V)	A-3(H)	3(V)	A-4(H)	4(V)
28/08/2015	0	0	0	0	0	0	0
16/09/2015	0	118	6	110	15	5	10
23/10/2015	133	315	49	302	0	187	-105
12/11/2015	150	315	21	302	-13	187	-108
03/12/2015	150	315	21	302	-13	187	-108
29/01/2016	150 <sup>61</sup>	315	21	302	-13	187	-108

**Tabla No. 5.13 Δ de erosión horizontal y vertical acumulada, Talud Cipreses II**

Fuente: De los autores.

<sup>58</sup> El porcentaje menor que el tamaño 0.075 mm incluye tanto los limos como las arcillas presentes en la depósitos aluvial (arena).

<sup>59</sup> Al calcular el delta de erosión horizontal, se consideró como marco de referencia el eje más alejado del borde del talud, ya que es el que permaneció fijo durante el transcurso del período de monitoreo. Para el talud Cipreses II, el eje que se tomó de referencia, fue el eje "A". Ver figura No.5.22.

<sup>60</sup> En el eje A-1, no se tomaron mediciones verticales (cambios en profundidad).

<sup>61</sup> Las filas sombreadas representan el valor final acumulado de erosión o azolvamiento en los puntos de cada eje

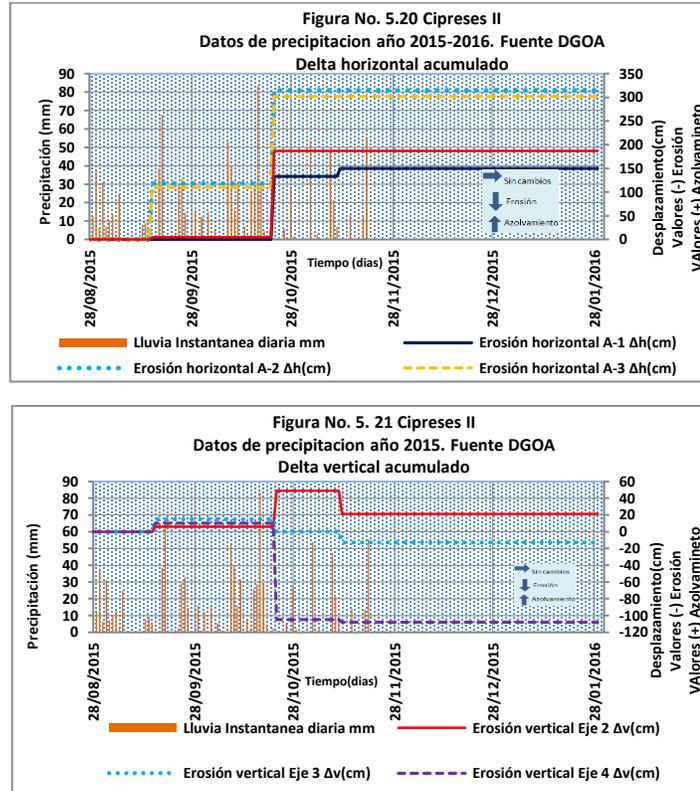


Figura No. 5.20 y 5.21 Precipitación instantánea-erosión horizontal y vertical (respectivamente) acumulada, Cipreses II  
 Fuente: De los autores

- **Análisis de resultados de erosión horizontal y vertical para talud Cipreses II**

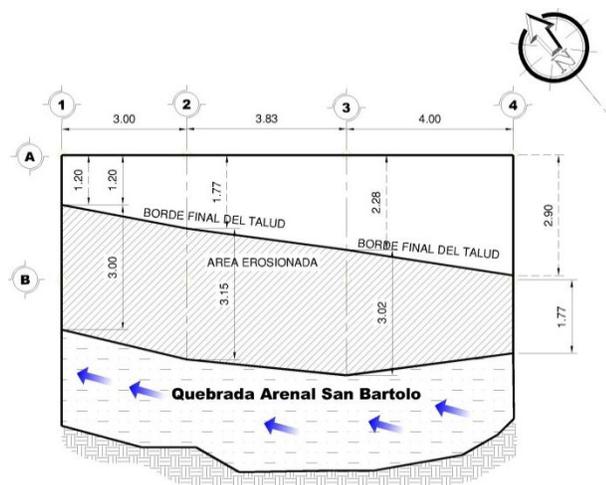
El talud presentaba vulnerabilidad a erosión horizontal y vertical, principalmente por ciertos factores: la influencia de la quebrada Arenal de San Bartolo, la pendiente fuerte (aproximadamente vertical) y la ausencia de cobertura vegetal en el cuerpo del talud.

**Erosión horizontal:** se comenzaron a registrar cambios a partir del 16/09/2015, en todos los puntos, excepto en el punto A-1. Siendo importante mencionar los mayores  $\Delta$  acumulados de erosión para esa fecha: A-2 (118 cm) y A-3 (110

cm), en donde se tenía un registro acumulado de lluvia de 168.6 mm en la Estación Ilopango. El 23/10/2015, se experimentaron los mayores  $\Delta$  acumulados de erosión, llegando hasta 315 cm en el punto A-2, con una lluvia acumulada de 731.8 mm. (Ver **figura No. 5.20**).

**Erosión vertical:** el 23/10/2015 se presentaron los  $\Delta$  acumulados en donde los cambios fueron más perceptibles, llegando a valores  $\Delta$  acumulados de erosión de -105 cm en el Eje 4, y valores  $\Delta$  acumulados de azolvamiento hasta de 49 cm en el Eje 2; con una lluvia acumulada de 731.8 mm. (Ver **figura No. 5.21**).

La lluvia instantánea cercana que pudo haber tenido influencia en los grandes cambios experimentados el 23 de octubre fue el 18/10/2016, registrando 83.4 mm. Las condiciones finales del talud Cipreses II se pueden ver en la **figura No. 5.22**.



**Figura No. 5.22. Condiciones finales (Vista en planta) del talud Cipreses II**  
Fuente: De los autores

Al realizar el análisis de los resultados para este talud se puede decir que presentó grandes pérdidas por erosión horizontal, influenciada mayormente por

la quebrada Arenal de San Bartolo. Los  $\Delta$  acumulados al finalizar el periodo de estudio oscilaron entre 150 cm (punto A-1) hasta valores máximos de 315 cm (en el punto A-2). Los  $\Delta$  acumulados de erosión vertical oscilaron entre -13 cm (Eje 3) y -108 cm (Eje 4); y los  $\Delta$  acumulados de azolvamiento llegaron a un máximo de 21 cm en el Eje 2.

El volumen total erosionado para este talud fue de 217.49 m<sup>3</sup>.

#### ❖ Talud ZF-I

**Características generales:** se presenta un resumen de las condiciones iniciales del talud y un esquema en planta de la configuración de las diferentes unidades y puntos de estudio (Ver **tabla No. 5.14 y figura No. 5.23**).

CONDICIONES INICIALES TALUD ZF-I	
Nombre del talud	ZF-I
Periodo de estudio	5 meses
Altura Inicial promedio	4.60 m
Longitud del tramo en estudio	11.75 m
Área del talud	54.05 m <sup>2</sup>
Recubrimiento vegetal	En la cresta y el cuerpo sin recubrimiento
Elementos antrópicos	Contiguo a quebrada Arenal Seco y obra de protección
Inclinación	80°-90°
Número de estratos	2
Unidades identificables de TBJ	F y una depósito aluvial
Tipo de erosión que presenta	Horizontal y vertical
UBICACIÓN DE EJES	
Ubicación respecto al norte.	Frente del talud con orientación norte
Cantidad de ejes colocados	Cuatro ejes en dirección Sur-Norte con números y Cuatro ejes colocados de dirección Oriente-Poniente etiquetados desde la letra A hasta la D. (Ver <b>figura No. 5.23</b> ).

**Tabla No. 5.14 Condiciones iniciales del talud ZF- I**

Fuente: De los autores

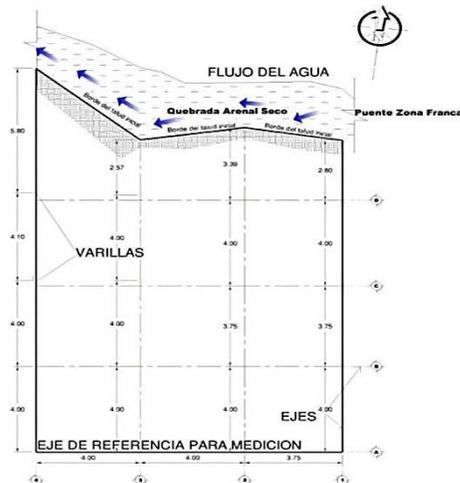


Figura No. 5.23. Condiciones iniciales (Vista en planta) del talud ZF-I

Fuente: De los autores

✓ **Caracterización geotécnica de los estratos presentes**

**Identificación geotécnica de estratos:** a continuación se muestra la identificación geotécnica del talud ZF-I. (Ver **tabla No. 5.15**).

DESCRIPCIÓN	DEPÓSITO ALUVIAL <sup>62</sup>	UNIDAD F
<b>Gruesos</b>	<b>97.45</b>	<b>78.90</b>
% grava	8.78	21.33
% arena	88.67	57.57
<b>Finos</b>	<b>2.55</b>	<b>21.10</b>
% limos		20.32
% arcillas	2.55	0.78
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
Cu	4.35	61.36
Cc	0.92	0.34
Plasticidad	NP	NP
Color	Color gris con poca presencia de finos.	Color blanco con bastante presencia de pómez
<b>Clasificación</b>	Arena mal graduada con tamaño máximo de 9.53 mm	Arena Limosa con grava, tamaño máximo (9.53 mm)
<b>Símbolo del grupo</b>	SP	SM
Gravedad específica promedio	2.66	2.27
Densidad húmeda ( $g/cm^3$ )	1.15	1.41
Densidad seca ( $g/cm^3$ )	1.08	1.10
$\% \omega_{natural}$	7.14	28.27
Espesor de la unidad (m)	2.0	2.60
Densidad húmeda ponderada		1.30 $T/m^3$

**Tabla No. 5.15 Identificación geotécnica del talud ZF-I**

Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina", año 2015

<sup>62</sup> El porcentaje menor que el tamaño 0.075 mm incluye tanto los limos como las arcillas presentes en la depósito aluvial (arena).

- **Resultados del monitoreo de erosión**

**Erosión horizontal:** se presentan las tablas de recolección de información de monitoreo del talud ZF-I, junto con los  $\Delta$  de erosión horizontal parcial y acumulada<sup>64</sup>. (Ver **tabla No. 5.16**).

REGISTRO DE DISTANCIA AL BORDE(R), VARIACIÓN HORIZONTAL PARCIALES (P) Y ACUMULADAS(A) DE LOS PUNTOS EN EL EJE A (cm)												
Fecha/Eje	A-1(R)	A-1(P)	A-1(A)	A-2(R)	A-2(P)	A-2(A)	A-3(R)	A-3(P)	A-3(A)	A-4(R)	A-4(P)	A-4(A)
28/08/2015	1455	0	0	1514	0	0	1457	0	0	1790	0	0
22/09/2015	952	503	503	1000	514	514	1130	327	327	1264	526	526
01/10/2015	930	22	525	907	93	607	1020	110	437	1210	54	580
23/10/2015	660	270	795	560	347	954	620	400	837	710	500	1080
12/11/2015	630	30	825	560	0	954	523	97	934	657	53	1133
03/12/2015	533	97	922	523	37	991	460	63	997	497	53	1186
29/01/2016	525	8	930 <sup>63</sup>	523	0	991	460	0	997	497	0	1186

**Tabla No. 5.16 Registro de información y  $\Delta$  de erosión horizontal del talud ZF- I**

Fuente: De los autores

**Erosión vertical:** se presentan las tablas de recolección de información de los cambios experimentados en altura (profundidad) del talud ZF-I, junto con los  $\Delta$  de erosión vertical parcial y acumulada. (Ver **tabla No. 5.17**). También los gráficos comparativos de erosión acumulada con lluvia se muestran en las **figuras No.5.24 y No.5.25**.

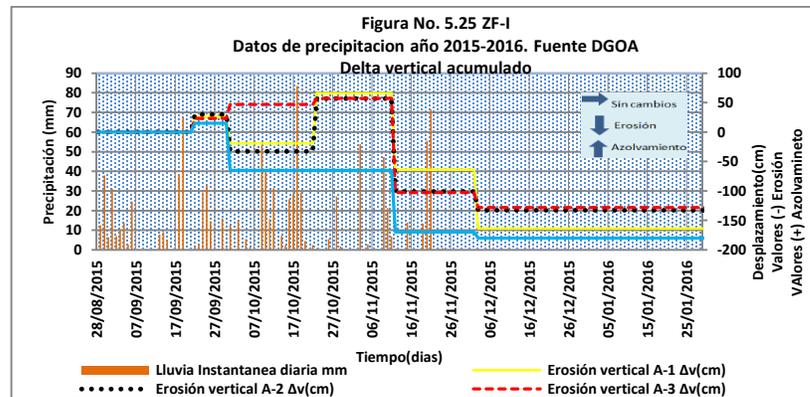
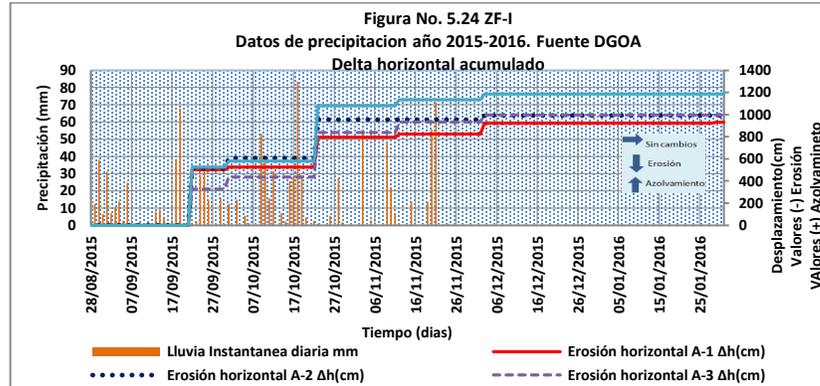
REGISTRO DE PROFUNDIDADES(R), VARIACIONES VERTICALES (PROFUNDIDAD) PARCIALES(P) Y ACUMULADAS(A) DESDE EL BORDE DE CADA EJE (cm) EN TALUD ZF-I												
Fecha/Eje	1(R)	1(P)	1(A)	2(R)	2(P)	2(A)	3(R)	3(P)	3(A)	4(R)	4(P)	4(A)
28/08/2015	446	0	0	447	0	0	447	0	0	395	0	0
22/09/2015	420	26	26	417	30	30	424	23	23	380	15	15
01/10/2015	465	-45	-19	480	-63	-33	400	24	47	460	-80	-65
23/10/2015	380	85	66	390	90	57	390	10	57	460	0	-65
12/11/2015	510	-130	-64	548	-158	-101	550	-160	-103	565	-105	-170
03/12/2015	610	-100	-164	580	-32	-133	575	-25	-128	575	-10	-180
29/01/2016	610	0	-164	580	0	-133	575	0	-128	575	0	-180

**Tabla No. 5.17 Registro de información y  $\Delta$  de erosión vertical del talud ZF- I**

Fuente: De los autores.

<sup>63</sup> Las celdas sombreadas representan el valor final acumulado de erosión o azolvamiento en cada eje

<sup>64</sup> Para el registro del monitoreo de erosión horizontal de este talud, se toma como referencia el eje A, debido a que este es el que se encuentra más alejado del borde, y el que se mantuvo fijo durante todo el periodo de estudio.



**Figura No. 5.24 y 5.25 Precipitación instantánea-erosión horizontal y vertical (respectivamente) acumulada, ZF-I**  
 Fuente: De los autores.

- **Análisis de resultados de erosión horizontal y vertical para el talud ZF-I**

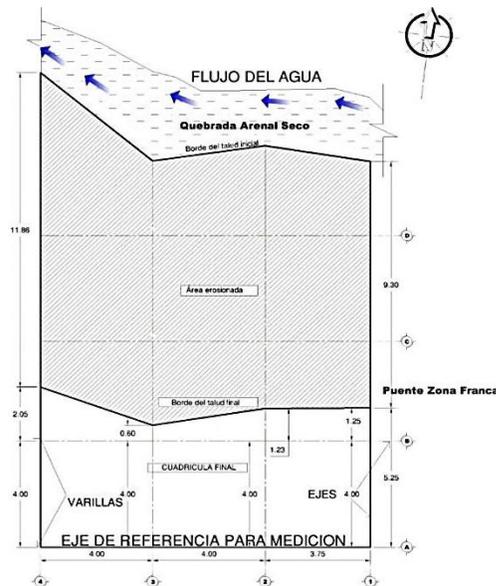
Se esperaban grandes pérdidas de material para este talud, debido a que se encontraba expuesto a varios factores que influenciaban su deterioro por erosión horizontal y vertical, entre estos se encontraban: la exposición a la quebrada Arenal Seco, la ausencia de vegetación en el cuerpo del talud y su pendiente fuerte, así como la influencia de las lluvias en el invierno del 2015. Otro factor que se esperaba que tuviera influencia eran las estructuras en

gradería que tienen la finalidad de conducir el agua y disipar la energía de esta en cada escalón.

**Erosión horizontal:** los cambios más perceptibles de erosión se presentaron en las fechas del 22/09/2015 y el 23/10/2015. En la fecha del 22/09/2015 se registraron valores de  $\Delta$  acumulados de erosión entre 327 cm (Punto A-3) y 526 cm (Punto A-4). Con un acumulado de lluvia de 276.6 mm (Estación Ilopango). El 23/10/2015, volvieron a haber cambios relevantes de erosión acumulada, los cuales oscilaron entre 795 cm (punto A-1) hasta 1080 cm (punto A-4). Para esa fecha se tenía un registro de lluvia acumulada de 731.8 mm. (Ver **figura No. 5.24**). Cabe destacar que algunas de las lluvias instantáneas que pudieron haber tenido influencia en el deterioro son: la lluvia del 18/09/2015 (38.5 mm), la del 19/09/2015 (67.7 mm). Y las ocurridas cercanas al 23 de octubre: el 18/10/2016 se tuvo una lluvia instantánea de 83.4 mm.

**Erosión vertical:** El 22/09/2015, todos los ejes presentaron  $\Delta$  acumulados de azolvamiento, que oscilaron entre 15 cm (eje 4) hasta 30 cm (Eje 2). Teniendo una lluvia acumulada de 276.6 mm. Esto pudo deberse a la acumulación de material desprendido de otros taludes que se encuentran aguas arriba y que fueron arrastrados por la corriente en alguna tormenta previa. Luego, hubieron tres fechas de monitoreos consecutivos en donde se presentaron cambios relevantes: el 23/10/2015, hubo un  $\Delta$  acumulado de erosión de -65 cm (eje 4) y acumulados de azolvamiento entre 57 cm (eje 2 y 3) y 66 cm (eje 1), teniendo

un acumulado de lluvia de 731.8 mm. El 12/11/2015 todos los ejes presentaron  $\Delta$  acumulados de erosión, en el rango de -64 cm (eje 1) hasta -170 cm (eje 4), teniendo un acumulado de lluvia de 898.8 mm. Por último, el 03/12/2015 continuaron ocurriendo cambios en cuanto a erosión, registrándose  $\Delta$  acumulados que oscilaron entre -128 cm (eje 3) hasta -180 cm (eje 4). Con una lluvia acumulada de 1054.7 mm. (Ver **figura No. 5.25**). Además, se presentan las condiciones finales del talud. (Ver **figura No. 5.26**).



**Figura No. 5.26. Condiciones finales (Vista en planta) del talud ZF-I**

Fuente: De los autores

Al analizar los resultados se puede decir que el factor que más afectó al deterioro del talud, fue el impacto de la quebrada Arenal Seco. Al finalizar el periodo de estudio se registraron  $\Delta$  acumulados de erosión horizontal del orden de 930 cm (punto A-1) hasta 1186 cm (punto A-4). Y en los ejes verticales se obtuvieron  $\Delta$  acumulados de erosión desde -128 cm (eje 3) hasta -180 cm (eje 4). El volumen total erosionado fue de 512.78 m<sup>3</sup>.

✓ Talud ZF-II

- **Condiciones iniciales:** se presenta un resumen de las condiciones iniciales del talud y un esquema en planta de la configuración de las diferentes unidades y puntos de estudio (Ver **tabla No. 5.18** y **figuras No. 5.27 A y B**).

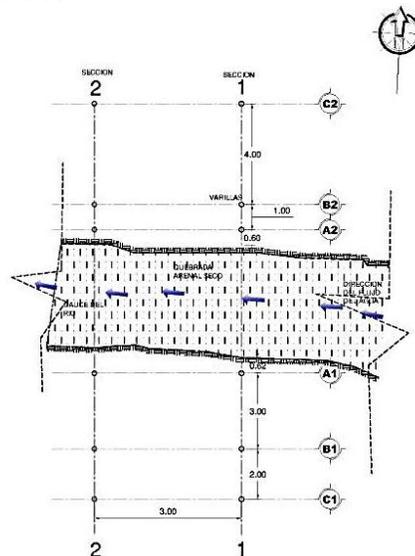
CONDICIONES INICIALES TALUD ZF-II	
Nombre del talud	ZF-II
Periodo de estudio	5 meses
Altura Inicial promedio	1.61 m en el lado izquierdo y 2.05 en el lado derecho
Ancho inicial del lecho del rio	4.30 m
Longitud de tramo en estudio	3 m
Cobertura vegetal	Escasa en la cresta y el cuerpo sin recubrimiento
Elementos antrópicos	Contiguo a la quebrada Arenal Seco y obra de protección
Pendiente	Aproximadamente 90°
Número de estratos	2
Unidades identificables	Ignimbrita α y Unidad E
Tipo de erosión que presenta	Horizontal y vertical
UBICACIÓN DE EJES	
Orientación de los ejes con respecto al norte y al flujo del agua.	Ejes de la A hasta la C en la dirección Este-Oeste, en dirección del flujo del agua. Se toman dos taludes a la derecha e izquierda del cauce. En la parte derecha del talud se colocan ejes A2 hasta el C2, en la parte izquierda se colocan ejes desde el A1 hasta el C1. (Ver <b>figura No. 5.27 A y B</b> ).

**Tabla No. 5.18** Condiciones iniciales del talud ZF-II

Fuente: De los autores.



A)



B)

**Figuras No. 5.27 A y B,** Vista en planta de las dos secciones del talud ZF-II

Fuente: De los autores

En la vista en planta se puede apreciar las secciones colocadas en el cauce del río, orientados en dirección del flujo del agua y referenciados con respecto al norte magnético.

### ✓ Caracterización geotécnica de los estratos presentes

**Identificación geotécnica de estratos:** a continuación se muestra la identificación geotécnica del talud ZF-II (Ver **tabla No. 5.19**).

DESCRIPCIÓN	UNIDAD E(SUPERIOR)	UNIDAD E (DS2)	UNIDAD E(DH2)	UNIDAD E(DH1 <sup>65</sup> )	UNIDAD E(DS1 <sup>66</sup> )	Ignimbrita α
<b>Gruesos</b>	<b>22.97</b>	<b>93.80</b>	<b>67.40</b>	<b>50.59</b>	<b>96.48</b>	<b>78.30</b>
% grava	0.01	8.59	1.57	0.92	10.84	5.01
% arena	22.96	85.21	65.83	49.67	85.64	73.29
<b>Finos</b>	<b>77.03</b>	<b>6.20</b>	<b>32.60</b>	<b>49.41</b>	<b>3.52</b>	<b>21.70</b>
% limos	73.13	6.20	30.27	46.46	3.52	21.12
% arcillas	3.91		2.33	2.95		0.59
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
Cu	7.94	6.67	11.76	17.86	4.57	10.42
Cc	1.98	0.94	0.36	0.58	0.05	0.82
LL	-	-	-	24.6	-	-
IP	-	-	-	3.6	-	-
Plasticidad	NP	NP	NP	NP	NP	NP
Color	Color café con mucha presencia de finos.	Color gris con poca presencia de finos	Color cafés con presencia de arena	Color cafés con presencia de arena	Suelo color gris con presencia de mucha arena y poco fino	Color blanco con presencia de pómez, tamaño máximo 4.75 mm
<b>Clasificación</b>	Limo con arena	Arena bien graduada con limo y trazas de grava de tamaño máximo 9.5 mm	Arena Limosa	Arena Limosa con finos de compresibilidad baja	Arena bien graduada y trazas de grava de tamaño máximo 19 mm	Arena limosa y trazas de grava de tamaño máximo 9.5 mm
<b>Símbolo del grupo</b>	ML	SW-SM	SM	SM	SW	SM
<b>Gs promedio</b>	2.51	2.50	2.49	2.49	2.39	2.38
<b>Densidad húmeda (<math>g/cm^3</math>)</b>	1.96 <sup>67</sup>	1.21	1.96	1.96	1.21	1.58
<b>Densidad seca (<math>g/cm^3</math>)</b>	1.57	1.08	-	-	-	1.39
<b>%ω natural</b>	24.22	12.60	-	-	-	13.9
<b>Espesor de la unidad (m)</b>	0.74	0.35	0.15	0.10	0.40	0.33
<b>Densidad húmeda ponderada</b>	1.63 T/m <sup>3</sup>					

**Tabla No. 5.19 Identificación geotécnica del talud ZF-II**

Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina", año 2015

<sup>65</sup> Unidad E (DH): Unidad E, depósito húmedo.

<sup>66</sup> Unidad E (DS): Unidad E, depósito seco).

<sup>67</sup> La densidad húmeda calculada para el Estrato superior (húmedo) y para el Depósito seco 2 se utilizó para los demás estratos húmedos y secos de la unidad E, ya que eran espesores muy pequeños, dificultando la extracción de la muestra.

- **Resultados del monitoreo de erosión**

A continuación, se muestran los  $\Delta$  de erosión horizontales y verticales acumulados para las dos secciones estudiadas del talud ZF-II, (Ver **tabla No. 5.20**). Y los gráficos erosión acumulada-registros de lluvia en la **figura No. 5.28** a **figura No. 5.31**.

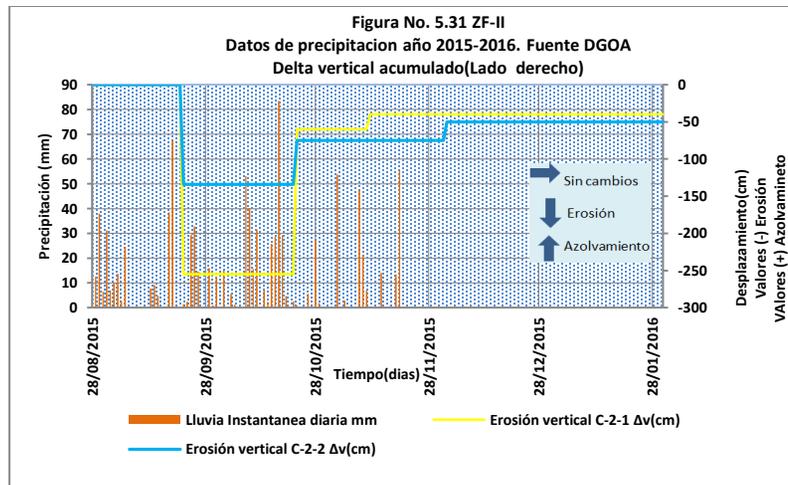
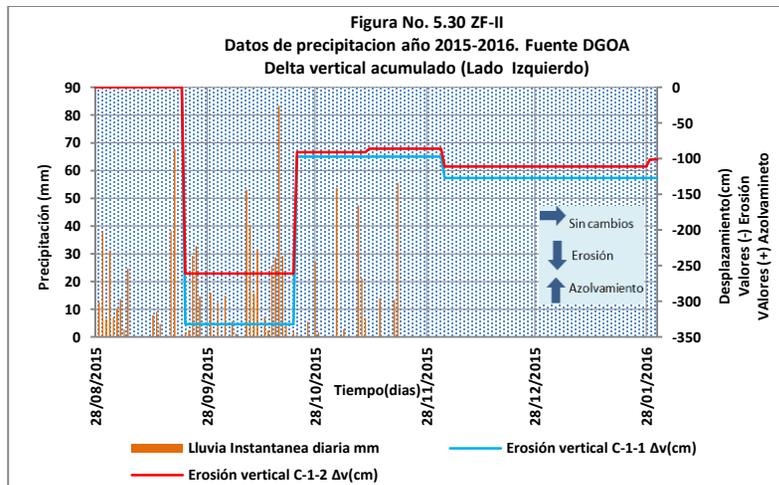
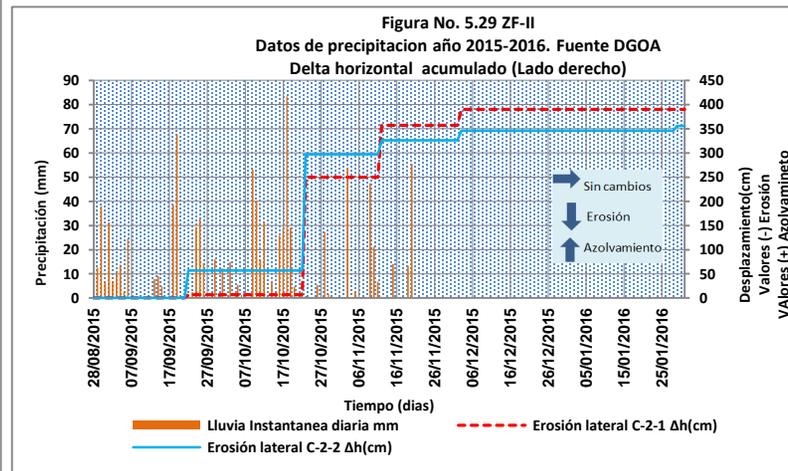
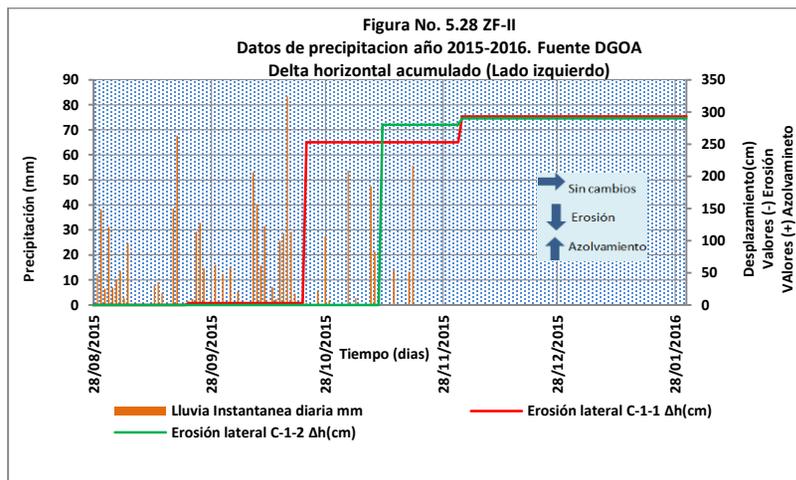
VARIACIONES HORIZONTALES(H) Y VERTICALES(V) ACUMULADAS (cm) LADO IZQUIERDO Y DERECHO DEL TALUD ZF-II								
Fecha/Eje	LADO IZQUIERDO				LADO DERECHO			
	C-1-1(H) <sup>68</sup>	C-1-1(V)	C-1-2(H)	C-1-2(V)	C-2-1(H)	C-2-1(V)	C-2-2(H)	C-2-2(V)
28/08/2015	0	0	0	0	0	0	0	0
22/09/2015	3	-332	0	-261	7	-255	57	-134
23/10/2015	253	-97	0	-91	250	-60	297	-75
12/11/2015	253	-97	280	-86	357	-40	326	-75
03/12/2015	293	-127	290	-111	390	-40	346	-50
29/01/2016	293 <sup>69</sup>	-127	290	-101	390	-40	356	-50

**Tabla No. 5.20 Variaciones horizontales y verticales acumuladas, lado izquierdo y derecho del Talud ZF-II**

Fuente: De los autores.

<sup>68</sup> Para el cálculo de erosión horizontal se tomaron como referencia los puntos colocados más alejados del borde del talud, ya que son los que se mantuvieron fijos a lo largo del periodo de estudio; para el talud ZF-II, se tomaron como referencia los puntos: C-1-1 (punto C-1, Sección 1-1) y C-1-2 (punto C-1, Sección 2-2) (Lado izquierdo) y C-2-1 (punto C-2, Sección 1-1) y C-2-2 (punto C-2, Sección 2-2) (lado derecho). Ver figuras No. 5.32 y 5.33.

<sup>69</sup> La fila sombreada representa el valor final acumulado de erosión o azolvamiento en cada eje



**Figuras No. 5.28, 5.29, 5.30 y 5.31 Precipitación instantánea-erosión horizontal y vertical acumulada, Secciones de ZF-II**  
 Fuente: De los autores

- **Análisis de resultados de erosión horizontal y vertical para el talud ZF-II**

Al igual que el talud ZF-I, este es uno de los taludes de los que se esperaba que experimentara mayor deterioro por erosión horizontal y vertical, ya que presentaba una pendiente fuerte (aproximadamente vertical), además que las dos secciones están ubicadas sobre el cauce de la quebrada Arenal Seco y, a esto se le suma el hecho de que no posee cobertura vegetal en el cuerpo del talud. También, tiene influencia de los escalones disipadores de energía que también afectan el talud ZF-I.

Para comprender de mejor forma el comportamiento que tuvieron las dos secciones del talud ZF-II durante el periodo de estudio, se presentan a continuación tres esquemas de las secciones en estudio (1-1 y 2-2), en donde se pueden observar los cambios que experimentaron en tres momentos: condiciones iniciales del talud (28/08/2015), condiciones “intermedias” (22/09/2015), en donde el talud presentó mayores variaciones verticales (en profundidad), y por último, las condiciones finales (29/01/2016), permitiendo comprender el proceso de deterioro que sufrió esta zona en estudio: las (Ver figuras **5.32 A, B y C** y **5.33 A, B y C**).

### Sección 1-1 del talud ZF-II (dimensiones en m)

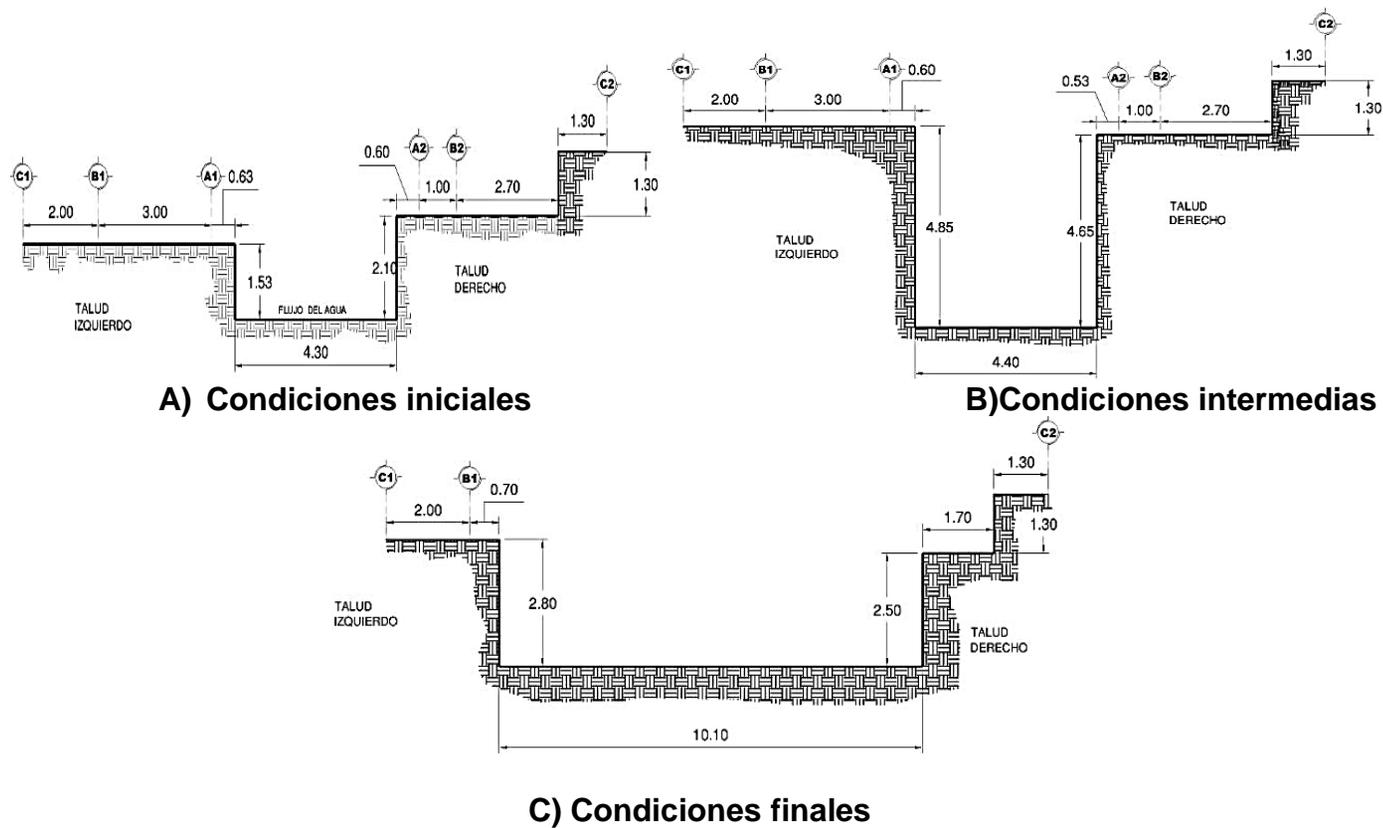
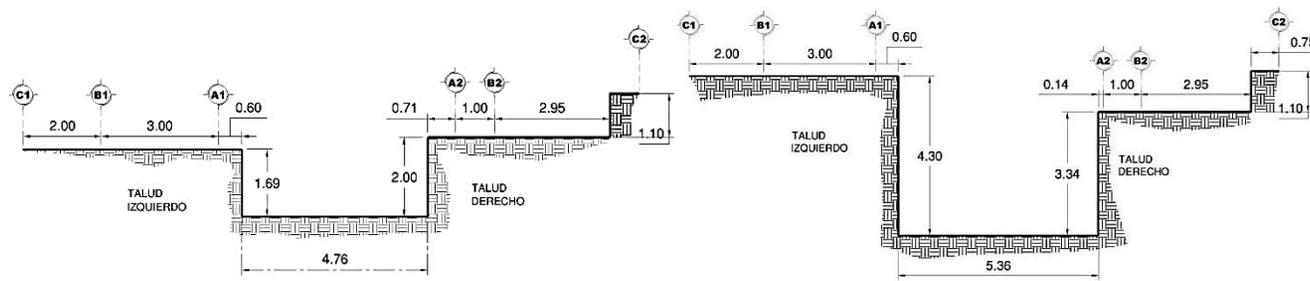


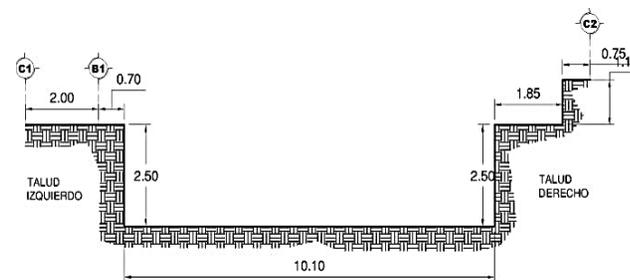
Figura No. 5.32 A, B y C. Condiciones iniciales, intermedias y finales (Corte transversal) de la Sección 1-1 del talud ZF-II  
Fuente: De los autores

### Sección 2-2 del talud ZF-II (dimensiones en m)



**A) Condiciones Iniciales**

**B) Condiciones intermedias**



**C) Condiciones finales**

**Figura No. 5.33 A, B y C. Condiciones iniciales, intermedias y finales (Corte transversal) de la Sección 2-2 del talud ZF-II**  
Fuente: De los autores

- **Sección 1-1 talud ZF-II**

Esta sección quedó ubicada en la entrada de una curva formada en la quebrada, en donde el flujo del agua impacta directamente sobre parte del talud. Las dimensiones al iniciar el periodo de estudio se muestran en la **figura No. 5.32 A**.

**Erosión horizontal:** el 23/10/2015 se registraron las variaciones acumuladas de erosión más relevantes: El lado izquierdo (punto C-1-1) presentó 253 cm de erosión (Ver **figura No. 5.28**) y el lado derecho (punto C-2-1) registró 250 cm (Ver **figura No. 5.29**). Teniendo un acumulado de lluvia de 731.8 mm.

Los  $\Delta$  acumulados al finalizar el periodo de estudio, oscilaron entre 293 cm (punto C-1-1) y 390 cm (punto C-2-1). Las condiciones finales<sup>70</sup> de esta sección se pueden apreciar en la **figura No. 5.32 C**.

**Erosión vertical:** el 22/09/2015 se presentaron los  $\Delta$  máximos acumulados de erosión: El lado izquierdo de la sección (punto C-1-1) registró -332 cm (Ver **figura No. 5.30**), mientras que el lado derecho (punto C-2-1) -255 cm (Ver **figura No. 5.31**). La lluvia acumulada fue de 276.6 mm. Las dimensiones que presentó esta sección para esta fecha se pueden observar en la **figura No. 5.32 B**, en donde se permite visualizar que la profundidad de la sección alcanzó valores entre 4.85 m (lado izquierdo) y 4.65 m (lado derecho).

Cabe destacar que algunas de las lluvias instantáneas que pudieron haber tenido influencia en el deterioro son: la lluvia del 18/09/2015 (38.5 mm), la del

---

<sup>70</sup> Los esquemas de las condiciones finales de la sección reflejan las dimensiones que se tomaron en campo en la última visita realizada.

19/09/2015 (67.7 mm). Y las ocurridas cercanas al 23 de octubre: el 18/10/2016 se tuvo una lluvia instantánea de 83.4 mm.

Los  $\Delta$  acumulados al finalizar el periodo de estudio, oscilaron entre -40 cm (punto C-2-1) y -127 cm (punto C-1-1). Las condiciones finales de esta sección se pueden apreciar en la **figura No. 5.32 C**, en donde alcanzó profundidades de 2.80 m en el lado izquierdo y 2.50 m en el lado derecho, con un ancho promedio de la sección de 10.10 m.

- **Sección 2-2 talud ZF-II**

Las condiciones iniciales de esta sección pueden verse en la **figura No. 5.33 A**.

**Erosión horizontal:** el lado izquierdo (punto C-1-2), presentó el  $\Delta$  acumulado más relevante de 280 cm el 12/11/2015, teniendo una lluvia acumulada de 898.8 mm (Ver **figura No. 5.30**). Y el lado derecho (punto C-2-2), registró las variaciones acumuladas más evidentes de 297 cm el 23/10/2015, con un acumulado de lluvia de 731.8 mm. (Ver **figura No. 5.31**).

Los  $\Delta$  acumulados de erosión al finalizar el periodo de estudio estuvieron en el rango de 290 cm (punto C-1-2) hasta 356 cm (punto C-2-2). Las dimensiones finales que tenía esta sección al finalizar el periodo de estudio se pueden ver en la **figura No. 5.33 C**, en donde es relevante destacar que el ancho aproximado del cauce de la quebrada alcanzó 10.10 m.

**Erosión vertical:** al igual que en la sección 1-1, aquí se alcanzaron las variaciones máximas de erosión acumulada el 22/09/2015, el lado izquierdo alcanzó valores de -261 cm en el punto C-1-2 (Ver **figura No. 5.30**) y en el lado

derecho hasta de -134 cm en el punto C-2-2 (Ver **figura No. 5.31**). Teniendo un acumulado de lluvia de 276.6 mm. Las dimensiones que tuvo esta sección para esta fecha se pueden observar en la **figura No. 5.33 B**, alcanzando profundidades hasta 4.30 m en el lado izquierdo y de 3.34 m en el lado derecho. Los  $\Delta$  acumulados de erosión al finalizar el periodo de estudio estuvieron en el rango de -50 cm (punto C-2-2 en la derecha) hasta -101 cm (punto C-1-2 en la izquierda). Las dimensiones que tuvo la sección al finalizar el periodo de estudio se pueden observar en la **figura No. 5.33 C**, en donde se observa que la profundidad del cauce disminuyó hasta 2.50 m en ambos lado.

En conclusión, la ocurrencia de este fenómeno para esta zona estudiada se puede atribuir al cambio de sección que tuvo la quebrada, inicialmente (28/08/2015) tenía un ancho de 4.30 m en la sección 1-1 y de 4.76 en la 2-2 (4.53 m en promedio); luego, para el 22/09/2015, se incrementó en 10 cm (sección 1-1) y en 60 cm (sección 2-2), fecha en la que el lecho de la quebrada alcanzó su máxima profundidad; finalmente el 29/01/2016 el ancho del río se amplió debido a la erosión horizontal hasta un valor promedio de 10.10 m en ambas secciones, provocando una disminución en la velocidad de la corriente de la quebrada, lo que se refleja en el azolvamiento que experimento en dicha fecha.

Al finalizar el periodo de estudio, el volumen total erosionado fue de 31.35 m<sup>3</sup> en el lado derecho y de 22.54 m<sup>3</sup> en el lado izquierdo.

También, se muestran fotografías comparativas de los grandes cambios que se observaron en los taludes contiguos al cauce de la quebrada Arenal Seco durante un año. (Ver figuras No. 5.34). La figura No. 5.34 A se obtuvo durante el periodo de estudio en el que se recolectó la información para los cálculos; mientras que en la figura No. 5.34 B, se pueden apreciar las condiciones de los taludes el 11/08/2016, fecha en la cual ya había finalizado el periodo de estudio.



Figura No. 5.34. A) Taludes ZF-II el 22/09/2015, B) Taludes ZF-II el 11/08/2016

Fuente: de los autores

#### ✓ Talud Galicia

- **Condiciones iniciales:** se presenta un resumen de las condiciones iniciales del talud y un esquema en planta de la configuración de las diferentes unidades y puntos de estudio. (Ver tabla No. 5.21 y figura No. 5.35).

CONDICIONES INICIALES TALUD GALICIA	
Nombre del talud	Galicia
Periodo de estudio	5 meses
Altura Inicial (m)	5.40
Longitud del tramo en estudio (m)	12
Área (m <sup>2</sup> )	64.80
Cobertura vegetal	Abundante en la cresta y sin cobertura en el cuerpo
Elementos antrópicos	Contiguo a quebrada Las Pavas
Inclinación	Aproximadamente 90°
Número de estratos	1
Unidades identificables	TBJ: Unidad F
Tipo de erosión que presenta	Horizontal y vertical
UBICACIÓN DE EJES	
Ubicación de los ejes respecto al norte.	Identificados con letras en la dirección Suroeste-Noreste, y con números en la dirección Este-Oeste. (Ver figura No. 5.35)

Tabla No. 5.21 Condiciones iniciales del talud Galicia

Fuente: De los autores.



Figura No. 5.35. Condiciones iniciales (m) (Vista en planta), Talud Galicia  
Fuente: De los autores

### ✓ Caracterización geotécnica de los estratos presentes

**Identificación geotécnica de estratos:** a continuación se muestra la identificación geotécnica del talud Galicia. (Ver **tabla No. 5.22**).

DESCRIPCIÓN	UNIDAD F
<b>Gruesos</b>	<b>75.79</b>
% grava	14.57
% arena	61.22
<b>Finos</b>	<b>24.21</b>
% limos	23.34
% arcillas	0.87
<b>Total</b>	<b>100</b>
Cu	25
Cc	0.56
Plasticidad	NP
Color	Color blanco con presencia de pómez, tamaño máximo 3/8" (9.5 mm)
<b>Clasificación</b>	Arena Limosa
<b>Símbolo del grupo</b>	SM
Gravedad específica promedio	2.36
Densidad húmeda ( $g/cm^3$ )	1.20
Densidad seca ( $g/cm^3$ )	1.12
% $\omega$ natural	6.78
Espesor de la unidad (m)	5.4
Densidad húmeda ponderada	1.20 T/m <sup>3</sup>

**Tabla No. 5.22 Identificación geotécnica del talud Galicia**

Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina", año 2015

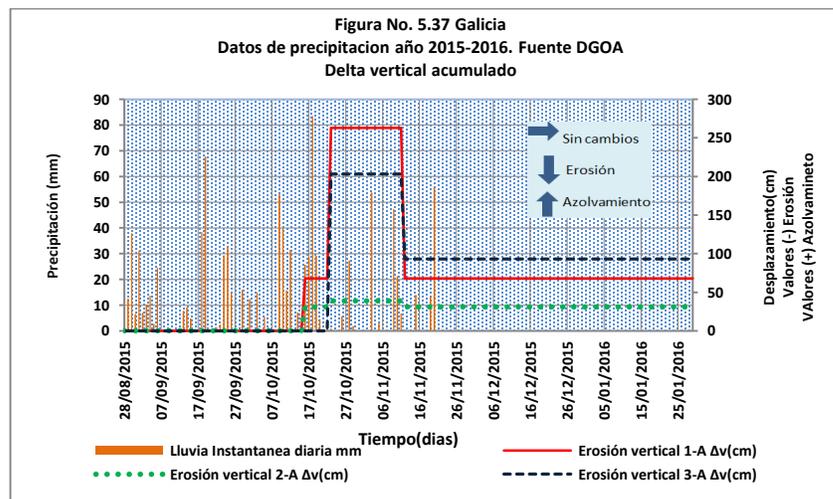
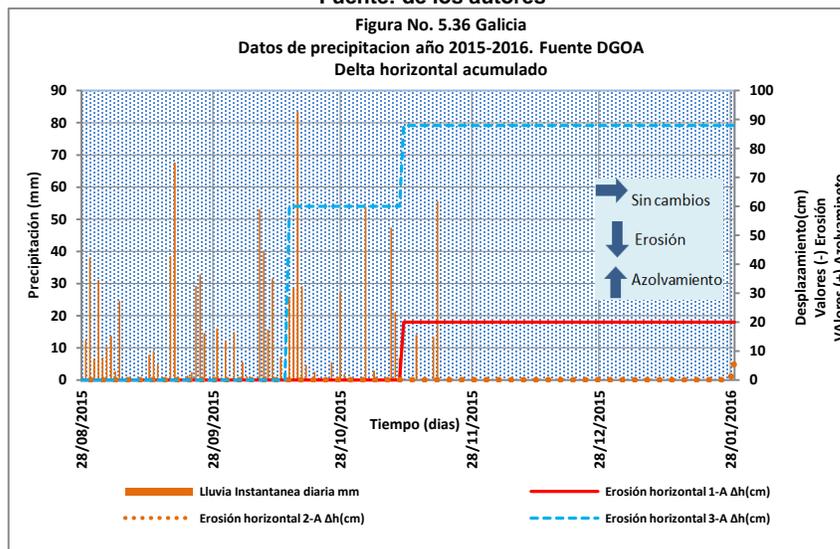
### • Resultados del monitoreo de erosión

Se obtuvieron los siguientes  $\Delta$  acumulados de erosión horizontal y vertical (Ver **tabla No. 5.23**). Los gráficos de comparación contra lluvia registrada se pueden visualizar en las **figuras No. 5.36, 5.37 y 5.38**.

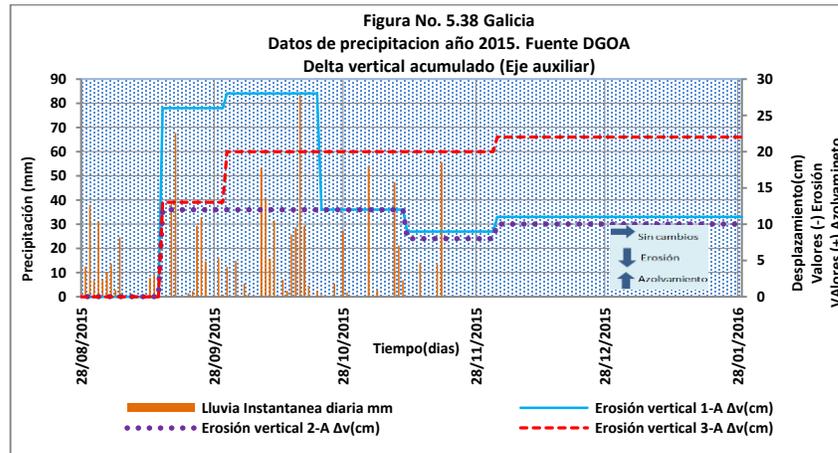
VARIACIÓN HORIZONTAL(H), VERTICAL(V) Y VERTICAL DEL EJE AUXIALR(AUX) ACUMULADA (cm)									
	1-A(H)	1-A(V)	1-A(AUX)	2-A(H)	2-A(V)	2-A(AUX)	3-A(H)	3-A(V)	3-A(AUX)
28/08/2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16/09/2015	0	0	0	0	0	12	0	0	13
01/10/2015	0	0	26	0	0	12	0	0	20
16/10/2015	0	68	28	0	31	12	60	0	20
23/10/2015	0	263	28	0	39	12	60	203	20
12/11/2015	20	68	12	0	31	8	88	93	20
03/12/2015	20	68	9	0	31	10	88	93	22
29/01/2016	20 <sup>71</sup>	68	11	6	31	10	88	93	22

Tabla No. 5.23 Δ horizontales y verticales acumulados, Talud Galicia

Fuente: de los autores



<sup>71</sup> Las celdas sombreadas representan el valor final acumulado de erosión o azolvamiento en cada eje



**Figura No. 5.36, 5.37 y 5.38 Precipitación instantánea-erosión horizontal y vertical acumulada, Galicia Fuente: De los autores.**

- **Análisis de resultados de erosión horizontal y vertical para el talud Galicia**

Se esperaba que el talud presentara deterioro mayormente por la influencia de tres factores: pendiente aproximadamente vertical, por la ausencia de capa vegetal en el cuerpo y por la influencia de la quebrada Las Pavas. Sin embargo, durante el periodo de estudio se presentó el siguiente comportamiento:

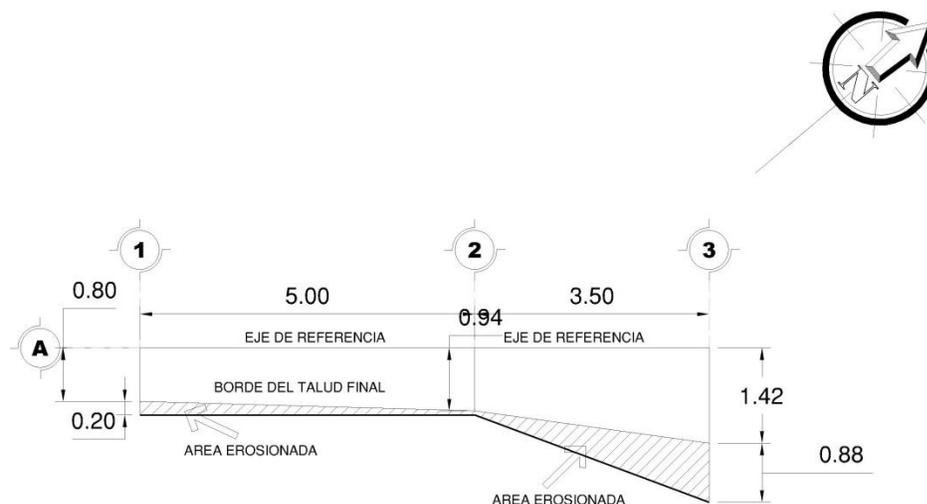
**Erosión horizontal:** los mayores registros de  $\Delta$  acumulados de erosión se presentaron en dos fechas: el 16/10/2015 el punto 3-A registró 60 cm (este punto estaba en la sección del talud que presentaba disminución en la pendiente, es decir, que la cantidad de lluvia se encauzaba a esa zona), con un acumulado de lluvia de 582.7 mm (estación Ilopango). Además, el 12/11/2015 el punto 1-A presentó un  $\Delta$  acumulado de 20 cm, fecha para la cual se tenía un acumulado de lluvia de 898.8 mm, lo cual pudo haber influido en la saturación del sector, hasta colapsar. (Ver **figura No. 5.36**).

**Erosión vertical:** durante el periodo de estudio la dirección del cauce de la quebrada cambió, y ya no tuvo impacto en las paredes del talud, sino que lo rodeaba, por lo tanto, fue predominante el fenómeno de azolvamiento.

Los mayores registros de  $\Delta$  de azolvamiento se presentaron el 23/10/2015, los cuales oscilaron entre 39 cm en el punto 2-A, hasta 263 cm en el eje 1-A. para esta fecha se tenía una lluvia acumulada de 731.8 mm en la estación Ilopango. (Ver **figura No. 5.37**).

**Erosión vertical (Eje auxiliar):** las variaciones máximas en azolvamiento acumulado se presentaron en dos fechas: el 16/09/2015 el punto 3-A presentó 13 cm, con una lluvia acumulada de 168.6 mm en la estación Ilopango. El 01/10/2015 el punto 1-A registró 26 cm de  $\Delta$  de azolvamiento acumulado, con una lluvia acumulada de 385.4 mm. (Ver **figura No. 5.38**).

Asimismo, se presenta un esquema con las condiciones finales del talud Galicia, (Ver **figura No. 5.39**).



**Figura No. 5.39. Condiciones finales (Vista en planta), Talud Galicia**  
Fuente: De los autores

El factor que mayor influencia tuvo en el deterioro de este talud, fueron las lluvias (escorrentía superficial), ya que la quebrada Las Pavas cambió la dirección de su cauce y ya no tenía impacto directo en las paredes del mismo.

Al finalizar el periodo de estudio, se presentaron  $\Delta$  de erosión horizontal acumulada entre 6 cm (punto 2-A) hasta 88 cm (punto 3-A); y  $\Delta$  de azolvamiento vertical acumulado entre 31 cm (punto 2-A) hasta 93 cm (punto 3-A). Además el eje auxiliar presentó  $\Delta$  de azolvamiento acumulado final entre 10 cm (punto 2-A auxiliar) hasta 22 cm (punto 3-A auxiliar).

El volumen total erosionado fue de 4.88 m<sup>3</sup>.

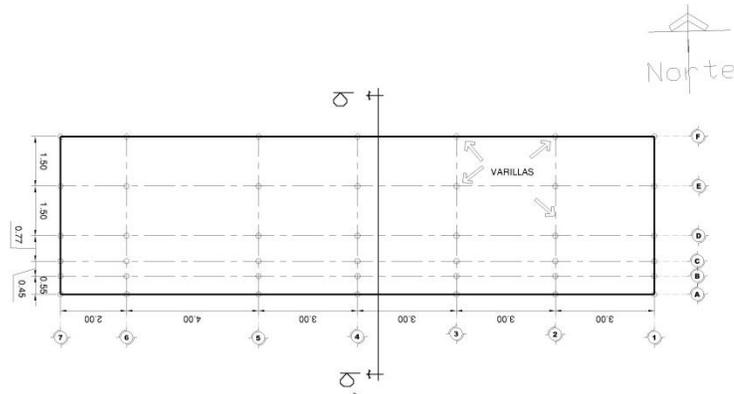
#### ✓ Talud UES

- **Condiciones iniciales:** se presenta un resumen de las condiciones iniciales del talud y un esquema en planta de la configuración de las diferentes unidades y puntos de estudio (Ver **tabla No. 5.24 y figura No. 5.40**).

CONDICIONES INICIALES TALUD UES	
Nombre del talud (m)	UES
Periodo de estudio	5 meses
Ancho (m)	4.77
Largo (m)	18
Área (m <sup>2</sup> )	85.86
Cobertura vegetal	Abundante en la cresta y en el cuerpo
Elementos antrópicos	Sobrecarga del edificio de la Escuela de Ingeniería Civil
Inclinación	Aproximadamente 70 °
Número de estratos	2
Unidades identificables	TBJ: Unidad G, Unidad F y una capa orgánica
Tipo de erosión que presenta	Laminar
<b>UBICACIÓN DE EJES</b>	
Ejes en la dirección horizontal(X)	Desde la A hasta la F, en dirección Este-Oeste (Ver <b>figura No. 5.40</b> )
Ejes en dirección vertical (Y)	Desde el eje 1 hasta el eje 7, en dirección Norte-Sur. (Ver <b>figura No. 5.40</b> )

**Tabla No. 5.24 Condiciones iniciales del talud UES**

Fuente: De los autores



**Figura No. 5.40. Vista en planta, cuadrícula del Talud UES**  
Fuente: De los autores.

- **Caracterización geotécnica de los estratos presentes**  
**Identificación geotécnica de estratos:** a continuación se muestra la identificación geotécnica del talud UES. (Ver **tabla No. 5.25**).

DESCRIPCIÓN	UNIDAD G	UNIDAD F
<b>Gruesos</b>	<b>43.05</b>	<b>35.89</b>
% grava	2.46	0.75
% arena	40.59	35.14
<b>Finos</b>	<b>56.95</b>	<b>64.11</b>
% limos	52.30	54.20
% arcillas	4.65	9.91
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
Cu	12.82	18.57
Cc	1.85	0.74
Plasticidad	NP	NP
Color	Color blanco con bastante presencia de pómez	Color blanco con bastante presencia de pómez
<b>Clasificación</b>	Limo arenoso	Limo arenoso
<b>Símbolo del grupo</b>	ML	ML
<b>Gravedad específica promedio</b>	2.38	2.41
<b>Densidad húmeda (<math>g/cm^3</math>)</b>	1.61	1.67
<b>Densidad seca (<math>g/cm^3</math>)</b>	1.29	1.35
<b>%<math>\omega</math> natural</b>	25.08	24.58
<b>Espesor de la unidad (m)</b>	0.60	1.50
<b>Densidad húmeda ponderada</b>	1.65 T/m <sup>3</sup>	

**Tabla No. 5.25 Identificación geotécnica del talud UES**

Fuente: De los autores, con resultados obtenidos en el Laboratorio de Suelos y Materiales de la Universidad de El Salvador "Ing. Mario Ángel Guzmán Urbina", año 2015

- **Resultados del monitoreo de erosión**

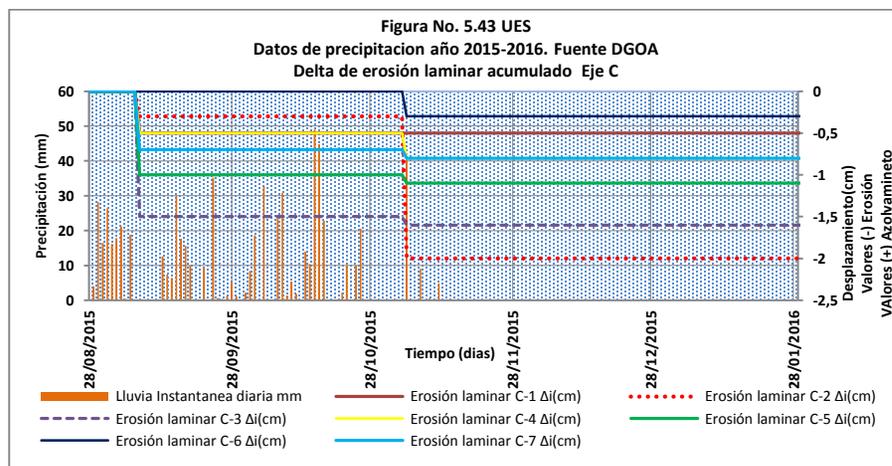
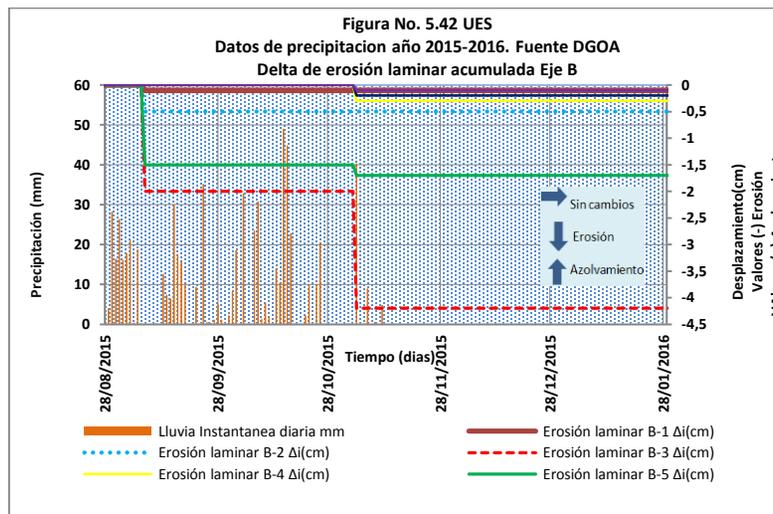
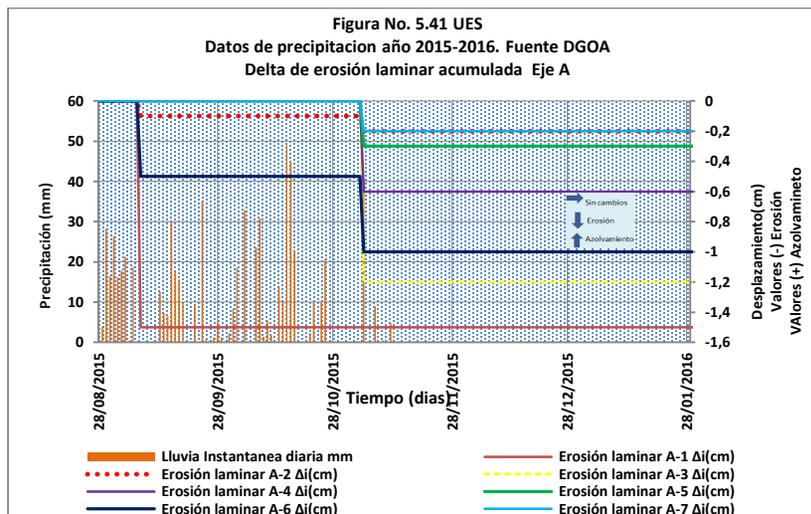
Los registros de erosión lateral acumulada para los ejes del talud UES se muestran a continuación (Ver **tabla No. 5.26**). Y los gráficos de erosión junto con registros de lluvia se muestran desde **figura No. 5.41** hasta **5.46**.

REGISTROS DE LA VARIACIÓN EN PROFUNDIDAD(R), VARIACIONES LAMINARES PARCIALES (P) Y ACUMULADAS(A) EJES DEL TALUD UES (cm)																					
Fecha/Eje	A-1(R)	A-1(P)	A-1(A)	A-2(R)	A-2(P)	A-2(A)	A-3(R)	A-3(P)	A-3(A)	A-4(R)	A-4(P)	A-4(A)	A-5(R)	A-5(P)	A-5(A)	A-6(R)	A-6(P)	A-6(A)	A-7(R)	A-7(P)	A-7(A)
11/08/2015	2	0	0	4	0	0	1	0	0	2	0	0	4	0	0	4	0	0	3	0	0
08/09/2015	3.5	-1.5	-1.5	4.1	-0.1	-0.1	1	0	0	2	0	0	4	0	0	4.5	-0.5	-0.5	3	0	0
05/11/2015	3.5	0	-1.5	4.2	-0.1	-0.2	2.2	-1.2	-1.2	2.6	-0.6	-0.6	4.3	-0.3	-0.3	5	-0.5	-1	3.2	-0.2	-0.2
03/12/2015	3.5	0	-1.5	4.2	0	-0.2	2.2	0	-1.2	2.6	0	-0.6	4.3	0	-0.3	5	0	-1	3.2	0	-0.2
29/01/2016	3.5	0	-1.5 <sup>72</sup>	4.2	0	-0.2	2.2	0	-1.2	2.6	0	-0.6	4.3	0	-0.3	5	0	-1	3.2	0	-0.2
Fecha/Eje	B-1(R)	B-1(P)	B-1(A)	B-2(R)	B-2(P)	B-2(A)	B-3(R)	B-3(P)	B-3(A)	B-4(R)	B-4(P)	B-4(A)	B-5(R)	B-5(P)	B-5(A)	B-6(R)	B-6(P)	B-6(A)	B-7(R)	B-7(P)	B-7(A)
11/08/2015	3	0	0	4	0	0	3	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	3	0	0
08/09/2015	3.1	-0.1	-0.1	4.5	-0.5	-0.5	5	-2	-2	0	0	0	3.5	-1.5	-1.5	2	0	0	3	0	0
05/11/2015	3.1	0	-0.1	4.5	0	-0.5	7.2	-2.2	-4.2	0.3	-0.3	-0.3	3.7	-0.2	-1.7	2.2	-0.2	-0.2	3.1	-0.1	-0.1
03/12/2015	3.1	0	-0.1	4.5	0	-0.5	7.2	0	-4.2	0.3	0	-0.3	3.7	0	-1.7	2.2	0	-0.2	3.1	0	-0.1
29/01/2016	3.1	0	-0.1	4.5	0	-0.5	7.2	0	-4.2	0.3	0	-0.3	3.7	0	-1.7	2.2	0	-0.2	3.1	0	-0.1
Fecha/Eje	C-1(R)	C-1(P)	C-1(A)	C-2(R)	C-2(P)	C-2(A)	C-3(R)	C-3(P)	C-3(A)	C-4(R)	C-4(P)	C-4(A)	C-5(R)	C-5(P)	C-5(A)	C-6(R)	C-6(P)	C-6(A)	C-7(R)	C-7(P)	C-7(A)
11/08/2015	4	0	0	3	0	0	1	0	0	3	0	0	4.5	0	0	4	0	0	3	0	0
08/09/2015	4.5	-0.5	-0.5	3.3	-0.3	-0.3	2.5	-1.5	-1.5	3.5	-0.5	-0.5	5.5	-1	-1	4	0	0	3.7	-0.7	-0.7
05/11/2015	4.5	0	-0.5	5	-1.7	-2	2.6	-0.1	-1.6	3.8	-0.3	-0.8	5.6	-0.1	-1.1	4.3	-0.3	-0.3	3.8	-0.1	-0.8
03/12/2015	4.5	0	-0.5	5	0	-2	2.6	0	-1.6	3.8	0	-0.8	5.6	0	-1.1	4.3	0	-0.3	3.8	0	-0.8
29/01/2016	4.5	0	-0.5	5	0	-2	2.6	0	-1.6	3.8	0	-0.8	5.6	0	-1.1	4.3	0	-0.3	3.8	0	-0.8
Fecha/Eje	D-1(R)	D-1(P)	D-1(A)	D-2(R)	D-2(P)	D-2(A)	D-3(R)	D-3(P)	D-3(A)	D-4(R)	D-4(P)	D-4(A)	D-5(R)	D-5(P)	D-5(A)	D-6(R)	D-6(P)	D-6(A)	D-7(R)	D-7(P)	D-7(A)
11/08/2015	4	0	0	2	0	0	6	0	0	2	0	0	3.5	0	0	2	0	0	2	0	0
08/09/2015	6	-2	-2	2.2	-0.2	-0.2	5	1	1	1.5	0.5	0.5	3.5	0	0	1.2	0.8	0.8	3.5	-1.5	-1.5
05/11/2015	6.2	-0.2	-2.2	1.4	0.8	0.6	2	3	4	2.5	-1	-0.5	3.7	-0.2	-0.2	1.9	-0.7	0.1	3.7	-0.2	-1.7
03/12/2015	6.2	0	-2.2	1.4	0	0.6	2	0	4	2.5	0	-0.5	3.7	0	-0.2	1.9	0	0.1	3.7	0	-1.7
29/01/2016	6.2	0	-2.2	1.4	0	0.6	2	0	4	2.5	0	-0.5	3.7	0	-0.2	1.9	0	0.1	3.7	0	-1.7
Fecha/Eje	E-1(R)	E-1(P)	E-1(A)	E-2(R)	E-2(P)	E-2(A)	E-3(R)	E-3(P)	E-3(A)	E-4(R)	E-4(P)	E-4(A)	E-5(R)	E-5(P)	E-5(A)	E-6(R)	E-6(P)	E-6(A)	E-7(R)	E-7(P)	E-7(A)
11/08/2015	2	0	0	4	0	0	3	0	0	4	0	0	3.5	0	0	3.5	0	0	1	0	0
08/09/2015	2	0	0	4.5	-0.5	-0.5	4.1	-1.1	-1.1	3.8	0.2	0.2	3	0.5	0.5	4.2	-0.7	-0.7	1.5	-0.5	-0.5
05/11/2015	2.4	-0.4	-0.4	5	-0.5	-1	4	0.1	-1	4.1	-0.3	-0.1	3.4	-0.4	0.1	0.8	3.4	2.7	1.7	-0.2	-0.7
03/12/2015	2.4	0	-0.4	5	0	-1	4	0	-1	4.1	0	-0.1	3.4	0	0.1	0.8	0	2.7	1.7	0	-0.7
29/01/2016	2.4	0	-0.4	5	0	-1	4	0	-1	4.1	0	-0.1	3.4	0	0.1	0.8	0	2.7	1.7	0	-0.7
Fecha/Eje	F-1(R)	F-1(P)	F-1(A)	F-2(R)	F-2(P)	F-2(A)	F-3(R)	F-3(P)	F-3(A)	F-4(R)	F-4(P)	F-4(A)	F-5(R)	F-5(P)	F-5(A)	F-6(R)	F-6(P)	F-6(A)	F-7(R)	F-7(P)	F-7(A)
11/08/2015	0	0	0	4.5	0	0	5	0	0	8	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0
08/09/2015	0.5	-0.5	-0.5	5.2	-0.7	-0.7	5.9	-0.9	-0.9	8	0	0	6.5	-0.5	-0.5	0.2	-0.2	-0.2	0.5	-0.5	-0.5
05/11/2015	2	-1.5	-2	3.2	2	1.3	1.6	4.3	3.4	9.3	-1.3	-1.3	6.7	-0.2	-0.7	0.4	-0.2	-0.4	1.2	-0.7	-1.2
03/12/2015	2	0	-2	3.2	0	1.3	1.6	0	3.4	9.3	0	-1.3	6.7	0	-0.7	0.4	0	-0.4	1.2	0	-1.2
29/01/2016	2	0	-2	3.2	0	1.3	1.6	0	3.4	9.3	0	-1.3	6.7	0	-0.7	0.4	0	-0.4	1.2	0	-1.2

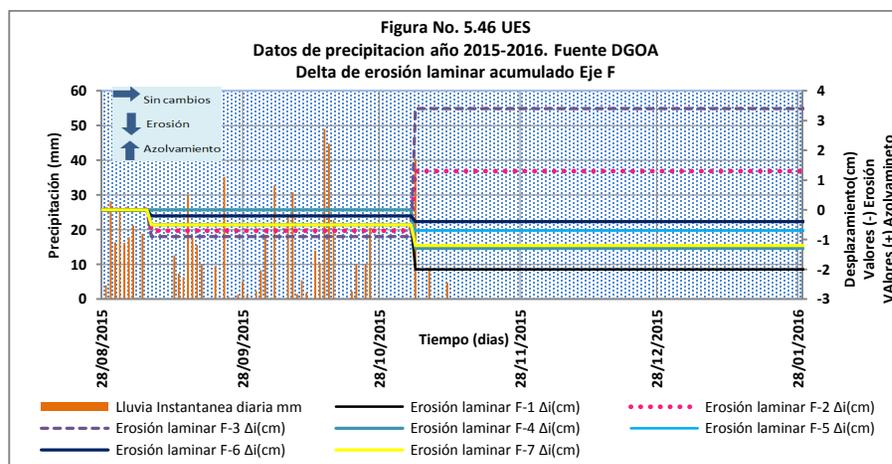
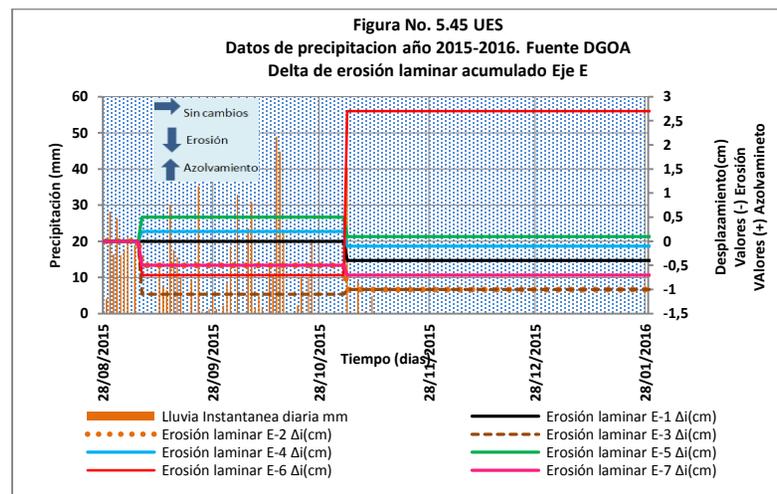
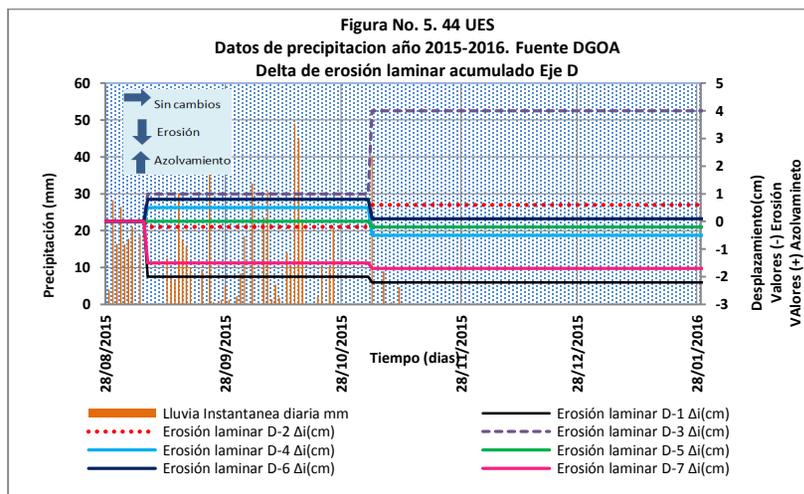
Tabla No. 5.26 Registros obtenidos en campo (R), Variaciones laminares parciales (P) y acumuladas (A), Ejes del talud UES

Fuente: De los autores.

<sup>72</sup> Las filas sombreadas representan el valor final acumulado de erosión o azolvamiento en cada eje



**Figuras No. 5.41, 5.42 y 5.43 Precipitación instantánea-erosión laminar acumulada, Ejes A, B y C, talud UES**  
 Fuente: De los autores.

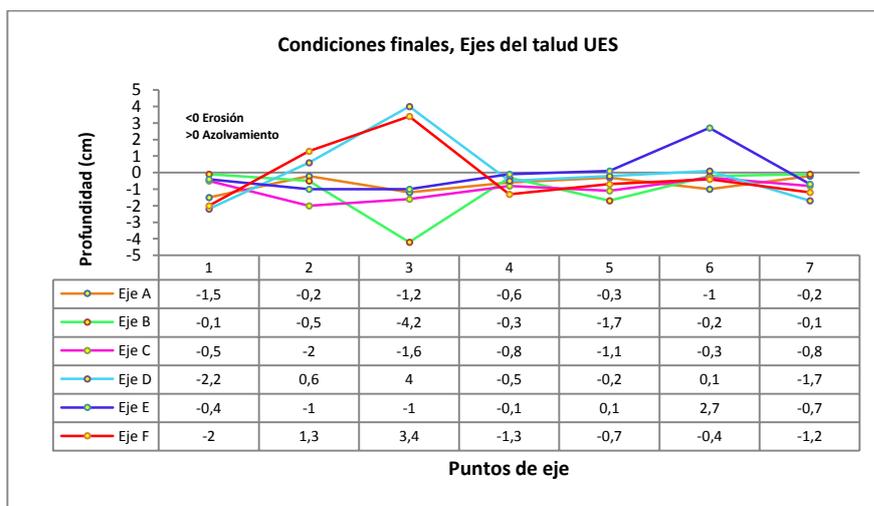


**Figuras No. 5.44, 5.45 y 5.46 Precipitación instantánea-erosión laminar acumulada, Ejes D, E y F, talud UES**  
 Fuente: De los autores

- **Análisis de resultados de erosión laminar para el talud UES**

Para este talud se esperaba que la sobrecarga del edificio de la Escuela de Ingeniería Civil) tuviera algún efecto en el deterioro. Sin embargo, se puede determinar que la influencia que éste factor ha tenido ha sido muy poca. También contaba con pendiente fuerte y cobertura vegetal tanto en la cresta como en el cuerpo, por lo tanto, se esperaba cierto tipo de protección ante la lluvia.

Los cambios más perceptibles se presentaron el 05/11/2015 (732 mm, estación UES). El mayor registro de  $\Delta$  de erosión acumulada (-4.2 cm) fue en el punto B-3 (ubicado aproximadamente a 4.22 m del pie del talud, unidad G). (Ver **figura No. 5.42**). El mayor  $\Delta$  de azolvamiento acumulado (4 cm), se registró en esta misma fecha en el punto D-3 (ubicado a 3 m del pie del talud, Unidad F). (Ver **figura No. 5.44**). Puede observarse además, que los ejes que tienden a experimentar azolvamiento, son los que se encuentran ubicados cercanos al pie del talud, ya que es donde se acumulan sedimentos provenientes del desprendimiento de material de los ejes que se encuentran más cercanos a la cresta. La condición final de los ejes (valores de  $\Delta$  acumulados finales) se pueden ver en la figura siguiente (Ver **figura No. 5.47**).



**Figura 5.47 Condiciones finales, Ejes del talud UES**

Fuente: De los autores

El talud presentó pérdidas acumuladas de erosión del orden de -0.1 (punto B-1, B-7 y E-4) hasta -4.2 cm (punto B-3); sin embargo, algunos sectores cercanos al pie del talud, experimentaron pequeños azolvamientos del orden de 0.1 (punto D-6 y E-5) a 4 cm (D-3).

El volumen total erosionado fue de 0.79 m<sup>3</sup>. Y los siete ejes verticales, en donde se refleja el  $\Delta$  máximo de erosión que experimentó cada punto se pueden observar en el **Anexo No. 8**.

### 5.3 CÁLCULO DE LA TASA DE EROSIÓN

El cálculo de la tasa de erosión se basó en las unidades presentadas en la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelos (USLE), es decir, en Toneladas por Hectárea por Año. Sin embargo, la metodología que se ha utilizado para calcular la tasa de erosión en esta investigación se presenta a continuación:

✓ **Metodologías de cálculo para la tasa de erosión en:**

- Taludes que presenta erosión laminar
- Taludes que presentan erosión horizontal y vertical

❖ **Cálculo de tasa de erosión para taludes que presentan erosión laminar**

Los pasos a seguir para el cálculo de la aproximación a la tasa de erosión para taludes con erosión laminar; se tomará como ejemplo el talud Arrupe I.

✓ **Paso No. 1**

Como el talud contiene diferentes estratos, se procederá a calcular la densidad húmeda ponderada para todo el talud (Ver **tabla No. 5.27**).

TALUD ARRUPE I		
Estrato	Densidad húmeda ( $g/cm^3$ )	Espesor (m)
Unidad G	1.18 (Valdez, O, 2013)	1.55
Unidad F	1.35	1.36
Unidad E Superior (HUMEDO)	1.96 (ZF-II)	0.21
Unidad E Inferior (SECO)	1.21 (ZF-II)	0.20
Unidad D	1.49	1.24
H total		4.56

**Tabla No. 5.27 Cálculo de densidad húmeda ponderada, Talud Arrupe I**  
Fuente: De los Autores

$$\delta_{\text{húmeda ponderada}} = \frac{1}{H} [\gamma_1 H_1 + \gamma_2 H_2 + \gamma_3 H_3 + \dots + \gamma_n H_n]$$

$$\delta_{\text{húmeda ponderada}} = \frac{1}{4.56} [(1.18)(1.55) + (1.35)(1.36) + (1.96)(0.21) + (1.21)(0.20) + (1.49)(1.24)]$$

$$\delta_{\text{húmeda ponderada}} = 1.35 \text{ g/cm}^3$$

$$\delta_{\text{húmeda ponderada}} = 1.35 \text{ T/m}^3$$

✓ **Paso No. 2**

Calculo de volumen total perdido de material por todo el talud: el volumen total erosionado se calculará mediante la utilización de CivilCad en donde se dibujan los deltas máximos deltas de erosión durante el monitoreo. El cuál, se obtuvo de la siguiente manera:

$\Delta$  máximo de erosión= Máxima lectura de profundidad registrada – Lectura inicial

Los  $\Delta$  máximos de erosión se muestran en la siguiente tabla (Ver **tabla No. 5.28**):

VALORES MÁXIMOS DE EROSIÓN LAMINAR TALUD ARRUPE I				
EJE	PUNTO	LECTURA MÁXIMA DE PROFUNDIDAD(cm)	LECTURA INICIAL (cm)	EROSIÓN MÁXIMA (delta) (cm) <sup>73</sup>
EJE 1	B-1	3	3	0
	C-1	3.3	2.5	0.8
	D-1	5.5	2	3.5
	E-1	7.6	5	2.6
EJE 2	B-2	3	3	0
	C-2	15	2	13
	D-2	3.7	2	1.7
	E-2	10	5	5
EJE 3	B-3	4.5	3.5	1
	C-3	18	2	16
	D-3	5	2	3
	E-3	5	5	0

**Tabla No. 5.28  $\Delta$  máximos de erosión, Talud Arrupe I**  
Fuente: De los Autores

El volumen total erosionado fue de: **0.88 m<sup>3</sup>**

✓ **Paso No. 3**

Calculo de peso total perdido en toneladas:

**$W$  perdido en  $T = (\text{Densidad húmeda ponderada}) (V \text{ total perdido})$**

**$W$  perdido en  $T = (1.35) (0.88)$**

**$W$  perdido en  $T = 1.19 T$**

✓ **Paso No. 4**

Calcular tasa de erosión:

**$Tasa \text{ de erosión} = (W \text{ en } T) / (\text{Área de influencia})$**

**$Tasa \text{ de erosión} = (1.19 T) / (13.55 m^2) (1 \text{ año})$**

**$Tasa \text{ de erosión}^{74} = 0.09 T\text{-año} / m^2$**

<sup>73</sup> Las tablas de erosión máxima para los taludes Arrupe II y UES, se presentan en el **Anexo No.10** de Anexos. Además, la lectura inicial y de máxima profundidad para el talud Arrupe I, pueden constatarse en la tabla No. 5.4 de este capítulo.

<sup>74</sup> Las unidades de tasa de erosión se presentan en T-año/m<sup>2</sup>, debido a que el área de estudio para cada talud es considerablemente pequeña, para el caso del talud Arrupe I es solamente de 13.55 m<sup>2</sup>.

**Nota:** El periodo de estudio para esta investigación fue durante la época lluviosa (donde se presentaron los mayores cambios en los taludes). Sin embargo, se aplicó el factor de **1 año** para realizar el cálculo de la tasa de erosión, porque durante la época seca no se esperaban cambios importantes.

### ❖ Cálculo de tasa de erosión para taludes que presentan erosión horizontal y vertical

A continuación se presentan los pasos a seguir para el cálculo de la tasa de erosión para taludes con erosión horizontal y vertical; se tomará como ejemplo el talud Cipreses II.

#### ✓ Paso No. 1

Como el talud contiene diferentes estratos, se calcula la densidad húmeda ponderada para todo el talud. (Ver **tabla No. 5.29**).

### Cálculo de densidad húmeda ponderada para el Talud Cipreses II

TALUD CIPRESES II		
Estrato	Densidad húmeda ( $g/cm^3$ )	Espesor (m)
Depósito aluvial	1.15 (ZF-I)	1.20
Ignimbrita $\alpha$ (superior)	1.23	5.00
Ignimbrita $\alpha$ (inferior)	1.44	0.9
H total		7.10

Tabla No. 5.29 Cálculo de densidad húmeda ponderada, Talud Cipreses II

Fuente: De los autores

$$\delta_{\text{húmeda ponderada}} = 1.24 \text{ g/cm}^3$$

#### ✓ Paso No. 2

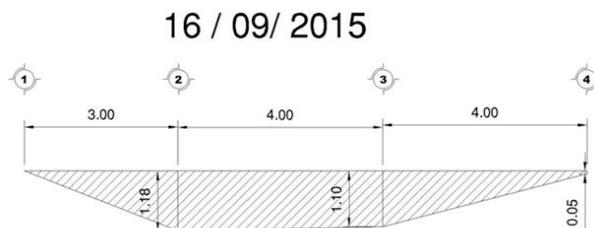
Cálculo del área erosionada durante el periodo de estudio. Se propone calcularla realizando una sumatoria de todas las áreas parciales de material perdido registradas durante cada monitoreo donde se detectaron cambios.

Para realizar el cálculo de áreas parciales se auxilió de las tablas en donde se registraron los  $\Delta$  de erosión horizontal parcial del talud Cipreses II. (Ver **tabla No. 5.30**).

TALUD CIPRESSES II				
Fecha de monitoreo	Erosión horizontal $\Delta h$ (m) Parcial			
	A-1	A-2	A-3	A-4
28/08/2015	0	0	0	0
16/09/2015	0	1,18	1,1	0,05
23/10/2015	1,33	1,97	1,92	1,82
12/11/2015	0,17	0	0	0
03/12/2015	0	0	0	0
29/01/2016	1,5	0	0	0

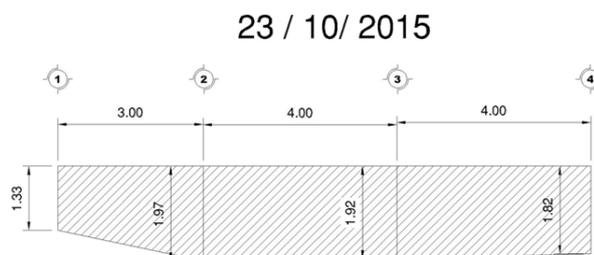
**Tabla No. 5.30 Erosión horizontal parcial, Talud Cipreses II**  
Fuente: De los Autores

Luego, con los registros de erosión horizontal parcial mostrados en la **tabla No. 5.30**, se pueden obtener las áreas correspondientes (Ver desde **figura No.5.48** hasta **5.51**).



AREA= 8.63 m<sup>2</sup>

**Figura No. 5.48 Área erosionada<sup>75</sup> el 16/09/2015, Talud Cipreses II**  
Fuente: De los autores



AREA= 20.21 m<sup>2</sup>

**Figura No. 5.49 Área erosionada el 23/10/2015, Talud Cipreses II**  
Fuente: De los autores

<sup>75</sup> Para ver las áreas erosionadas para los demás taludes que presentaron erosión de tipo horizontal y vertical Ver **Anexo No. 11**

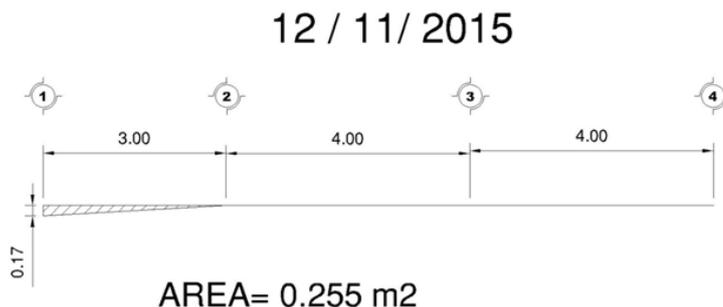


Figura No. 5.50 Área erosionada el 12/11/2015, Talud Cipreses II

Fuente: De los autores

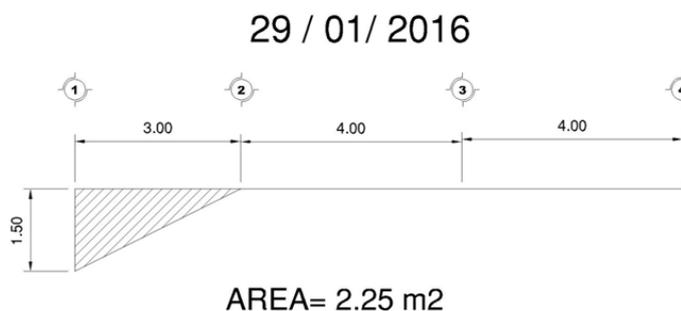


Figura No. 5.51 Área erosionada hasta el 29/01/2016, Talud Cipreses II

Fuente: De los autores

Se obtienen el área total erosionada y el volumen total erosionado, multiplicando cada área parcial de erosión por la profundidad del talud registrada en cada monitoreo. (Ver **tabla No. 5.31**).

CALCULO INTEGRADO DE VOLUMENES EROSIONADOS			
Fecha de monitoreo	Área erosionada por visita de monitoreo	Profundidad erosionada por visita de monitoreo	Volumen parcial de erosión
28/08/2015	0,00	6,82	0
16/09/2015	8,63	6,72	57,96
23/10/2015	20,21	7,01	141,60
12/11/2015	0,255	7,15	1,82
03/12/2015	0,00	7,15	0
29/01/2016	2,25	7,15	16,10
Área total erosionada	31,35	Volumen erosionado(m3)	217,49

Tabla No. 5.31 Cálculo integrado de volúmenes erosionados, Talud Cipreses II

Fuente: De los Autores

### ✓ Paso No. 3

Se encuentra el peso total perdido en toneladas:

$$W \text{ perdido } (T) = (\text{Densidad húmeda ponderada}) (V \text{ total perdido})$$

$$W \text{ perdido } (T) = (1.24) (217.49)$$

$$W \text{ perdido } (T) = 269.69 T$$

✓ **Paso No. 4**

Cálculo de tasa de erosión:

$$\text{Tasa de erosión} = (W \text{ perdido en } T) / (\text{Área de influencia})$$

$$\text{Tasa de erosión} = (269.69 T) / (31.35 \text{ m}^2) (1 \text{ año})$$

$$\text{Tasa de erosión} = 8.60 T\text{-año} / \text{m}^2$$

A continuación se muestra una tabla resumen con las tasas de erosión para cada uno de los taludes que se estudiaron (Ver **tabla No. 5.32**).

Del resumen de tasas de erosión, puede decirse que, los valores más bajos pertenecen a los taludes que experimentaron erosión laminar. Y la diferencia que presentan en comparación con los taludes que experimentaron erosión horizontal y vertical es muy evidente. Ya que las condiciones de exposición fueron más críticas al estar ubicados contiguos a quebradas. El menor valor de deterioro lo presentó el talud Arrupe II. Por otra parte, la mayor tasa de erosión la presenta el talud Cipreses I, ya que como se observó en el apartado anterior (Ver **apartado 5.2**), tuvo importantes pérdidas de material durante el periodo de estudio, mostrando cambios significativos en la mayoría de monitoreos realizados durante el periodo de estudio.

Talud	Densidad húmeda ponderada (T/m <sup>3</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	Peso (Toneladas)	Tasa erosión (T-Año/m <sup>2</sup> )
Arrupe I	1.35	13.55	0.88	1.19	0.09
Arrupe II	1.52	67.92	0.22	0.33	0.00492
Cipreses I	1.43	18.6	127.57	182.43	9.81
Cipreses II	1.24	31.35	217.49	269.69	8.60
ZF-I	1.30	119.76	512.78	666.61	5.57
ZF-II (lado derecho)	1.63	11.19	31.35	51.10	4.57
ZF-II (lado izquierdo)	1.63	8.75	22.54	36.74	4.20
Galicia	1.2	1.3	4.88	5.85	4.50
UES	1.65	85.86	0.79	1.30	0.0152

**Tabla No. 5.32 Resumen de tasas de erosión para taludes en estudio**

Fuente: De los autores

# **CAPITULO VI**

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 6.1 CONCLUSIONES

En este capítulo se presentan las conclusiones obtenidas en base a la caracterización geotécnica de cada estrato (desde el más superficial hacia abajo), monitoreo de erosión, y valores de tasas de deterioro obtenidos para cada talud estudiado.

El cálculo de las tasas de erosión no se afectó por el factor tiempo, debido a que el periodo de lluvias que producen erosión en taludes (en El Salvador) es de aproximadamente seis meses; por lo tanto, se esperaba que en los seis meses restantes no ocurrieran cambios importantes.

El periodo de estudio para cada talud fue de 6 meses para Arrupe I y de 5 meses para los 7 restantes.

### ❖ Caracterización geotécnica

#### Talud Arrupe I

- En este talud se encuentran presentes las unidades de TBJ siguientes: G, F, E y D, cuyas características geotécnicas son las siguientes:
  - Unidad G: clasificado como **Limo con Arena (ML)**, gravedad específica de **2.39**.

- Unidad F: clasificado como **Arena Limosa (SM)**, gravedad específica de **2.29** y densidad húmeda de **1.35 g/cm<sup>3</sup>**, (humedad: 7.93%).
- Unidad E (Depósito húmedo): clasificado como **Limo Arenoso (ML)**, gravedad específica de **2.47**.
- Unidad E (Depósito seco): clasificado como **Arena mal graduada con limo (SP-SM)**, gravedad específica de **2.41**.
- Unidad D: clasificado como **Limo con Arena (ML)**, gravedad específica de **2.38** y densidad húmeda de **1.49 g/cm<sup>3</sup>**, (humedad: 4.89%).

### **Talud Arrupe II**

- En este talud se encuentran presentes cuatro estratos denominados: Tierras Blancas Inferiores, cuyas características geotécnicas determinadas son las siguientes:
  - Estrato 4: clasificado como **Limo con Arena (ML)**, gravedad específica de **2.37**.
  - Estrato 3: clasificado como **Arena Limosa (SM)**, gravedad específica de **2.51** y densidad húmeda de **1.21 g/cm<sup>3</sup>**, (humedad: 3.15%).

- Estrato 2: clasificación geotécnica **Limo Arenoso de mediana compresibilidad (ML)**, gravedad específica de **2.38** y densidad húmeda de **1.70 g/cm<sup>3</sup>**, (humedad: 4.51%).
- Estrato 1: clasificación geotécnica **Arena limosa con grava (SM)**, gravedad específica de **2.57**.

### Talud Cipreses I

- En este talud se encuentran presentes las siguientes unidades de TBJ: Ignimbrita  $\alpha$ , Unidad D y un depósito aluvial, cuyas características geotécnicas son las siguientes:
  - Depósito aluvial: clasificado como **Arena bien graduada con limo (SW-SM)**, gravedad específica de **2.43**.
  - Ignimbrita  $\alpha$ : clasificado como **Arena Limosa (SM)**, gravedad específica de **2.31** y densidad húmeda de **1.54 g/cm<sup>3</sup>**, (humedad: 7.52%).
  - Unidad D: clasificado como **Limo Arenoso (ML)**, gravedad específica de **2.39**.

### Talud Cipreses II

- En este talud se encuentran presentes las siguientes unidades de TBJ: Ignimbrita  $\alpha$  superior, Ignimbrita  $\alpha$  inferior y un depósito aluvial, cuyas características geotécnicas determinadas son las siguientes:

- Depósito aluvial: clasificado como **Arena bien graduada con limo (SW-SM)**, gravedad específica de **2.30**.
- Ignimbrita  $\alpha$  (Superior): clasificada como **Arena Limosa (SM)**, gravedad específica de **2.37** y densidad húmeda de **1.23 g/cm<sup>3</sup>**, (humedad: 7.47%).
- Ignimbrita  $\alpha$  (Inferior): clasificada como **Arena Limosa (SM)**, gravedad específica de **2.44** y densidad húmeda de **1.44 g/cm<sup>3</sup>**, (humedad: 13.27%).

#### **Talud ZF-I**

- En este talud se encuentran presentes las siguientes unidades de TBJ: Unidad F y un depósito aluvial, cuyas características geotécnicas determinadas son las siguientes:
  - Depósito aluvial: clasificado como **Arena mal graduada (SP)**, gravedad específica de **2.66** y densidad húmeda de **1.15 g/cm<sup>3</sup>**, (humedad: 7.14%).
  - Unidad F: clasificada como **Arena limosa con grava (SM)**, gravedad específica de **2.27** y densidad de húmeda de **1.41 g/cm<sup>3</sup>**, (humedad: 28.27%).

## Talud ZF-II

- En este talud se encuentran presentes las siguientes unidades de TBJ: Unidad E y una Ignimbrita  $\alpha$ , cuyas características geotécnicas determinadas son las siguientes:
  - Unidad E (húmeda superior): clasificada como **Limo con arena (ML)**, gravedad específica de **2.51** y densidad húmeda de **1.96 g/cm<sup>3</sup>**, (humedad: 24.22%).
  - Unidad E (DS2<sup>76</sup>): clasificado como **Arena bien graduada con limo (SW-SM)**, gravedad específica de **2.50** y densidad húmeda de **1.21 g/cm<sup>3</sup>**, (humedad: 12.60%).
  - Unidad E (DH2<sup>77</sup>): clasificado como **Arena Limosa (SM)**, gravedad específica de **2.49**.
  - Unidad E (DH1<sup>78</sup>): clasificado como **Arena limosa con finos de compresibilidad baja (SM)**, gravedad específica de **2.49**.
  - Unidad E (DS1<sup>79</sup>): clasificación geotécnica **Arena bien graduada con trazas de grava (SW)**, gravedad específica de **2.39**.

---

<sup>76</sup> Unidad E, Depósito Seco 2

<sup>77</sup> Unidad E, Depósito Húmedo 2

<sup>78</sup> Unidad E, Depósito Húmedo 1

<sup>79</sup> Unidad E, Depósito Seco 1

- Ignimbrita  $\alpha$ : clasificación geotécnica **Arena limosa con trazas de grava (SM)**, gravedad específica de **2.38** y densidad húmeda de **1.58 g/cm<sup>3</sup>**, (humedad: 13.9%).

### Talud Galicia

- En este talud se encuentra presente la siguiente unidad de TBJ: Unidad F, cuyas características geotécnicas determinadas son las siguientes:
  - Unidad F: clasificada como **Arena Limosa (SM)**, gravedad específica de **2.36** y densidad húmeda de **1.20 g/cm<sup>3</sup>**, (humedad: 6.78%).

### Talud UES

- En este talud se encuentran presentes las siguientes unidades de TBJ: Unidad G y F, cuyas características geotécnicas determinadas son las siguientes:
  - Unidad G: clasificada como **Limo Arenoso (ML)**, gravedad específica de **2.38** y densidad húmeda de **1.61 g/cm<sup>3</sup>**, (humedad: 25.08%).
  - Unidad F: clasificada como **Limo Arenoso (ML)**, gravedad específica de **2.41** y densidad húmeda de **1.67 g/cm<sup>3</sup>**, (humedad: 24.58%).

### ❖ **Monitoreo de erosión**

En base a los resultados de los cambios que experimentó cada talud (erosión y azolvamiento acumulado con respecto a registros de lluvia acumulados), a lo largo del periodo de estudio, se puede decir lo siguiente:

#### **Talud Arrupe I**

- ✓ El talud presento erosión de tipo laminar
- ✓ La lluvia que generó los primeros cambios por erosión, fue la registrada el 16/09/2015 de 360.6 mm (Estación Ilopango) y 281.8 mm (Estación Belloso), provocando un  $\Delta$  entre -0.3 cm (en el punto C-1, hasta -15 cm (punto C-3), ubicado aproximadamente a 1.65 m del pie del talud en el depósito seco de la Unidad E de TBJ.
- ✓ El deterioro que experimentó este talud estuvo influenciado por la escorrentía producto de la lluvia, por la alta pendiente, por presentar escasa vegetación en el cuerpo, variables que combinadas provocaron un valor de erosión máxima de -15 cm.
- ✓ Este talud experimentó el máximo valor de azolvamiento de 2 cm el 16/10/2015 con una lluvia de 774.7 mm en la estación Ilopango y 557.2 mm en la estación Belloso. Este cambio se presentó en el punto E-2, ubicado al pie del talud.

### **Talud Arrupe II**

- ✓ El talud presentó erosión de tipo laminar.
- ✓ La lluvia que generó los primeros cambios por erosión en el orden de - 0.5 cm (en los puntos B-3 y B-5), hasta de -2 cm (punto D-2) fue el 22/09/2015 con una magnitud de 338.8 mm (Estación UES). En la misma fecha, se presentaron los primeros cambios por azolvamiento, en el orden de 0.2 cm (punto A-2) hasta 4.8 cm (punto A-3).
- ✓ El deterioro de este talud tuvo la influencia de la escorrentía superficial generada por las lluvias, por la pendiente fuerte, ausencia de vegetación en el cuerpo del mismo y por la exposición a las vibraciones producidas por el tráfico, todos estos factores ocasionaron una erosión máxima de - 3.28 cm (punto C-2, ubicado aproximadamente a 1.86 m del pie del talud, entre los estratos 3 y 4); el 03/12/2015, para una lluvia de 746.8 mm.
- ✓ Este talud presentó el máximo azolvamiento de 7.5 cm (en el punto A-3), el 23/10/2015, para una lluvia de 660.8 mm.

### **Talud Cipreses I.**

- ✓ El talud presentó erosión de tipo horizontal y vertical.
- ✓ La lluvia que generó los primeros cambios por erosión horizontal del orden de 5 cm (punto A-6) hasta 10 cm (punto A-1) fue la del 16/09/2015 (168.6 mm, estación Ilopango). Al mismo tiempo, se generó erosión

vertical en el rango de: -5 cm (punto 3) y -8 cm (punto 1) y azolvamiento de 5 cm (puntos 4 y 5) y 7 cm (punto 6).

- ✓ El talud se vio afectado por la influencia de la escorrentía superficial causada por las lluvias, la pendiente casi vertical, la ausencia de cobertura vegetal en el cuerpo y por la contigüidad a la quebrada Arenal de San Bartolo; ocasionando una erosión máxima horizontal de 205 cm (punto A-1), el 23/10/2015 (731.8 mm, estación Ilopango). En la misma fecha, se registraron los mayores valores de erosión y azolvamiento vertical, que fueron de -73 cm (punto 1) y 20 cm (punto 6).

### **Talud Cipreses II.**

- ✓ El talud presentó erosión de tipo horizontal y vertical.
- ✓ La lluvia que generó los primeros cambios por erosión horizontal en este talud en el orden de 5 cm (punto A-4) hasta 118 cm (punto A-2), fue la del 16/09/2015 (168.6 mm, estación Ilopango). Para esta misma fecha, se generaron los primeros azolvamientos en los ejes verticales, los cuales estuvieron en el orden de 6 cm (punto 2) hasta 15 cm (punto 3).
- ✓ El deterioro del talud se vio influenciado por varios factores, entre estos destacan: la escorrentía superficial generada por las lluvias, la ausencia de cobertura vegetal en el cuerpo del talud, la pendiente casi vertical y la influencia de la quebrada Arenal de San Bartolo. Todos estos factores ocasionaron que el talud presentara un máximo deterioro por erosión

horizontal de 315 cm (punto A-2); con una lluvia de 731.8 mm el 23/10/2015 (Estación Ilopango). Para esa misma fecha el talud experimentó el mayor deterioro en los ejes verticales, presentando erosión hasta de -105 cm en el Eje 4, y valores un azolvamiento hasta de 49 cm en el Eje 2.

### **Talud ZF-I**

- ✓ El talud presentó erosión horizontal y vertical
- ✓ La lluvia que generó los primeros cambios por erosión horizontal en el orden de 327 cm (punto A-3) hasta 526 cm (punto A-4), fue la del 22/09/2015 y tuvo una magnitud de 276.6 mm, Estación Ilopango. Para esta misma fecha, se registraron los primeros azolvamientos verticales, en el orden de 15 cm (punto 4), hasta 30 cm (punto 2).
- ✓ El deterioro de este talud estuvo influenciado por varios factores: la escorrentía superficial generada por las lluvias, la pendiente muy fuerte que poseía el talud, la escasa cobertura vegetal en la cresta y la ausencia de la misma en el cuerpo, la influencia de la obra de protección cercana al talud (escalones disipadores de energía), y ubicación contigua a la quebrada Arenal Seco. Todos estos factores combinados ocasionaron el máximo deterioro por erosión horizontal de 526 cm (punto A-4), el cual se presentó el día 22/09/2015, con una lluvia de 276.6 mm, Estación Ilopango. Por otra parte, el máximo deterioro por erosión

vertical fue de -65 cm (eje 4), y el máximo deterioro por azolvamiento estuvo en el orden de 57 cm (eje 2 y 3) y 66 cm (eje 1); ambos se presentaron el 23/10/2015 con una magnitud de 731.8 mm.

### **Talud ZF-II**

- ✓ El talud presentó erosión horizontal y vertical.
- ✓ La lluvia que generó los primeros cambios por erosión horizontal en el orden de 3 cm (punto C-1-1) hasta 57 cm (punto C-2-2) fue la del 22/09/2015, con una magnitud de 276.6 mm, Estación Ilopango).
- ✓ El deterioro de este talud, al igual que el talud ZF-I, estaba influenciado por factores como: la escorrentía superficial generada por las lluvias, pendiente casi vertical, la escasa cobertura vegetal en la cresta y la ausencia de la misma en el cuerpo del talud, la influencia por la obra de protección (escalones disipadores de energía cinética del flujo de agua) y la ubicación contigua a la quebrada Arenal Seco. La combinación de todos estos factores provocó el deterioro máximo por erosión horizontal de 297 cm (punto C-2-2), el cual se presentó el 23/10/2015, con una lluvia de 731.8 mm en la estación Ilopango. Por otra parte, el máximo deterioro por erosión vertical fue de -332 (punto C-1-1), y se presentó el 22/09/2015, con una lluvia de 276.6 mm (Estación Ilopango).

### **Talud Galicia (Erosión horizontal y vertical)**

- ✓ El talud presentó erosión horizontal y vertical.
- ✓ La lluvia que generó los primeros cambios por azolvamiento vertical en el orden de 12 cm (eje auxiliar 2) hasta 13 cm (eje auxiliar 3), fue la del 16/09/2015, con una magnitud de 168.6 mm.
- ✓ El deterioro de este talud estuvo influenciado por varios factores: escorrentía superficial causada por las lluvias, pendiente muy fuerte, abundante cobertura vegetal en la cresta y ausencia de la misma en el cuerpo y la cercanía a la quebrada Las Pavas. Todos estos factores combinados causaron un máximo deterioro por erosión horizontal de 60 cm (punto 3-A), el 16/10/2015 con lluvias de 582.7 mm (Estación Ilopango). Asimismo, el máximo azolvamiento de 263 cm (eje 1-A) se presentó el 23/10/2015 con lluvias de 731.8 mm (Estación Ilopango).

### **Talud UES**

- ✓ El talud presentó erosión de tipo laminar.
- ✓ La lluvia que causó las primeras erosiones en el orden de -0.1 a -2 cm y azolvamientos entre 0.2 y 1 cm, se presentó el 08/09/2015 con una magnitud de 229.4 mm en la Estación UES.
- ✓ El deterioro de este talud estuvo influenciado por varios factores: escorrentía superficial generada por las lluvias, pendiente fuerte, y la sobrecarga de un edificio de dos niveles (Escuela de Ingeniería Civil). La

combinación de todos estos factores ocasionaron que el talud experimentara un máximo deterioro por erosión laminar de -4.2 cm en el punto B-3 (ubicado aproximadamente a 4.22 m del pie del talud en la unidad G de TBJ); y un máximo azolvamiento de 4 cm en el punto D-3, ubicado a 3 m del pie del talud en la Unidad F de TBJ. Estos cambios máximos se presentaron el 05/11/2015, con una lluvia de 732 mm en la estación UES.

#### ❖ **Tasas de erosión**

- ✓ Los valores de tasas de deterioro obtenidos para taludes que experimentaron erosión de tipo laminar fueron: Talud Arrupe I: **0.09 T-Año/m<sup>2</sup>** (máximo valor), Talud Arrupe II: **0.00492 T-Año/m<sup>2</sup>** (valor mínimo), y Talud UES: **0.0152 T-Año/m<sup>2</sup>** (valor intermedio).
- ✓ Los valores de tasas de deterioro obtenidos para taludes que experimentaron erosión de tipo horizontal y vertical fueron: Cipreses I: **9.81 T-Año/m<sup>2</sup>** (valor máximo), Cipreses II: **8.60 T-Año/m<sup>2</sup>**, ZF-I: **5.57 T-Año/m<sup>2</sup>**, ZF-II (lado derecho): **4.57 T-Año/m<sup>2</sup>**, ZF-II (lado izquierdo): **4.20 T-Año/m<sup>2</sup>** (valor mínimo), Galicia: **4.50 T-Año/m<sup>2</sup>**.

#### **Conclusiones generales**

- ✓ En base a los resultados obtenidos, no fue posible concluir sobre las variaciones que pueden existir entre las características geotécnicas de los estratos y el centro de emisión de los mismos.

- ✓ La clasificación geotécnica de las unidades de TBJ encontradas en los taludes investigados fueron:
  - **Unidad G:** Limos con Arena (ML), con gravedades específicas en el rango de 2.38 a 2.39 y densidad seca de 1.29 g/cm<sup>3</sup>.
  - **Unidad F:** Arena Limosa (SM), con gravedades específicas en el rango de 2.27 a 2.41 y densidad seca entre 1.10 a 1.35 g/cm<sup>3</sup>.
  - **Unidad E (depósito húmedo):** Limos Arenosos (ML) y Limos con Arena (ML), con gravedades específicas en el rango de 2.47 a 2.51 y densidad seca de 1.57 g/cm<sup>3</sup>
  - **Unidad E (depósito seco):** Arenas bien graduadas con Limo (SW-SM) y Arenas Mal graduadas con Limo (SP-SM), con gravedades específicas en el rango de 2.39 a 2.50 y densidad seca de 1.08 g/cm<sup>3</sup>.
  - **Unidad D:** Limos con Arena (ML) y Limos Arenosos (ML), con gravedades específicas en el rango de 2.38 a 2.39 y densidad seca de 1.42 g/cm<sup>3</sup>
  - **Ignimbrita α:** Arenas Limosas (SM), con gravedades específicas en el rango de 2.31 a 2.44 y densidad seca entre 1.14 a 1.44 g/cm<sup>3</sup>
  
- ✓ La máxima erosión laminar fue presentada en el talud Arrupe I con una magnitud de -15 cm.

- ✓ La máxima erosión horizontal fue generada en el talud ZF-I con un valor de 526 cm.
- ✓ La lluvia que ocasionó la máxima erosión vertical fue la del 22/09/2015, con magnitud de 276.6 mm en la Estación Ilopango. Este cambio lo presentó el talud ZF-II, registrando -332 cm en el punto C-1-1.
- ✓ El factor que mayor influencia tuvo en el deterioro en taludes con erosión laminar es la lluvia, ya que los mayores cambios se presentaron después de grandes acumulaciones de lluvia. Por otra parte, otros factores considerados como: sobrecarga y vibraciones producidas por el tráfico vehicular no tuvieron mayor influencia.
- ✓ El factor que tiene mayor influencia en el deterioro en los taludes con erosión lateral y vertical (localizados contiguos al cauce de ríos o quebradas), es la escorrentía superficial. Esto puede aseverarse, debido a que los taludes estudiados que experimentan este tipo de erosión, son los que registraron cambios más relevantes cuando se presentaban lluvias intensas y el caudal de las quebradas aumentaba considerablemente. Esta situación se vuelve más crítica cuando la corriente de ríos o quebradas impactan de forma directa a los taludes, generando erosiones máximas.
- ✓ La influencia que tienen las áreas que se consideran para el cálculo de tasas de erosión, no permiten comparar los resultados de tasa obtenidos

para taludes que presentaron erosión de tipo laminar con los que presentaron erosión de tipo horizontal y vertical.

## **6.2 RECOMENDACIONES**

- ✓ Para el caso de los taludes que experimentan erosión en ríos (horizontal y vertical) se recomienda colocar la cuadrícula sobre el área del talud en donde el río o quebrada tenga más impacto, tomando en cuenta la morfología del río.
- ✓ Colocar los puntos de referencia más alejados del borde del talud, de manera que pueda efectuarse un registro continuo y sin interrupciones de las pérdidas de material por erosión lateral; ya que durante la ocurrencia de tormentas de mucha intensidad, las varillas pueden perderse por el paso del cauce del río o quebrada.
- ✓ Para efectuar el monitoreo en los taludes con varios estratos que presentan erosión laminar, se recomienda colocar las varillas de medición haciendo diferencia entre cada estrato presente en el talud, de manera que se incluya toda el área delimitada para el registro de erosión; con el objetivo para poder facilitar el análisis de las correlaciones existentes entre las propiedades físicas que posee el material por el que está constituido cada estrato, junto con la tasa de erosión que presenta.

- ✓ Se recomienda que el período de estudio para llevar a cabo el monitoreo de deterioro sea de por lo menos un año, (incluso en la época seca), para poder tener información de lo que sucede con los taludes (constituidos por materiales piroclásticos) cuando se evapora el agua acumulada durante la época lluviosa.
- ✓ El lapso de tiempo entre monitoreos debe ser menor a 15 días cuando se hayan presentado precipitaciones de larga duración y de poca intensidad o cortas de mucha intensidad; para tener mayor certeza de las lluvias específicas que ocasionaron el deterioro en los taludes que se estén estudiando.
- ✓ Se recomienda tomar en cuenta el efecto que se produce en las laderas y taludes contiguos a los ríos, al extraer arena en el lecho de los mismos, en condiciones no controladas.
- ✓ Para poder concluir de manera más precisa con respecto a la influencia de la lluvia registrada por cada pluviómetro sobre los taludes estudiados, es necesario determinar la lluvia media en cada zona, a través de métodos como los polígonos de Thiessen (si la topografía es suave o plana) o el método de las isoyetas (para zonas montañosas con topografía accidentada).
- ✓ La aplicación simultánea de diferentes técnicas de monitoreo arrojaría interesantes resultados, para poder comparar volúmenes de material

desprendido en diferentes condiciones de exposición en un mismo periodo de tiempo. Por ejemplo, podrían implementarse las técnicas aplicadas en esta investigación, junto con la técnica de Transecto de Cárcavas.

- ✓ Se deben priorizar los estudios de procesos erosivos en las zonas del AMSS en donde exista la presencia de factores de exposición más críticos, como taludes y laderas con pendientes muy verticales que estén constituidos por materiales piroclásticos, con exposición a ríos o quebradas (experimentando erosión fluvial<sup>80</sup>).

---

<sup>80</sup> Erosión lateral (horizontal) y vertical, en ríos

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amaya, C., & Hayem, E., “Introducción al estudio de suelos parcialmente saturados e inicio de la caracterización de la Tierra Blanca del AMSS”, 147 págs. Universidad Centroamericana José Simeón Cañas (UCA), Tesis de Lic., El Salvador, 2000.
  
- Ascencio, N. A. & Zúniga, D.E., “Tierra Blanca Joven: caracterización geológica y geotécnica de la unidad D”, Trabajo de graduación presentado para optar al grado de Ingeniero Civil en la Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”, San Salvador, El Salvador, 2010.
  
- Ayala Valdéz, O. E., “Aplicación de los modelos constitutivos para representar el comportamiento de tierra blanca joven (TBJ), unidad G”, Trabajo de graduación presentado para optar al grado de Ingeniero Civil en la Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador, 2013.
  
- Barry, D., “El agua: Límite ambiental para el desarrollo futuro de El Salvador”. *Prisma*, 1994.

- Barry, D., “Organismos financieros y política ambiental en El Salvador”. *PRISMA*, 1994.
- Bomer, J., “Terremotos, urbanización y riesgo sísmico en San Salvador”, *Boletín Prisma*, 1996.
- Chávez, J., Hernández, W., & Kopecky, L., Problemática y conocimiento actual de las tefras tierra blanca joven en el Área Metropolitana de San Salvador, El Salvador, *Revista Geológica de América Central*, 2012.
- Chavez, J.A., Šebesta, J., Kopecky, L., López, R. & Landaverde, J., “Unsaturated volcanic tephra and its effect for soil movement in El Salvador”, *Earth Science*, 2013.
- Das, B. M., & León, J. C., *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones*. Cengage Learning, 2012.
- Dull, R., Southon, J., Kutterolf, S., Freundt, A., Wahl, D., & Sheets, P., “Did the Ilopango TBJ eruption cause the AD 536 event”, In *AGU Fall meeting, Abstracts*, 2010.

- Gavarrete, G., Cecilia, C., Guevara, N., Robinson, R., & Ramírez Andrade, D. I., “Soluciones técnicas a problemas de socavación de gran tamaño llamadas cárcavas, en el municipio de Ilopango, departamento de San Salvador”, Trabajo de graduación presentado para optar al grado de Ingeniero Civil en la Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador, 2012.
- Guevara, M., Hernández, W., Rivas, C., & Márquez, E., Estado de las aguas subterráneas en El Salvador. *Boletín Geológico y Minero*, (Número monográfico. hidrogeología en Iberoamérica), 2006.
- Guzmán, M.A., & Melara, E., “Propiedades ingenieriles del suelo del Área Metropolitana de San Salvador”, El Salvador. *Revista ASIA*, 122, 14–22, 1996.
- Hernández, W., & SNET, G., “Mecanismo de ruptura de taludes en ignimbritas de tierra blanca joven”, caldera de Ilopango, el salvador.
- Hernández, W., “Características Geotécnicas y Vulcanológicas de las tefras de Tierra Blanca Joven, de Ilopango, El Salvador”, Proyecto final presentado para optar al grado de master en tecnologías geológicas en la Universidad Politécnica de El Salvador, San Salvador, El Salvador, 2004.

- Ichikawa, A., “Cuándo y Cómo Fue la Erupción del Volcán Ilopango, El Salvador: Síntesis desde la Óptica Arqueológica”, 2016.
- Suárez, J., “Control de erosión en zonas tropicales”, *Bucaramanga, CO*. División Editorial y de Publicaciones Universidad Industrial de Santander, 2001.
- Maitre, A., “*Manual de métodos sencillos para estimar erosión hídrica. Managua*. PASOLAC-CIAT-UNA, 2005.
- Molina, B.M., Pérez, G.N. & Vásquez, M.E., “Caracterización geotécnica de las tefras tierra blanca joven: unidad "G" en la zona proximal y obras de protección”, Trabajo de graduación presentado para optar al grado de ingeniero civil en la Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”, San Salvador, El Salvador, 2009.
- Morgan, Roy., “Erosión y conservación de suelos”. Mundi-Prensa Libros. 1997.
- Rolo R., Bommer. J.J., Houghton. B.F., Vallance. J.W., Berdousis. P., Mavrommati. C. & Murphy. W., “Geologic and Engineering Characterization of Tierra Blanca Pyroclastic Ash Deposits”, In Rose, W.I., 2004.

- Šebesta, J., & Chávez, J., “Cartografía y evaluación para estudiar los procesos erosivos en el Área Metropolitana de San Salvador”, págs. *OPAMSS-Embajada de Republica Checa en Costa Rica* (Inf. interno), 2010.
  
- Valdivieso, F., “Arqueología histórica en áreas urbanas en El Salvador: una práctica en contextos intensamente transformados”, *Boletín de Monumentos Históricos*, 2014.

# **ANEXOS**

## Anexo No. 1: Fichas de recolección de información en campo

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA			
			
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DE ESTADO INICIAL DE TALUDES</b> <b>TRABAJO DE GRADUACIÓN: "DETERMINACIÓN DE LA TASA DE DETERIORO EN TALUDES CONSTITUIDOS POR MATERIALES PIROCLASTICOS EN EL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR (AMSS)"</b>			
<b>A. GENERALIDADES</b>			
NOMBRE DEL TALUD: Arrupe I		FECHA: agosto de 2015	
RESPONSABLE: Bautista Mendoza, Cruz Rivas			
<b>B. LOCALIZACIÓN</b>			
UBICACION: Km 21, Autopista Este-Oeste (Carretera de Oro), en las cercanías del Colegio Español Padre Arrupe, en Soyapango, San Salvador, El Salvador			
COORDENADAS: X(LONGITUD)= 89° 9'34.29"		Y(LATITUD)= 13°43'5.28"	
DISTANCIA AL CENTRO DE EMISIÓN: Aproximadamente 12.68 Km			
<b>C. CONDICIONES DEL ENTORNO Y ELEMENTOS ANTRÓPICOS</b>			
EXISTENCIA DE RIOS O QUEBRADAS:	SI___	NO_X__	
NOMBRE DEL RIO O QUEBRADA: Ninguna			
EXISTENCIA DE OBRAS DE PROTECCIÓN:	SI___	NO_X__	
EXISTENCIA DE CÁRCAVAS:	SI___	NO_X__	
PRESENCIA DE CASAS:	SI___	NO_X__	
PRESENCIA DE ZANJAS:	SI___	NO_X__	
PRESENCIA DE POSTES:	SI___	NO_X__	
PRESENCIA DE OTRAS ESTRUCTURAS:	SI___	NO_X__	
DESCRIPCIÓN: El talud posee poca cobertura vegetal en el cuerpo y en la cresta, y esta ubicado aproximadamente a 25 m de la carretera de oro			
<b>D. ESCARPE</b>			
ALTURA PROMEDIO: 4.70 m			
PENDIENTE: aproximadamente vertical (80°)			
<b>E. DIMENSIONES DEL SECTOR DEL TALUD EN ESTUDIO:</b>			
LONGITUD EN X: 4.50 m			
LONGITUD EN Y: 4.70 m			
<b>F. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL TALUD:</b>			
EXISTENCIA DE GRIETAS:	SI___	NO_X__	
COBERTURA VEGETAL:	SI_X__	NO___	
UBICACIÓN DE COBERTURA VEGETAL: Escasa en el cuerpo y en la cresta			
TIPO DE COBERTURA: PASTO [ ] MATORRAL [ ] ARBUSTO [ X ]			
AFLORAMIENTO DE AGUAS:	SI___	NO_X__	
DESCRIPCIÓN DE LA PENDIENTE DEL TALUD:			
PLANO A LIGERAMENTE INCLINADO (0 - 2%) [ ] ONDULADO SUAVE (3-4%) [ ] ONDULADO (5-12%) [ ] ALOMADO (13-25%) [ ] QUEBRADO (26-35%) [ ] ACCIDENTADO (36-70%) [ ] MUY ACCIDENTADO (>70x) [ X ]			
<b>G. MATERIALES EXISTENTES:</b>			
TIPO DE MATERIALES PRESENTES: Tierra Blanca Joven (TBJ)			
NÚMERO DE ESTRATOS VISUALMENTE IDENTIFICABLES: 4			
<b>H. CARACTERÍSTICAS DE LOS ESTRATOS:</b>			
NOMBRE	ESPESOR DEL ESTRATO(m)	COLOR	TAMAÑO DEL GRANO
Unidad G	1.55	café claro, blanco	3mm
Unidad F	1.36	café claro	3-5 mm
Unidad E (húmedo)	0.21	gris oscuro	1-3 mm
Unidad E (seco)	0.20	gris	1 mm
Unidad D	1.24	café claro	1-3mm
<b>I. OTROS:</b>			
EXISTE PROBABILIDAD DE DESLIZAMIENTO O FLUJOS: SI_X__ NO___			
OBSERVACIONES: El talud está siendo monitoreado por la OPAMSS			

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA			
			
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DE ESTADO INICIAL DE TALUDES</b> <b>TRABAJO DE GRADUACIÓN: "DETERMINACIÓN DE LA TASA DE DETERIORO EN TALUDES CONSTITUIDOS POR</b> <b>MATERIALES PIROCLASTICOS EN EL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR (AMSS)"</b>			
<b>A. GENERALIDADES</b>			
NOMBRE DEL TALUD: Arrupe II		FECHA: agosto de 2015	
RESPONSABLE: Bautista Mendoza, Cruz Rivas			
<b>B. LOCALIZACIÓN</b>			
UBICACIÓN: Km 19, Autopista Este-Oeste (Carretera de Oro), en las cercanías del Colegio Español Padre Arrupe, en Soyapango, San Salvador, El Salvador			
COORDENADAS: X= 89° 9'37.80" (Longitud) Y= 13°44'1.70" (Latitud)			
DISTANCIA AL CENTRO DE EMISIÓN: Origen desconocido			
<b>C. CONDICIONES DEL ENTORNO Y ELEMENTOS ANTRÓPICOS</b>			
EXISTENCIA DE RIOS O QUEBRADAS: SI___ NO__X__			
NOMBRE DEL RIO O QUEBRADA: Ninguna			
EXISTENCIA DE OBRAS DE PROTECCIÓN: SI___ NO__X__			
EXISTENCIA DE CÁRCAVAS: SI___ NO__X__			
PRESENCIA DE CASAS: SI___ NO__X__			
PRESENCIA DE ZANJAS: SI___ NO__X__			
PRESENCIA DE POSTES: SI___ NO__X__			
PRESENCIA DE OTRAS ESTRUCTURAS: SI___ NO__X__			
DESCRIPCIÓN: -----			
OTROS: Existe una canaleta al pie del talud			
<b>D. ESCARPE</b>			
ALTURA: 4.98 m			
PENDIENTE: aproximadamente vertical (80°-85°)			
<b>E. DIMENSIONES DEL SECTOR DEL TALUD EN ESTUDIO:</b>			
LONGITUD EN X: 12 m			
LONGITUD EN Y: 4.98 m			
<b>F. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL TALUD:</b>			
EXISTENCIA DE GRIETAS: SI__X__ NO___			
COBERTURA VEGETAL: SI__X__ NO___			
UBICACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL: Abundante en la cresta y algunos sectores del cuerpo. El área donde se colocó la cuadrícula estaba descubierta.			
TIPO DE COBERTURA VEGETAL: PASTO[ ] MATORRAL [ X] ARBUSTIVO [ X] CULTIVO [ ]			
AFLORAMIENTO DE AGUAS: SI___ NO__X__			
DESCRIPCIÓN DE LA PENDIENTE DEL TALUD:			
PLANO A LIGERAMENTE INCLINADO (0 - 2%) [ ] ONDULADO SUAVE (3-4%) [ ] ONDULADO (5-12%) [ ]			
ALOMADO (13-25%) [ ] QUEBRADO (26-35%) [ ] ACCIDENTADO (36-70%) [ X] MUY ACCIDENTADO (>70x) [ X]			
<b>G. MATERIALES EXISTENTES:</b>			
TIPO DE MATERIALES PRESENTES: Tierras blancas Inferiores			
NÚMERO DE ESTRATOS VISUALMENTE IDENTIFICABLES: 4			
<b>H. CARACTERÍSTICAS DE LOS ESTRATOS:</b>			
	ESPESOR DEL ESTRATO(m)	COLOR	TAMAÑO DEL GRANO(mm)
Estrato 4	2,46	blanco	3
Estrato 3	1,04	café	6
Estrato 2	1,15	beige	3
Estrato 1	0,71	café rojizo	10
<b>I. OTROS:</b>			
EXISTE PROBABILIDAD DE DESLIZAMIENTO O FLUJOS: SI__X__ NO___			
OBSERVACIONES: El talud esta expuesto a vibraciones por el paso de vehiculos			

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA			
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DE ESTADO INICIAL DE TALUDES</b> <b>TRABAJO DE GRADUACIÓN: "DETERMINACIÓN DE LA TASA DE DETERIORO EN TALUDES CONSTITUIDOS POR</b> <b>MATERIALES PIROCLASTICOS EN EL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR (AMSS)"</b>			
<b>A. GENERALIDADES</b>			
NOMBRE DEL TALUD: Cipreses I		FECHA: agosto de 2015	
RESPONSABLE: Bautista Mendoza, Cruz Rivas			
<b>B. LOCALIZACIÓN</b>			
UBICACIÓN: Frente al Parque Memorial Los Cipreses, Km. 11, sobre Autopista Este-Oeste, a 100 m del costado Nor- Oriente del Aeropuerto de Ilopango, San Salvador, El Salvador			
COORDENADAS: X= (longitud)= 89°7'14.45" Y= (latitud)= 13°42'28.80"			
DISTANCIA AL CENTRO DE EMISIÓN: 8.24 Km			
<b>C. CONDICIONES DEL ENTORNO Y ELEMENTOS ANTRÓPICOS</b>			
EXISTENCIA DE RIOS O QUEBRADAS: SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>			
NOMBRE DEL RIO O QUEBRADA: Quebrada Arenal San Bartolo			
EXISTENCIA DE OBRAS DE PROTECCIÓN: SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>			
EXISTENCIA DE CÁRCAVAS: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>			
PRESENCIA DE CASAS: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>			
PRESENCIA DE ZANJAS: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>			
PRESENCIA DE POSTES: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>			
PRESENCIA DE OTRAS ESTRUCTURAS: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>			
DESCRIPCIÓN: El talud está expuesto a erosión lateral y vertical por el paso del agua de la quebrada.			
<b>D. ESCARPE</b>			
ALTURA PROMEDIO DEL TALUD: 5.5 m			
PENDIENTE: aproximadamente vertical (90°)			
<b>E. DIMENSIONES DEL SECTOR DEL TALUD EN ESTUDIO:</b>			
LONGITUD EN DIRECCION X: 21.23 m			
LONGITUD EN DIRECCIÓN Y: 8.26 m			
<b>F. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL TALUD:</b>			
EXISTENCIA DE GRIETAS: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>			
COBERTURA VEGETAL: SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>			
UBICACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL: EN LA CRESTA			
TIPO DE COBERTURA: PASTO <input checked="" type="checkbox"/> MATORRAL <input checked="" type="checkbox"/> ARBUSTO <input checked="" type="checkbox"/> CULTIVO <input type="checkbox"/>			
AFLORAMIENTO DE AGUAS: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>			
DESCRIPCIÓN DE LA PENDIENTE DEL TALUD:			
PLANO A LIGERAMENTE INCLINADO (0 - 2%) <input type="checkbox"/> ONDULADO SUAVE (3-4%) <input type="checkbox"/> ONDULADO (5-12%) <input type="checkbox"/> ALOMADO (13-25%) <input type="checkbox"/> QUEBRADO (26-35%) <input type="checkbox"/> ACCIDENTADO (36-70%) <input checked="" type="checkbox"/> MUY ACCIDENTADO (>70%) <input checked="" type="checkbox"/>			
<b>G. MATERIALES EXISTENTES:</b>			
TIPO DE MATERIALES PRESENTES: TBJ			
NÚMERO DE ESTRATOS VISUALMENTE IDENTIFICABLES: 3			
<b>H. CARACTERÍSTICAS DE LOS ESTRATOS:</b>			
Llanura aluvial	2	Gris	5
Ignimbrita α	1,7	Beige claro	3
Unidad D	1,8	Beige claro	2
<b>I. OTROS:</b>			
EXISTE PROBABILIDAD DE DESLIZAMIENTO O FLUJOS: SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>			
OBSERVACIONES: El talud está ubicado en la quebrada que viene de la colonia Montes de San Bartolo			

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA			
			
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DE ESTADO INICIAL DE TALUDES</b>			
<b>TRABAJO DE GRADUACIÓN: "DETERMINACIÓN DE LA TASA DE DETERIORO EN TALUDES CONSTITUIDOS POR MATERIALES PIROCLASTICOS EN EL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR (AMSS)"</b>			
<b>A. GENERALIDADES</b>			
NOMBRE DEL TALUD: Cipreses II		FECHA: agosto de 2015	
RESPONSABLE: Bautista Mendoza, Cruz Rivas			
<b>B. LOCALIZACIÓN</b>			
UBICACIÓN: Parque Memorial Los Cipreses, Km. 17 ½ Autopista Este-Oeste (Carretera de Oro). Se encuentra a unos 50 mts del punto Cipreses I			
COORDENADAS: X= (longitud)= 89°7'16.60" Y= (latitud)= 13°42'23.05"			
DISTANCIA AL CENTRO DE EMISIÓN: 8.21 Km			
<b>C. CONDICIONES DEL ENTORNO Y ELEMENTOS ANTRÓPICOS</b>			
EXISTENCIA DE RIOS O QUEBRADAS: SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>			
NOMBRE DEL RIO O QUEBRADA:			
EXISTENCIA DE OBRAS DE PROTECCIÓN: SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>			
EXISTENCIA DE CÁRCAVAS: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>			
PRESENCIA DE CASAS: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>			
PRESENCIA DE ZANJAS: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>			
PRESENCIA DE POSTES: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>			
PRESENCIA DE OTRAS ESTRUCTURAS: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>			
DESCRIPCIÓN: Talud afectado por la influencia de la quebrada arenal seco.			
OTROS: Existe un muro gavión al pie del talud.			
<b>D. ESCARPE</b>			
ALTURA PROMEDIO DEL TALUD: 7.10 m			
PENDIENTE: aproximadamente vertical (90°)			
<b>E. DIMENSIONES DEL SECTOR DEL TALUD EN ESTUDIO:</b>			
LONGITUD EN LA DIRECCIÓN X: 10.83 m			
LONGITUD EN LA DIRECCIÓN Y: 4.77 m			
<b>F. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL TALUD:</b>			
EXISTENCIA DE GRIETAS: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>			
PRESENCIA DE FALLAS GEOLÓGICAS: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>			
COBERTURA VEGETAL: SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>			
UBICACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL: En la cresta			
TIPO DE COBERTURA VEGETAL: PASTO <input checked="" type="checkbox"/> MATORRAL <input type="checkbox"/> ARBUSTO <input type="checkbox"/> CULTIVO <input type="checkbox"/>			
AFLORAMIENTO DE AGUAS: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>			
DESCRIPCIÓN DE LA PENDIENTE DEL TALUD:			
PLANO A LIGERAMENTE INCLINADO (0 - 2%) <input type="checkbox"/> ONDULADO SUAVE (3-4%) <input type="checkbox"/> ONDULADO (5-12%) <input type="checkbox"/>			
ALOMADO (13-25%) <input type="checkbox"/> QUEBRADO (26-35%) <input type="checkbox"/> ACCIDENTADO (36-70%) <input checked="" type="checkbox"/> MUY ACCIDENTADO (>70%) <input checked="" type="checkbox"/>			
<b>G. MATERIALES EXISTENTES:</b>			
TIPO DE MATERIALES PRESENTES: TBJ			
NÚMERO DE ESTRATOS VISUALMENTE IDENTIFICABLES: 3			
<b>H. CARACTERÍSTICAS DE LOS ESTRATOS:</b>			
NOMBRE	ESPESOR DEL ESTRATO(m)	COLOR	TAM AÑO DEL GRANO (mm)
Llanura aluvial	1.20	Gris	4
Ignimbrita α sup.	5	Beige claro	9
Ignimbrita α inf.	0,9	Beige claro	9
<b>I. OTROS:</b>			
EXISTE PROBABILIDAD DE DESLIZAMIENTO O FLUJOS: SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>			
OBSERVACIONES: El talud posee restos de muro gavión que fueron construidos anteriormente.			

<p><b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b>  <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b>  <b>DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA</b></p>														
<p><b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DE ESTADO INICIAL DE TALUDES</b></p> <p><b>TRABAJO DE GRADUACIÓN: "DETERMINACIÓN DE LA TASA DE DETERIORO EN TALUDES CONSTITUIDOS POR MATERIALES PIROCLASTICOS EN EL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR (AMSS)"</b></p>														
<p><b>A. GENERALIDADES</b></p> <p>NOMBRE DEL TALUD: ZF-I</p> <p>RESPONSABLE: Bautista Mendoza, Cruz Rivas</p>		<p>FECHA: agosto de 2015</p>												
<p><b>B. LOCALIZACIÓN</b></p> <p>UBICACIÓN: Zona Franca de San Bartolo, al costado Sur-Oriente del Aeropuerto de Ilopango, San Salvador</p> <p>COORDENADAS: X= 89°100'49.34" (Longitud) Y=13°42'5.49" (Latitud)</p> <p>DISTANCIA AL CENTRO DE EMISIÓN: 7.32 Km</p>														
<p><b>C. CONDICIONES DEL ENTORNO Y ELEMENTOS ANTRÓPICOS</b></p> <p>EXISTENCIA DE RIOS O QUEBRADAS: SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/></p> <p>NOMBRE DEL RIO O QUEBRADA: Quebrada Arenal seco</p> <p>EXISTENCIA DE OBRAS DE PROTECCIÓN: SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/></p> <p>EXISTENCIA DE CÁRCAVAS: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>PRESENCIA DE CASAS: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>PRESENCIA DE ZANJAS: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>PRESENCIA DE POSTES: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>PRESENCIA DE OTRAS ESTRUCTURAS: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>DESCRIPCIÓN: -----</p> <p>OTROS: Escalones para minimizar la velocidad que lleva el agua lluvia a un</p>														
<p><b>D. ESCARPE</b></p> <p>ALTURA DEL TALUD: 4.60 m</p> <p>PENDIENTE: aproximadamente vertical (90°)</p>														
<p><b>E. DIMENSIONES DEL SECTOR DEL TALUD EN ESTUDIO:</b></p> <p>LONGITUD EN LA DIRECCIÓN X: 11.73 m</p> <p>LONGITUD EN LA DIRECCION Y: 4.70 m</p>														
<p><b>F. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL TALUD:</b></p> <p>EXISTENCIA DE GRIETAS: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>COBERTURA VEGETAL: SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/></p> <p>TIPO DE COBERTURA VEGETAL MENOR: PASTO [ ] MATORRAL [ ] ARBUSTIVO [ X ] CULTIVO [ ]</p> <p>AFLORAMIENTO DE AGUAS: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>DESCRIPCIÓN DE LA PENDIENTE DEL TALUD:</p> <p>PLANO A LIGERAMENTE INCLINADO (0 - 2%) [ ] ONDULADO SUAVE (3-4%) [ ] ONDULADO (5-12%) [ ]</p> <p>ALOMADO (13-25%) [ ] QUEBRADO (26-35%) [ ] ACCIDENTADO (36-70%) [ ] MUY ACCIDENTADO (&gt;70%) [ X ]</p>														
<p><b>G. MATERIALES EXISTENTES:</b></p> <p>TIPO DE MATERIALES PRESENTES: TBJ</p> <p>NÚMERO DE ESTRATOS VISUALMENTE IDENTIFICABLES: 2</p>														
<p><b>H. CARACTERÍSTICAS DE LOS ESTRATOS:</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 25%;">NOMBRE</th> <th style="width: 25%;">ESPESOR DEL ESTRATO(m)</th> <th style="width: 25%;">COLOR</th> <th style="width: 25%;">TAMAÑO DEL GRANO(mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Llanura aluvial</td> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">Gris</td> <td style="text-align: center;">4</td> </tr> <tr> <td>Unidad F</td> <td style="text-align: center;">2,6</td> <td style="text-align: center;">Beige claro</td> <td style="text-align: center;">9</td> </tr> </tbody> </table>			NOMBRE	ESPESOR DEL ESTRATO(m)	COLOR	TAMAÑO DEL GRANO(mm)	Llanura aluvial	2	Gris	4	Unidad F	2,6	Beige claro	9
NOMBRE	ESPESOR DEL ESTRATO(m)	COLOR	TAMAÑO DEL GRANO(mm)											
Llanura aluvial	2	Gris	4											
Unidad F	2,6	Beige claro	9											
<p><b>I. OTROS:</b></p> <p>EXISTE PROBABILIDAD DE DESLIZAMIENTO O FLUJOS: SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/></p> <p>OBSERVACIONES: La dirección del flujo del agua de la Quebrada Arenal Seco es influenciada por una obra de disipación de energía construida sobre el rio la cual impacta directamente sobre el talud en estudio.</p>														

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA



**FICHA DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DE ESTADO INICIAL DE TALUDES**  
**TRABAJO DE GRADUACIÓN: "DETERMINACIÓN DE LA TASA DE DETERIORO EN TALUDES CONSTITUIDOS POR**  
**MATERIALES PIROCLASTICOS EN EL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR (AMSS)"**

**A. GENERALIDADES**

NOMBRE DEL TALUD: ZF-II

FECHA: agosto de 2015

RESPONSABLE: Bautista Mendoza, Cruz Rivas

**B. LOCALIZACIÓN**

UBICACIÓN: Zona Franca de San Bartolo, al costado Sur-Oriente del Aeropuerto de Ilopango, San Salvador.

COORDENADAS: X= 89°6'51.30" (Longitud) Y= 13°42'7.11" (Latitud)

DISTANCIA AL CENTRO DE EMISIÓN: 7.48 Km

**C. CONDICIONES DEL ENTORNO Y ELEMENTOS ANTRÓPICOS**EXISTENCIA DE RIOS O QUEBRADAS: SI  NO 

NOMBRE DEL RIO O QUEBRADA: Quebrada Arenal Seco

EXISTENCIA DE OBRAS DE PROTECCIÓN: SI  NO EXISTENCIA DE CÁRCAVAS: SI  NO PRESENCIA DE CASAS: SI  NO PRESENCIA DE ZANJAS: SI  NO PRESENCIA DE POSTES: SI  NO PRESENCIA DE OTRAS ESTRUCTURAS: SI  NO 

DESCRIPCIÓN: Escalones para minimizar la velocidad que lleva el agua lluvia, pero ejercen influencia a ZF-I aguas arriba

**D. ESCARPE**

ALTURA PROMEDIO DEL TALUD: 2.00 m

PENDIENTE: aproximadamente vertical (90°)

**E. DIMENSIONES DEL SECTOR DEL TALUD EN ESTUDIO:**

ANCHO: 4.30 m

LONGITUD DEL TRAMO EN ESTUDIO: 3 m

**F. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL TALUD:**EXISTENCIA DE GRIETAS: SI  NO COBERTURA VEGETAL: SI  NO 

UBICACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL: En la cresta del talud

TIPO DE COBERTURA VEGETAL: PASTO  MATORRAL  ARBUSTO  CULTIVO AFLORAMIENTO DE AGUAS: SI  NO 

DESCRIPCIÓN DE LA PENDIENTE DEL TALUD:

PLANO A LIGERAMENTE INCLINADO (0 - 2%)  ONDULADO SUAVE (3-4%)  ONDULADO (5-12%) ALOMADO (13-25%)  QUEBRADO (26-35%)  ACCIDENTADO (36-70%)  MUJY ACCIDENTADO (>70%) **G. MATERIALES EXISTENTES:**

TIPO DE MATERIALES PRESENTES: TBJ

NÚMERO DE ESTRATOS VISUALMENTE IDENTIFICABLES: 2

**H. CARACTERÍSTICAS DE LOS ESTRATOS:**

NOMBRE	ESPEJOR DEL ESTRATO(m)	COLOR	TAMAÑO DEL GRANO(mm)
Unidad E	1	Café claro a oscuro	4
C(probablemente)	0,33	Café claro	6

**I. OTROS:**EXISTE PROBABILIDAD DE DESLIZAMIENTO O FLUJOS: SI  NO 

OBSERVACIONES: Para este talud se puede colocar equipo en la sección del rio para medir la erosión a ambos lados del rio.

<p><b>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR</b>  <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b>  <b>ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b>  <b>DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA</b></p>				
<p><b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DE ESTADO INICIAL DE TALUDES</b>  <b>TRABAJO DE GRADUACIÓN: "DETERMINACIÓN DE LA TASA DE DETERIORO EN TALUDES CONSTITUIDOS POR MATERIALES PIROCLASTICOS EN EL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR (AMSS)"</b></p>				
<b>A. GENERALIDADES</b>				
NOMBRE DEL TALUD: Galicia		FECHA: agosto de 2015		
RESPONSABLE: Bautista Mendoza, Cruz Rivas				
<b>B. LOCALIZACIÓN</b>				
UBICACIÓN: Autopista Este-Oeste (Carretera de Oro), frente a Villa Galicia, Municipio de Ilopango, San Salvador				
COORDENADAS: X= 89°5'32.76" (longitud) Y= 13°43' 11.80" (latitud)				
DISTANCIA AL CENTRO DE EMISIÓN: 6.82 Km				
<b>C. CONDICIONES DEL ENTORNO Y ELEMENTOS ANTRÓPICOS</b>				
EXISTENCIA DE RIOS O QUEBRADAS: SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>				
NOMBRE DEL RIO O QUEBRADA:				
EXISTENCIA DE OBRAS DE PROTECCIÓN: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>				
EXISTENCIA DE CÁRCAVAS: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>				
PRESENCIA DE CASAS: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>				
PRESENCIA DE ZANJAS: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>				
PRESENCIA DE POSTES: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>				
PRESENCIA DE OTRAS ESTRUCTURAS: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>				
DESCRIPCIÓN: Aguas arriba se encuentran en construcción muros gaviones para protección de propiedades privadas				
<b>D. ESCARPE</b>				
ALTURA PROMEDIO DEL TALUD: 5.40 m				
PENDIENTE: aproximadamente vertical (90°)				
<b>E. DIMENSIONES DEL SECTOR DEL TALUD EN ESTUDIO:</b>				
LONGITUD EN LA DIRECCIÓN X: 8.50 m				
LONGITUD EN LA DIRECCIÓN Y: 2.30 m				
<b>F. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL TALUD:</b>				
EXISTENCIA DE GRIETAS: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>				
COBERTURA VEGETAL: SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>				
COBERTURA VEGETAL MENOR: PASTO <input checked="" type="checkbox"/> MATORRAL <input checked="" type="checkbox"/> ARBUSTO <input type="checkbox"/> CULTIVO <input type="checkbox"/>				
AFLORAMIENTO DE AGUAS: SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>				
DESCRIPCIÓN DE LA PENDIENTE DEL TALUD: Talud con pendiente plana en la cresta y con angulo aproximadamente 90° en el cuerpo				
PLANO A LIGERAMENTE INCLINADO (0 - 2%) <input type="checkbox"/> ONDULADO SUAVE (3-4%) <input type="checkbox"/> ONDULADO (5-12%) <input type="checkbox"/>				
ALOMADO (13-25%) <input type="checkbox"/> QUEBRADO (26-35%) <input type="checkbox"/> ACCIDENTADO (36-70%) <input type="checkbox"/> MUJ ACCIDENTADO (>70%) <input checked="" type="checkbox"/>				
<b>G. MATERIALES EXISTENTES:</b>				
TIPO DE MATERIALES PRESENTES: TBJ				
NÚMERO DE ESTRATOS VISUALMENTE IDENTIFICABLES: 1				
<b>H. CARACTERÍSTICAS DE LOS ESTRATOS:</b>				
NOMBRE	ALTURA (m)	COLOR	AÑO DEL GRANO (a)	
Unidad F	5,4	Beige claro	9	
<b>I. OTROS:</b>				
EXISTE PROBABILIDAD DE DESLIZAMIENTO O FLUJOS: SI <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>				
OBSERVACIONES: El talud tiene influencia directa de la corriente del agua de la Quebrada Las Pavas				

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA



**FICHA DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN DE ESTADO INICIAL DE TALUDES**  
**"TRABAJO DE GRADUACIÓN: "DETERMINACIÓN DE LA TASA DE DETERIORO EN TALUDES CONSTITUIDOS POR**  
**MATERIALES PIROCLASTICOS EN EL AREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR (AMSS)"**

**A. GENERALIDADES**

NOMBRE DEL TALUD: UES

FECHA: agosto de 2015

RESPONSABLE: Bautista Mendoza, Cruz Rivas

**B. LOCALIZACIÓN**

UBICACIÓN: Ciudad Universitaria, Facultad de Ingeniería y Arquitectura,  
costado norte de la Escuela de Ingeniería Civil.

COORDENADAS: X= 89°2'3.65"(Longitud) Y=13°43'15.62"(Latitud)

DISTANCIA AL CENTRO DE EMISIÓN: 16.94 Km

**C. CONDICIONES DEL ENTORNO Y ELEMENTOS ANTRÓPICOS**

EXISTENCIA DE RIOS O QUEBRADAS: SI\_\_\_ NO\_X\_\_

NOMBRE DEL RIO O QUEBRADA: Ninguna

EXISTENCIA DE OBRAS DE PROTECCIÓN: SI\_\_\_ NO\_X\_\_

EXISTENCIA DE CÁRCAVAS: SI\_\_\_ NO\_X\_\_

PRESENCIA DE CASAS: SI\_\_\_ NO\_X\_\_

PRESENCIA DE ZANJAS: SI\_\_\_ NO\_X\_\_

PRESENCIA DE POSTES: SI\_\_\_ NO\_X\_\_

PRESENCIA DE OTRAS ESTRUCTURAS: SI\_X\_ NO\_\_\_

DESCRIPCIÓN: Soporta la carga del Edificio de 2 niveles de la Escuela de Ingeniería Civil, UES

**D. ESCARPE**

ALTURA: 2.25 m

PENDIENTE: aproximadamente vertical (70°)

**E. DIMENSIONES DEL SECTOR DEL TALUD EN ESTUDIO:**

LONGITUD EN LA DIRECCIÓN X: 4.77 m

LONGITUD EN LA DIRECCIÓN Y: 18 m

**F. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL TALUD:**

EXISTENCIA DE GRIETAS: SI\_\_\_ NO\_X\_\_

COBERTURA VEGETAL: SI\_X\_ NO\_\_\_

UBICACIÓN DE LA COBERTURA VEGETAL: En el cuerpo del talud

TIPO DE COBERTURA VEGETAL : PASTO[X] MATORRAL [ ] ARBUSTIVO [X] CULTIVO [ ]

AFLORAMIENTO DE AGUAS: SI\_\_\_ NO\_X\_\_

DESCRIPCIÓN DE LA PENDIENTE DEL TALUD:

PLANO A LIGERAMENTE INCLINADO (0 - 2%) [ ] ONDULADO SUAVE (3-4%) [ ] ONDULADO (5-12%) [ ]

ALOMADO (13-25%) [ ] QUEBRADO (26-35%) [ ] ACCIDENTADO (36-70%) [X] MUY ACCIDENTADO (>70%) [ ]

**G. MATERIALES EXISTENTES:**

TIPO DE MATERIALES PRESENTES: TBJ y una capa orgánica

NÚMERO DE ESTRATOS VISUALMENTE IDENTIFICABLES: 3

**H. CARACTERÍSTICAS DE LOS ESTRATOS:**

NOMBRE	ALTURA (m)	COLOR	TAMAÑO DEL GRANO(mm)
Llanura aluvial	0,15	Cafés oscuro	1
Unidad G	0,6	Beige Claro	2
Unidad F	1,5	Beige Claro	2

**I. OTROS:**

EXISTE PROBABILIDAD DE DESLIZAMIENTO O FLUJOS: SI\_X\_ NO\_\_\_

OBSERVACIONES: El talud puede presentar erosión de tipo laminar

**Anexo No. 2: Formato utilizado en la determinación del contenido de humedad natural.**

<p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR          FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA          ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL          LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES          "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"</p>					
					
<p>DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL ASTM D-2216-98          TRABAJO DE GRADUACIÓN: "DETERMINACIÓN DE LA TASA DE DETERIORO EN TALUDES          CONSTITUIDOS POR MATERIALES PIROCLÁSTICOS EN EL ÁREA          METROPOLITANA DE SAN SALVADOR (AMSS)"</p>					
<p>Fecha: 30/09/2015          Lugar de procedencia de la muestra: km 21, Autopista Este-Oeste (Carretera de Oro),          en las cercanías del Colegio Español Padre Arrupe          Laboratorista: Br. Bautista Mendoza, Br. Cruz Rivas          Revisó : Ing. Miguel Landaverde</p>					
Nombre del talud	Arrupe I				
Estrato					
Unidad	Unidad D				
Número de muestra		M1	M2	M3	Promedio
Número de tara		N°13	N°72	N°10	
Peso de la tara		10,02	10,24	10,6	
Suelo húmedo + tara		142,69	109,95	116,46	
Suelo seco + tara		122,69	94,86	100,54	
% de humedad		17,75	17,83	17,70	17,76

### Anexo No. 3: Formato utilizado en la determinación del tamaño de las partículas de suelos ASTM D-422

<p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR          FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA          ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL          LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES          "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"</p>				
<p>DETERMINACION DEL TAMAÑO DE LAS PARTICULAS DE SUELOS          (Basada en ASTM D422-63, Reaprobada en 1998)</p>				
<p>TRABAJO DE GRADUACIÓN: "DETERMINACIÓN DE LA TASA DE DETERIORO EN TALUDES CONSTITUIDOS          POR MATERIALES PIROCLÁSTICOS EN EL ÁREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR (AMSS)"</p>				
Fecha:	10/11/2015			
Laboratorista:	Br. Bautista, Br. Cruz			
Calculó:	Br. Bautista, Br. Cruz			
Revisó:	Ing. Miguel Landaverde			
Nombre del talud:	Arrupe I			
Descripción del suelo:	Color blanco, con presencia de arena y limos			
Lugar de procedencia:	km. 21 Carretera de oro frente a Fundación Padre Arrupe			
Unidad:	G			
Condición de la muestra:	Secada al aire			
<b>MUESTRA TOTAL</b>				
	Muestra No.	1	2	
N° de recipiente		-	-	
Peso de recipiente (g)		-	-	
Peso de recipiente + muestra de suelo total (húmedo) (g)		-	-	
Masa de suelo total (húmedo) (g)		572,91	580,29	
<b>CALCULO DE LO RETENIDO EN LA MALLA N° 10</b>				
	Muestra	1	2	
<b>Antes de lavado</b>				
N° de recipiente		-	-	
Peso de recipiente (g)		-	-	
Peso de recipiente + lo retenido en la N°10 (antes de lavado y secado) (g)		-	-	
Masa de suelo retenido en la N°10 (antes de lavado y secado) (g)		64,24	65,67	
<b>Después de lavado</b>				
N° de recipiente		-	-	
Peso de recipiente (g)		-	-	
Peso de recipiente + lo retenido en la N°10 (antes de lavado y secado) (g)		-	-	
Masa de suelo retenido en la N° 10 (lavado y secado al horno)(g)		9,83	7	
Material fino que se pierde al lavar gruesos (g)		54,41	58,67	
<b>CALCULO DE LO QUE PASA EN LA MALLA N° 10</b>				
	Muestra	1	2	
N° de recipiente		-	-	
Peso de recipiente (g)/(falta peso de recipiente)		-	-	
Peso de recipiente + lo que pasa en la N°10 (húmedo) (g)		-	-	
Masa de suelo que pasa en la N°10 (húmedo) (g)		508,03	513,8	
suelo que pasa en la N°10 + lo que se pierde al lavar material grueso (g)(húmedo)		562,44	572,47	

<b>HUMEDAD HIGROSCOPICA(%)</b>					
N° de recipiente	72	3	8	38	
Peso de recipiente (g)	10,23	9,77	10,48	9,45	
Peso de recipiente + suelo húmedo (g)	98,64	96,23	98,07	92,89	
Peso de recipiente + suelo seco (g)	96,62	94,24	96,04	90,97	
Humedad (%)	2,34	2,36	2,37	2,36	
Prom de humedad (%)	2,35		2,36		
<b>PESO PARA HIDROMETRIA(húmedo)(g)</b>					
<b>Muestra</b>	1		2		
N° de recipiente	-		-		
Peso de recipiente (g)	-		-		
Peso de recipiente + suelo (húmedo) (g)	-		-		
Masa de suelo húmedo para hidrometría (g)	85		85		
<b>CORRECCION POR MENISCO</b>					
Lectura del nivel superior del menisco en probeta con agua	-1				
Lectura del nivel inferior del menisco en probeta con agua	0				
<b>CORRECCION POR DEFLOCULANTE</b>					
Lectura en agua destilada(parcialmente llena)(inferior)	-3				
Lectura en agua con 125 ml de defloculante(inferior)	-2				
<b>REGISTROS DE HIDROMETRÍA</b>					
<b>Muestra 1</b>			<b>Muestra 2</b>		
<b>Gravedad especifica</b>	2,39				
Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Lecturas de hidrómetro	Tiempo(min)	Temperatura (°C)	Lectura de hidrómetro
2	24,6	56	2	24,4	56
5	24,6	47	5	24,4	47
15	24,6	34	15	24,3	35
30	24,7	27	30	24,7	27
60	25	21	60	24,7	22
250	26,5	13	250	26,4	14
1440	24,1	10	1440	24,1	11

DATOS DE GRANULOMETRÍA			
<b>MUESTRA 1</b>			
<b>ANALISIS GRANULOMETRICO DEL MATERIAL QUE SE RETIENE EN EL TAMIZ # 10</b>		<b>ANALISIS GRANULOMETRICO DEL MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ # 10</b>	
Masa inicial (g) =		N° de recipiente	
	9,83	-	
Malla N°	Abertura(mm)	Peso de recipiente (g)	
		-	
		Peso de recipiente + suelo seco al horno (g)	
		-	
		Masa de suelo seco al horno despues de lavado por la N° 200 (g)	
		12,63	
3"			
2"			
1 1/2"			
1"			
3/4"			
	0		
3/8"	9,53	3,03	
N°4	4,75	2,79	
N°8	2,36	2,73	
N° 10	2	0,88	
Pasa N° 10		0,31	
	Total	9,74	
	Error(%)	0,916	
	Masa a compensar	0,09	
		<b>Masa inicial (g)</b>	
		12,63	
Malla N°	Abertura(mm)	Masa retenida(g)	
N° 16	1,18	0,63	
N° 30	0,6	1,15	
N° 50	0,3	2	
N° 100	0,15	3,12	
N° 200	0,075	5,27	
Pasa N° 200		0,54	
	Total	12,71	
	Error(%)	-0,633	
	Masa a compensar	-0,080	
<b>MUESTRA 2</b>			
<b>ANALISIS GRANULOMETRICO DEL MATERIAL QUE</b>		<b>ANALISIS GRANULOMETRICO DEL MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ # 10</b>	
Masa inicial (g)	7	N° de recipiente	
		-	
Malla N°	Abertura(mm)	Peso de recipiente (g)	
		-	
		Peso de recipiente + suelo seco al horno (g)	
		-	
		Masa de suelo seco al horno despues de lavado por la N° 200 (g)	
		12,34	
3"			
2"			
1 1/2"			
1"			
3/4"			
	0		
3/8"	9,53	1,67	
N°4	4,75	1,42	
N°8	2,36	2,94	
N° 10	2	0,81	
Pasa N° 10		0,15	
	Total	6,99	
	Error(%)	0,143	
	Masa a compensar	0,01	
		<b>Masa inicial (g)</b>	
		12,34	
Malla N°	Abertura(mm)	Masa retenida(g)	
N° 16	1,18	0,51	
N° 30	0,6	1,07	
N° 50	0,3	2	
N° 100	0,15	3,05	
N° 200	0,075	5,15	
Pasa N° 200		0,57	
	Total	12,35	
	Error(%)	-0,081	
	Masa a compensar	-0,010	

**Anexo No. 4: Formato utilizado en la determinación de la gravedad específica ASTM D-854**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"



DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO ASTM D-854  
 TRABAJO DE GRADUACIÓN: "DETERMINACIÓN DE LA TASA DE DETERIORO EN TALUDES  
 CONSTITUIDOS POR MATERIALES PIROCLÁSTICOS EN EL ÁREA  
 METROPOLITANA DE SAN SALVADOR (AMSS)"

Fecha: 07/10/2015

Lugar de procedencia de la muestra: km 21, Autopista Este-Oeste (Carretera de Oro),  
 en las cercanías del Colegio Español Padre Arrupe

Laboratorista: Br. Bautista Mendoza, Br. Cruz Rivas

Revisó : Ing. Miguel Landaverde

Nombre del talud: Arrupe I

Unidad: Unidad G

Número de muestra	Muestra No. 1	Muestra No. 2
Número de matraz	M-7	7-A
Pesos secos al horno (g)	100,18	106,84
Pesos matraz más agua (g)	384,84	380,51
Pesos matraz + agua + suelo (g)	485,06	487,32
Peso del suelo seco (g)	100,22	106,81
Peso matraz + agua + suelo a T de ensayo (g)	734,72	737,76
Temperatura de ensayo (°C)	24	24
Peso matraz + agua aforado (g)	676,4	675,6
Gravedad Específica	2,39	2,39

**Anexo No. 5: Formato utilizado en la determinación de límites de Atterberg**

**ASTM D-4318**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
 "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"



DETERMINACIÓN DE LÍMITES DE ATTERBERG ASTM D-4318  
 TRABAJO DE GRADUACIÓN: "DETERMINACIÓN DE LA TASA DE DETERIORO EN TALUDES  
 CONSTITUIDOS POR MATERIALES PIROCLÁSTICOS EN EL ÁREA  
 METROPOLITANA DE SAN SALVADOR (AMSS)"

Fecha: 17/03/2016  
 Lugar de procedencia de la muestra:

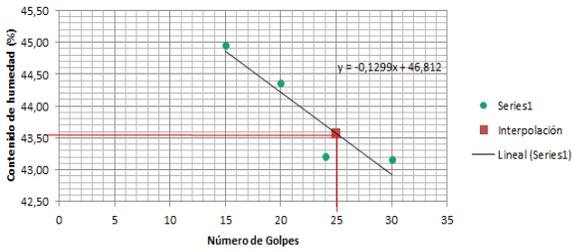
Laboratorista: Br. Bautista Mendoza, Br. Cruz Rivas  
 Revisó : Ing. Miguel Landaverde  
 Nombre del talud: Arrupe II  
 Unidad: Estrato 3

Método de ensayo: Método de múltiples puntos

No. de golpes	15	20	24	30
No. Recipiente	0-1	94	0-12	0-17
Masa recipiente (g)	19,72	22,39	22,31	29,56
Suelo Húmedo + recipiente (g)	36,55	37,49	38,75	42,43
Suelo seco + recipiente (g)	31,33	32,85	33,79	38,55
ω%	44,96	44,36	43,21	43,16
Límite líquido	43,56			

No. Recipiente	0-8	0-4	0-11
Masa recipiente (g)	18,16	19,31	29,95
Suelo Húmedo + recipiente (g)	24,45	26,92	36,28
Masa de suelo (g)	6,29	7,61	6,33
Suelo seco + recipiente	23,11	25,27	34,91
ω%	27,07	27,68	27,62
Límite plástico	27		
Índice plástico	16,56		

**Límite Líquido**  
**Arrupe II, Estrato 3**



**Anexo No. 6: Formato utilizado en la determinación de la densidad de los suelos ASTM D-7263**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO ANGEL GUZMÁN URBINA"							
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE LOS SUELOS ASTM D-7263 TRABAJO DE GRADUACIÓN: "DETERMINACIÓN DE LA TASA DE DETERIORO EN TALUDES CONSTITUIDOS POR MATERIALES PIROCLÁSTICOS EN EL ÁREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR (AMSS)"							
Fecha: 18/02/2016							
Lugar de procedencia de la muestra:							
Laboratorista: Br. Bautista Mendoza, Br. Cruz Rivas							
Revisó : Ing. Miguel Landaverde							
Nombre del talud: Cipreses I							
Unidad: Unidad D (I-C)							
Cara	L (cm)	L2 (cm)	Lprom (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	hi(cm)	hprom (cm)	volumen = Axhprom(cm <sup>3</sup> )
No.1	13,168	11,750	12,459	156,4103	17,324	17,417	2724,120
					17,700		
No.2	13,578	11,530	12,554		17,268		
					17,374		
<b>peso de tara + espécimen húmedo (g)</b>				5300		<b>Densidad</b> ( $\rho = W/V \text{ g/cm}^3$ )	
<b>No. de tara</b>				Tara "O"		<b>Húmeda</b>	1,874
<b>Peso de tara (g)</b>				194,35		<b>Seca</b>	1,470
<b>Peso de tara + espécimen secado al horno (g)</b>				4200			
<b><math>\omega</math>(%)</b>				27,46			

## Anexo No. 7: Registros obtenidos en campo para cada talud estudiado

### Talud Cipreses I

A continuación, se presentan las tablas de recolección de información de monitoreo del talud Cipreses I, tanto en erosión lateral y vertical de todos los ejes colocados.

#### Tablas de Monitoreo de erosión horizontal (cm)

EJE A							
Actividad	Instalación de equipo	Monitoreo 1	Monitoreo 2	Monitoreo 3	Monitoreo 4	Monitoreo 5	Monitoreo 6
Fecha	28/08/2015	16/09/2015	23/10/2015	12/11/2015	03/12/2015	12/02/2016	29/01/2016
Punto	Distancia al borde(cm)						
A-1	350	340	145	137	137	137	137
A-2	436	430	288	288	288	288	288
A-3	528	528	465	465	465	465	465
A-4	726	720	600	600	600	600	600
A-5	822	822	822	810	810	810	810
A-6	826	821	821	821	821	821	821

EJE B							
Actividad	Instalación de equipo	Monitoreo 1	Monitoreo 2	Monitoreo 3	Monitoreo 4	Monitoreo 5	Monitoreo 6
Fecha	28/08/2015	16/09/2015	23/10/2015	12/11/2015	03/12/2015	12/02/2016	29/01/2016
Punto	Distancia al borde	Distancia al borde	Distancia al borde	Distancia al borde	Distancia al borde	Distancia al borde	Distancia al borde
B-1	250	240	45	37	37	Sin cambios	Sin cambios
B-2	336	330	88	88	88	Sin cambios	Sin cambios
B-3	428	428	365	365	365	Sin cambios	Sin cambios
B-4	626	620	500	500	500	Sin cambios	Sin cambios
B-5	722	722	722	710	710	Sin cambios	Sin cambios
B-6	726	721	721	721	721	Sin cambios	Sin cambios

EJE C							
Actividad	Instalación de equipo	Monitoreo 1	Monitoreo 2	Monitoreo 3	Monitoreo 4	Monitoreo 5	Monitoreo 6
Fecha	28/08/2015	16/09/2015	23/10/2015	12/11/2015	03/12/2015	12/02/2016	29/01/2016
Punto	Distancia al borde	Distancia al borde	Distancia al borde	Distancia al borde	Distancia al borde	Distancia al borde	Distancia al borde
C-1	50	40	EROSIONADO	EROSIONADO	EROSIONADO	Sin cambios	Sin cambios
C-2	136	130	EROSIONADO	EROSIONADO	EROSIONADO	Sin cambios	Sin cambios
C-3	228	228	165	165	165	Sin cambios	Sin cambios
C-4	426	420	300	300	300	Sin cambios	Sin cambios
C-5	522	522	522	510	510	Sin cambios	Sin cambios
C-6	526	521	521	521	521	Sin cambios	Sin cambios

EJE D							
Actividad	Instalación de equipo	Monitoreo 1	Monitoreo 2	Monitoreo 3	Monitoreo 4	Monitoreo 5	Monitoreo 6
Fecha	28/08/2015	16/09/2015	23/10/2015	12/11/2015	03/12/2015	12/02/2016	29/01/2016
Punto	Distancia al borde	Distancia al borde	Distancia al borde	Distancia al borde	Distancia al borde	Distancia al borde	Distancia al borde
D-1	0	0	0	0	0	Sin cambios	Sin cambios
D-2	0	0	0	0	0	Sin cambios	Sin cambios
D-3	0	0	0	0	0	Sin cambios	Sin cambios
D-4	126	120	EROSIONADO	EROSIONADO	EROSIONADO	Sin cambios	Sin cambios
D-5	222	222	222	210	210	Sin cambios	Sin cambios
D-6	226	221	221	221	221	Sin cambios	Sin cambios

### Tablas de monitoreo de erosión vertical (cm)

Actividad	Instalación de equipo	Monitoreo 1	Monitoreo 2	Monitoreo 3	Monitoreo 4	Monitoreo 5	Monitoreo 6
Fecha	28/08/2015	16/09/2015	23/10/2015	12/11/2015	03/12/2015	29/01/2016	12/02/2016
Eje	Profundidad (cm)	Profundidad (cm)	Profundidad (cm)	Profundidad (cm)	Profundidad (cm)	Profundidad (cm)	Profundidad (cm)
Eje 1	727	735	8	8	8	8	8
Eje 2	714	72	777	775	775	775	775
Eje 3	637	642	7	703	703	703	703
Eje 4	602	6	65	63	632	632	632
Eje 5	585	58	634	627	619	619	619
Eje 6	585	578	565	559	548	548	548

### Talud Cipreses II

A continuación, se presentan las tablas de recolección de información de monitoreo del talud Cipreses II, tanto en erosión lateral y vertical.

### Tablas de monitoreo de erosión horizontal (cm)

EJE A							
Actividad	Instalación de equipo	Monitoreo 1	Monitoreo 2	Monitoreo 3	Monitoreo 4	Monitoreo 5	Monitoreo 6
Fecha	28/08/2015	16/09/2015	23/10/2015	12/11/2015	03/12/2015	29/01/2016	12/02/2016
Punto	Distancia al borde	Distancia al borde	Distancia al borde	Distancia al borde	Distancia al borde	Distancia al borde	Distancia al borde
A-1	420	420	287	270	270	120	120
A-2	492	374	177	177	177	177	177
A-3	530	420	228	228	228	228	228
A-4	477	472	290	290	290	290	290

EJE B							
Actividad	Instalación de equipo	Monitoreo 1	Monitoreo 2	Monitoreo 3	Monitoreo 4	Monitoreo 6	Monitoreo 7
Fecha	28/08/2015	16/09/2015	23/10/2015	12/11/2015	03/12/2015	29/01/2016	12/02/2016
Eje B	Distancia al borde	Distancia al borde	Distancia al borde	Distancia al borde	Distancia al borde	Distancia al borde	Distancia al borde
B-1	120	120	EROSIONADO	EROSIONADO	EROSIONADO	EROSIONADO	EROSIONADO
B-2	192	74	EROSIONADO	EROSIONADO	EROSIONADO	EROSIONADO	EROSIONADO
B-3	230	120	EROSIONADO	EROSIONADO	EROSIONADO	EROSIONADO	EROSIONADO
B-4	177	172	EROSIONADO	EROSIONADO	EROSIONADO	EROSIONADO	EROSIONADO

EJE A'							
Actividad	Instalación de equipo	Monitoreo 1	Monitoreo 2	Monitoreo 3	Monitoreo 4	Monitoreo 5	Monitoreo 6
Fecha	28/08/2015	16/09/2015	23/10/2015	12/11/2015	03/12/2015	29/01/2016	12/02/2016
Punto	Distancia al borde	Distancia al borde	Distancia al borde	Distancia al borde	Distancia al borde	Distancia al borde	Distancia al borde
A'-1	Aún sin colocar	Aún sin colocar	587	570	No hay cambios	420	No hay cambios
A'-2	Aún sin colocar	Aún sin colocar	477	477	No hay cambios	No hay cambios	No hay cambios
A'-3	Aún sin colocar	Aún sin colocar	528	528	No hay cambios	No hay cambios	No hay cambios
A'-4	Aún sin colocar	Aún sin colocar	590	590	No hay cambios	No hay cambios	No hay cambios

### Monitoreo de erosión vertical (cm)

Actividad	Instalación de equipo	Monitoreo 1	Monitoreo 2	Monitoreo 3	Monitoreo 4	Monitoreo 5	Monitoreo 6
FECHA	28/08/2015	16/09/2015	23/10/2015	12/11/2015	03/12/2015	29/01/2016	12/02/2016
Eje	Profundidad (cm)	Profundidad(c m)					
EJE 1							
EJE 2	736	730	687	715	715	715	718
EJE 3	700	685	700	713	713	713	715
EJE 4	610	600	715	718	718	718	720

### Talud ZF-I

A continuación, se presentan las tablas de recolección de información de monitoreo del talud ZF-I, tanto en erosión lateral y vertical. (Ver desde **tabla No. 5. a tabla No. 5.**)

## Erosión lateral

EJE B							
Actividad	Instalación de equipo	Monitoreo 1	Monitoreo 2	Monitoreo 3	Monitoreo 4	Monitoreo 5	Monitoreo 6
<b>Fecha</b>	28/08/2015	22/09/2015	01/10/2016	23/10/2015	12/11/2015	03/12/2015	29/01/2016
<b>EJE B</b>	Distancia al borde(cm)						
<b>B-1</b>	1055	552	530	260	230	133	125
<b>B-2</b>	1114	600	507	160	160	123	123
<b>B-3</b>	1057	730	620	220	123	60	60
<b>B-4</b>	1390	864	864	310	257	97	96

EJE C							
	Instalación de equipo	Monitoreo 1	Monitoreo 2	Monitoreo 3	Monitoreo 4	Monitoreo 5	Monitoreo 6
<b>Fecha</b>	28/08/2016	22/09/2015	01/10/2016	23/10/2015	12/11/2015	03/12/2015	29/01/2016
<b>EJE C</b>	Distancia al borde(cm)						
<b>C-1</b>	680	177	155	EROSIONADO	EROSIONADO	EROSIONADO	EROSIONADO
<b>C-2</b>	739	225	132	EROSIONADO	EROSIONADO	EROSIONADO	EROSIONADO
<b>C-3</b>	657	330	220	EROSIONADO	EROSIONADO	EROSIONADO	EROSIONADO
<b>C-4</b>	995	464	464	EROSIONADO	EROSIONADO	EROSIONADO	EROSIONADO

## Talud Galicia

A continuación, se presentan las tablas de recolección de información de monitoreo del talud Galicia, tanto en erosión lateral y vertical.

### Erosión Lateral

EJE A								
Actividad	Instalación de equipo	Monitoreo 1	Monitoreo 2	Monitoreo 3	Monitoreo 4	Monitoreo 5	Monitoreo 6	Monitoreo 7
<b>Fecha</b>	28/08/2016	16/09/2016	01/10/2016	16/10/2015	23/10/2015	12/11/2015	03/12/2015	29/01/2016
<b>Eje</b>	Distancia al borde(cm)							
<b>1-A</b>	100	100	100	100	80	80	80	80
<b>2-A</b>	100	100	100	100	100	100	94	94
<b>3-A</b>	230	230	170	170	142	142	142	142

EJE AUXILIAR								
EJE AUXILIAR PARA MEDICION LATERAL								
Actividad	Instalación de equipo	Monitoreo 1	Monitoreo 2	Monitoreo 3	Monitoreo 4	Monitoreo 5	Monitoreo 6	Monitoreo 7
Fecha	28/08/2016	16/09/2016	01/10/2016	16/10/2015	23/10/2015	12/11/2015	03/12/2015	29/01/2016
Eje	Distancia al talud(cm)							
AUX-1	450	450	450	450	450	450	450	450
AUX-2	510	510	510	510	510	510	510	510
AUX-3	402	406	406	406	406	406	406	406

## Erosión vertical

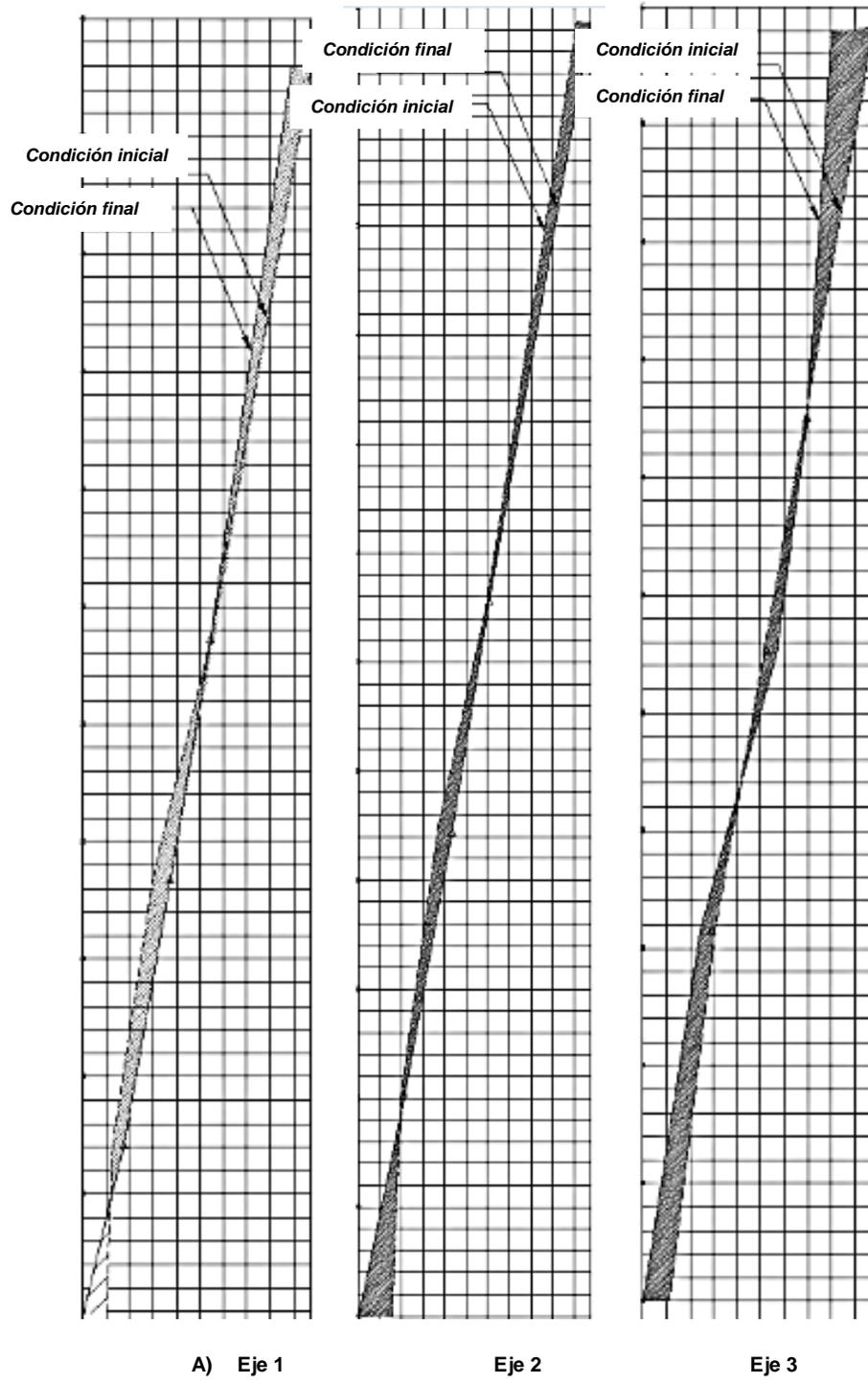
EROSION VERTICAL								
Actividad	Instalación de equipo	Monitoreo 1	Monitoreo 2	Monitoreo 3	Monitoreo 4	Monitoreo 5	Monitoreo 6	Monitoreo 7
Fecha	28/08/2016	16/09/2016	01/10/2016	16/10/2015	23/10/2015	12/11/2015	03/12/2015	29/01/2016
Eje	Profundidad (cm)	Profundidad (cm)	Profundidad (cm)	Profundidad (cm)	Profundidad (cm)	Profundidad (cm)	Profundidad (cm)	Profundidad (cm)
1-A	513	513	513	445	250	445	445	445
2-A	541	541	541	510	502	510	510	510
3-A	503	503	503	503	300	410	410	410

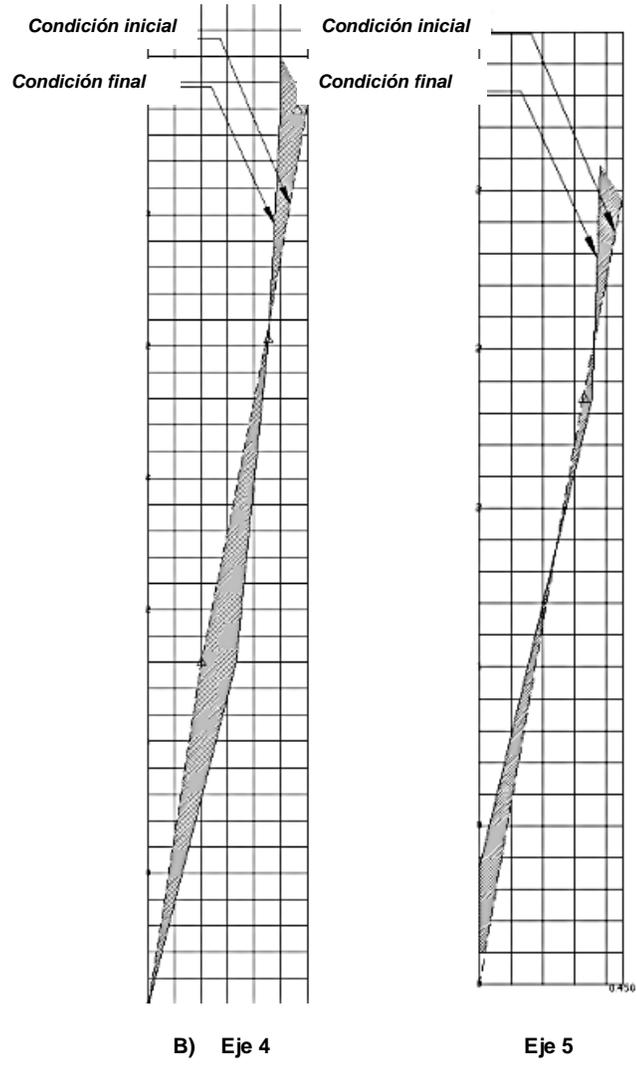
EJE AUXILIAR PARA MEDICION DE EROSION VERTICAL								
Actividad	Instalación de equipo	Monitoreo 1	Monitoreo 2	Monitoreo 3	Monitoreo 4	Monitoreo 5	Monitoreo 6	Monitoreo 7
Fecha	28/08/2016	16/09/2016	01/10/2016	16/10/2015	23/10/2015	12/11/2015	03/12/2015	29/01/2016
Eje	Profundidad (cm)	Profundidad (cm)	Profundidad (cm)	Profundidad (cm)	Profundidad (cm)	Profundidad (cm)	Profundidad (cm)	Profundidad (cm)
AUX-1	186	160	158	158	174	177	175	175
AUX-2	170	158	158	158	158	162	160	512
AUX-3	162	149	142	142	142	142	140	140

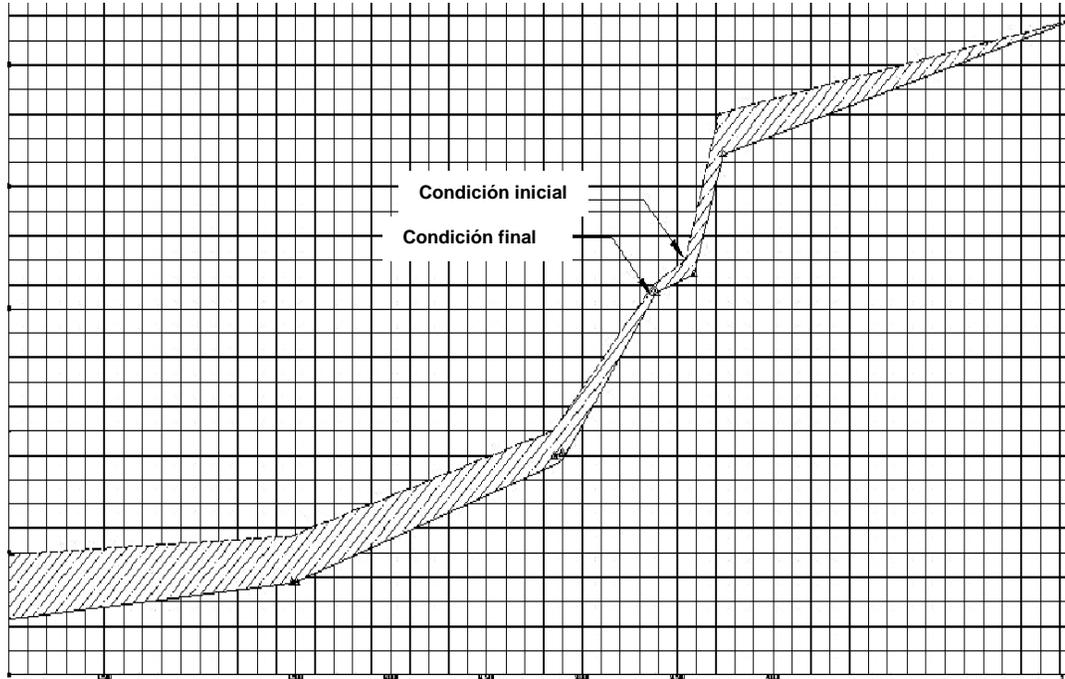
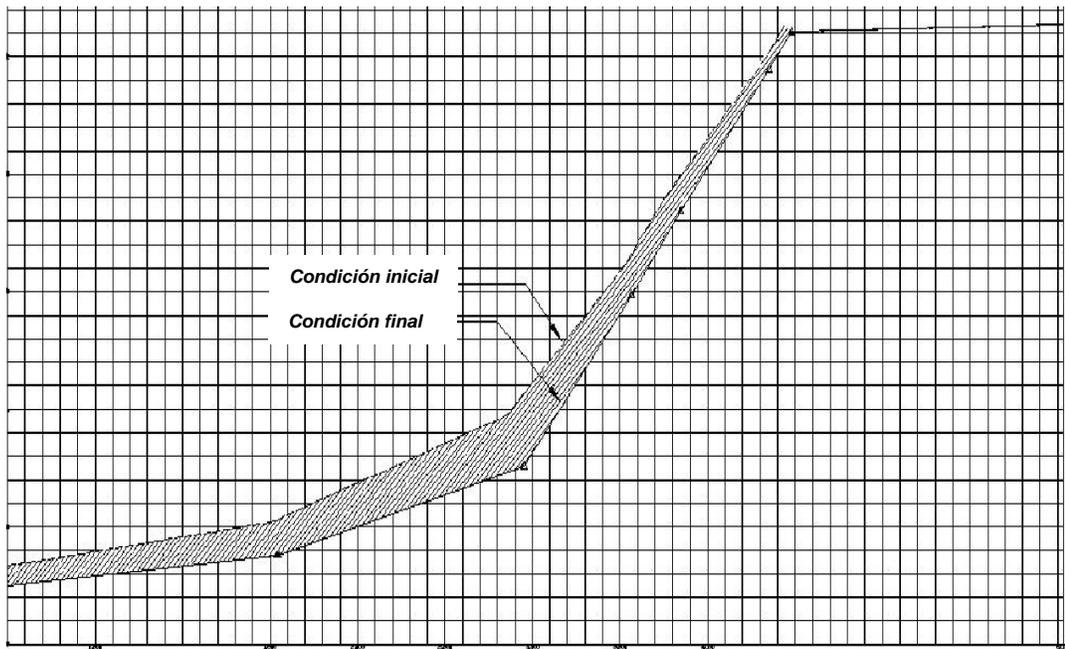
## Anexo No. 8: Erosión en ejes verticales para taludes con erosión laminar

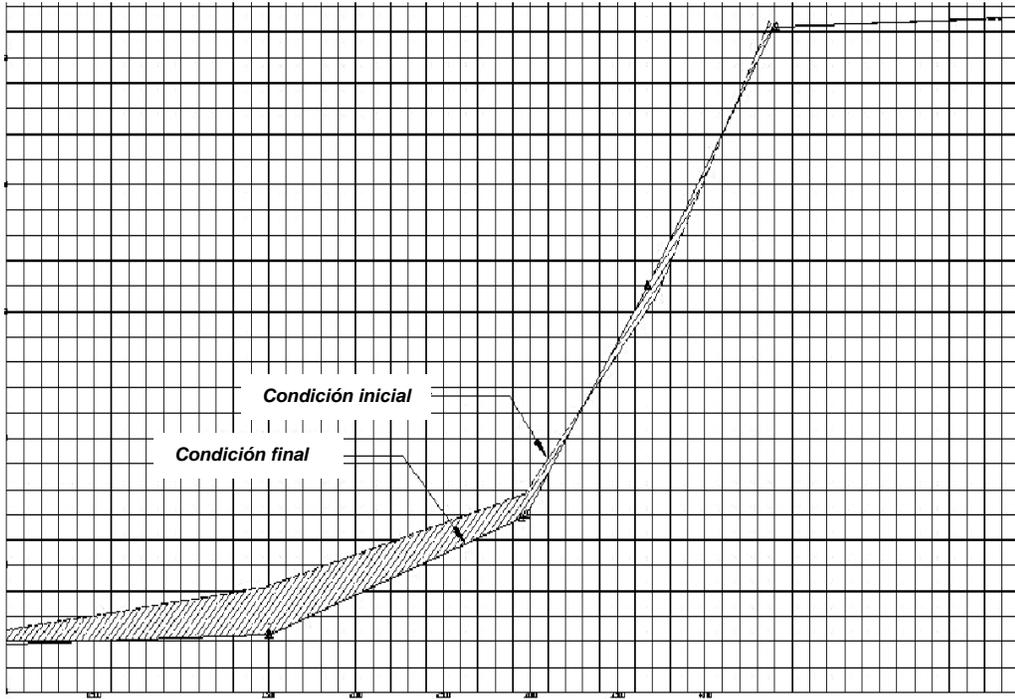
- Ejes de taludes con erosión laminar

### Talud Arrupe II

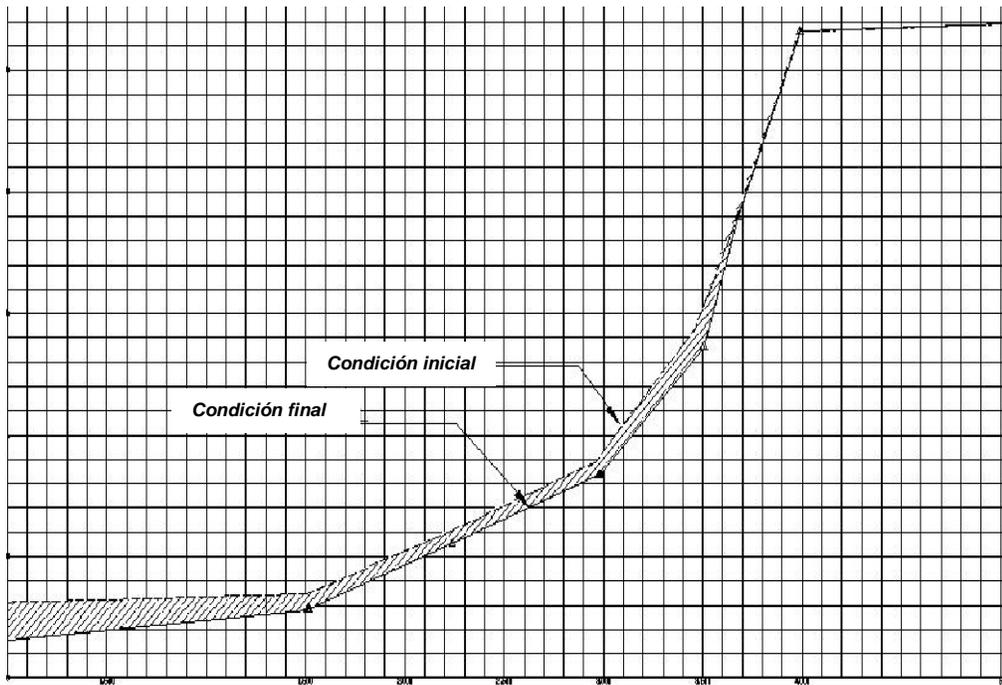




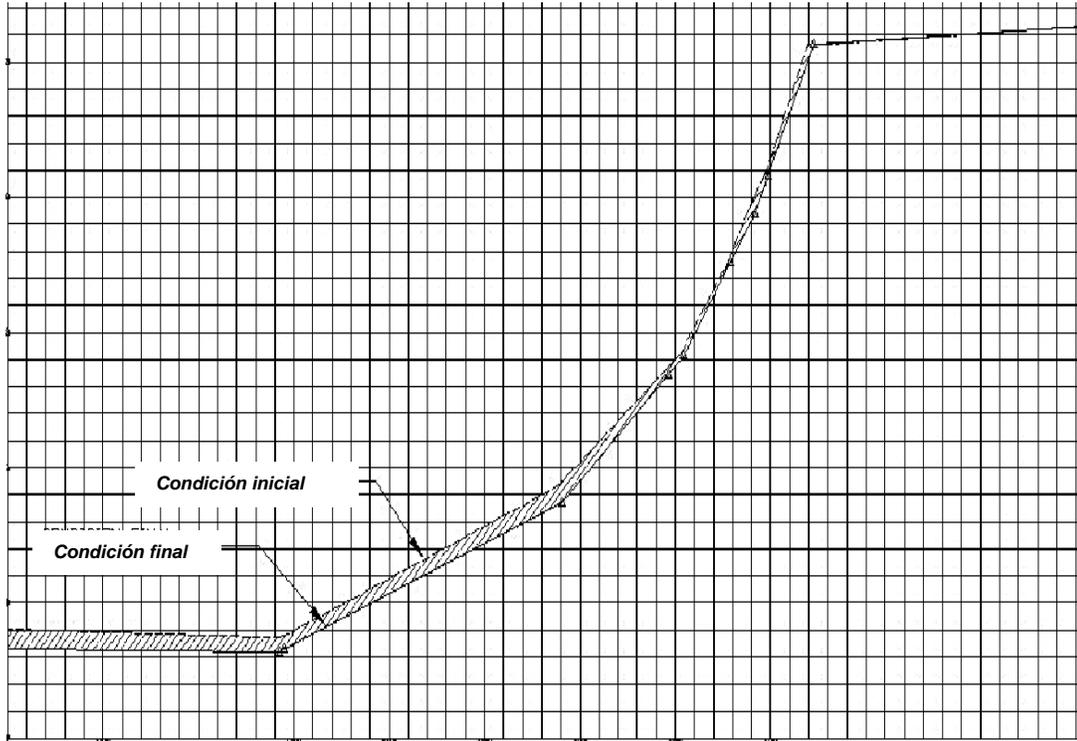
**Talud UES****A) Eje 1****B) Eje 2**



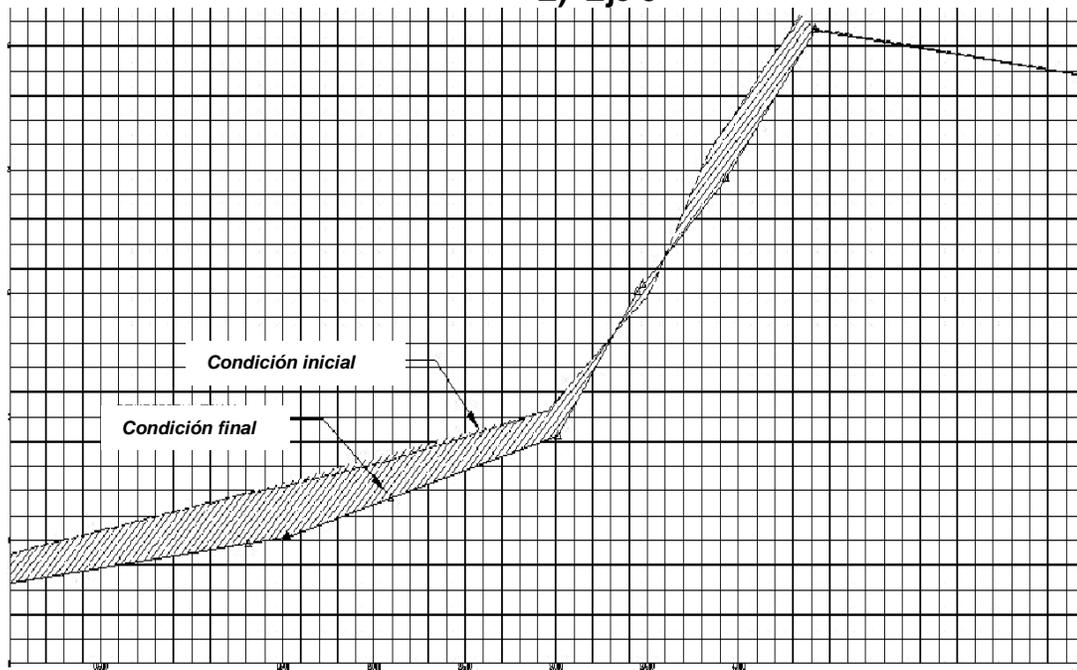
C) Eje 3



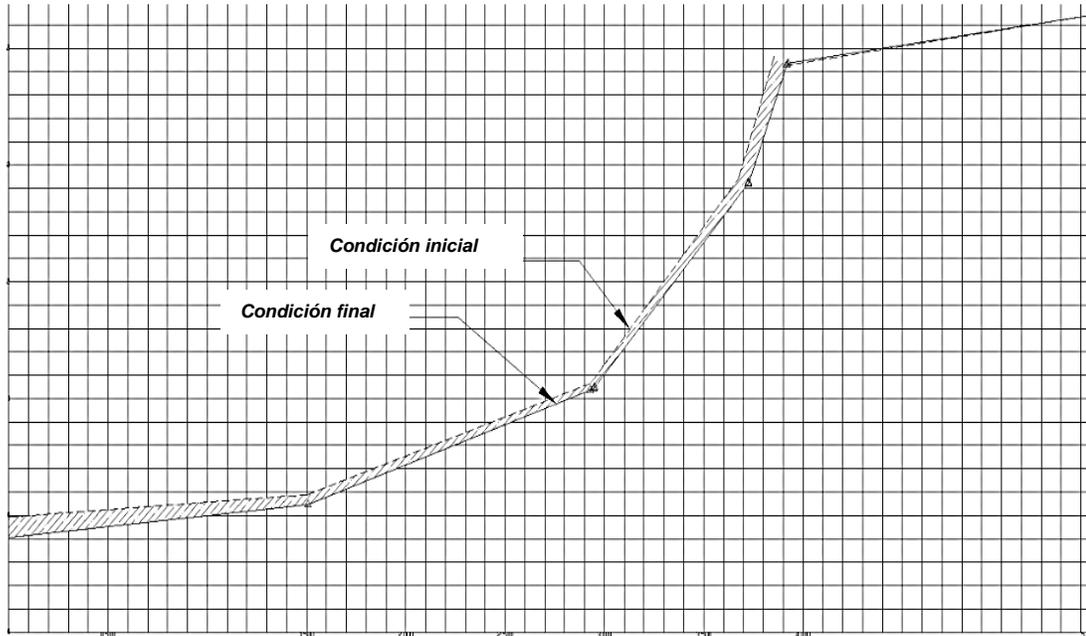
D) Eje 4



E) Eje 5

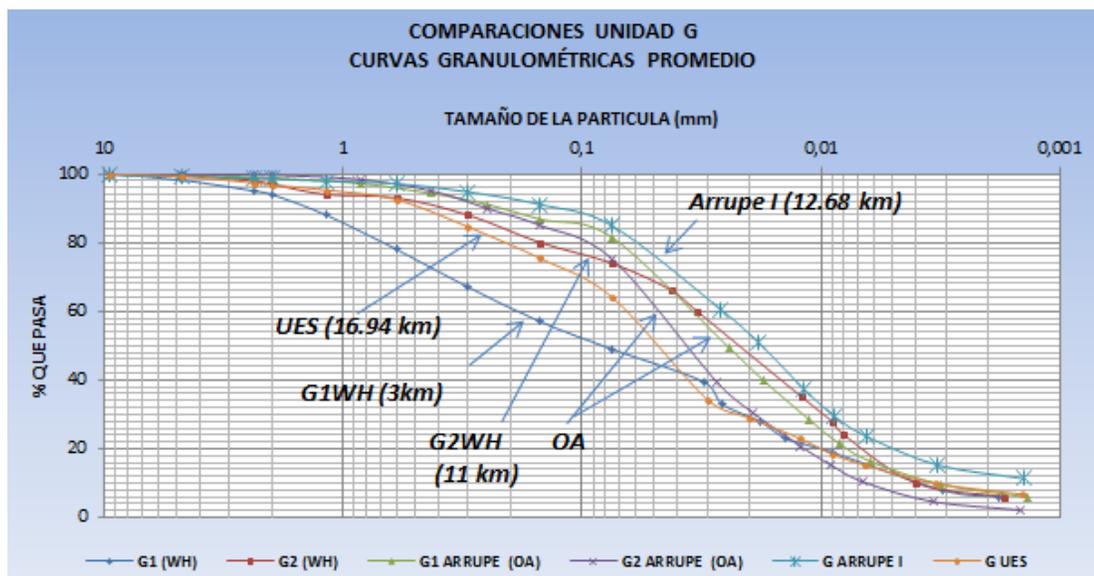


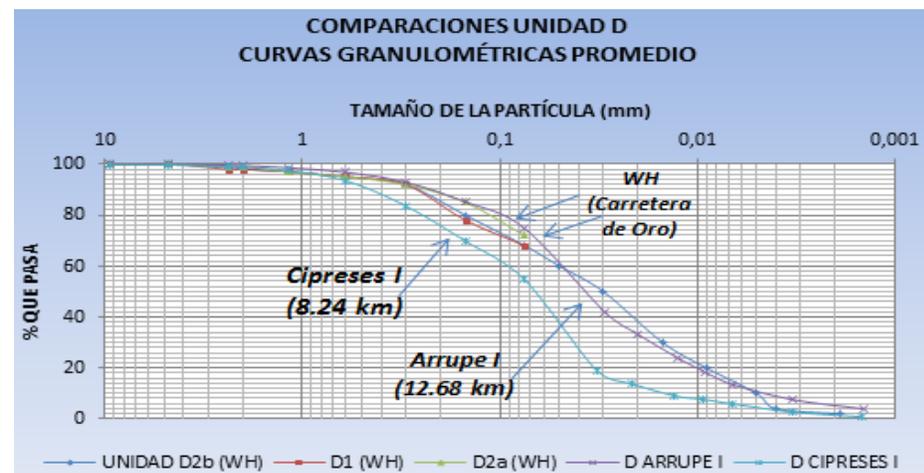
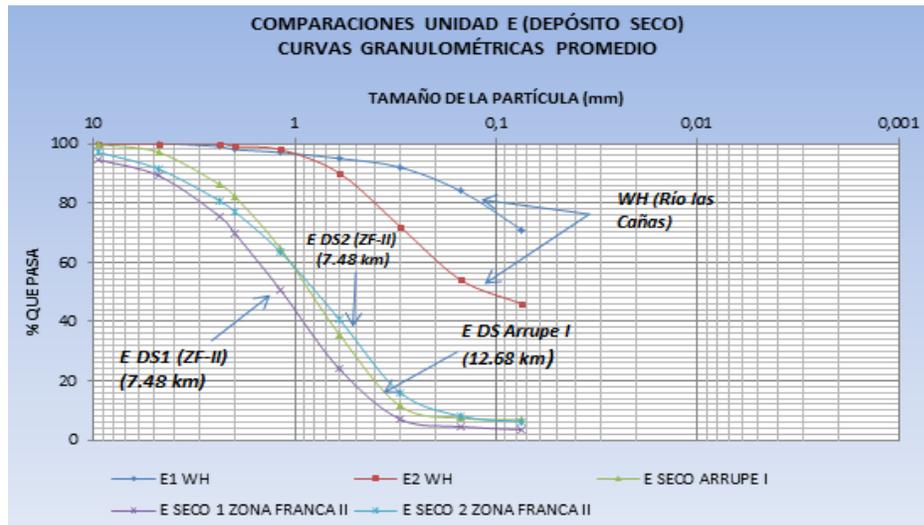
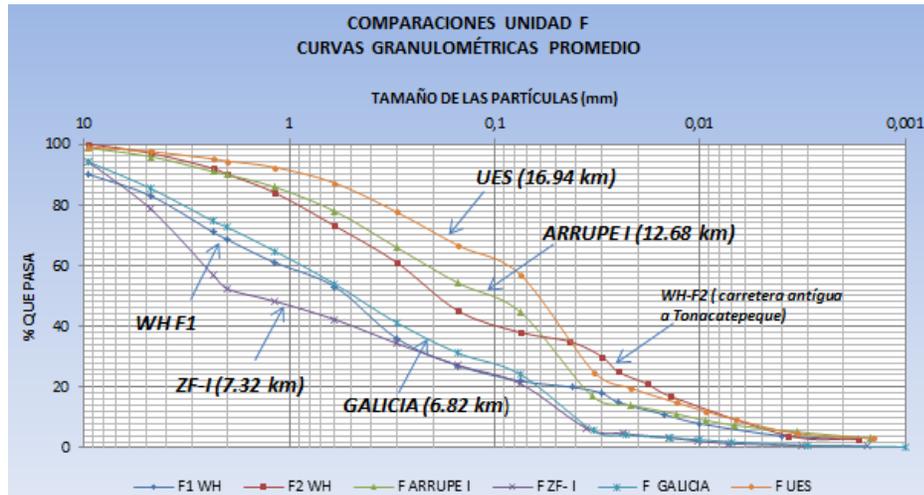
F) Eje 6

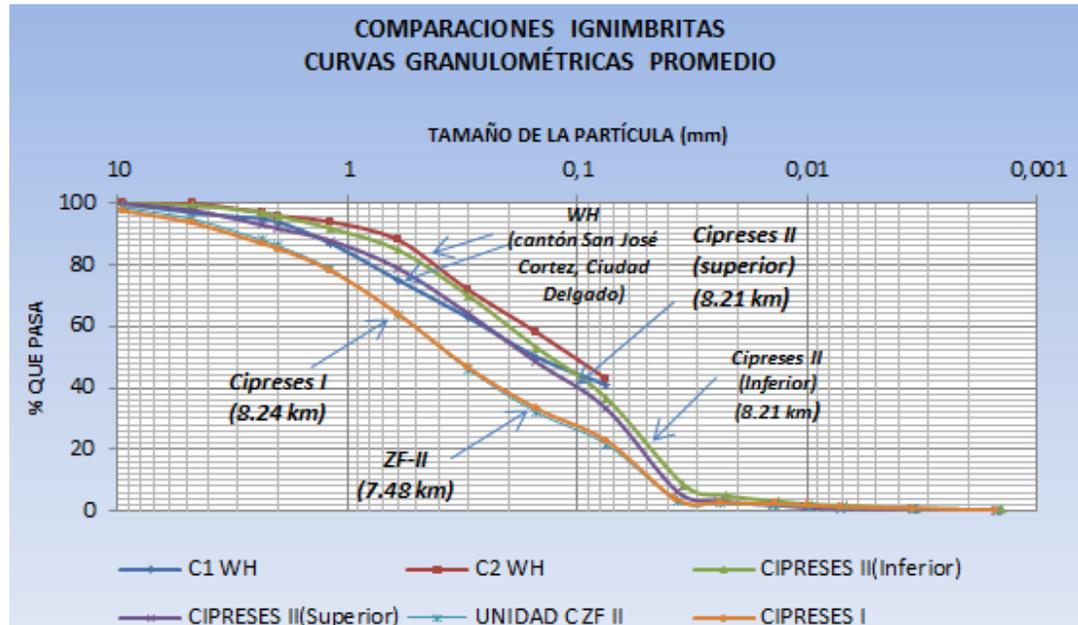


G) Eje 7

Anexo No. 9: Gráficos con comparaciones granulométricas entre resultados del ingeniero Óscar Ayala y Walter Hernández para verificación de Unidades de TBJ.







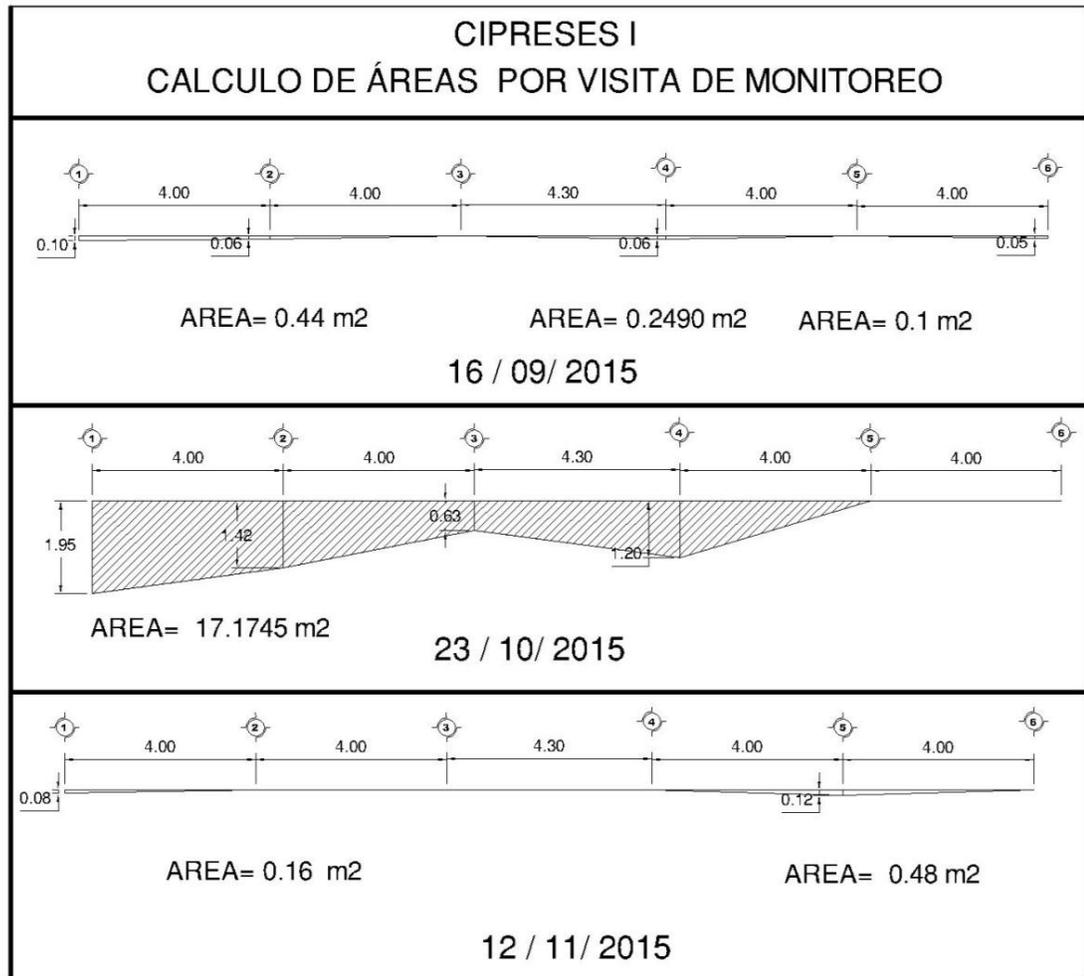
### Anexo No. 10: Valores máximos de erosión laminar

VALORES MÁXIMOS DE EROSIÓN LAMINAR TALUD ARRUPE II				
EJE	PUNTO	LECTURA MÁXIMA DE PROFUNDIDAD(cm)	LECTURA INICIAL (cm)	EROSIÓN MÁXIMA (delta) (cm)
EJE 1	A-1	2.7	5	(Sin erosión)
	B-1	2	2	0
	C-1	4.5	3.5	1
	D-1	12	11	1
	E-1	5.5	10	(sin erosión)
EJE 2	A-2	2	0.4	1.6
	B-2	2.5	1.5	1
	C-2	4	1.22	2.78
	D-2	5	3	2
	E-2	5	7	(Sin erosión)
EJE 3	A-3	4.2	9	(sin erosión)
	B-3	4.5	3.5	1
	C-3	8.5	7.5	1
	D-3	2.5	4	(sin erosión)
EJE 4	E-3	4	7	(sin erosión)
	A-4	3	7	(sin erosión)
	B-4	6	5	1
	C-4	5	5	0
EJE 5	D-4	7	7	0
	A-5	2	3	(sin erosión)
	B-5	6	5.5	0.5
	C-5	4	5	(sin erosión)

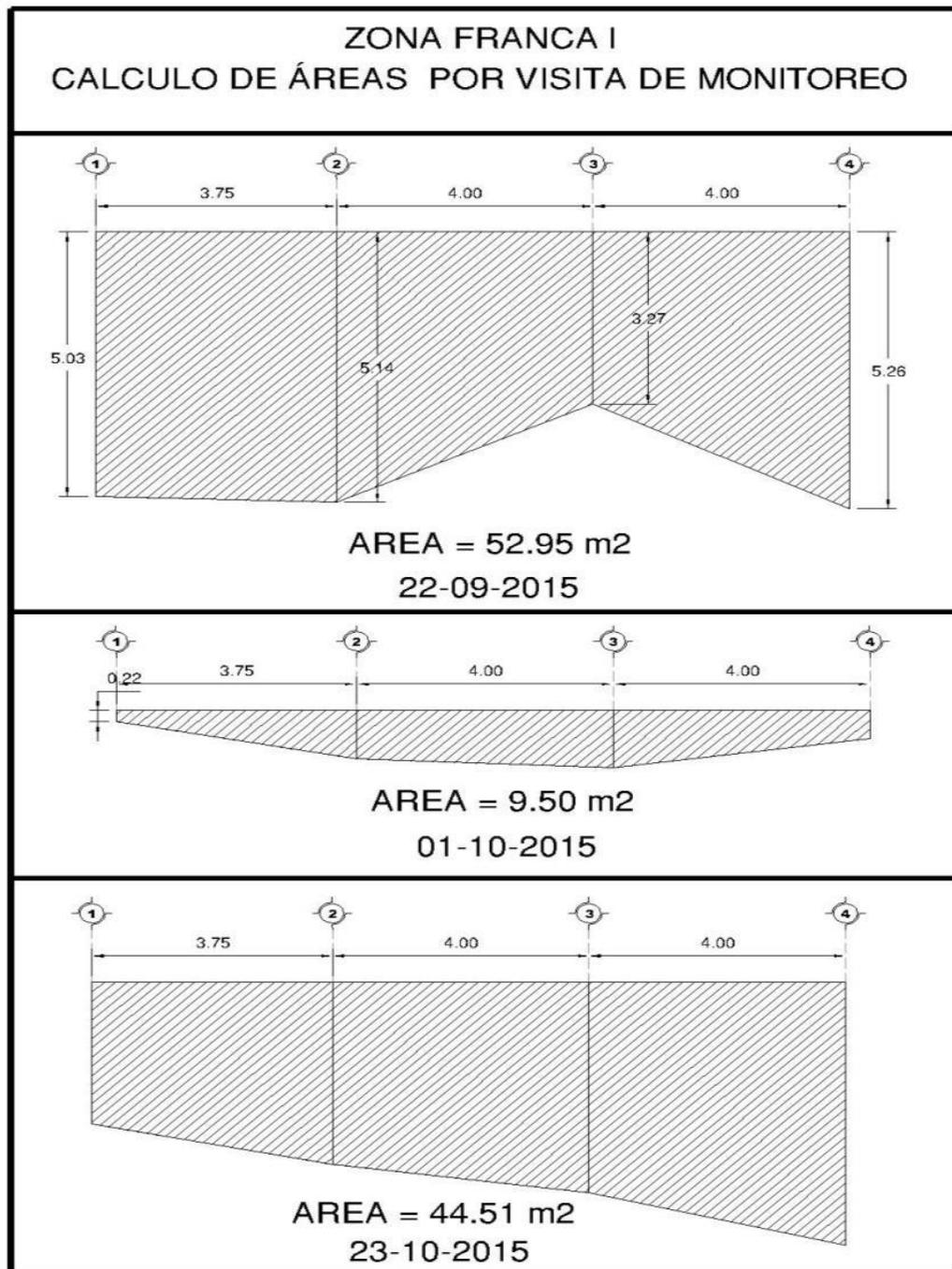
VALORES MÁXIMOS DE EROSIÓN LAMINAR TALUD UES				
EJE	PUNTO	LECTURA MÁXIMA DE PROFUNDIDAD(cm)	LECTURA INICIAL (cm)	EROSIÓN MÁXIMA (delta) (cm)
EJE 1	A-1	3.5	2	1.5
	B-1	3.1	3	0.1
	C-1	4.5	4	0.5
	D-1	6.2	4	2.2
	E-1	2.4	2	0.4
	F-1	2	0	2
EJE 2	A-2	4.2	4	0.2
	B-2	4.5	4	0.5
	C-2	5	3	2
	D-2	2.2	2	0.2
	E-2	5	4	1
	F-2	5.2	4.5	0.7
EJE 3	A-3	2.2	1	1.2
	B-3	7.2	3	4.2
	C-3	2.6	1	1.6
	D-3	5	6	(sin erosión)
	E-3	4.1	3	1.1
	F-3	5.9	5	0.9
EJE 4	A-4	2.6	2	0.6
	B-4	0.3	0	0.3
	C-4	3.8	3	0.8
	D-4	2.5	2	0.5
	E-4	4.1	4	0.1
	F-4	9.3	8	1.3
EJE 5	A-5	4.3	4	0.3
	B-5	3.7	2	1.7
	C-5	5.6	4.5	1.1
	D-5	3.7	3.5	0.2
	E-5	3.4	3.5	(sin erosión)
	F-5	6.7	6	0.7
EJE 6	A-6	5	4	1
	B-6	2.2	2	0.2
	C-6	4.3	4	0.3
	D-6	1.9	2	(sin erosión)
	E-6	4.2	3.5	0.7
	F-6	0.4	0	0.4
EJE 7	A-7	3.2	3	0.2
	B-7	3.1	3	0.1
	C-7	3.8	3	0.8
	D-7	3.7	2	1.7
	E-7	1.7	1	0.7
	F-7	1.2	0	1.2

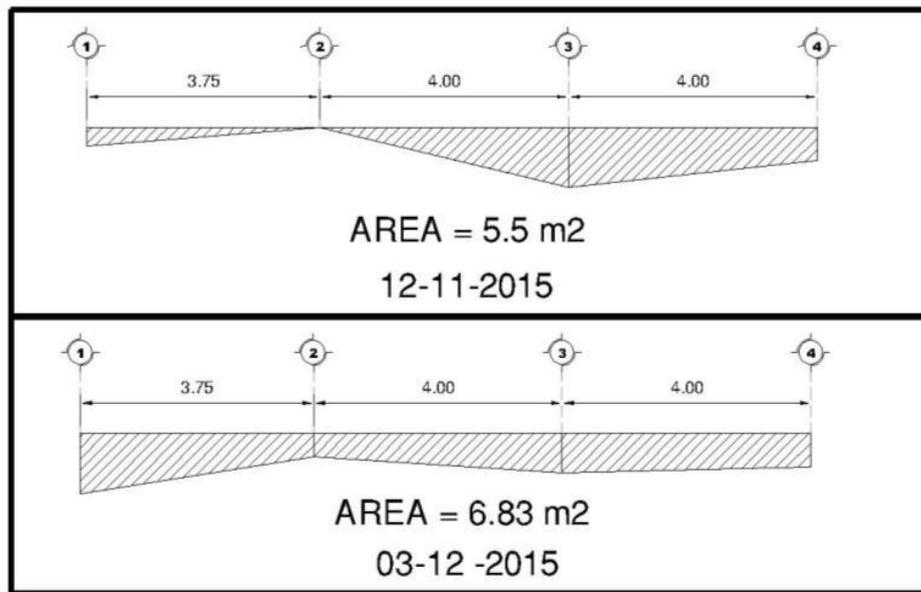
Anexo No. 11: Áreas erosionadas para taludes que presentaron erosión de tipo horizontal y vertical.

## ✓ Cipreses I

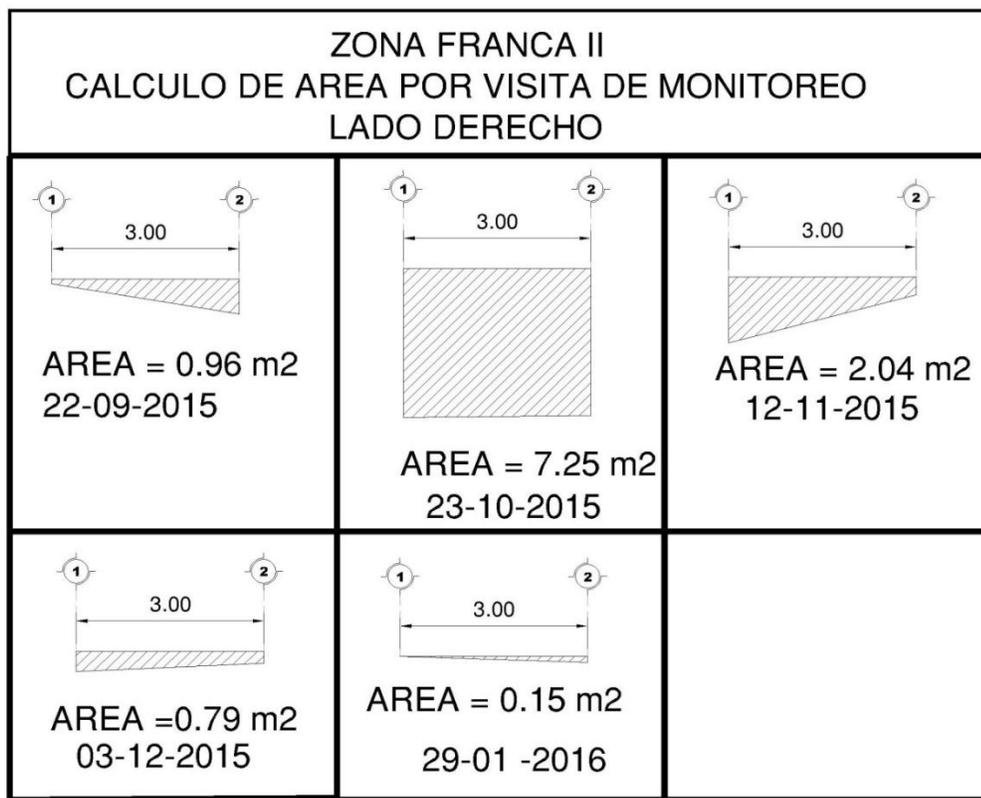


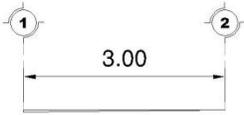
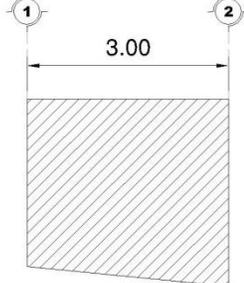
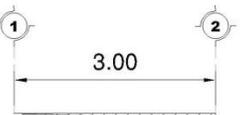
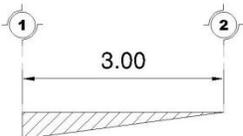
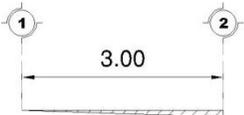
## ✓ Zona Franca I





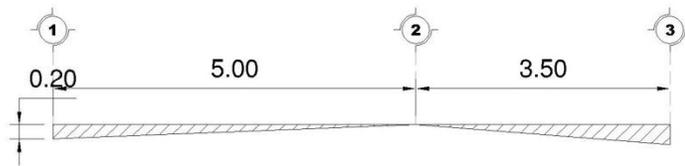
✓ Zona Franca II



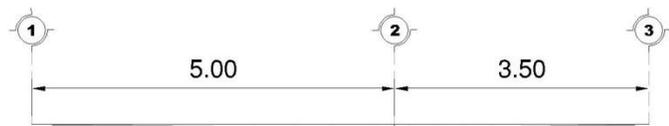
<p style="text-align: center;"><b>ZONA FRANCA II</b>  <b>CALCULO DE ÁREAS POR VISITA DE MONITOREO</b>  <b>LADO IZQUIERDO</b></p>		
 <p>AREA = 0.045 m<sup>2</sup> 22-09-2015</p>	 <p>AREA = 7.95 m<sup>2</sup> 23-10-2015</p>	 <p>AREA = 0.15 m<sup>2</sup> 12-11-2015</p>
 <p>AREA = 0.79 m<sup>2</sup> 03-12-2015</p>	 <p>AREA = 0.15 m<sup>2</sup> 29-01 -2016</p>	

✓ Galicia

VILLA GALICIA  
CALCULO DE ÁREAS POR VISITA DE MONITOREO



AREA = 1.00 m<sup>2</sup>  
23-10-2015



AREA = 0.3 m<sup>2</sup>  
03-12-2015

**Anexo No. 12 Fotografías comparativas del deterioro por erosión que experimentaron los taludes en estudio**



**Talud Arrupe I**  
Fotografía tomada el 09/07/2015  
Fuente: De los autores



**Talud Arrupe I**  
Fotografía tomada el 29/01/2016  
Fuente: De los autores



**Talud Arrupe II**  
Fotografía tomada el 16/10/2015  
Fuente: De los autores



**Talud Arrupe II**  
Fotografía tomada el 29/01/2015  
Fuente: De los autores



**Talud Cipreses I**  
Fotografía tomada el 16/10/2016  
Fuente: De los autores



**Talud Cipreses I**  
Fotografía tomada el 29/01/2016  
Fuente: De los autores



**Talud Cipreses II**  
Fotografía tomada el 28/08/2015  
Fuente: De los autores



**Talud Cipreses II**  
Fotografía tomada el 29/01/2016  
Fuente: De los autores



**Talud ZF- I**  
Fotografía tomada el 28/08/2016  
Fuente: De los autores



**Talud ZF- I**  
Fotografía tomada el 29/01/2016  
Fuente: De los autores



**Talud ZF-II**  
Fotografía tomada el 22/09/2015  
Fuente: De los autores



**Talud ZF-II**  
Fotografía tomada el 11/08/2016  
Fuente: De los autores



**Talud Galicia**  
Fotografía tomada el 28/08/2015  
Fuente: De los autores



**Talud Galicia**  
Fotografía tomada el 29/01/2016  
Fuente: De los autores



**Talud UES**  
Fotografía tomada el 11/08/2015  
Fuente: De los autores



**Talud UES**  
Fotografía tomada el 13/07/2016  
Fuente: De los autores