

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



**ACTUALIZACIÓN DE LA TOPOGRAFÍA POR MEDIO DE
GPS DE ALTA PRECISIÓN EN CUENCAS SUSCEPTIBLES A
FLUJOS DE ESCOMBROS: EL ARENAL EN MEJICANOS,
BUENOS AIRES EN SANTA TECLA Y LAS LAJAS EN
COLONIA ESCALÓN PARA EL ANÁLISIS COMPARATIVO Y
SU EFECTO EN LA MODELACIÓN HIDRÁULICA**

PRESENTADO POR:

JEIMY RAQUEL ESCOBAR ALFARO

ANA MARÍA LÓPEZ GRANADOS

GERARDO ARMANDO MENA NAJARRO

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, ABRIL DEL 2018

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

MSc. CRISTOBAL HERNAN RIOS BENITEZ

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCON SANDOVAL

SECRETARIO:

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA 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:

**ACTUALIZACIÓN DE LA TOPOGRAFÍA POR MEDIO DE
GPS DE ALTA PRECISIÓN EN CUENCAS SUSCEPTIBLES
A FLUJOS DE ESCOMBROS: EL ARENAL EN MEJICANOS,
BUENOS AIRES EN SANTA TECLA Y LAS LAJAS EN
COLONIA ESCALÓN PARA EL ANÁLISIS COMPARATIVO
Y SU EFECTO EN LA MODELACIÓN HIDRÁULICA**

Presentado por:

JEIMY RAQUEL ESCOBAR ALFARO

ANA MARÍA LÓPEZ GRANADOS

GERARDO ARMANDO MENA NAJARRO

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Asesores:

ING. JORGE OSWALDO RIVERA FLORES

MSc. INGRID ALTAGRACIA ALFARO LÓPEZ

SAN SALVADOR, ABRIL DEL 2018

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Asesores:

ING. JORGE OSWALDO RIVERA FLORES

MSc. INGRID ALTAGRACIA ALFARO LÓPEZ

AGRADECIMIENTOS

A Dios Todopoderoso por habernos permitido finalizar el presente Trabajo de Graduación y con ello la carrera de Ingeniería Civil.

Expresamos nuestros sinceros agradecimientos a todas las personas e Instituciones que colaboraron en la elaboración de este Trabajo de Graduación, en especial a:

Msc. Ing. Ingrid Altagracia Alfaro López.

Ing. Jorge Oswaldo Rivera Flores.

Ing. Wilfredo Amaya Zelaya.

Ing. Carlos Betancourt.

Ing. Josué Aguirre López.

Evelin Lisseth Miranda Rivas.

Ana Yesenia Recinos González

AGRADECIMIENTO A LAS SIGUIENTES INSTITUCIONES:

Alcaldía de San Salvador: Protección Civil y Cuerpo de Agentes Municipales.

Alcaldía de Santa Tecla: Protección Civil y Cuerpo de Agentes Municipales.

Alcaldía de Mejicanos: Protección Civil y Cuerpo de Agentes Municipales.

Especialistas de la OPAMSS y personal de transporte.

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

DEDICO ESTE TRIUNFO:

A Dios Todopoderoso: Por haberme permitido alcanzar mi meta, guiándome en el proceso y dándome fortaleza en todo momento.

A mis padres: María Granados y Joaquín López por ser quienes con su esfuerzo y amor me han brindado la oportunidad de estudiar y de superarme. Gracias por su apoyo y sus oraciones, los amo.

A mis hermanos: José y Sebastián, por su comprensión y colaboración en cada momento. Los amo.

A mi novio: Josue Alfaro, por su apoyo incondicional, por motivarme en los momentos difíciles y por confiar en mí. Te amo.

A mis tíos, primos y abuela: Por tenerme presente en sus oraciones y brindarme su ayuda oportuna. Muchas gracias.

A mis amigos: José, Josué, Marissa, Karina y Luz por haberme acompañado en las buenas y en las malas, gracias por su amistad.

A mis amigos y compañeros de tesis: Jeimy y Gerardo por haber perseverado durante el Trabajo de Graduación y por haber compartido grandes experiencias.

A mis asesores: Por habernos guiado de la mejor manera y por brindar su tiempo, conocimientos y recursos para llevar a cabo el presente Trabajo de Graduación. Gracias.

Ana María López Granados

Dedico Este Logro:

A Jehová Todopoderoso: Por permitirme, darme perseverancia y darme salud durante estos años.

A mi Madre Alicia Alfaro: Por apoyarme emocional y económicamente para culminar mis estudios superiores.

A mi Tío Elmer Alfaro: Por creer en mí y brindarme su apoyo económico incondicional.

A mi Tía Yesenia Alfaro: Por apoyarme en todos los sentidos todos estos años y ser mi segunda madre.

A mi novio Luis Montano: Por brindarme su apoyo incondicional y estímulos a alcanzar la meta.

A mis Primos Keyla Alfaro y Jesús Alfaro: Por apoyarme en cada día de este largo camino.

A mis docentes Asesores: Ing. Jorge Flores por ser un excelente profesional y excelente persona, gracias por brindarnos su apoyo y a Ing. Ingrid Alfaro por ayudarnos y su disposición durante toda el desarrollo de este Trabajo de Investigación.

A mis amigos y compañeros Tesis: Ana López y Gerardo Mena por su perseverancia e entusiasmos en desarrollar este trabajo de Graduación.

Jeimy Raquel Escobar Alfaro

DEDICATORIA

A **Dios todo poderoso** por permitirme este logro de graduarme de la carrera de ingeniería civil.

A mi madre **Ana Dinora Najarro de Mena** y a mi padre **German Gerardo Mena Moran** cuyos esfuerzos me permitieron estudiar esta carrera y me apoyaron en todo momento.

A mis hermanos **German David Mena Najarro** y **Cesar Ernesto Mena Najarro** quienes siempre estaban dispuestos a ayudarme.

A mi **familia** que siempre estuvo pendiente y ayudándome de alguna u otra manera a lo largo de mi carrera.

A mis compañeras **Ana María López Granados** y **Jeimy Raquel Escobar Alfaro** cuyos esfuerzos permitieron la culminación de este trabajo de graduación.

A mis amigos con quienes compartí muchas experiencias a lo largo de mi carrera

A mis asesores el **Ingeniero Oswaldo Rivera Flores** y la **Ingeniera Ingrid Alfaro López** que me han enseñado mucho en este periodo.

A la **Universidad de El Salvador**, en especial a la escuela de ingeniería civil y sus catedráticos que me formaron como profesional.

Y a todos aquellos que de alguna u otra forma me ayudaron a realizar este sueño, les agradezco mucho.

Gerardo Armando Mena Najarro

INDICE

CAPITULO 1: GENERALIDADES.....	1
1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes.....	3
1.3 Planteamiento del problema	13
1.4 Objetivos.....	18
1.4.1 Objetivo general	18
1.4.2 Objetivos específicos:.....	18
1.5 Alcances	19
1.6 Limitaciones.....	20
1.7 Justificación	20
1.8 Metodología de investigación	23
CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO	27
2.1 Sistemas de Posicionamiento y Navegación Satelital	27
2.1.1 Generalidades	27
2.1.2 El Sistema GPS.....	28
2.1.3 El Sistema DGPS (Differential GPS)	32
2.1.4 El Sistema GLONASS	32
2.1.5 El Sistema Galileo	33

2.1.6 El Sistema de Navegación por Satélite	33
2.1.7 Equipo GPS para la medición de la topografía actual en la presente investigación.....	35
2.2 Historia de la Geodesia en El Salvador	38
2.2.1 Geodesia	38
2.2.2 Geodesia en El Salvador.....	39
2.2.3 Estaciones CORS.....	45
2.3 Generalidades del Área Metropolitana de San Salvador (AMSS)	50
2.4 Movimientos de Ladera en el Área Metropolitana de San Salvador	56
2.4.1 Tipos de movimientos de ladera.....	58
2.5 Flujos de Escombros	67
2.5.1 Generalidades de los Flujos de escombros.....	67
2.5.2 Modelos para la mecánica de flujo	77
2.5.3 Mecánica de flujos de escombros inerciales	82
2.5.4 Proceso de depósito de flujos de escombros rocosos.....	91
2.6 Modelo hidráulico con el programa HEC-RAS.....	96
2.6.1 Descripción de las capacidades de HEC-RAS	99
2.6.2 Realizar un análisis de flujo no permanente.....	102
2.6.3 Realizando un análisis de transporte de sedimentos	117

CAPÍTULO 3 OBTENCIÓN DE LA TOPOGRAFÍA	134
3.1 Descripción General de La Quebrada “Buenos Aires”	134
3.1.1 Levantamiento topográfico de la quebrada “Buenos Aires, Santa Tecla”	136
3.2 Descripción General de la Quebrada El Arenal	140
3.2.1 Levantamiento topográfico de la quebrada “El Arenal de Mejicanos”. ..	140
3.3 Descripción General de la Quebrada Las Lajas	143
3.3.1 Levantamiento topográfico de la quebrada “Las Lajas, La Escalón” ..	152
3.4. Datos de la quebrada “Buenos Aires, Santa Tecla”	155
3.4.1. Granulometría en la quebrada.....	159
3.4.2. Ubicación de las secciones transversales	165
3.5. Datos de la quebrada “El Arenal, Mejicanos”	172
3.5.1. Granulometría en la quebrada.....	176
3.5.2. Ubicación de las secciones transversales	201
3.6. Datos de la quebrada “Las Lajas, Colonia Escalón”	207
3.6.1. Granulometría en la quebrada.....	212
3.6.2. Ubicación de las secciones transversales	221
CAPÍTULO 4 MODELACIÓN HIDRÁULICA DE LAS QUEBRADAS	228
4.1 Introducción	228

4.2	Introducción de datos Quebrada Buenos Aires	228
4.2.1	Creación del proyecto	228
4.2.2	Creación del archivo de geometría (Sección transversal y Planta)	229
4.2.3	Creación de archivo de Sedimentos.....	238
4.2.4	Creación del archivo de flujo	243
4.2.5	Creación del archivo de resultados hidráulicos	248
4.3	Modelo hidráulico de la Quebrada El Arenal de Mejicanos	260
4.3.1	Creación del proyecto	260
4.3.2	Creación del archivo de geometría (Sección transversal y Planta)	261
4.3.3	Creación de Archivo de Sedimentos	268
4.3.4	Creación del Archivo de Flujo	273
4.3.5	Creación del archivo de resultados hidráulicos	278
4.4	Introducción de Datos de la Quebrada Las Lajas en la Colonia Escalón	288
4.4.1	Creación del proyecto	288
4.4.2	Creación del archivo de geometría (Sección transversal y Planta)	289

4.4.3	Creación del Archivo de sedimentos	297
4.4.4	Creación de Archivo de Flujo	302
4.4.5	Creación del archivo de resultados hidráulicos	306
CAPITULO 5 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.		318
5.1	Evaluación cronológica de la quebrada “Buenos Aires, Santa Tecla” ...	318
5.3	Evaluación cronológica de la quebrada “El Arenal, Mejicanos”	325
5.4	Evaluación cronológica de la quebrada “Las Lajas, La Escalón”	330
CAPITULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		345
6.1	Conclusiones	345
6.2	Recomendaciones	350
BIBLIOGRAFÍA.....		352
Glosario:		364
Anexo A		370
Introducción al programa hidráulico HEC-RAS versión 5.0.3		370
Anexo B		432
Anexo C		438

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.2.1. Principales Volcanes de El Salvador.....	4
Figura 1.2.2. Fotografías de EDH. Deslizamiento del 19 de septiembre de 1982 en Montebello.	6
Figura 1.2.3. Fotografía satelital de la zona donde ocurrió el deslave del 82	7
Figura 1.2.4. Inundación en la Urbanización Jardines de la Sabana	8
Figura 1.2.5. Imágenes del Picacho antes y después del deslizamiento de octubre del 2008.	9
Figura 1.2.6. Fotografía de la inundación causada por el flujo en la quebrada Las Lajas, Avenida Masferrer Norte.....	10
Figura 1.3.1. Expansión Urbana del AMSS.....	15
Figura 2.1.1 Cuatro satélites son utilizados para obtener la posición en las tres dimensiones (X, Y, Z) y el tiempo (T).....	30
Figura 2.1.2 Kit Receptor GNSS S320. b) Mini colector de datos CARLSON..	36
Figura 2.1.3 Especificaciones de precisión horizontal.....	37
Figura 2.2.1 Comparación entre elipsoide-geoide y esfera.....	38
Figura 2.2.2 Triangulación principal para la creación de la primera Red Geodésica de El Salvador	41
Figura 2.2.3 Mapa de la primera Red Geodésica de El Salvador	42
Figura 2.2.4 Ubicación del Vértice Geodésico “Escorpión”.....	43
Figura 2.2.5 Ubicación de los Vértices geodésicos “San Diego Norte” Y “Soledad”	44

Figura 2.2.6 Estación CORS (San Salvador Ilopango Airport, SSIA).....	46
Figura 2.2.7 Ubicación de estaciones GPS de CORS.	46
Figura 2.2.8 Red Geodésica Básica GPS.	47
Figura 2.2.9 Red Geodésica de los Departamentos de San Salvador-La Libertad.....	49
Figura 2.3.1 División administrativa de los departamentos de La Libertad y San Salvador.....	53
Figura 2.3.2 Morfología alrededor del Área Metropolitana de San Salvador....	55
Figura 2.4.1 Fuerzas actuantes en un deslizamiento.....	57
Figura 2.4.2 Tipos de Reptación.	59
Figura 2.4.3 Tipos de deslizamiento.	60
Figura 2.4.4 Mapa de Zonas vulnerables a deslizamientos dentro del AMSS .	61
Figura 2.4.5 Flujo de escombros o de lodos.	63
Figura 2.4.6 Esquema de derrumbes.....	65
Figura 2.4.7 Derrumbe de escarpe en el cráter del Boquerón	67
Figura 2.5.1 Esquema de los rasgos dejados por una inundación.....	68
Figura 2.5.2 Esquema de los rasgos dejados por un flujo de escombros	69
Figura 2.5.3 Partes del flujo de escombros.....	70
Figura 2.5.4 Clasificación de flujo de escombros dinámico por tres factores de control.	76
Figura 2.5.5 La estructura general de flujo de escombros inercial.....	84

Figura 2.5.6 Casos en los que se desarrollan flujos de escombros por erosión en el lecho.	86
Figura 2.5.7 Derrumbes inducidos por flujos de escombros	89
Figura 2.5.8 Etapa de depósito de un flujo de escombros en un cambio de pendiente.	94
Figura 2.5.9 Rebote de la deposición en un cambio de pendiente del lecho. ..	95
Figura 2.6.1 Icono del Programa HEC-RAS (Acceso directo)	97
Figura 2.6.2 Interfaz de usuario.	99
Figura 2.6.3 Componentes de análisis de ríos	100
Figura 2.6.4 Editor de flujo no permanente	103
Figura 2.6.5 Editor de flujo no permanente	105
Figura 2.6.6 Editor de condiciones iniciales de flujo no permanente.....	106
Figura 2.6.7 Editor de flujo cuasi no permanente.....	120
Figura 3.1.1 Tramos de la Quebrada Buenos Aires.	134
Figura 3.1.2 El lecho de la Quebrada Buenos Aires está compuesto de material arenosos y de rocas con diámetros que varían entre 0.30 – 1.00 metros.	135
Figura 3.1.3 Brotes de agua infiltrada en las laderas de la quebrada.	136
Figura 3.1.4 Cuenca de la Quebrada Buenos Aires y tramo obtenido en el levantamiento topográfico.	137
Figura 3.1.5 Vegetación abundante en Quebrada Buenos Aires.	138
Figura 3.1.6 Toma de datos en Quebrada Buenos Aires con estación total en sincronía con el colector Carlson.	139

Fuente: Elaboración propia, Fotografía del interior de la quebrada Buenos Aires	140
Figura 3.2.1 Estación base de GPS para el levantamiento topográfico.	141
Figura 3.2.2 Asentamientos en la quebrada El Arenal.	142
Figura 3.3.1 Suelo arenoso y rocoso aguas abajo de la Quebrada Las Lajas San Salvador.	143
Figura 3.3.2 Suelo compuesto de lajas aguas arriba de la Quebrada Las Lajas San Salvador.	144
Figura 3.3.3 Basura encontrada en la Quebrada Las Lajas San Salvador. ...	145
Figura 3.3.4 Laterales de la Quebrada Las Lajas San Salvador.	146
Figura 3.3.5 Suelo erosionado y vegetación inestable.	147
Figura 3.3.6 Drenaje de zona urbanizada en las cercanías directamente a la Quebrada Las Lajas San Salvador.	148
Figura 3.3.7 Restos de la tubería de concreto con la que se intervino la Quebrada Las Lajas San Salvador.	149
Figura 3.3.8 Muro de mampostería que estrecha significativamente el cauce de la Quebrada Las Lajas San Salvador.	150
Figura 3.3.9 Zonas de depósito en la Quebrada Las Lajas San Salvador.	151
Figura 3.3.10 Cuenca de la Quebrada Las Lajas San Salvador y tramo obtenido en el levantamiento topográfico.	152
Figura 3.3.11 Inicio del levantamiento de la Quebrada Las Lajas San Salvador.	153

Figura 3.3.12 Vegetación abundante en Quebrada Las Lajas San Salvador.	154
Figura 3.4.1 Eje de la Quebrada Buenos Aires, las secciones transversales y los puntos ocupados por la estación total.	156
Figura 3.4.2 Tramo completo de la Quebrada San Salvador a utilizarse en la modelación hidráulica.	157
Figura 3.4.3 Perfil Longitudinal resultado de la modelación topográfica con curvas a 5.00m y GPS.	158
Figura 3.4.4 Perfil Longitudinal resultado de la modelación topográfica de los datos obtenidos en campo.	159
Figura 3.4.5 Ubicación de lugares de toma de muestras en la quebrada Buenos Aires en Santa Tecla.	160
Figura 3.4.6 Gráfica de la muestra 2.	162
Figura 3.4.7 Gráfica de la muestra 3.	164
Figura 3.4.8 Representación de las secciones obtenidas del levantamiento topográfico.	166
Figura 3.4.9 Perfil Quebrada Buenos Aires con topografía de 10.00 m y 5.00m.	167
Figura 3.4.10 Secciones Transversales de La Quebrada Buenos Aires con topografía de 10.00 m y 5.00 m.	169
Figura 3.4.11 Comparación Topográfica de Perfiles, Curvas a 5.00 m Vs. Topografía obtenida con GPS y Estación Total.	170

Figura 3.4.12 Comparación Topográfica de Secciones Transversales, Curvas a 5.00 m Vs. Topografía obtenida con GPS y estación total.....	171
Figura 3.5.1 Eje de la Quebrada El Arenal, las secciones transversales y los puntos ocupados por la estación total.....	173
Figura 3.5.2 Tramo completo de la Quebrada El Arenal, Mejicanos a utilizarse en la modelación hidráulica.....	174
Figura 3.5.3 Perfil Longitudinal resultado de la modelación topográfica con curvas a 5.00 m y GPS.	175
Figura 3.5.4 Ubicación de lugares de toma de muestras en la quebrada El Arenal en Mejicanos.	176
Figura 3.5.5 Gráfica de la muestra 7.....	178
Figura 3.5.6 Gráfica de la muestra 8.....	180
Figura 3.5.7 Gráfica de la muestra 9.....	182
Figura 3.5.8 Gráfica de la muestra 10.....	184
Figura 3.5.9 Gráfica de la muestra 11.....	186
Figura 3.5.10 “Gráfica de la muestra 12”.....	188
Figura 3.5.11 “Gráfica de la muestra 13”.....	190
Fuente: Elaboración propia, Gráfica elaborada en Excel.....	190
Figura 3.5.12 “Gráfica de la muestra 14”.....	192
Figura 3.5.13 “Gráfica de la muestra 15”.....	194
Figura 3.5.14 “Gráfica de la muestra 16”.....	196
Figura 3.5.15 Gráfica de la muestra 17.....	198

Figura 3.5.16 Gráfica de la muestra 18.....	200
Figura 3.5.17 Representación de las secciones obtenidas del levantamiento topográfico.	202
Figura 3.5.18 Perfil Quebrada El Arenal con topografía de 10.00 m y 5.00 m.	203
Figura 3.5.19 Secciones Transversales de La Quebrada El Arenal con topografía de 10.00 m y 5.00 m.	204
Figura 3.5.20 Comparación Topográfica de Perfiles, Curvas a 5.00 m Vs. Topografía obtenida con GPS y Estación Total. Fuente: Elaboración propia, Captura del visor de Civil 3D.....	205
Figura 3.5.21 Comparación Topográfica de Secciones Transversales, Curvas a 5.00 m Vs. Topografía obtenida con GPS y Estación Total.	206
Figura 3.6.1 Eje de la Quebrada Las Lajas San Salvador, las secciones transversales y los puntos ocupados por la estación total.	207
Figura 3.6.2 Eje de la Quebrada Las Lajas de San Salvador obtenido del levantamiento, superpuesto al eje de dicha quebrada obtenido de las curvas de nivel a cada 5 m.....	208
Figura 3.6.3 Tramo completo de la Quebrada Las Lajas San Salvador a utilizarse en la modelación hidráulica.	209
Figura 3.6.4 Perfil Longitudinal resultado de la modelación topográfica con curvas a 5.00 m y GPS.	210

Figura 3.6.5 Perfil Longitudinal resultado de la modelación de la topografía obtenida.....	211
Figura 3.6.6 Ubicación de lugares de toma de muestras en la quebrada Las Lajas de la colonia escalón.....	212
Figura 3.6.7 Gráfica de la muestra 1.....	214
Figura 3.6.8 Gráfica de la muestra 4.....	216
Figura 3.6.9 Gráfica de la muestra 5.....	218
Figura 3.6.10 Gráfica de la muestra 6.....	220
Figura 3.6.11 Creación Propia “Algunas de las secciones obtenidas del levantamiento topográfico.....	222
Figura 3.6.12 Perfil Quebrada Las Lajas con topografía de 10.00 m y 5.00 m.	223
Figura 3.6.13 Secciones Transversales de La Quebrada Las Lajas con topografía de 10.00 m y 5.00 m.	225
Figura 3.6.14 Comparación Topográfica de Secciones de Perfiles y Transversales, Curvas a 5.00 m Vs. Topografía obtenida con GPS y Estación Total.....	227
Figura 4.2.1 Pasos para la creación de un archivo de proyecto.	229
Figura 4.2.2 Tramo de la Quebrada Buenos Aires donde se observan: eje de quebrada, puntos de intersección de tangentes y secciones transversales. ..	230
Figura 4.2.3 Archivo geo de la quebrada Buenos Aires obtenido mediante el procedimiento descrito anteriormente.....	231

Figura 4.2.4 Vista en perspectiva x-y-z generada en HEC-RAS mediante la importación del archivo geo.	232
Figura 4.2.5 Sección transversal antes de colocar los bordes.	235
Figura 4.2.6 Sección transversal después de colocar los bordes.	236
Figura 4.2.7 Ventana de introducción de valores n de Manning.	237
Figura 4.2.8 Ubicación de la muestra con respecto al área de análisis	238
Figura 4.2.9 Imágenes de creación de archivo de granulometría.	240
Figura 4.2.10 Editor de datos de granulometría.	241
Figura 4.2.11 Ventana de Condiciones iniciales del archivo de sedimentos..	242
Figura 4.2.12 Ventana de condiciones de contorno del archivo de sedimentos.	243
Figura 4.2.13 Editor de Condiciones de contorno de Flujo casi permanente.	245
Figura 4.2.14 Ventana de introducción de datos de flujo casi permanente..	246
Figura 4.2.15 Ventana de introducción de datos de la condición Profundidad Normal. Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.....	247
Figura 4.2.16 Ventana de introducción de datos de temperatura para flujo casi permanente.....	248
Figura 4.2.17 Inicio de plan de simulación de sedimentos.....	249
Figura 4.2.18 Ventana de opciones de salida de datos de simulación de sedimentos.....	250

Figura 4.2.19 Ventana de visualización de datos de salida del análisis de sedimentos.....	251
Figura 4.2.20 Gráfico del cambio en el lecho Vrs el tiempo de simulación de la sección 22.83 de la topografía de 5.00 m.	252
Figura 4.2.21 Tabla de datos del cambio en el lecho de la sección 22.83 de la topografía de 5.00 m.....	253
Figura 4.2.22 Gráfico de sedimentos transportados por tipo de grano Vrs tiempo de la sección 22.83 de la topografía de 5.00 m.....	253
Figura 4.2.23 Tabla de datos de sedimentos transportados por tipo de grano de la sección 22.83 de la topografía de 5.00 m.	254
Figura 4.2.24 Gráfico de sedimentos transportados acumulado contra tiempo de la sección 22.83 de la topografía de 5.00 m.	254
Figura 4.2.25 Tabla de datos de sedimentos transportados acumulados de la sección 22.83 de la topografía de 5.00 m.	255
Figura 4.2.26 Cambios en la sección 22.82 de la topografía de 5.00 m debido al análisis en los sedimentos.	256
Figura 4.2.27 Grafica de elevación del lecho contra la distancia de la topografía de 5.00 m debido al análisis en los sedimentos.....	257
Figura 4.2.28 Esquema del nivel del lecho de la topografía de 5.00 m debido al análisis en los sedimentos.	257
Figura 4.2.29 Tabla de elevación del lecho del canal para la topografía de 5.00 m debido al análisis en los sedimentos.....	258

Figura 4.2.30 Salida de datos de forma gráfica para la topografía de 5.00 m debido al análisis en los sedimentos.....	258
Figura 4.2.31 Salida de datos de forma tabular para la topografía de 5.00 m debido al análisis en los sedimentos.....	259
Figura 4.3.1 Pasos para la creación de un archivo de proyecto.	260
Figura 4.3.2 Tramo de la Quebrada El Arenal donde se observan: eje de quebrada, puntos de intersección de tangentes y secciones transversales. ..	262
Figura 4.3.3 Archivo geo de la quebrada El Arenal obtenido mediante el procedimiento descrito anteriormente.....	262
Figura 4.3.4 Vista en perspectiva x-y-z generada en HEC-RAS mediante la importación del archivo geo.	263
Figura 4.3.5 Sección transversal antes de colocar los bordes.	265
Figura 4.3.6 Sección transversal después de colocar los bordes.	266
Figura 4.3.7 Tabla de valores de n de Manning para las diferentes zonas de las secciones.	267
Figura 4.3.8 Tabla de valores de n de Manning para las diferentes zonas de las secciones.	268
Figura 4.3.9 Imágenes de creación de archivo de granulometría.	270
Figura 4.3.10 Editor de datos de granulometría.	271
Figura 4.3.11 Ventana de Condiciones iniciales del archivo de sedimentos..	272
Figura 4.3.12 Ventana de condiciones de contorno del archivo de sedimentos.	273

Figura 4.3.13 Editor de Condiciones de contorno de Flujo casi permanente.	275
Figura 4.3.14 Ventana de introducción de datos de flujo casi permanente..	276
Figura 4.3.15 Ventana de introducción de datos de la condición Profundidad Normal.	277
Figura 4.3.16 Ventana de introducción de datos de temperatura para flujo casi permanente.....	278
Figura 4.3.17 Inicio de plan de simulación de sedimentos.....	279
Figura 4.3.18 Ventana de opciones de salida de datos de simulación de sedimentos.....	280
Figura 4.3.19 Ventana de visualización de datos de salida del análisis de sedimentos.....	281
Figura 4.3.20 Gráfico de cambio de lecho contra tiempo de simulación de la sección 42.35 de topografía de 5.00 m.....	281
Figura 4.3.21 Tabla de datos de cambio en el lecho de la sección 42.35 de topografía de 5.00 m.....	282
Figura 4.3.22 Gráfico de sedimentos transportados por tipo de grano contra el tiempo de simulación de la sección 42.35 de topografía de 5.00 m.....	282
Figura 4.3.23 Tabla de datos de sedimentos transportados por tipo de grano de la sección 42.35 de topografía de 5.00 m.	283
Figura 4.3.24 Gráfico de sedimentos transportados acumulado contra tiempo de simulación de la sección 42.35 de topografía de 5.00 m.	283

Figura 4.3.25 Tabla de datos de sedimentos transportados acumulados de la sección 42.35 de topografía de 5.00 m.....	284
Figura 4.3.26 Cambios en la sección 42.35 de la topografía de 5.00 m debido al análisis en los sedimentos.	285
Figura 4.3.27 Gráfica de elevación del lecho de la quebrada de la topografía de 5.00 m debido al análisis en los sedimentos.....	286
Figura 4.3.28 Esquema del nivel del lecho de la topografía de 5.00 m debido al análisis en los sedimentos.	286
Figura 4.3.29 Tabla de elevación del lecho de la quebrada para la topografía de 5.00 m debido al análisis en los sedimentos.....	287
Figura 4.3.30 Salida de datos de forma gráfica para la topografía de 5.00 m debido al análisis en los sedimentos.....	287
Figura 4.3.31 Salida de datos de forma tabular para la topografía de 5.00 m debido al análisis en los sedimentos.....	288
Figura 4.4.1 Pasos para la creación de un archivo de proyecto.	289
Figura 4.4.2 Tramo de la Quebrada Las Lajas donde se observan: eje de quebrada, puntos de intersección de tangentes y secciones transversales. ..	290
Figura 4.4.3 Archivo geo de la quebrada Las Lajas obtenido mediante el procedimiento descrito anteriormente.....	291
Figura 4.4.4 Vista en perspectiva x-y-z generada en HEC-RAS mediante la importación del archivo geo.	292
Figura 4.4.5 Sección transversal antes de colocar los bordes.	295

Figura 4.4.6 Sección transversal después de colocar los bordes.	296
Figura 4.4.7 Ventana de introducción de valores n de Manning.	297
Figura 4.4.8 Ubicación de la muestra de suelo a utilizar	299
Figura 4.4.9 Imágenes de creación de archivo de granulometría	299
Figura 4.4.10 Editor de datos de granulometría.	300
Figura 4.4.11 Ventana de Condiciones iniciales del archivo de sedimentos..	301
Figura 4.4.12 Ventana de condiciones de contorno del archivo de sedimentos	302
Figura 4.4.13 Editor de Condiciones de contorno de Flujo casi permanente	303
Figura 4.4.14 Ventana de introducción de datos de flujo casi permanente..	304
Figura 4.4.15 Ventana de introducción de datos de la condición profundidad normal.....	305
Figura 4.4.16 Ventana de introducción de datos de temperatura para flujo casi permanente.....	306
Figura 4.4.17 Inicio de plan de simulación de sedimentos.	307
Figura 4.4.18 Ventana de opciones de salida de datos de simulación de sedimentos.....	308
Figura 4.4.19 Ventana de visualización de datos de salida del análisis de sedimentos.....	309
Figura 4.4.20 Gráfico de cambio de lecho contra tiempo de simulación de la sección 30.59 de la topografía de 5.00 m.	310

Figura 4.4.21 Tabla de datos de cambio en el lecho de la sección 30.59 de la topografía de 5.00 m.....	311
Figura 4.4.22 Gráfico de sedimentos transportados por tipo de grano contra tiempo de simulación de la topografía de 5.00 m.....	311
Figura 4.4.23 Tabla de datos de sedimentos transportados por tipo de grano de la topografía de 5.00 m	312
Figura 4.4.24 Gráfico de sedimentos transportados acumulado contra tiempo de simulación de la topografía de 5.00 m.	312
Figura 4.4.25 Tabla de datos de sedimentos transportados acumulados de la topografía de 5.00 m.....	313
Figura 4.4.26 Cambios en la sección 30.59 de la topografía de 5.00 m debido al análisis en los sedimentos.	314
Figura 4.4.27 Gráfica de elevación del lecho de la topografía de 5.00 m debido al análisis en los sedimentos.	315
Figura 4.4.28 Tabla de elevación del lecho del canal de la topografía de 5.00 m a partir del análisis en los sedimentos.	315
Figura 4.4.29 Salida de datos de forma gráfica de la topografía de 5.00 m en base al análisis en de sedimentos.	316
Figura 4.4.30 Salida de datos en forma tabular de la topografía de 5.00 m en base al análisis en de sedimentos.	317
Figura 5.2.1 Gráfica que representa el cambio de elevación que sufre la sección en la estación 0+160.23 de la quebrada Buenos Aires.....	319

Figura 5.2.2 Gráfica que representa el cambio de elevación que sufre la sección en la estación 0+174.5 de la quebrada Buenos Aires.....	320
Figura 5.2.3 Gráfica que representa el cambio de elevación que sufre la sección en la estación 0+204.52 de la quebrada Buenos Aires. Por lo tanto, esta sección se erosionó 0.40 m.	321
Figura 5.2.4 Gráfica que representa el cambio de elevación que sufre la sección en la estación 0+010.23 de la quebrada Buenos Aires.....	322
Figura 5.2.5 Gráfica que representa el cambio de elevación que sufre la sección en la estación 0+022.83 de la quebrada Buenos Aires.....	323
Figura 5.2.6 Gráfica que representa el cambio de elevación que sufre la sección en la estación 0+004.52 de la quebrada Buenos Aires.....	324
Figura 5.3.1 Gráfica que representa el cambio de elevación que sufre la sección 2 de la quebrada El Arenal de Mejicanos.	326
Figura 5.3.2 Gráfica que representa el cambio de elevación que sufre la sección 2 de la quebrada El Arenal de Mejicanos.	327
Figura 5.3.3 Gráfica que representa el cambio de elevación que sufre la sección 3 de la quebrada El Arenal de Mejicanos.	328
Figura 5.3.4 Gráfica que representa el cambio de elevación que sufre la sección 3 de la quebrada El Arenal de Mejicanos.	329
Figura 5.4.1 Gráfica que representa el cambio de elevación que sufre la sección 2 0+130.59 de la quebrada Las Lajas de La Escalón.	331

Figura 5.4.2 Gráfica que representa el cambio de elevación que sufre la sección 2 de la quebrada Las Lajas de Le Escalón.....	332
Figura 5.4.3 Gráfica que representa el cambio de elevación que sufre la sección 2 de la quebrada Las Lajas de Escalón.....	333
Figura 5.4.4 Gráfica que representa el cambio de elevación que sufre la sección 3 de la quebrada La Lajas en La Escalón.....	334
Figura 5.4.5 Gráfica que representa el cambio de elevación que sufre la sección 3 de la quebrada La Lajas en La Escalón.....	335
Figura 5.4.6 Gráfica que representa el cambio de elevación que sufre la sección 3 de la quebrada La Lajas en La Escalón.....	336
Figura 5.4.7 Gráfica que representa el cambio de elevación que sufre la sección 4 de la quebrada La Lajas en La Escalón.....	337
Figura 5.4.8 Gráfica que representa el cambio de elevación que sufre la sección 4 de la quebrada La Lajas en La Escalón.....	338
Figura 5.4.9 Gráfica que representa el cambio de elevación que sufre la sección 4 de la quebrada La Lajas en La Escalón.....	339

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Fenómenos naturales ocurridos en el salvador y sus efectos	50
Tabla 2.2: Municipios del AMSS y su población.....	54
Tabla 2.3: Modelos de fluido de acuerdo con el tipo de flujo.....	81
Tabla 2.4: Opciones de la simulación de flujo permanente	109
Tabla 3.1: Granulometría de la Muestra 2.....	161
Tabla 3.2: Granulometría de la Muestra 3.....	163
Tabla 3.3: Granulometría de la Muestra 7 (Material grueso).....	177
Tabla 3.4: Granulometría de la Muestra 7 (Material fino)	177
Tabla 3.5: Granulometría de la Muestra 8 (Material grueso).....	179
Tabla 3.6: Granulometría de la muestra 9 (Material fino)	179
Tabla 3.7: Granulometría de la Muestra 9 (Material grueso).....	181
Tabla 3.8: Granulometría de la Muestra 9 (Material fino)	181
Tabla 3.9: Granulometría de la Muestra 10 (Material grueso).....	183
Tabla 3.10: Granulometría de la Muestra 10 (Material fino).....	183
Tabla 3.11: Granulometría de la Muestra 11 (Material grueso).....	185
Tabla 3.12: Granulometría de la Muestra 11 (Material fino).....	185
Tabla 3.13: Granulometría de la Muestra 12 (Material grueso).....	187
Tabla 3.14: Granulometría de la Muestra 12 (Material fino).....	187
Tabla 3.15: Granulometría de la Muestra 13 (Material grueso).....	189
Tabla 3.16: Granulometría de la Muestra 13 (Material fino)	189
Tabla 3.17: Granulometría de la Muestra 14 (Material grueso).....	191

Tabla 3.18: Granulometría de la Muestra 14 (Material fino)	191
Tabla 3.19: Granulometría de la Muestra 15 (Material grueso)	193
Tabla 3.20: Granulometría de la Muestra 15 (Material fino)	193
Tabla 3.21: Granulometría de la Muestra 16 (Material grueso)	195
Tabla 3.22: Granulometría de la Muestra 16 (Material fino)	195
Tabla 3.23: Granulometría de la Muestra 17 (Material grueso)	197
Tabla 3.24: Granulometría de la Muestra 17 (Material fino)	197
Tabla 3.25: Granulometría de la Muestra 18	199
Tabla 3.26: Granulometría de la Muestra 1	213
Tabla 3.27: Granulometría de la Muestra 4	215
Tabla 3.28: Granulometría de la Muestra 5	217
Tabla 4.1: Resumen de parámetros geométricos de la Quebrada Buenos Aires sobre curvas de nivel a cada 10.00 m.	232
Tabla 4.2: Resumen de parámetros geométricos de la Quebrada Buenos Aires sobre curvas de nivel a cada 5.00 m.	233
Tabla 4.3: Resumen de parámetros geométricos de la Quebrada Buenos Aires sobre curvas de nivel a cada 5.00 m incluyendo los datos obtenidos en campo.	234
Tabla 4.4: Granulometría ASTM.....	239
Tabla 4.5: Granulometría Unión Americana de Geofísica	239
Tabla 4.6: Valores máximos de caudal	243
Tabla 4.7: Valores de pendiente para la sección aguas abajo	247

Tabla 4.8: Resumen de parámetros geométricos de la Quebrada El Arenal sobre curvas de nivel a cada 10.00 m.	263
Tabla 4.9: Resumen de parámetros geométricos de la Quebrada El Arenal sobre curvas de nivel a cada 5.00 m.	264
Tabla 4.10: Granulometría ASTM.....	269
Tabla 4.11: Granulometría Unión Americana de Geofísica	269
Tabla 4.12: Valores máximos de caudal	273
Tabla 4.13: Valores de pendiente para la sección aguas abajo	277
Tabla 4.14: Resumen de parámetros geométricos de la Quebrada Las Lajas sobre curvas de nivel a cada 10.00 m.	292
Tabla 4.15: Resumen de parámetros geométricos de la Quebrada Las Lajas sobre curvas de nivel a cada 5 metros.	293
Tabla 4.16: Resumen de parámetros geométricos de la Quebrada Las Lajas sobre curvas de nivel a cada 5.00 m incluyendo los datos obtenidos en campo.	293
Tabla 4.17: Granulometría ASTM.....	298
Tabla 4.18: Granulometría Unión Americana de Geofísica	298
Tabla 4.19: Valores máximos de caudal	302
Tabla 4.20: Valores de pendiente para la sección aguas abajo	305
Tabla 5.1: Resultados: Concentración en volumen de sedimentos de la quebrada Las Lajas obtenidos de HEC-RAS.....	340

Tabla 5.2: Resultados: Concentración en volumen de sedimentos de la quebrada Buenos Aires , obtenidos de HEC-RAS.	342
Tabla 5.3: Resultados: Concentración en volumen de sedimentos de la quebrada El Arenal de Mejicanos obtenidos de HEC-RAS.....	343
Tabla 6.3: Resultados: Concentración en volumen de sedimentos de la quebrada Las Lajas obtenidos de HEC-RAS.....	349

CAPITULO 1: GENERALIDADES

1.1 Introducción

El volcán de San Salvador está ubicado en la zona central de El Salvador. Abarca los municipios de Quezaltepeque, San Juan Opico, Colón y Santa Tecla en el Departamento de La Libertad; Mejicanos y Nejapa en el Departamento de San Salvador. Las masas más prominentes son el Picacho con 1960 msnm y El Boquerón con elevación 1839 msnm. Está compuesto por restos de erupciones múltiples, las cuales han ocurrido en los últimos 70 000 años^[1], su última erupción fue en 1917 abriendo una fractura en el flanco noroccidental donde expulsó lava en gran cantidad. Sin embargo, durante el periodo de inactividad volcánica, se presentan los riesgos de desprendimientos de tierra en las partes altas de las quebradas los cuales dan lugar a los flujos de escombros, término utilizado para denominar al flujo de lodo, escombros y rocas; evento que también puede ser conocido como lahar.

El crecimiento de la población en las zonas urbanas específicamente de San Salvador, se ha extendido en gran magnitud hacia el oriente y poniente del Departamento; encontrándose al poniente el Volcán de San Salvador, incrementando la susceptibilidad de amenaza por flujos de escombros, los cuales son provocados principalmente por eventos hidrometeorológicos y sísmicos.

En cuanto a la topografía, podemos referirnos a ella como variable incluyendo en las quebradas, pues las lluvias y sismos causan que las quebradas susceptibles

¹⁰J.J. Mayor et al, *Riesgos volcánicos en la Región de San Salvador, El Salvador*,(Washinton:2001), 1

a flujos de escombros sean erosionadas o convertidas a zonas de depósito. Además, hay zonas intervenidas antropogénicamente donde se construyeron obras de paso, bóvedas, muros e incluso tuberías para encauzar las aguas lluvias, las cuales reducen la capacidad hidráulica y aumentan la cantidad de escombros, causando inundaciones en las urbanizaciones cercanas a las quebradas.

Debido a la dinámica de las quebradas y a la frecuencia con que ocurren los eventos de lluvia y sismo, es necesario actualizar la topografía. De este modo facilitar a las autoridades pertinentes la información sobre la susceptibilidad de la población a los flujos de escombros, basura, rocas o lodo que podrían darse y a través de modelos hidráulicos, analizar y predecir el comportamiento y efectos de dichos flujos de escombros y transporte de los sedimentos.

La presente investigación toma en cuenta el análisis en las cuencas que han tenido eventos registrados de flujos de escombros en las quebradas de interés, las cuales, son: El Arenal de Mejicanos, Buenos Aires en Santa Tecla y Las Lajas en Colonia Escalón. Además se resalta cómo la topografía, modificada por la urbanización creciente de la zona del volcán y por los mismos eventos de flujos de escombros, se encuentra desactualizada; volviéndola irreal ante cualquier intento de desarrollar modelos hidráulicos que puedan predecir el comportamiento de los flujos de escombros y capacidades hidráulicas.

Mediante la investigación propuesta se actualizarán las curvas de nivel en las quebradas de interés, haciendo uso de GPS de alta precisión que permita

levantar la topografía actual, utilizando la técnica de medición con GPS Stop and Go (Parar y Seguir en español), este método consiste en la utilización de dos GPS donde uno actúa como base corrigiendo los datos que guarde el receptor. La topografía será el dato de entrada en el programa de modelación hidráulica HEC-RAS. Con la interpretación de los modelos hidráulicos es posible trazar un mapa de riesgo, o implementar sistemas de alerta temprana para eventos de flujos de escombros.

Finalmente para conocer cómo la topografía afecta los resultados de diversas aplicaciones, se propone, realizar los modelos hidráulicos de las quebradas de interés con los datos topográficos obtenidos por medio de GPS así la información con la que se cuenta actualmente, que datan de los años de 1970, 1980 y 2000, los cuales son la información de dominio público en el país a través del CNR.

1.2 Antecedentes

El Salvador cuenta con una extensión aproximada de 21,000 Km², dada la ubicación, las condiciones meteorológicas y geomorfológicas hacen que sea susceptible a desastres ocasionados por eventos naturales, los cuales han dejado marca en la historia del país, ya sea por daños a infraestructura o pérdida de vidas humanas. Principalmente la morfología de El Salvador está conformada por una cadena volcánica la cual se puede observar en la figura 1.2.1, comprendida de este a oeste el volcán de Santa Ana, volcán de Izalco, volcán de

San Salvador, volcán de San Vicente, volcán de San Miguel y el volcán Cochague^[2].

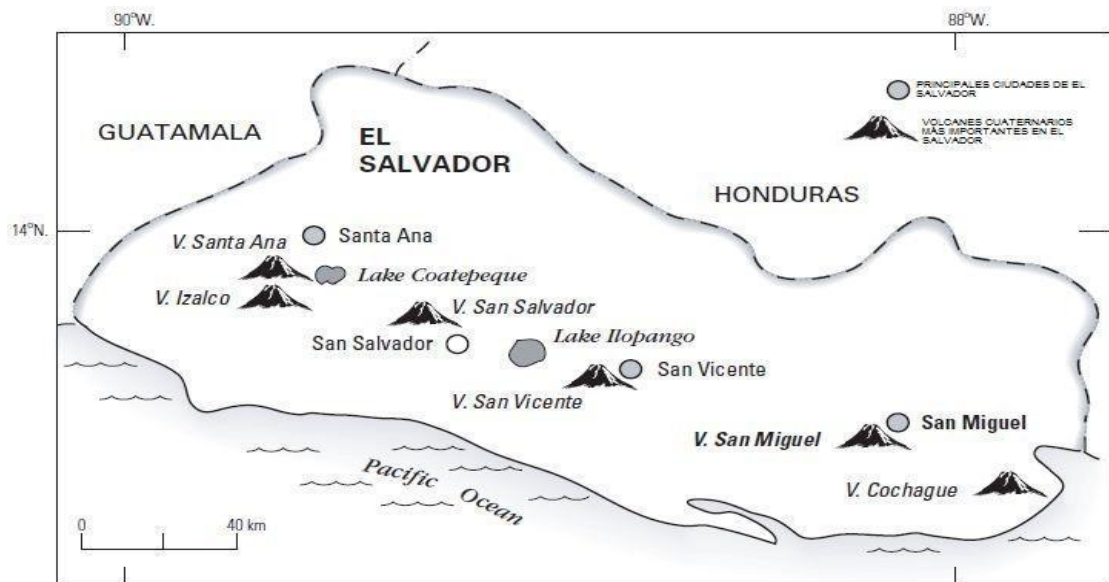


Figura 1.2.1. Principales Volcanes de El Salvador.

Fuente: Riesgos volcánicos en la región de San Salvador, El Salvador, J.J. Mayor, S.P. Schilling, D.J. Sofield, C.D. Escobar, C.R. Pullinger.

Los eventos naturales a los que el país presenta susceptibilidad son los flujos de lodos y flujos de escombros ó lahares los cuales inician en zonas elevadas como las laderas de los volcanes, y pueden extenderse hasta varios kilómetros dependiendo de las circunstancias que los provocan, elevando el riesgo en la parte baja de las laderas, el Área Metropolitana de San Salvador está ubicada en una depresión tectónica salvadoreña por lo que está expuesta este tipo de

²⁰J.J. Mayor et al, *Riesgos volcánicos en S. S.*, 2

eventos añadiendo a esto el hecho de que la población está en aumento, expandiéndose cada vez más a zonas como el volcán de San Salvador.

A continuación se presentan de eventos registrados, que tomaron lugar en las quebradas en estudio:

En el año de 1934 las intensas lluvias produjeron varios deslizamientos en El Salvador, principalmente en el área de Chalatenango y San Salvador, los deslizamientos del área de San Salvador se dieron en la zona del volcán, movilizand o alrededor de 2, 125, 000 m³ de flujo de escombros, arrasando la capa vegetal y el suelo, dejando al descubierto las lavas infrayacentes del volcán, el material se transportó por la Quebradona, afluente de la quebrada El Níspero, hasta llegar al territorio de Montebello en Mejicanos^[3].

En 1982 ocurrió un evento de flujo de escombros el cual fue producido por las intensas lluvias que se dieron en el mes de Septiembre, entre el 17 y el 20 cuyos registros en los observatorios fueron los mayores de siglo y como consecuencia se produjeron varios deslizamientos en el país. Uno de los principales fue el deslizamiento que se dio en el volcán de San Salvador en la zona del Picacho, este inicio en la cota 1925 m y descendió por la quebrada El Níspero hasta la cota de los 790 m, llegando hasta la zona urbanizada de Montebello, en el municipio de Mejicanos, moviendo un volumen aproximado de 425, 000 m³. En la parte baja se calculó un flujo de lodo de aproximadamente 200, 000 m³ que

^[3]“LEVANTAMIENTO DE DESLIZAMIENTOS DE TIERRA EN EL VOLCÁN DE SAN SALVADOR,” Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET), Consultado noviembre, 2016, <http://www.snet.gob.sv/Geologia/Deslizamientos/Documentos/levantamiento-deslizamientos-vss/informe%20final.pdf>

afectó principalmente al Reparto Montebello poniente y en menor medida a la Colonia Lorena, Colonia San Mauricio, Residencial Montebello, Colonia San Ramón y la Colonia Santa Margarita ^[4]. Ver figura 1.2.2.



a)



b)

Figura 1.2.2. Fotografías de EDH. Deslizamiento del 19 de septiembre de 1982 en Montebello.

Fuente: <http://archivo.elsalvador.com>.

⁴⁰"LEVANTAMIENTO DE DESLIZAMIENTOS EN EL VOLCÁN DE S. S." 4-5

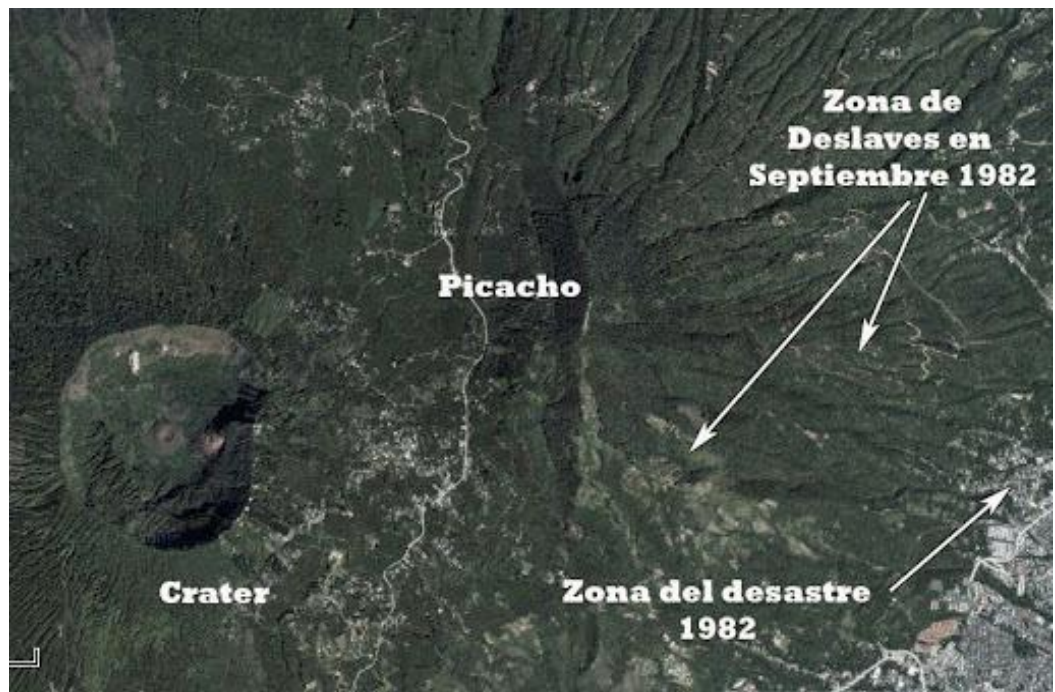


Figura 1.2.3. Fotografía satelital de la zona donde ocurrió el deslave del 82

Fuente: Adaptación de <http://pijazo.blogspot.com>.

En Octubre del 2005 la tormenta tropical Stan arribó en El Salvador con altas precipitaciones generando deslizamiento en el país, uno de esto ocurrió en el volcán de San Salvador en el costado sur del Boquerón, transportándose en la quebrada Buenos Aires que cambia de nombre a quebrada Gertrudis en la urbanización Jardines de La Sabana, este deslizamiento sobrepasó la capacidad hidráulica de una bóveda que se encontraba en la quebrada lo que ocasionó la

inundación de las canchas de tenis en el Polideportivo de Merliot y arrastrando vehículos⁵. Ver Figura 1.2.4.



a) Canchas inundadas en el Polideportivo de Merliot



b) Inundación en las calle

Figura 1.2.4. Inundación en la Urbanización Jardines de la Sabana

Fuente: Noticia de El Diario de Hoy en la página elsalvador.com, 4 de Octubre del 2005

En octubre de 2008 en la parte alta de ladera oriental del picacho ocurrió un deslizamiento de consistencia lodosa que inició aproximadamente a los 1, 750 msnm desplazando un volumen aproximado de 3, 240 m³ a una distancia de 180 a 240 m y dejando una cicatriz de 5, 400 m² [6]. Ver Figura 5 a y b.

⁵ "Polideportivo Merliot dañado por avalancha", *El Diario de Hoy*, 4 Octubre 2005, Consultado Enero, 2017, <http://archivo.elsalvador.com/noticias/2005/10/04/deportes/dep1.asp>.; "Alud de piedras obstruye calles principales de las colonias La Sabana", *La página*, 30 mayo del 2010, Consultado Enero 2017, <http://www.lapagina.com.sv/nacionales/33051/Alud-de-piedras-obstruye-calles-principales-de-las-colonias-La-Sabana>.

⁶ "INFORME TÉCNICO SOBRE EL DESLIZAMIENTO EN LA PARTE ALTA DEL PICACHO, VOLCÁN DE SAN SALVADOR Y ACCIONES PARA INSTALACIÓN DE SISTEMAS DE ALERTA TEMPRANA," SNET, consultado Febrero 2017, <http://www.opinandoenelsalvador.com/wp-content/uploads/2009/06/informedeslavepicachosansalvador2008.pdf>.



a) Vista del Picacho antes del deslizamiento



b) Vista del Picacho después del deslizamiento

Figura 1.2.5. Imágenes del Picacho antes y después del deslizamiento de octubre del 2008.

Fuente: Imágenes satelitales de Google Earth.

En noviembre del 2015 ocurrió un deslizamiento en la quebrada Las Lajas de la Colonia Escalón, debido a las lluvias, llenando de lodo, rocas y otros desechos la Avenida Masferrer Norte, ocasionando inconvenientes a la población que transita por esa zona. El lodo acumulado fue de aproximadamente 0.60 m, lo suficiente como para cubrir hasta la rodilla de una persona⁷. Ver figura 1.2.5.

⁷ "Deslave en Colonia Escalón, por desborde quebrada Las Lajas", El Salvador Noticias.net, 3 noviembre 2015, Consultado Febrero 2017, <http://www.elsalvadornoticias.net/2015/11/03/deslave-en-colonia-escalon-por-desborde-quebrada-las-lajas/>.



Figura 1.2.6. Fotografía de la inundación causada por el flujo en la quebrada Las Lajas, Avenida Masferrer Norte.

Fuente: El Salvador Noticias.net, noviembre de 2015.

Los factores que hacen que las quebradas que nacen en el Volcán de San Salvador sean susceptibles a flujos de escombros según Jiri Sebesta en su informe *Geomorfología del AMSS y su relación con los movimientos de laderas* son los siguientes:

- a) Factores geomorfológicos: La inclinación de las laderas combinada con el material que las conforman son determinantes en la susceptibilidad a flujos de escombros, por ejemplo una inclinación mayor a 20° y una composición de material arcilloso pueden generar fácilmente los flujos de escombros en una ladera⁸. En el AMSS la tierra blanca joven y los flujos piroclásticos

⁸ Ingrid Altagracia Alfaro López, "Debris flow Characteristic along the Main Channel with Structures in the Arenal de Mejicanos, San Salvador, El Salvador," Tesis de Maestría, (Notional Graduate Institute for Policy Studies (GRIPS), Agosto 2014), 10

poco consolidados son los que dan lugar a la erosión que predispone los movimientos de laderas.

- b) Condiciones Geológicas: Son las condiciones referentes a la meteorización física que podría ser por influencia de las raíces de los árboles, ya que amplían las fracturas o grietas de las rocas, haciendo que éstas se fragmenten en bloques. Y la meteorización química en donde los silicatos, silicatos alumínicos, agua y ácidos orgánicos actúan formando minerales arcillosos insolubles que se acumulan en los perfiles de los productos meteorizados y sales solubles que migran en el agua que se infiltra a la roca meteorizada.
- c) Condiciones hidrometeorológicas: Las lluvias intensas pueden provocar la saturación de las laderas, desencadenando los flujos de escombros.
- d) Terremotos o temblores: Los movimientos tectónicos pueden desestabilizar las laderas o el material rocoso que se encuentra en ellas, produciendo así los flujos de escombros.

Debido a los factores mencionados las quebradas que tienen su origen en el Volcán de San Salvador son susceptibles a los flujos de escombros, los cuales

como se ha mencionado anteriormente, afectan directa o indirectamente a la población que habita las faldas del volcán.

Para analizar y predecir el comportamiento de estos eventos es necesario utilizar modelos matemáticos basados en ecuaciones de gobierno de la hidráulica y es parte esencial la topografía de las zonas vulnerables. Sin embargo, en El Salvador se cuenta con mapas que datan de 1980 creados a partir de fotografías tomadas en la década de los 70's y curvas de nivel a cada 5 metros (CNR) siempre de los años 70's, además, en los años 2005 y 2006 se elaboró "El Mapa Geomorfológico del AMSS" en escala 1:25 000. Para lo cual se realizó la interpretación de fotografías aéreas estereoscópicas del año 2000, datos digitales de topografía que consistían en curvas de nivel a cada 10 metros, el modelo de elevación digital e información del mapa geomorfológico para poder construir el mapa^[9]. El Ministerio de Obras Públicas (MOP) está en actual trabajo de obtención de curvas de nivel por medio de imágenes satelitales, sin embargo, aún no están disponibles y son de los años 2009 y 2012, en el año 2011 el MARN sobrevoló el país con el propósito de obtener LIDAR (medición de la elevación del terreno con precisión de 2m) el cual es de uso reservado. De esta forma es posible darse cuenta de las divergencias existentes entre las representaciones cartográficas y la realidad actual, por lo cual es necesario actualizar los datos topográficos a través de los avances tecnológicos que percibe nuestro país. Las

^[9] Jiri Sebesta, *Geomorfología del AMSS y su relación con los movimientos de laderas*, (San Salvador, 2007), 3-5

tecnologías contemporáneas en la utilización de estaciones totales, dispositivos GPS (Global Positioning System), Sistemas de Teledetección y Fotogrametría.

1.3 Planteamiento del problema

La Formación del Área Metropolitana de San Salvador desde el punto de vista geológico es joven, de origen volcánico. Principalmente está formado por productos caldéricos de Ilopango; cuyo espesor es más profundo cerca de la caldera pero también con una profundidad considerable en la depresión Tectónica Salvadoreña. El principal material de esta capa es la Puzolana, también conocida como Tierra Blanca, el cual es un material de origen piroclástico con escasa consistencia y es fácilmente erosionable. Los afloramientos de rocas volcánicas son escasas en la superficie AMSS debido que sufren procesos de meteorización y en ocasiones se transforma en suelo.

Al aumentar la descomposición de rocas sobre las laderas aumenta la susceptibilidad en mayor incidencia en las laderas de falla y laderas de depresiones volcánicas, debido a que en sus fracturas y grietas se infiltra el agua de origen pluvial aumentando el peso de la roca y/o acelerando el proceso de meteorización en la roca. Quedando de manifiesto que la meteorización en las rocas del AMSS son el resultado de una compleja combinación de factores

geológicos y geomorfológicos que los convierten en suelos o rocas erosionadas de fácil desprendimiento estimulados por eventos sísmicos, climatológicos.

Según el MARN la mayor cantidad de precipitación se da al final de la época lluviosa ^[10] donde éstas son suficientes para saturar algunos suelos que en ocasiones dan lugar a desprendimientos y este material es transportado hasta que se deposita aguas abajo de una quebrada.

El siguiente factor a tomar en cuenta es la sismicidad del país; El Salvador se encuentra ubicado cerca del límite entre la “Placa del Caribe” y la “Placa de Cocos” cuya interacción produce zonas de subducción, generando movimientos de suelos que en algunos casos es suficiente para que se dé el desprendimiento y reubicación de éstos, especialmente en zonas con material suelto y de gran inclinación.

El tercer factor influyente son las modificaciones antropogénicas, siendo el principal detonante el crecimiento poblacional que demanda mayores áreas urbanas, zonas industriales, zonas de comercio, cambios en el uso de suelo y acceso los cuales provocan que la superficie del terreno se modifique. Ver figura 1.3.1.

^{10]} “Cambio Climático en El Salvador,” Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN)

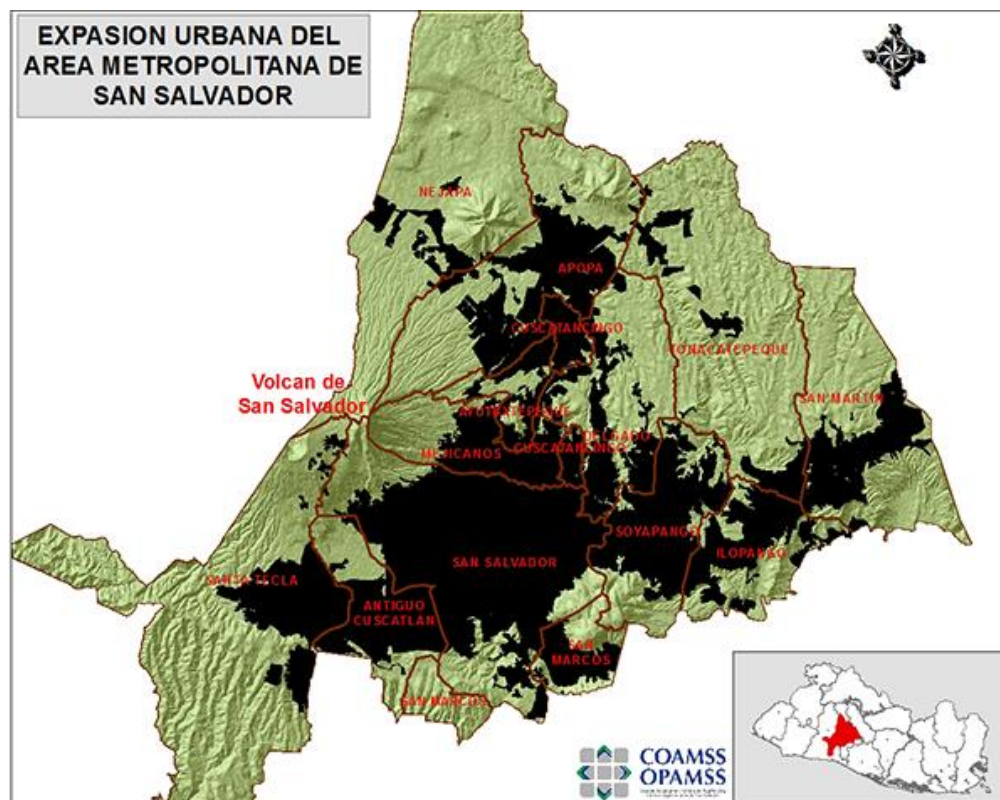


Figura 1.3.1. Expansión Urbana del AMSS

Fuente: www.opamss.org.sv EXPANSIÓN URBANA-CONSUMO DE SUELO AMSS

La información disponible de la OPAMSS indica que en los últimos años, en el AMSS, el crecimiento está orientado a la zona del volcán produciendo cambios en la configuración del terreno, con una tasa promedio de 3.24 Km² por Año^[11], realizando rellenos y cortes en las zonas aledañas o en el interior de las

¹¹⁰ "Expansión Urbana y Uso de Suelos," OPAMSS, Consultado Noviembre 2016, http://www.opamss.org.sv/index.php?option=com_content&view=article&id=129:expansion-urbana-consumo-de-suelo-en-el-amss&catid=22&Itemid=167.

quebradas las cuales se originan en las partes altas del volcán, para la construcción de proyectos habitacionales o de comercio en zonas vulnerables, volviéndolas inestables e incluso cambiando el curso del cauce; por otra parte la topografía varía por la inestabilidad del terreno a ciertas inclinaciones de pendientes provocando la ocurrencia de lahares que van rellenando la cuenca baja en zonas de depósitos y que al ser arrastrados toman lugar los eventos de flujos de escombros. Cuando la urbanización aumenta hace que la infiltración disminuya y por otro lado incrementa el movimiento de las aguas superficiales para las cuales las obras de paso no tienen un diseño adecuado en cuanto a capacidad hidráulica.

En la modelación hidráulica de un río o canal se busca conocer la capacidad hidráulica, para transportar el caudal de una cuenca, por lo que las características hidráulicas principales son: el coeficiente de rugosidad de Manning, el tipo de flujo en el río o quebrada, la cantidad de agua transportada y sobre todo la topografía del drenaje. La topografía de los drenajes principales de las quebradas: “Quebradas El Arenal de Mejicanos” ubicada en Mejicanos, “Quebrada Buenos Aires” en Santa Tecla y “Quebrada Las Lajas” en San Salvador serán medidas en esta investigación tomando en cuenta el cambio en la topografía y su efecto en la modelación hidráulica. Asimismo y considerando que son quebradas con susceptibilidad a flujos de escombros, dentro del análisis hidráulico se deberá considerar el transporte de los sedimentos en los drenajes a estudiar, y medir la capacidad hidráulica real de las quebradas.

Por ello instituciones como la OPAMSS demuestran interés en la obtención de datos actualizados de topografía, para múltiples aplicaciones a la planificación y ordenamiento del territorio, entre algunas aplicaciones se puede mencionar, generación de mapas a escalas más detalladas, análisis de cuencas, investigaciones de eventos que generan problemas y desastres (movimientos de ladera, denudación-erosión e inundaciones) entre otros.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Actualizar la topografía por medio de GPS de alta precisión en quebradas susceptibles a flujos de escombros del Volcán de San Salvador: Arenal de Mejicanos, Buenos Aires y Las Lajas para su análisis comparativo y efecto en la modelación hidráulica.

1.4.2 Objetivos específicos:

- Levantar topografía con GPS de alta precisión en las quebradas Buenos Aires en Santa Tecla, El Arenal en Mejicanos y Las Laja en la Colonia Escalón.
- Comparar el levantamiento obtenido, con la información de topografía disponible en el tiempo.
- Realizar modelaciones hidráulicas con datos de la topografía obtenida.
- Considerar el transporte de sedimentos para el análisis de los flujos de escombros.
- Proponer una metodología de levantamiento de datos por GPS de alta precisión.

1.5 Alcances

El estudio consistirá en la utilización de tecnología GPS para la generación de curvas de nivel en zonas susceptibles al flujo cercanas al volcán de San Salvador, para la evaluación de los cambios en la superficie del terreno, es decir la topografía y su impacto en la capacidad hidráulica de los cauces a estudiar mediante el modelo de simulación hidráulico HEC-RAS, el cual permite la modelación de diferentes tipos de flujos, como el flujo estático, flujo variable, la inclusión del transporte de sedimentos o lechos de sedimentos móviles y modelos con cambio de temperatura, este software se utilizará para la modelación hidráulica del drenaje de cuencas en El arenal de Mejicanos, Quebrada Buenos Aires en Santa Tecla y Quebrada Las Lajas en la colonia Escalón, también se pretende dar a conocer los cambios en la superficie que han tenido las quebradas desde la realización de los mapas topográficos en la década de los 70's.

El estudio incluirá el proceso mediante el cual se generarán las curvas de nivel que para nuestro estudio se realizará con la utilización un equipo GPS Carlson con su respectivo programa llamado Carlson Survey GNSS y los sistemas de teledetección que son de uso público, las observaciones realizadas en campo que puedan afectar la interpretación de los diferentes métodos y los modelos hidráulicos de las diferentes quebradas con su análisis temporal.

Se pretende que la investigación evalúe la actualización de la topografía por medio de GPS de alta precisión y el efecto que esta topografía tiene en modelos de simulación hidráulica

Además se busca que la actualización y el registro de los cambios en la topografía sean importantes para comprender el comportamiento de las quebradas y facilitar la recabación de información topográfica con nuevas herramientas tecnológicas como el uso de GPS diferenciales de doble frecuencia.

1.6 Limitaciones

- La evaluación hidráulica y el análisis de transporte de sedimentos para el tramo de estudio estará delimitado entre la zona de las quebradas con una pendiente menor al 20% donde se acumulan los sedimentos y el comienzo de la urbanización.
- Debido a la expropiación del terreno, el área de trabajo para el levantamiento topográfico se verá limitada a aquellas en las que se cuente con el permiso del propietario.
- El trabajo de investigación se limita a la modelación hidráulica HEC-RAS, donde se realizará el análisis de tránsito de agua y agua con sedimentos para las diferentes cuencas en estudio.
- Debido al tiempo que requiere el estudio de una quebrada el trabajo se limita a la selección de tres quebradas

1.7 Justificación

La vulnerabilidad de la zona, específicamente las quebradas que drenan desde el volcán de San Salvador donde el incremento de la población y el comercio que se expanden, ha obligado a construir en cotas más elevadas, abriendo calles con

fuerzas pendientes y reduciendo el área forestal, como consecuencia aumenta el área impermeable afectando la escorrentía de estas, afectando a la población creciente en los márgenes de la quebrada, que se asentaron ahí desde el terremoto de 1982^[25]. Los sistemas de alerta temprana o alertas para evacuar a la población son ineficaces por la corta distancia que existe desde la fuente del lahar hasta las viviendas en la parte baja del volcán y la rapidez del mismo flujo ^[26]. La frecuencia e intensidad del evento son características que dependen de muchos factores, sin embargo la topografía, variaciones de la pendiente o inclinación, así como el transporte mismo de los sedimentos en algunas zonas, son efectos que pueden propiciar un evento de menor o mayor magnitud.

Los movimientos de laderas y lahares toman lugar en zonas con pendiente inestables, y aunque en su mayoría el flujo de escombros ocurre a lo largo de las quebradas, las laderas de las mismas no dejan de estar susceptibles a convertirse zonas de depósitos de estos volúmenes de suelo y rocas, o incluso desbordamientos de agua. Sin embargo, al recorrer y analizar la topografía de la quebrada, esta se va haciendo menos profunda y volviendo la pendiente menos inclinada en las zonas aluviales. De este modo se establece que el riesgo existe a lo largo de las quebradas, ya que la zona con mayor profundidad es la que conduce el material con mayor velocidad cambiando la topografía tanto dentro

^{25]} J.J. Mayor, *Riesgos Volcánicos en S. S.*, 6

^{26]} "LEVANTAMIENTO DE DESLIZAMIENTOS DE S.S", 17

como fuera de la quebrada o cauce y las zonas de depósito son vulnerables en caso de que exista exposición de seres humanos.

Las quebradas seleccionadas para el trabajo de graduación han presentado una poca capacidad hidráulica en algunos de los eventos descritos en los antecedentes de este Capítulo en donde se describe como los deslizamientos o lahares recorrieron largos tramos de las quebradas, acumulando material hasta superar la capacidad de éstas, desbordándose, causando inundaciones, obstrucción de vías y daños a infraestructura hasta llegar a su respectiva zona de depósito.

Con el fin de conocer las características existentes y predecir el comportamiento de los lahares en ellas, es necesario el conocimiento de la topografía actual y cómo ha sido su variación en el tiempo, obtener las secciones del canal y realizar la modelación en un programa de hidráulica de libre acceso como el HEC-RAS, con el fin de conocer la capacidad hidráulica de los canales de drenaje.

En los análisis hidrológicos e hidráulicos debe contarse con las curvas de nivel actualizadas de cada año o después de cada evento hidrometeorológico, sin embargo, estos estudios se continúan realizando con levantamientos topográficos tradicional o topografía desactualizada, por lo que es importante tener nuevas metodologías como la de GPS de alta precisión los cuales generan

un resultado similar pero se obtienen en una menor cantidad de tiempo y comprobar la importancia de la topografía actualizada en los modelos hidráulicos. Además, las alteraciones antropogénicas pueden generar cambios en la capacidad hidráulica de las quebradas, causando desbordamientos, cambios de dirección en las escorrentías y hasta daños a infraestructura ocupacional o vial, incrementando así la vulnerabilidad.

Los datos obtenidos del GPS son datos de entrada que definen las secciones a utilizar en los modelos hidráulicos. Adicionalmente la actualización y comparación de la topografía junto con los modelos resultantes serán determinantes para que las autoridades pertinentes puedan definir metodologías del uso de nueva tecnología como son los GPS de alta precisión y su aplicación en zonas vulnerables a desastres naturales con el fin de incrementar criterios de análisis en las tomas de decisiones y evitar pérdidas humanas y materiales.

1.8 Metodología de investigación

Para llevar a cabo nuestra investigación se seleccionaron 3 quebradas: El Arenal en Mejicanos, Buenos Aires en Santa Tecla y las Lajas en Colonia Escalón, todas en la zona del volcán de San Salvador que presentan antecedentes de flujos de escombros registrados. La presente investigación será de utilidad al momento de la toma de decisiones dentro de la planificación del territorio del AMSS a través de la Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador. Asimismo,

será socializada a otros actores de importancia en el territorio como ANDA, MOP y MARN. Dentro de las actividades a realizar en esta investigación son:

- Marco teórico

Se iniciará con la investigación teórica en la cual se describirán los diferentes eventos históricos de flujos de escombros que ocurrieron en las quebradas de interés y que han afectado la topografía de estas, además del desarrollo urbanístico que han sufrido hasta la actualidad. Se dará a conocer como se ha desarrollado la topografía en El Salvador hasta la actualidad y también se presenta una introducción al programa de modelación hidráulica HEC-RAS

- Definición de los datos para el análisis hidráulico

- Metodología para la obtención de datos

Se realizará una investigación teórica para obtener curvas de nivel actualizadas que hay hasta la fecha que se encuentran en posesión de instituciones como el Ministerio de Obras Públicas (MOP). El Centro Nacional de Registro (CNR) y al Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

La investigación en campo consistirá en levantamientos topográficos en las quebradas El Arenal en Mejicanos, Buenos Aires en Santa Tecla y las Lajas en Colonia Escalón, para la obtención de las curvas de nivel actuales mediante la aplicación del dispositivo GPS Carlson, de alta precisión, con su respectivo programa llamado Carlson Survey GNSS.

- Análisis de los datos obtenidos de la investigación de campo

Con los datos obtenidos de los levantamientos topográficos se definirán las características geométricas de la cuenca, los relieves, la geología, vegetación, elevaciones, el uso de suelos y otros parámetros que servirán para la modelación hidráulica de las quebradas de interés: El Arenal en Mejicanos, Buenos Aires en Santa Tecla y las Lajas en Colonia Escalón.

- Modelación hidráulica de las quebradas

Una vez realizada la investigación teórica y de campo se procederá a la modelación hidráulica de las quebradas El Arenal en Mejicanos, Buenos Aires en Santa Tecla y las Lajas en Colonia Escalón mediante el software HEC-RAS, utilizando como dato la topografía existente en las instituciones antes mencionadas. Seguidamente se realizará la modelación hidráulica de dichas quebradas con los datos obtenidos en campo y se espera sean más representativos de la situación actual en la zona alrededor del volcán de San Salvador.

- Conclusiones y Recomendaciones

Con ambas modelaciones se hará un análisis comparativo de resultados para comprender la importancia de actualizar las curvas de nivel del país de manera regular, y como afecta el desfase de datos existentes en las proyecciones a futuro sobre edificaciones o viviendas en la zona del volcán de San Salvador expuesta a eventos de flujos de escombros.

Con el fin de colaborar con ideas complementarias a la investigación actual, se presentarán sugerencias respecto a la forma de mejorar los métodos de

investigación, análisis y modelación hidráulica en base a los resultados obtenidos.

CAPITULO 2: MARCO TÉORICO

A continuación, se describe como diferentes fenómenos naturales han afectado a nuestro país especialmente en zonas urbanizadas, con el fin de proponer un desarrollo urbano y control territorial se creó La Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador (OPAMSS).

Algunos fenómenos naturales que han afectado al país están relacionados con los movimientos de ladera, dentro de los cuales destacamos los flujos de escombros que se desarrollan en el cauce de ríos o quebradas, para su comprensión se realiza análisis de tipo hidráulico con el uso del software HEC-RAS donde es necesario introducir datos geométricos de la zona, por lo que se requiere de actualizaciones topográficas constantes mediante levantamientos topográficos que deben estar georreferenciados, para lo cual se cuenta con una red geodésica nacional, no obstante los avances tecnológicos actual facilita el proceso de georreferenciación y levantamiento topográfico con el uso de dispositivos GPS.

2.1 Sistemas de Posicionamiento y Navegación Satelital

2.1.1 Generalidades

Luego de haberse demostrado la existencia de las ondas electromagnéticas a principios del siglo XX, se dieron los primeros pasos para la radionavegación como ciencia para definir o dirigir el curso del movimiento de un barco o aeronave usando señales de radio emitidas desde la Tierra. Con el fin de conseguir mayor

y mejor cobertura, se empezaron a utilizar los satélites artificiales. La marina de los Estados Unidos de América desarrolló un sistema de radionavegación satelital con un error de 500 metros y sin cobertura continua ni global; a partir de estos resultados las fuerzas armadas de Estados Unidos comenzaron a desarrollar, en 1988, un sistema de posicionamiento global (Global Position System, GPS) el cual se mantiene actualmente en operación, con cobertura global y con error de 15 metros. En 1996 Rusia desarrolló su propio sistema basado en los principios del GPS con el nombre de GLONASS²⁷.

Los sistemas de posicionamiento global tipo GPS y GLONASS basan su funcionamiento en la medición de las distancias desde un receptor con respecto a un conjunto de satélites cuya posición se debe conocer en todo momento con exactitud. Para determinar la posición exacta de un objeto fijo o móvil se mide el tiempo en que las señales radioeléctricas emitidas por los satélites tardan en llegar a la Tierra; el margen de error se debe a que el reloj del receptor no está sincronizado con los relojes de los satélites²⁸.

2.1.2 El Sistema GPS

El fundamento del GPS se basa en determinar la posición del receptor móvil

²⁷ "Sistemas de Posicionamiento global y Navegación Satelital", Carlos Fernando Valera, Revista de tecnología, http://m.uelbosque.edu.co/sites/default/files/publicaciones/revistas/revista_tecnologia/volumen2_numero2/sistemas_posicionamiento2-2.pdf, Mayo 2017, p. 10-11

²⁸ "Sistemas de Posicionamiento Global", p. 11

con respecto al satélite. Recordando que se conoce la posición y trayectoria del satélite en todo momento, la posición del móvil se calcula como una diferencia:

$$R = R_s - R_r \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Donde:

R : Posición del móvil

R_s : Posición del satélite

R_r : Posición del receptor GPS con respecto al satélite

Para determinar R_r el satélite transmite dos señales de bajo poder, denominadas $L1$ y $L2$ moduladas con un código para la determinación de la distancia y un mensaje de navegación. Para aplicaciones civiles se usa la frecuencia $L1$ de 1575.42 MHz en la banda Frecuencia Ultra Alta (Ultra High Frequency, UHF). Como el reloj del receptor no está sincronizado con el del transmisor del satélite, cada medida de distancia contiene un error²⁹. (Ver Figura 2.1.1)

²⁹ "Sistema Geodésico Mundial WGS-1984" Ing. Wilfredo Amaya Zelaya, Corporación Centroamericana de Servicios de Navegación Aérea, Instituto Centro Americano de Capacitación Aeronáutica (ICCAE), p. 78-80; "Sistemas de Posicionamiento Global", p. 11-12.

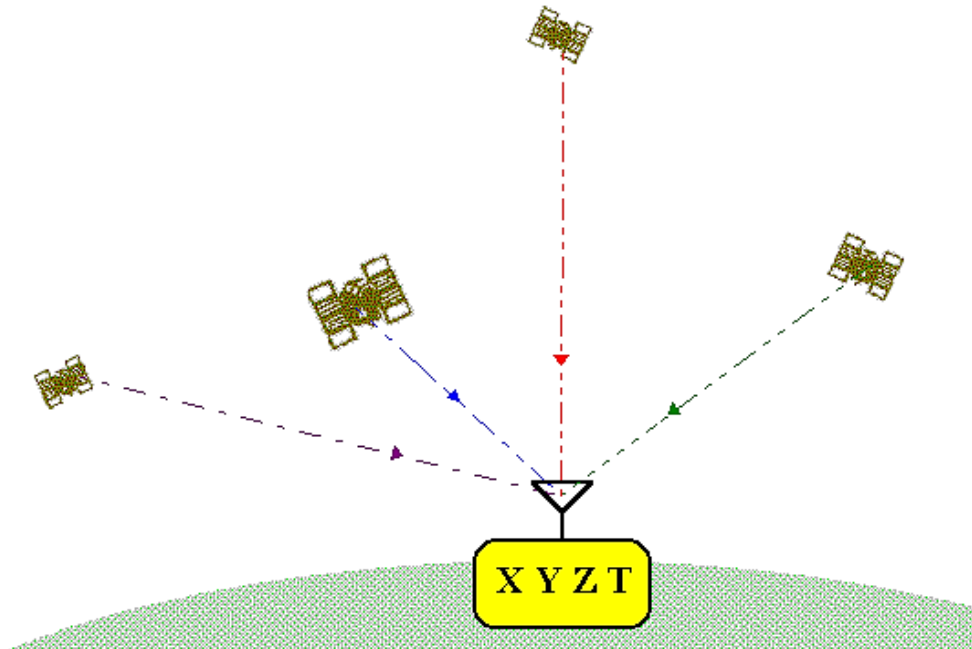


Figura 2.1.1 Cuatro satélites son utilizados para obtener la posición en las tres dimensiones (X, Y, Z) y el tiempo (T).

Fuente: Sistemas de Posicionamiento global y Navegación Satelital.

El sistema GPS está formado por tres segmentos:

Segmento Espacial del GPS:

Compuesto por 21 satélites operacionales y 3 de reserva (El número exacto de satélites varía en función de los satélites que se retiran cuando ha transcurrido su vida útil). Estos satélites se mueven constantemente completando dos órbitas en 24 horas, funcionando con energía solar, una batería de emergencia en caso

de eclipse solar y un pequeño motor de cohete que los mantiene navegando en sus órbitas correctas³⁰.

Segmento de Tierra o de Control del GPS:

Consta de las estaciones en tierra, encargadas de hacer el seguimiento de los satélites para supervisión, sincronización y corrección de fallas. La estación de control maestra está ubicada en el centro de operaciones espaciales de la base aérea de Falcon (Colorado Spring) en los Estados Unidos y las demás estaciones monitoras están localizadas en las islas de Ascensión, Hawai, Diego García, entre otras³¹.

Segmento de los usuarios del GPS:

Los receptores para los usuarios se pueden clasificar en tres tipos:

- 1) Receptores paralelos: Utiliza un canal para recibir la señal de cada satélite simultáneamente, utilizado en móviles dinámicos como los aviones.
- 2) Receptor secuencial: Puede tener un solo canal programado para extraer la medida del mejor satélite a su alcance, recibiendo las señales de los satélites uno tras otro. Por lo tanto su precisión será suficiente sólo si el usuario no se mueve en absoluto.
- 3) Receptor multiplex: Reciben las señales de los satélites a través de un

³⁰ "Sistema GNSS (Global Navigation Satellite System)", David Abelardo García Álvarez, PROYECTO FIN DE CARRERA, Universidad Autónoma de Madrid, Enero 2008, <http://arantxa.ii.uam.es/~jms/pfcsteleco/lecturas/20080125DavidGarcia.pdf>, Abril 2017, p. 6-7; "Sistema de Posicionamiento Mundial", p. 12-13;"Sistema Geodésico Mundial WGS-1984", p. 75-80.

³¹ "Sistema de Posicionamiento Mundial", p. 13-14;"Sistema Geodésico Mundial WGS-1984", p. 81-84; "Sistema GNSS (Global Navigation Satellite System)", p.7-8.

canal Hardware que se conmuta a gran velocidad para mantener el seguimiento del usuario y de la señal.

2.1.3 El Sistema DGPS (Differential GPS)

Corrige los errores intrínsecos del GPS, que son debidos a los relojes de los satélites, sus órbitas y a la atmósfera. Para que el sistema funcione es necesario tener un segundo receptor fijo de GPS cuya posición sea conocida de antemano. Este segundo receptor calcula su posición con respecto a los satélites y la compara con la que tiene en memoria, siendo la diferencia entre las dos la corrección a la señal GPS. Como los errores varían en el tiempo, es necesario que los dos receptores trabajen simultáneamente: el receptor de referencia o base monitorea el error continuamente y lo transmite al receptor móvil que aplica el factor de corrección a la medida que recibe de los satélites³².

Cabe mencionar que a los métodos para mejorar el margen de error de los GPS se les conocen como aumentaciones, que son aplicados a los sistemas de navegación GPS.

2.1.4 El Sistema GLONASS

Este sistema es la contraparte de la Federación de Rusia al sistema GPS estadounidense, está basado en los mismos principios para la transmisión de datos y el cálculo de la posición.

En la actualidad los receptores GPS + GLONASS pueden recibir la información

³² "Sistema de posicionamiento mundial", p. 16

de diez o más satélites de tal modo que la integración de ambas señales determina una mayor precisión y calidad de resultados³³.

2.1.5 El Sistema Galileo

El sistema Galileo tiene su origen en Europa, está basado en los mismos principios que el GPS y se espera esté en funcionamiento en el año 2020. Galileo contará con treinta satélites en órbita que proporcionarán información de posicionamiento con precisión. Los satélites se manejarán y controlarán desde varias ubicaciones terrestres para garantizar su correcto funcionamiento. La configuración de Galileo ofrecerá una cobertura continua de toda la Tierra, y cualquier punto dado estará cubierto por entre seis y ocho satélites en todo momento. Galileo será compatible tanto con el sistema GPS estadounidense como con el sistema GLONASS ruso³⁴.

2.1.6 El Sistema de Navegación por Satélite

También conocido como Sistema GNSS, consiste en receptores con canales que les permiten realizar un seguimiento de las señales GPS, GLONASS y el reciente Galileo simultáneamente. El rastreo de las señales satelitales para el cálculo de las coordenadas de la posición en un sistema de referencia seleccionado, puede ser efectuado en tiempo real. Está basado en satélites artificiales que pueden proporcionar a los usuarios información sobre la posición y la hora con gran

³³ "Sistema de posicionamiento mundial", p. 18-19

³⁴ "Sistema de Posicionamiento Mundial", p. 25-26

precisión, en cualquier parte del mundo.

El fundamento del GNSS radica en un receptor GPS fijo en la Tierra con una posición de referencia conocida, con la cual compara la información recibida por el GPS y calcula así el error. Este receptor transmite la corrección de errores a los receptores próximos a él, y así estos pueden a su vez, corregir los errores producidos por el sistema dentro del área de cobertura de transmisión de señales del equipo GPS de referencia.

Los GNSS tienen una estructura claramente definida, que se divide en tres segmentos:

Segmento Espacial:

Es el compuesto por los satélites de navegación que orbitan la tierra y por los de comunicación que sirven para la corrección de errores de posicionamiento.

Segmento de Control:

Es el conjunto de estaciones en la Tierra que recogen la información de los satélites.

Segmento de Usuario:

Equipos que reciben las señales que proceden del segmento espacial y calculan la posición. Consta de dos componentes:

- 1) Antena receptora

2) Receptor

2.1.7 Equipo GPS para la **medición** de la topografía actual en la presente investigación.

Para la toma de datos topográficos en la presente investigación, se utiliza el dispositivo de GPS potenciado por la poderosa constelación dual de GNSS y doble frecuencia Placa OEM Eclipse TM II, el S320 es adecuado para SIG (Sistema de Información Geográfica), mapeo, topografía y construcción.

El S320 es un sistema integrado de reconocimiento y mapeo GNSS para la recopilación de datos móviles, proporciona precisión DGPS, mediante las correcciones de los datos recibidos de los satélites GPS.

El equipo utilizado para las mediciones de las quebradas es el siguiente (Ver Figura 2.1.2):

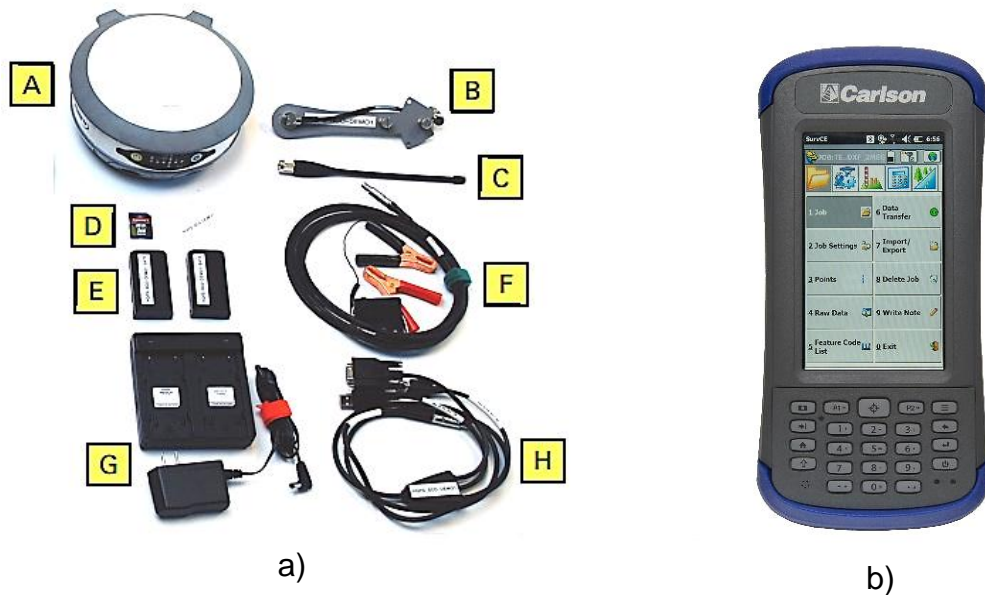


Figura 2.1.2 Kit Receptor GNSS S320. b) Mini colector de datos CARLSON

Fuente: Adaptación de S320 GNSS Survey Receiver User Guide – Manual de usuario

Donde:

A: Dos receptores GNSS modelo S320

B: Adaptador de antena

C: Antena

D: Tarjeta SD

E: Baterías

F: Cable de alimentación eléctrica

G: Cargador de baterías

H: Cable de datos, conexión USB

Mini Colector de Datos CARLSON

Según las especificaciones de precisión horizontal del GPS utilizados para los levantamientos topográficos de la presente investigación, el sistema RTK, utiliza un solo receptor como estación base y un número determinado de unidades móviles. La estación base retransmite la fase del portador que hace mediciones, y las unidades móviles comparan sus propias medidas de fase con las que está recibiendo la estación base. Se tiene que el radio de error RMS que proporciona un 67% de probabilidad de que las medidas estén en el radio especificado es de 10 milímetros más una parte por millón y 2DRMS que proporciona dos veces el error medio cuadrático en distancia es de 20 milímetros más 2 partes por millón.

Ver figura 2.1.3

Artículo	Descripción	
	RMS (67%)	2DRMS (95%)
RTK ^{2,3}	10 mm + 1 ppm	20 mm + 2 ppm
Servicios de banda-L de alta precisión ^{2,4}	0,1 m	0,2 m
SBAS (WAAS) ²	0,3 m	0,6 m
Autónomo, sin SA ²	1,2 m	2,5 m

Figura 2.1.3 Especificaciones de precisión horizontal.

Fuente: Tabla B-3 Horizontal accuracy specifications S320 GNSS Survey Receiver – Manual del Usuario.

En nuestro país por medio de Equipo Satelital se estableció la primera red geodésica del país. A continuación se detalla la historia, desarrollo y avances de la geodesia en El Salvador.

2.2 Historia de la Geodesia en El Salvador

2.2.1 Geodesia

Es la ciencia que estudia la forma y tamaño de la tierra y las posiciones sobre la misma. Comúnmente se cree que la tierra tiene una forma esférica, pero en realidad esta se asemeja a un elipsoide o esferoide, pero debido a las irregularidades en el material y la densidad la tierra y movimiento del manto terrestre, no se representará a la tierra como una figura regular por lo que se utiliza un Geoide el cual se define como una superficie en la que todos los puntos experimentan la misma atracción gravitatoria, que es igual a la experimentada al nivel del mar. Ver figura 2.2.1.

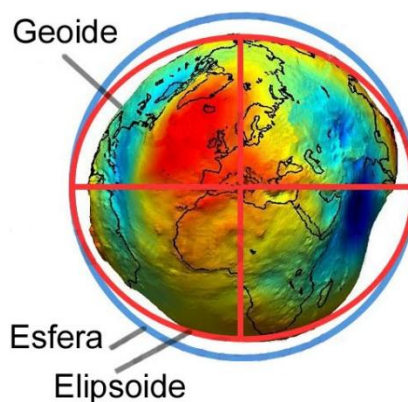


Figura 2.2.1 Comparación entre elipsoide-geoide y esfera

Fuente: Imagen de internet <http://www.albireotopografia.es>

Debido a las irregularidades se utilizan diferentes modelos de elipsoides de referencia para la representación de la superficie de la tierra en un plano que son conocidos por el nombre de su autor, la razón de tener diferentes elipsoides de referencia es que ninguno puede adaptarse completamente al geoide por lo que estos son adaptados a regiones específicas de la tierra, por lo que se utilizan dependiendo del país³⁵.

2.2.2 Geodesia en El Salvador

A lo largo de la historia, se ha buscado recabar información acerca de la extensión y forma del Territorio Nacional; lo que llevó a que en la década de los 50's y 60's se crearan las primeras redes Geodésicas en el país con aproximadamente 1500 puntos³⁶.

En 1946 con la ayuda de la Oficina de Mapas del Ejército (Defense Mapping Agency, DMA) de Los Estados Unidos de América y el Servicio Geodésico Interamericano (Inter-American Geodesy Survey, IAGS), se iniciaron los trabajos de medición y de establecimiento de las Redes Geodésicas Horizontales³⁷.

La primera Red Geodésica Nacional fue constituida por tres arcos principales de triangulación: Arco Norte, Central y Costero, vinculándolos con puntos en

³⁵ "Cartografía y Geodesia. Sistemas de Proyección" http://www.um.es/geograf/sigmur/temariohtml/node5_tf.html, septiembre 2017

³⁶ "Reseña Histórica de la Geodesia en El Salvador", Ing. Wilfredo Amaya, CENTRO NACIONAL DE REGISTROS, INSTITUTO GEOGRÁFICO Y DEL CATASTRO NACIONAL, p.1

³⁷ "Reseña Histórica de la Geodesia en El Salvador", p. 1

Guatemala y Honduras. Estas redes tenían líneas bases de 20 a 70 km, de donde se derivan cadenas de segundo y tercer orden³⁸. Ver figura 2.2.2.

Esta primera red contaba con de 1500 puntos, 160 líneas de nivelación y más de 3000 bancos de marca³⁹. Ver Figura 2.2.3.

³⁸ "Reseña Histórica de la Geodesia en El Salvador", p. 1

³⁹ "Reseña Histórica de la Geodesia en El Salvador", p. 1

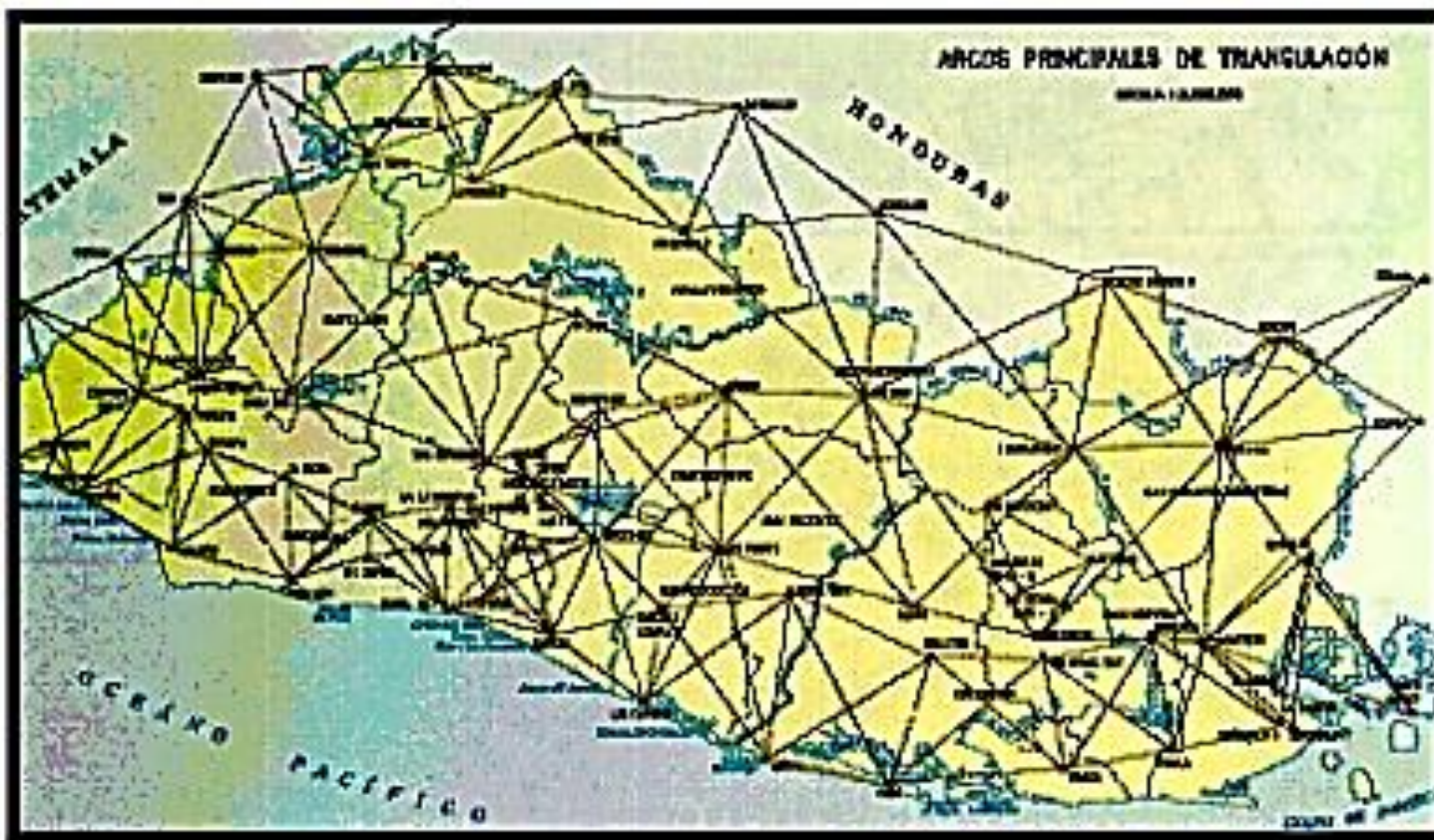


Figura 2.2.2 Triangulación principal para la creación de la primera Red Geodésica de El Salvador

Fuente: Geodesia CENTRO NACIONAL DE REGISTROS, INSTITUTO GEOGRÁFICO Y DEL CATASTRO NACIONAL "Reseña Histórica de la Geodesia en El Salvador" por Ing. Wilfredo Amaya

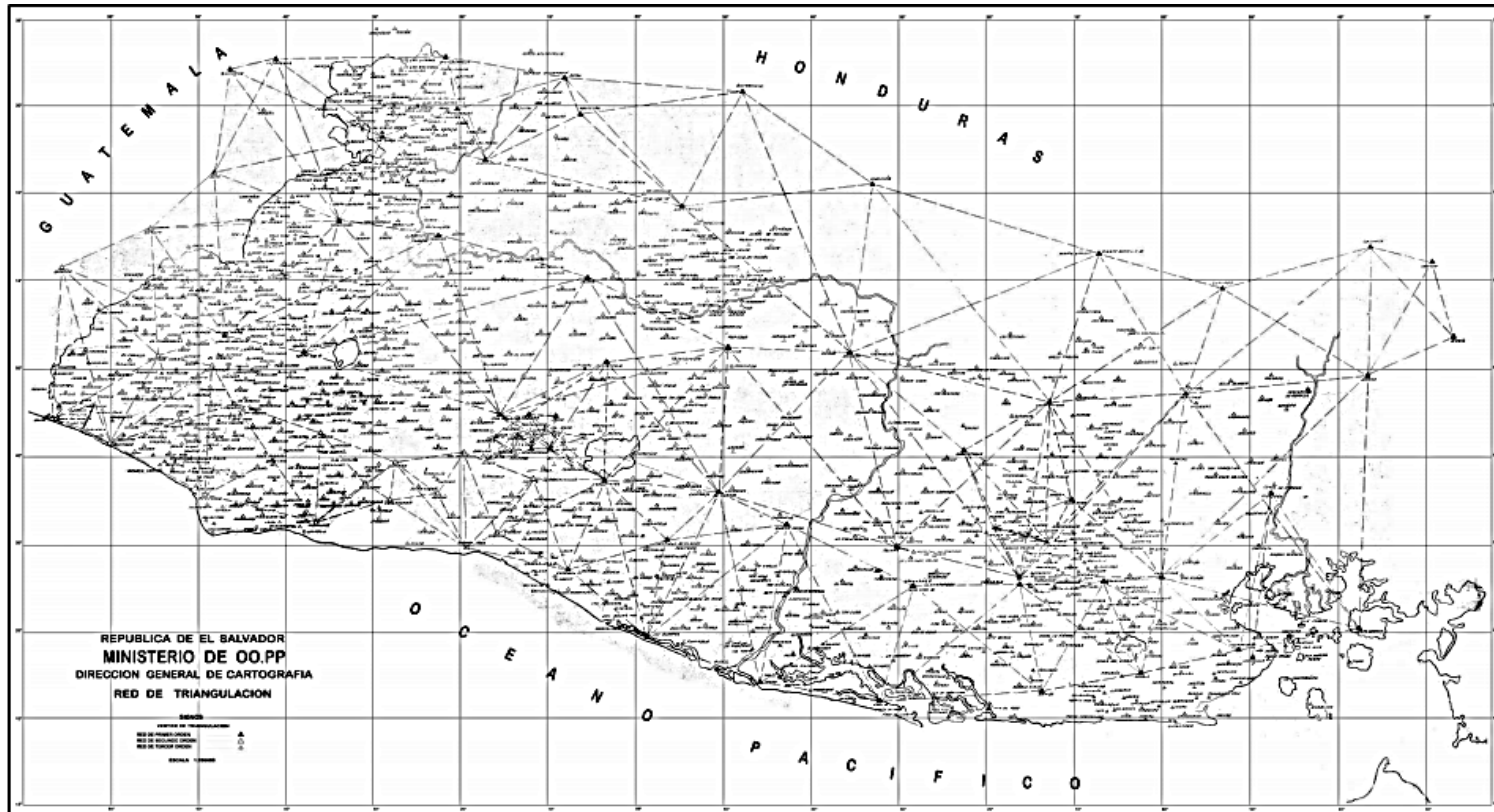


Figura 2.2.3 Mapa de la primera Red Geodésica de El Salvador

Fuente: Geodesia CENTRO NACIONAL DE REGISTROS, INSTITUTO GEOGRÁFICO Y DEL CATASTRO NACIONAL “Reseña Histórica de la Geodesia en El Salvador” por Ing. Wilfredo Amaya

A mediados de la década de los 90 se inició por parte del Centro Nacional de Registro (CNR) y el Instituto Geográfico Nacional (IGN) un proyecto para establecer la Primera Red Geodésica de Primer Orden con Equipo Satelital (GPS), con referencia al Sistema Geodésico (WGS-84). El WGS-84 es un sistema de coordenadas cartográficas mundial que permite localizar cualquier punto de la Tierra (sin necesitar otro de referencia) por medio de tres unidades dadas. WGS son las siglas en inglés de World Geodetic System 1984 (Sistema Geodésico Global de 1984) que fue desarrollado por los Estados Unidos²⁷. Esta red Principal se subdivide en (Ver figura 2.2.4 y 2.2.5):

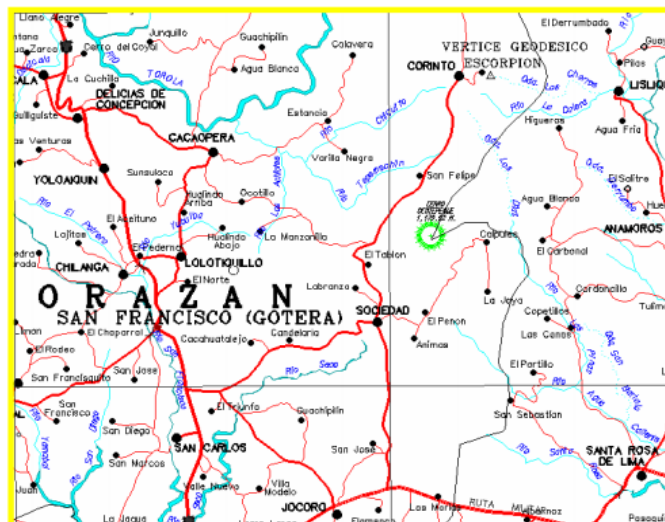


Figura 2.2.4 Ubicación del Vértice Geodésico “Escorpión”.

Fuente: Geodesia CENTRO NACIONAL DE REGISTROS, INSTITUTO GEOGRÁFICO Y DEL CATASTRO NACIONAL “Reseña Histórica de la Geodesia en El Salvador” por Ing. Wilfredo Amaya

²⁷ “Reseña Histórica de la Geodesia en El Salvador”, p. 2

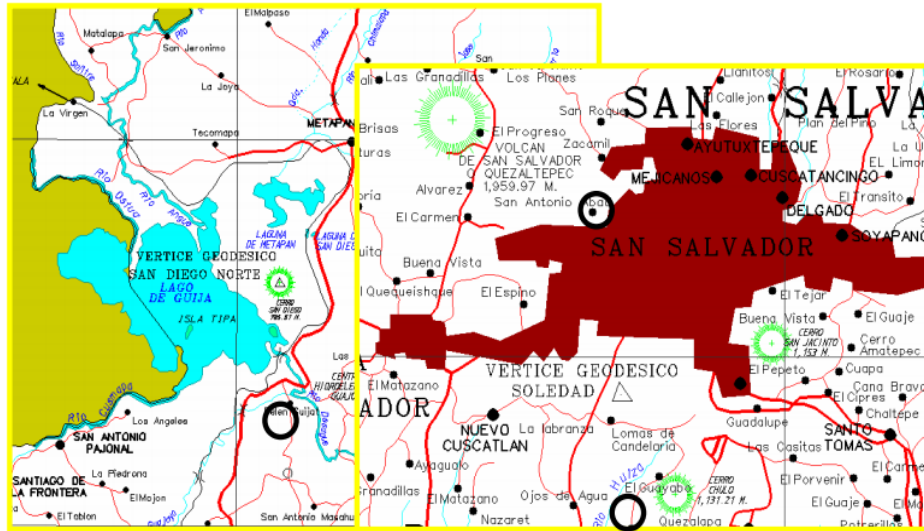


Figura 2.2.5 Ubicación de los Vértices geodésicos “San Diego Norte” Y “Soledad”

Fuente: Geodesia CENTRO NACIONAL DE REGISTROS, INSTITUTO GEOGRÁFICO Y DEL CATASTRO NACIONAL “Reseña Histórica de la Geodesia en El Salvador” por Ing. Wilfredo Amaya

RED DE REFERENCIA SALVADOREÑA (RRS): Está compuesta por:

- Soledad: Ubicado en Colonia La Cima en San Salvador.
- Escorpión: Ubicado en el Municipio de Corinto, Morazán.
- San Diego Norte: Ubicado en el Municipio de Metapán, Santa Ana

El proceso para la obtención de la ubicación de cada vértice se realizó en 1998; se efectuaron observaciones de ocho horas durante nueve días. Los cálculos para la determinación de dichos vértices estuvieron a cargo de National Imagery and Mapping Agency (NIMA). Basados en estaciones de GPS con operación continua (Estaciones de Referencia de Operación Continua, CORS) como: GALA (Isla Galápagos), BOGT (Bogotá Colombia) y MDO1 (McDonalds1, Estados Unidos). El amarre de estos tres vértices se les conoce como: Gran Triángulo²⁸.

2.2.3 Estaciones CORS

Las estaciones CORS; son estaciones GPS que están rastreando información satelital las veinticuatro horas del día de forma continua durante todo el año, ubicadas estratégicamente en todo el mundo (Ver figura 2.2.7 a). La actualización de las coordenadas del Sistema WGS-84 se hace por medio “El Sistema Internacional Earth Rotation Service Terrestrial Reference Frame 2 000”; que calcula la velocidad de la Corteza Terrestre y los Desplazamientos de Las Placas Tectónica. La estación CORS de El Salvador llamada “San Salvador Ilopango Airport” (SSIA)” (Ver Figura 2.2.6 Y 2.2.7 b); está ubicada en el Aeropuerto de Ilopango, como parte de la Red de Referencia Salvadoreña²⁹.

²⁸ “Reseña Histórica de la Geodesia en El Salvador”, p. 4

²⁹ “Reseña Histórica de la Geodesia en El Salvador”, p. 4

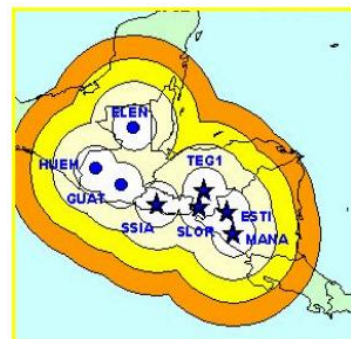


Figura 2.2.6 Estación CORS (San Salvador Ilopango Airport, SSIA)

Fuente: CENTRO NACIONAL DE REGISTROS, INSTITUTO GEOGRÁFICO Y DEL CATASTRO NACIONAL “Reseña Histórica de la Geodesia en El Salvador” por Ing. Wilfredo Amaya



a) Estaciones de CORS en El Mundo



b) Estaciones de CORS en Centroamérica

Figura 2.2.7 Ubicación de estaciones GPS de CORS.

Fuente: Geodesia CENTRO NACIONAL DE REGISTROS, INSTITUTO GEOGRÁFICO Y DEL CATASTRO NACIONAL “Reseña Histórica de la Geodesia en El Salvador” por Ing. Wilfredo Amaya

Red Geodésica Básica GPS

Esta red está formada por dieciséis vértices (Ver Figura 2.2.8), con ocho horas de observación cada uno y cubren la totalidad del territorio nacional.

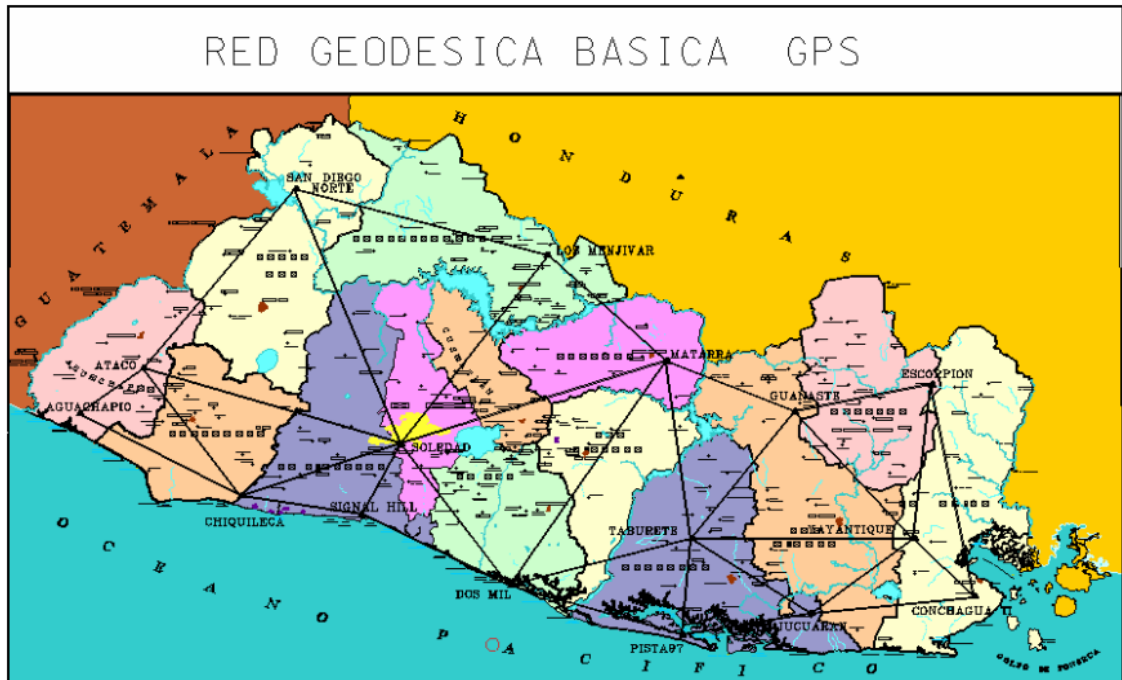


Figura 2.2.8 Red Geodésica Básica GPS.

Fuente: Geodesia CENTRO NACIONAL DE REGISTROS, INSTITUTO GEOGRÁFICO Y DEL CATASTRO NACIONAL “Reseña Histórica de la Geodesia en El Salvador” por Ing. Wilfredo Amaya.

La Red Geodésica Basic GPS es el resultado del Sistema Internacional Earth Rotation Service Terrestrial Reference Frame 1997 (ITRF), esta red se creó en 1998 con equipos GPS de doble frecuencia y amarradas a las posiciones WGS-84. De esta forma se establecieron las coordenadas de la nueva red Geodésica

con el sistema WGS-84, con las coordenadas de latitud, longitud y elevación. Además se convirtieron a coordenadas planas (x, y) utilizando el sistema de proyección Cónica Conformal de Lambert³⁰.

Los vértices de la Red Geodésica Básica son: San Diego Norte, Ataco, Aguachapio, Chiquileca, Signal Hill, Soledad, Los Menjivar, Dos Mil, Matarra, Pista 97, Taburete, Jucuaran, Guanaste, Yayantique, Conchagua y Escorpión.

Red de Densificación Salvadoreña

La Red Básica se utilizó para la densificación de los Departamentos, utilizando líneas bases de 10 a 15 kilómetros, y cuya información es la base geodésica para comenzar con el Proyecto de Modernización del Catastro Nacional³¹.

A la fecha se tienen densificadas las redes de los departamentos de Santa Ana, Ahuachapán, Sonsonate, San Salvador, La Libertad, La Paz, San Vicente, Usulután, La unión y Cuscatlán; estando actualmente en el departamento de Chalatenango³².

Para fines topográficos a cada vértice se le asigna otro vértice, llamado Marca de Azimut (MKZ); el cual sirve de amarre y orientación en levantamientos tradicionales³³.

³⁰ "Reseña Histórica de la Geodesia en El Salvador", p. 5

³¹ "Reseña Histórica de la Geodesia en El Salvador", p. 5

³² "Reseña Histórica de la Geodesia en El Salvador", p. 6

³³ "Reseña Histórica de la Geodesia en El Salvador", p. 6

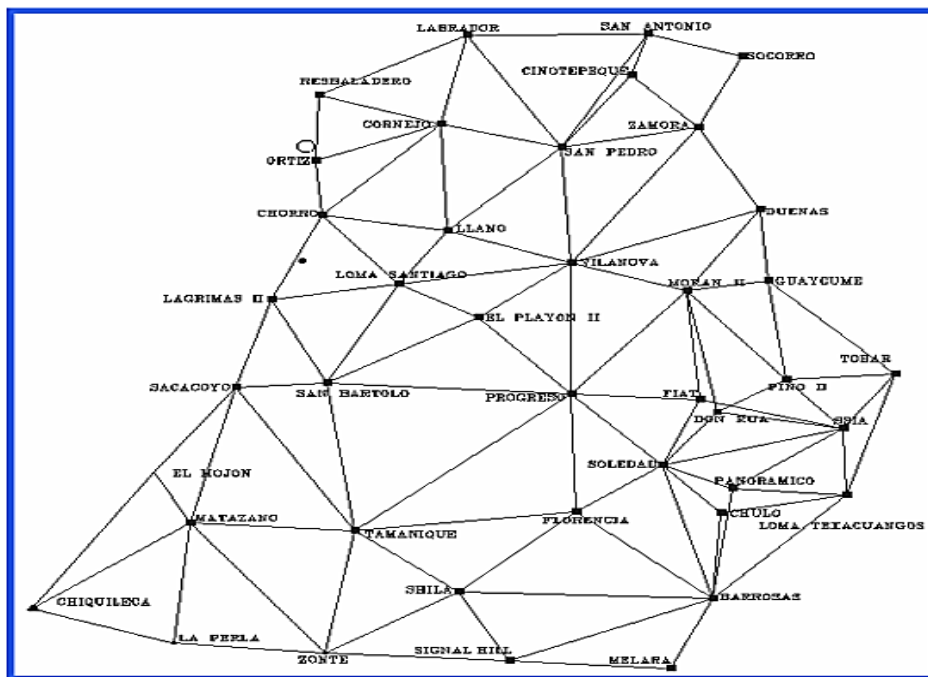


Figura 2.2.9 Red Geodésica de los Departamentos de San Salvador-La Libertad.

Fuente: CENTRO NACIONAL DE REGISTROS, INSTITUTO GEOGRÁFICO Y DEL CATASTRO NACIONAL “Reseña Histórica de la Geodesia en El Salvador” por Ing. Wilfredo Amaya.

La Geodesia en El Salvador se desarrolló junto con el crecimiento urbano a finales del siglo XX, donde la búsqueda de nuevos espacios con fines habitacionales y comerciales ha potenciado el crecimiento en el Área Metropolitana de San Salvador. En el siguiente apartado exponemos el desarrollo y crecimiento del Área Metropolitana.

2.3 Generalidades del Área Metropolitana de San Salvador (AMSS)

El Salvador al estar ubicado en el cinturón tropical no presenta grandes oscilaciones climáticas en el transcurso del año, pero es afectado por tormentas tropicales y en menor medida por huracanes ya que se encuentra en una zona cercana a la ruta de los huracanes entre el Océano Atlántico y El Mar Caribe, por lo que se tienen precipitaciones excesivas que combinado con otros factores como la geomorfología y tipos de suelos, producen inundaciones y deslizamientos. Además, al ser una zona sísmicamente activa contribuye a que se produzcan movimientos de laderas, fallos en las edificaciones e infraestructura causando impactos ambientales, pérdidas económicas y de vidas humanas.

A continuación se presentan los principales eventos climáticos y sísmicos ocurridos en El Salvador, con los que se cuenta registro y algunas de sus consecuencias:

Tabla 2.1: Fenómenos naturales ocurridos en el salvador y sus efectos		
Evento	Año	Efectos
Tormenta Tropical sin nombre	1934	Severos daños en el área rural y desbordamientos en los ríos incluyendo la zona central de San Salvador
Tormenta Tropical sin nombre	1949	Una muerte y daños a infraestructura
Francelia	1969	Estragos por inundaciones en Oriente, San Salvador, Acajutla y Usulután, daños por \$19 000 000.00, muertes y evacuaciones.
Huracán Fifi	1974	Inundaciones, daño a infraestructura,

		hundimientos de suelo y destrucción de cultivo
Terremoto*	1986	Derrumbes, movimientos de laderas, daños a infraestructura, alrededor de 1 500 muertes, un centenar de desaparecidos, 10 000 heridos y 15 000 sin hogar y trabajo.
Tormenta Tropical sin nombre	1992	551.5 Manzanas pérdidas por inundaciones
Huracán Mitch	1998	Un monto en daños de \$388.1 millones, 240 muertos, 84,005 afectados, inundaciones, daños a infraestructura y cultivos.
Keith	2000	Cuantiosas pérdidas en maíz, alrededor de 600 afectados y una muerte
Terremoto	13 de enero 2001	Deslaves de tierra, daños a la infraestructura, 827 muertes, 4 520 heridos y 1 160 316 damnificados.
Terremoto	13 de febrero 2001	Daños a la infraestructura, 322 muertes, 3 536 heridos y 372 603 damnificados.
Isidore	2002	600 Mz de cosechas perdidas, 3 000 familias damnificadas y 200 evacuados
Erupción del llamatepec	2005	Un monto en daños de \$355.8 Millones, 2 muertes, 3 desaparecidos, 10 heridos, daños a infraestructura y cultivo.
Tormenta tropical Stan	2005	Altos niveles de precipitación, Deslaves, Daños materiales, 67 muertos y 8 566 personas evacuadas.
Tormenta IDA	2009	Un monto en daños de \$ 239.19 Millones, 198 muertos, 122 000 afectados, inundaciones, daños a infraestructura y cultivos.

Tormenta Agatha	2010	Un monto en daños de \$ 112.1 Millones, 12 muertos, 120 000 afectados, inundaciones, daños a infraestructura y cultivos.
Depresión tropical 12 E	2011	Un monto en daños de \$ 902.3 Millones, 34 muertos, 500 000 afectados, inundaciones, daños a infraestructura y cultivos.

Nota: Adaptación. Fuente: Registro Histórico que han Afectado a El Salvador, Documento de SNET; Noticias Sitio Web www.20minutos.es/; Informe de situación: Terremotos en El Salvador 2001 por Cruz Roja Española

* Este fue el evento detonante de la creación del COAMSS

En el año de 1986 se forma el Consejo de Alcaldes del Área Metropolitana de San Salvador (COAMSS), debido a que los daños causados por éste fueron catastróficos, y con la finalidad de facilitar la reconstrucción de los municipios y la gestión de proyectos de manera conjunta, esta institución se constituyó legalmente el 17 de Julio de 1987 dando soporte a la Ley de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Área Metropolitana de San Salvador y Municipios Aledaños creada en Diciembre de 1993 y su reglamento en Abril 1995³⁴.

³⁴ "Historia" OPAMSS, Consultado Enero 2017, http://opamss.org.sv/index.php?option=com_content&view=article&id=9&Itemid=128

El Área Metropolitana de San Salvador (AMSS) está conformado por un total de 14 municipios (ver Figura 2.3.1), los cuales forman el territorio de la capital salvadoreña, de la información tomada del censo del año 2007 (DIGESTYC) donde también se indica que el Área Metropolitana de San Salvador cuenta con una extensión de 610.86 Km² que corresponde al 2.90 % del territorio nacional y una población 1, 566, 629 habitantes correspondiente al 27.27 % de la población nacional de ese año, teniendo una densidad poblacional aproximada de 2 565 habitantes por kilómetro cuadrado (Ver Tabla 2.2).

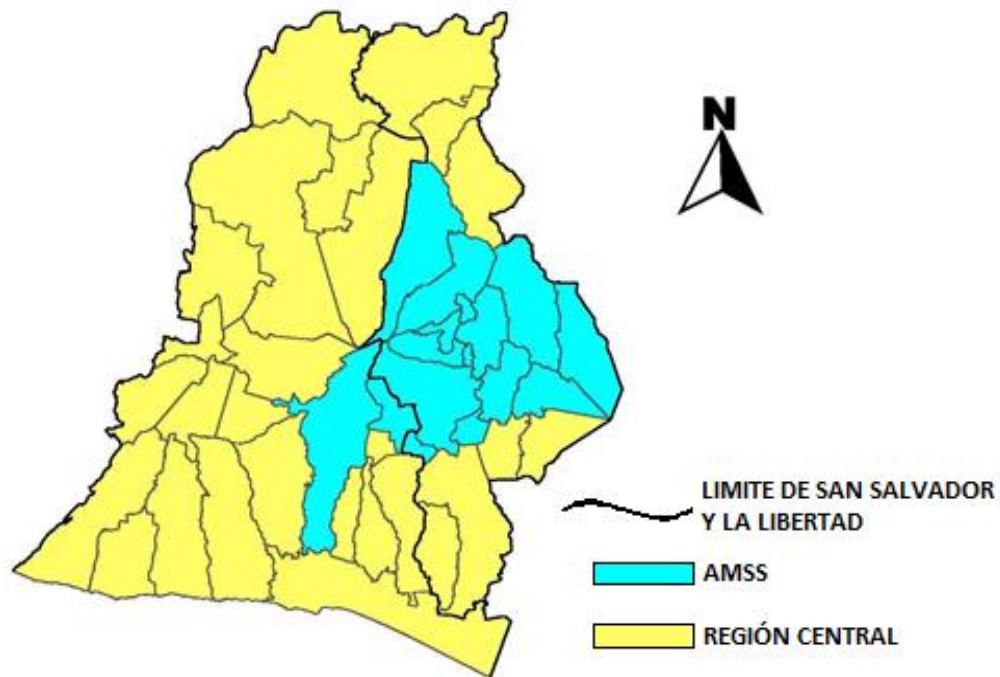


Figura 2.3.1 División administrativa de los departamentos de La Libertad y San Salvador.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa gvSIG.

Tabla 2.2: Municipios del AMSS y su población			
Municipio	Área (Km²)	Población (Habitantes)	Densidad Poblacional (Habitantes/Km²)
San Salvador	72.25	316,090	4,375
Ciudad Delgado	33.42	120,200	3,597
Mejicanos	22.12	140,751	6,363
Soyapango	29.72	241,403	8,123
Cuscatancingo	5.4	66,400	12,296
San Marcos	14.71	63,209	4,297
Ilopango	34.63	103,862	2,999
Nejapa	83.36	29,458	353
Apopa	51.84	131,286	2,533
San Martín	55.84	72,758	1,303
Tonacatepeque	67.55	90,896	1,346
Ayutuxtepeque	8.41	34,710	4,127
Santa Tecla (La Libertad)	112.2	121,908	1,087
Antiguo Cuscatlán	19.41	33,698	1,736
Total	610.86	1566,629	2,565
% del país	2.90	27.27	

Nota: Fuente: Censos de población y vivienda 2007 El Salvador

El Consejo de Alcaldes del Área Metropolitana de San Salvador, al visualizar que las municipalidades se estaban convirtiendo en una metrópoli y que los problemas que sufrían no podían resolverse de forma aislada, crea a La Oficina de Planificación del Área Metropolitana de San Salvador (OPAMSS) la cual es definida como un Ente Técnico Asesor que investiga, analiza y propone soluciones a la problemática del desarrollo urbano integral del AMSS. Luego de crearse la OPAMSS, el 18 de enero de 1994, se constituye una Institución Municipal Autónoma³⁵.

ELEVACIÓN EN LOS DEPARTAMENTOS DE SAN SALVADOR Y LA LIBERTAR

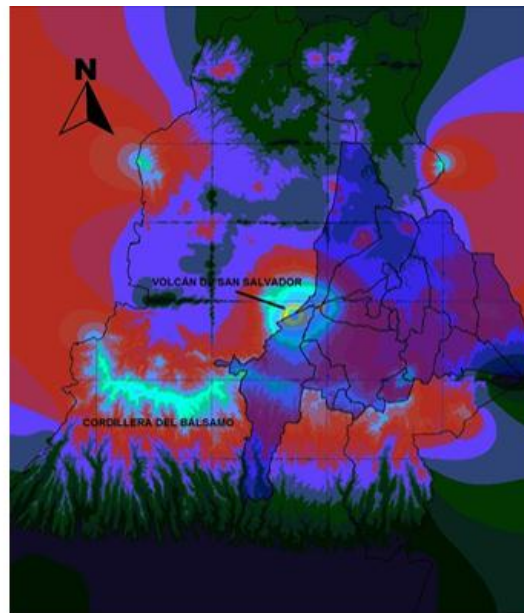
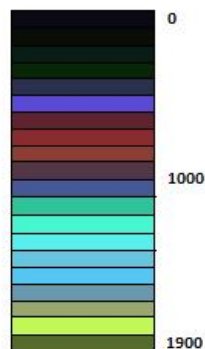


Figura 2.3.2 Morfología alrededor del Área Metropolitana de San Salvador.

Fuente: Elaboración propia basado en curvas de nivel a cada 10.00 m y uso del programa gvSIG.

³⁵ Historia de OPAMSS

Como se puede observar en la Figura 2.3.2 el AMSS, se extiende desde el Oeste en la parte alta del volcán de San Salvador, también llamada “El Boquerón” hasta el departamento de Cuscatlán, al Norte inicia en el municipio de Nejapa y termina en el Sur en el municipio de Santa Tecla, sobre la cordillera del Bálsamo, por lo que se ubica en una depresión morfológica; tomando en cuenta los factores mencionados se puede decir que el territorio del AMSS es accidentado por los cambios de elevación, que junto con la geología de la zona y las condiciones climáticas hacen que sea propenso a movimientos de laderas e inundaciones

Con la creación del COAMSS, se pretende orientar el crecimiento urbano de forma ordenada, planificada y evitar construcciones que modifiquen las zonas naturales y puedan ocasionar Movimientos de Laderas que son de gran incidencia debido a la morfología de la zona Metropolitana. A continuación se describe Los Movimientos de Ladera; su comportamiento, tipología y eventos ocurridos en el Área Metropolitana.

2.4 Movimientos de Ladera en el Área Metropolitana de San Salvador

Los movimientos de laderas gravitacionales son desplazamientos de masas de tierra donde la fuerza de gravedad supera la fuerza de tensión máxima que soporta el material, generando superficies de falla tal como se muestra en la

Figura 2.4.1 que determinan la geometría de la masa que tendrá el movimiento de ladera.

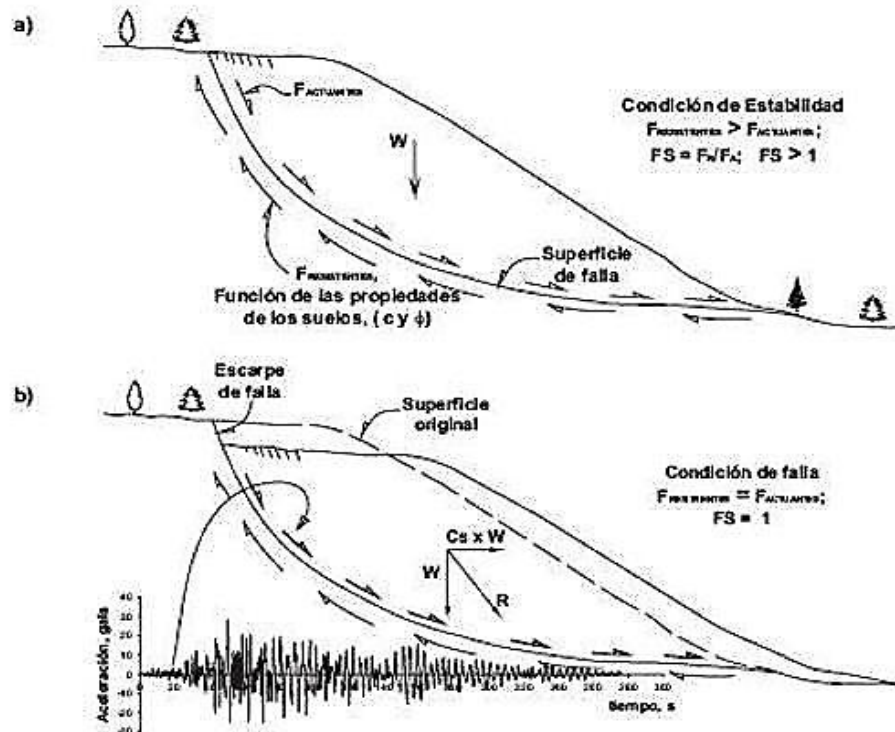


Figura 2.4.1 Fuerzas actuantes en un deslizamiento.

Fuente: Guion de Clases de Cimentaciones Ciclo I-2016 "Capítulo N° VIII ESTABILIDAD DE TALUDES" Autor Ing. Lesly E. Mendoza.

Las laderas están bajo tensión constante debido al peso del material sólido, peso del agua, cargas externas (construcciones, depósitos de materiales, etc.) y sus propiedades mecánicas inherentes, como la fuerza de cohesión. La cohesión es muy importante ya que es la fuerza que mantiene unidas las partículas del suelo,

esta se ve disminuida al aumentar la cantidad de agua en el suelo, incrementando las posibilidades de un deslizamiento o movimiento de ladera.

2.4.1 Tipos de movimientos de ladera

Existen diferentes tipos de movimientos de laderas, en el territorio del AMSS se tiene registro de los siguientes tipos:

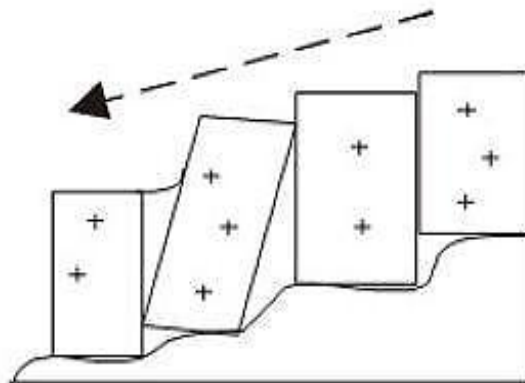
Reptación:

“Es la migración del manto de escombros o capas superficiales con un movimiento lento y a largo plazo, sucede cuando la tensión en la roca o suelo no sobrepasa el límite de solidez pero existen deformaciones” (Según el Geomorfólogo Jiri Sebesta, en su INFORME FINAL, 2007, p. 7 “Geomorfología del AMSS y su relación con los movimientos de ladera”).

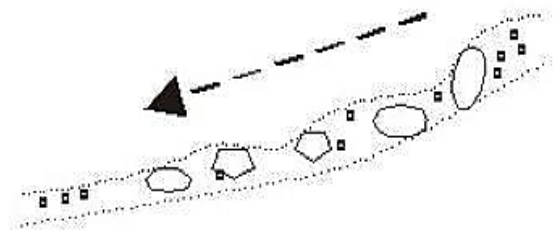
La mecánica del proceso de reptación es la de un movimiento lento y constante del suelo (mm/año o cm/año) sobre la superficie a distancias muy cortas, este movimiento es un indicio de la susceptibilidad a otros movimientos de ladera, si el suelo o roca es blando bastará con poca carga para que se de este movimiento. Los movimientos de reptación se pueden clasificar dependiendo de la profundidad a la que actúa, siendo estos:

- Reptación Superficial: Siendo movimientos lentos sobre la superficie, se deforman las capas de la superficie o se transportan los bloques sobre las laderas

- Reptación sub-superficial: Ocurre en el interior de la roca o suelo (desde algunos metros a decenas de metros) y descompone la forma de la ladera. (ver Figura 2.4.2)



a) Reptación superficial



b) Reptación sub superficial

Figura 2.4.2 Tipos de Reptación.

Fuente Geomorfología del AMSS y su relación con los movimientos de ladera
INFORME FINAL Geomorfólogo Jiri Sebesta.

Reptación en el territorio del AMSS

La reptación al ser un movimiento lento que se da en lugares donde se añade peso extra a la ladera, actualmente en el AMSS la dinámica económica-turística provoca construcciones de viviendas, restaurantes, estacionamientos, miradores y caminos en zonas frágiles no aptas para su sostenimientos y/o en el paso de quebradas que son especialmente susceptibles a los movimientos de ladera, en los casos que las construcciones estén sobre la zona de reptación estas van a

sufrir daños por el movimiento del suelo que las soporta como se muestra en la figura 2.4.2.

Deslizamiento

Se inicia cuando la tensión en la ladera se rompe en la roca o el suelo, como resultado ocurre una deformación hasta que la tensión vuelva a estar en equilibrio, este movimiento alcanza velocidades de cm/día hasta m/día, se caracteriza como un movimiento resbaladizo que puede tener uno o más planos de deslizamiento con velocidades variadas y hasta secciones de reptación³⁶.

Los deslizamientos generalmente siguen planos rotacionales, pero estos pueden cambiar a planos poligenéticos como los que se ven en la figura 2.4.3.

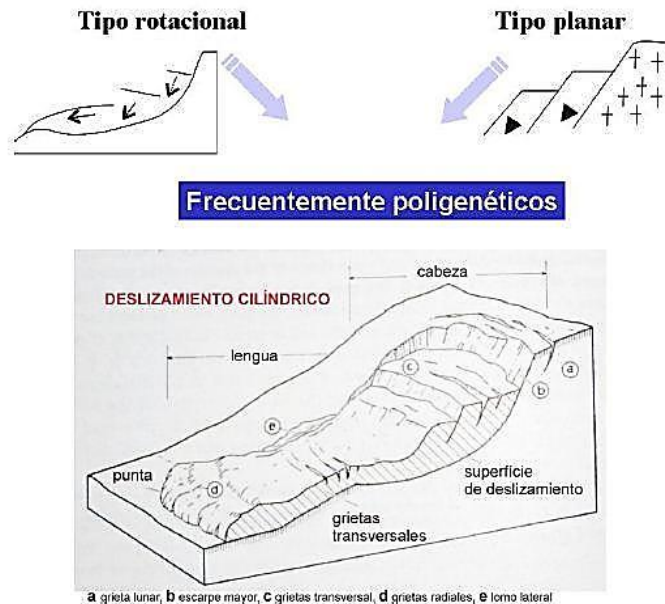


Figura 2.4.3 Tipos de deslizamiento.

³⁶ "Geomorfología del AMSS y su relación con los movimientos de ladera" Geomorfólogo Jiri Sebesta, Informe Final, p. 9.

Fuente: Geomorfología del AMSS y su relación con los movimientos de ladera
INFORME FINAL Geomorfólogo Jiri Sebesta.

Deslizamientos en el Territorio del AMSS

En el AMSS se pueden encontrar varios deslizamientos pequeños que han sido ubicados en el “INVENTARIO DE ZONAS DE DESLIZAMIENTOS UTILIZANDO SIG” realizado por la Arq. Delmy Violeta Aguilar de Consolin, cuyo resultado se muestra en la Figura 2.4.4.

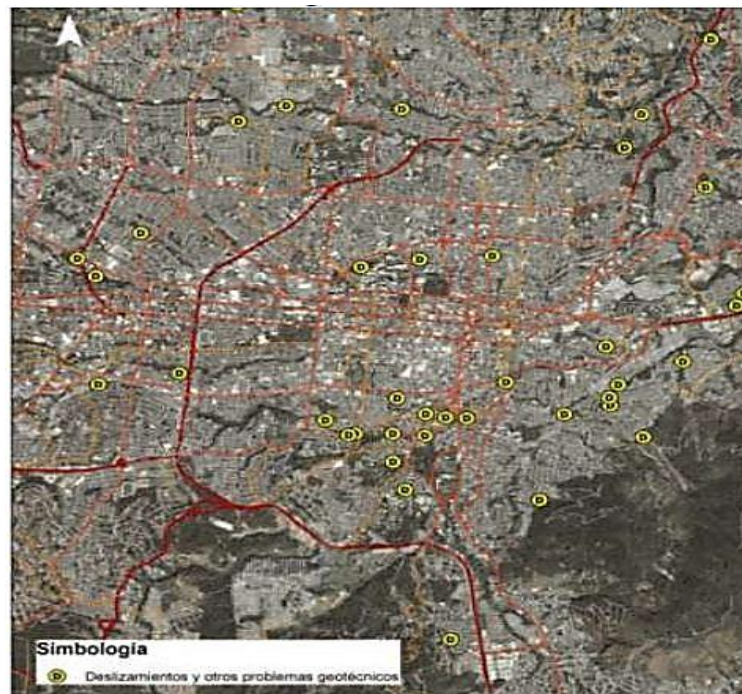


Figura 2.4.4 Mapa de Zonas vulnerables a deslizamientos dentro del AMSS

Fuente: DACGER-MOPTVDU.

En el Área Metropolitana de San Salvador también se pueden encontrar rastros de deslizamientos fósiles de tamaño moderado los cuales se ubican en las laderas del Cerro Guayacume y en el valle del Río Chilama (referencia, GEOMORFOLOGÍA DEL AMSS.Y SU RELACIÓN CON LOS MOVIMIENTOS DE LADERA, Jiri Sebesta)

Flujos de escombros (Lahares)

Se tienen varias definiciones para los flujos de escombros:

- De acuerdo a Tomutsu-Takahashi en su libro Debris flow los flujos de escombros se definen de la siguiente manera: un flujo hecho por la mezcla de sedimento y agua generado un fluido continuo por gravedad y que alcanza gran movilidad por la saturación de poros con agua o lechada.
- Según Jiri Sebesta: Los flujos de escombros o de lodos también denominados lahares en su documento (GEOMORFOLOGÍA DEL AMSS.Y SU RELACIÓN CON LOS MOVIMIENTOS DE LADERA, p. 9-10), los describe como masas de lodo, escombros y agua cuyo resultado es un material similar al concreto, son producidos cuando el agua mueve grandes cantidades de lodo, rocas o escombros, dependiendo del material el lahar se puede clasificar como Flujo de suelo (Flowage), Flujo de lodo

(Mudflow) y Flujos de detritos o de escombros (Earthflow) los cuales se muestran en la figura 2.4.5.

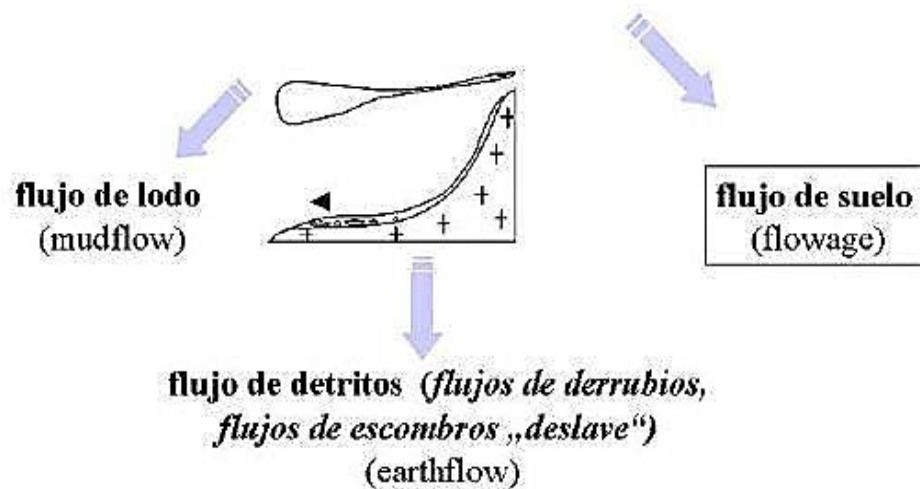


Figura 2.4.5 Flujo de escombros o de lodos.

Fuente: Geomorfología del AMSS y su relación con los movimientos de ladera
INFORME FINAL Geomorfólogo Jiri Sebesta.

Los lahares se originan de los siguientes eventos:

- Erupciones volcánicas

Movimiento del magma: Los volcanes tienen zonas con pendientes inestables al ocurrir movimientos violentos en el suelo como la expulsión del magma hacia arriba causando deformaciones y estratificando las laderas del volcán.

Escapes de agua: El agua caliente y ácida en el interior del volcán se filtra y debilita las rocas o la arcilla que se encuentra en la superficie.

- Temblores

Se originan fuerzas inerciales que superan la tensión superficial que soporta la roca o el suelo.

- Lluvias torrenciales

La fuerza de tensión disminuye por el efecto del agua y aumenta el peso de la ladera haciendo que las fuerzas gravitacionales sobrepasen la fuerza de tensión que soporta la roca o suelo.

- Explosiones de vapor

Al igual que los temblores inesperados, genera fuerzas inerciales que junto con el debilitamiento que provoca el vapor de agua en el suelo supera la fuerza de tensión que soporta el suelo.

Estos pueden empezar como deslizamientos y a medida que avanzan se convierten en lahares, el comportamiento de este evento es similar al comportamiento de corriente de agua, moviéndose en zonas como los lechos de ríos o quebradas que estos llegando a zonas de inundación y depositándose en estas; la velocidad con que se mueven pueden llegar a alcanzar decenas de kilómetros por hora, destruyendo y enterrando lo que se encuentre a su paso hasta depositarse en valles aguas abajo, estas zonas de depósito pueden alcanzar hasta decenas de metros obstruyendo el cauce del río o quebrada donde se transporta, en el caso de encontrarse con estructuras de retención o drenaje estas pueden llegar a superar su capacidad o destruirlas y desviar el curso original del cauce.

Lahares en el Territorio del AMSS

Los lahares o flujos de escombros pequeños son frecuentes en zonas como las calderas de Ilopango, y son denominados “Flowage” los cuales son torrentes de escombros superficiales (Flujos de suelo)

Los flujos de escombros mayormente conocidos han tomado lugar en las laderas del picacho y el boquerón como los ocurridos en los años 1934 y 1982.

Derrumbe

Son movimientos bruscos que ocurren en los escarpes, cuyo movimiento es principalmente el de caída libre por lo que alcanza velocidades de metros por segundo y la trayectoria puede variar dependiendo de la geomorfología del lugar³⁷. Ver figura 2.4.6.

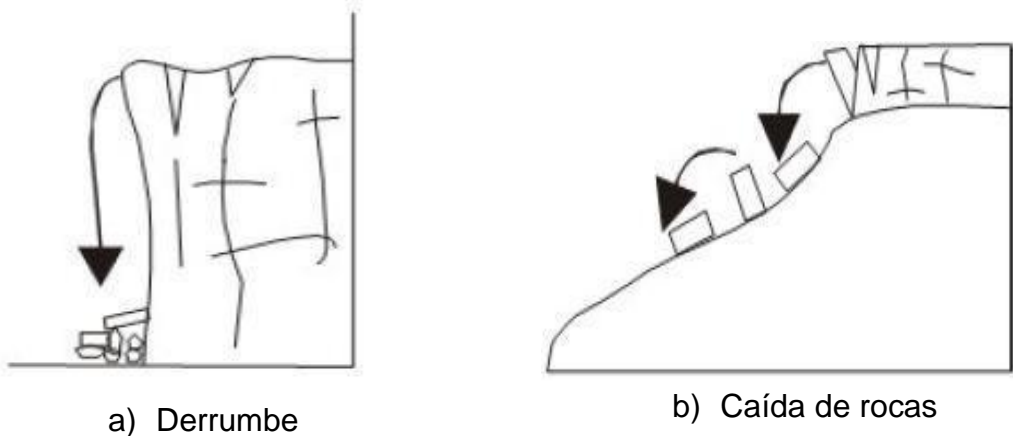


Figura 2.4.6 Esquema de derrumbes

Fuente: Geomorfología del AMSS y su relación con los movimientos de ladera
INFORME FINAL Geomorfólogo Jiri Sebesta.

³⁷ “Geomorfología del AMSS y su relación con los movimientos de ladera”, p. 11

Los factores a tomar en cuenta en este tipo de movimiento son:

- Características de la roca o suelo
 - Grado de fracturación
 - Nivel de meteorización
 - Existencia de bloques
 - Estabilidad del conjunto de bloques

- Características geomorfológicas
 - Distancia de la ladera
 - Inclinação de la ladera

Derrumbes en el territorio del AMSS

Los lugares que cumplen con las características antes mencionadas en el AMSS se encuentran en la zona del Picacho y el Boquerón, algunos de estos se dan en el cráter del volcán.

Los flujos de escombros en el área Metropolitana de San Salvador han sido de gran incidencia, sobre todo en cauce de ríos o quebradas por esta razón estudiaremos la susceptibilidad de tres quebradas que parten del volcán de San Salvador y se extiende en el Área Metropolitana, para ellos es necesario conocer

teorías que describan el comportamiento de los diferentes tipos de flujos de escombros que puedan producirse. Ver la figura 2.4.7.



Figura 2.4.7 Derrumbe de escarpe en el cráter del Boquerón

Fuente: Geomorfología del AMSS y su relación con los movimientos de ladera
INFORME FINAL Geomorfólogo Jiri Sebesta.

2.5 Flujos de Escombros

2.5.1 Generalidades de los Flujos de escombros

A continuación se presenta la teoría necesaria para entender el comportamiento de los flujos de escombros basados en Tomutsu Takahashi en su libro *Drebris Flow* 2da edición.

Definición de flujo de escombros

Está por la mezcla de sedimento y agua generando un flujo continuo por gravedad y que alcanza gran movilidad por la saturación de poros con agua o

lechada. Esta definición es aplicable independientemente del tamaño de sus materiales constitutivos y sus distribuciones.

Debido a la variedad de flujos de escombros que existen es necesario diferenciar aquellos que se asemejan a los flujos de agua o inundaciones, para esto se utilizará el definido por Jaime Suarez en su libro digital "Deslizamientos: análisis geotécnico", el cual utiliza un valor del 5% de concentración de sedimentos en volumen (C), el cual se obtiene de la siguiente manera:

$$C = \frac{\text{Volumen de sedimentos}}{\text{Volumen de agua} + \text{Volumen de sedimentos}} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Otra manera de diferenciar entre los flujos de escombros y los flujos de agua es al visualizar los daños que causan estos, tal como se muestra en las imágenes a continuación:

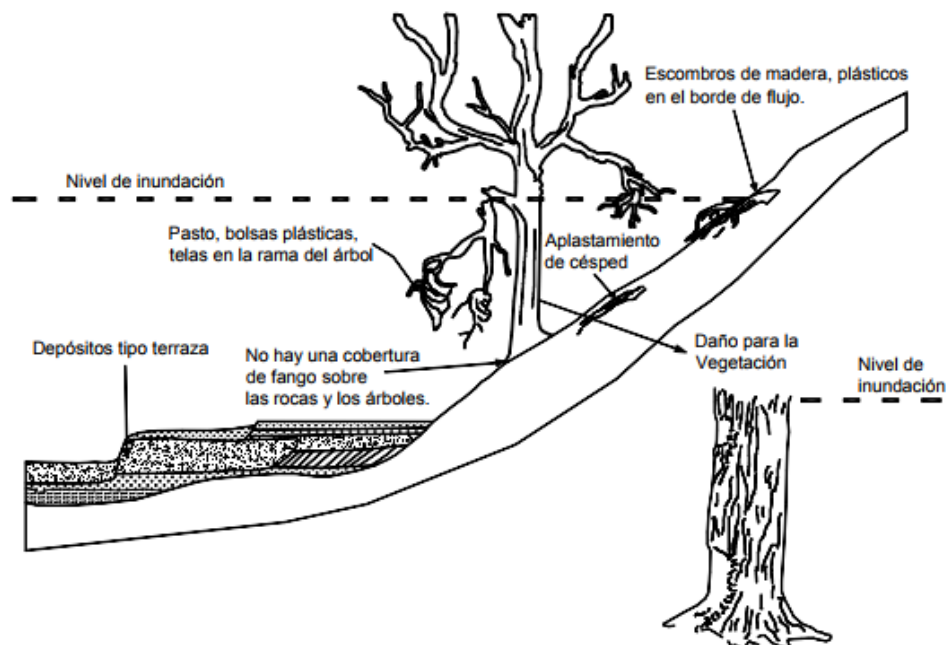


Figura 2.5.1 Esquema de los rasgos dejados por una inundación

Fuente: Deslizamientos. Tomo 1: Análisis Geotécnico, Ing. Jaime Suárez Días

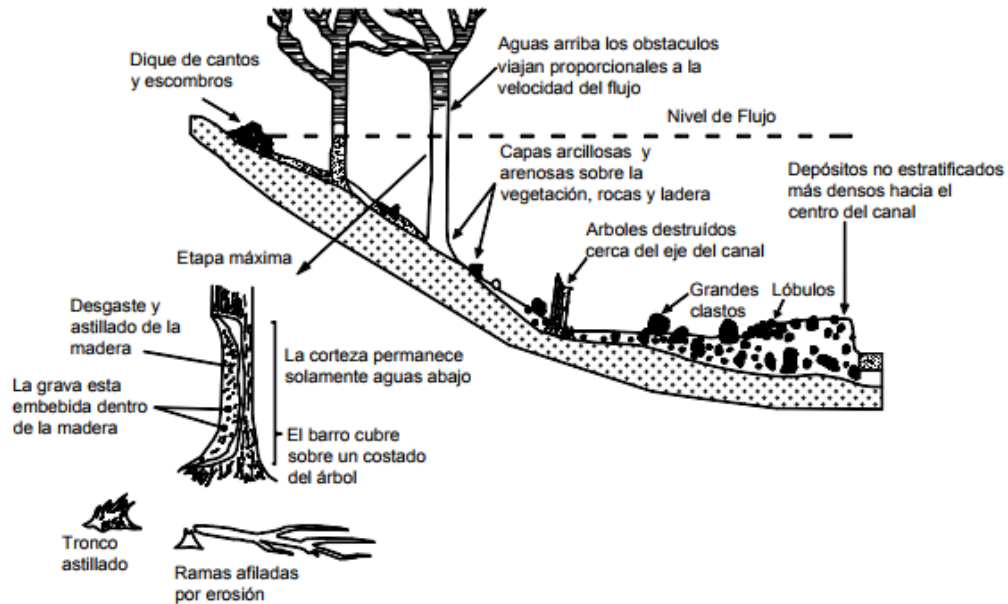


Figura 2.5.2 Esquema de los rasgos dejados por un flujo de escombros

Fuente: Deslizamientos. Tomo 1: Análisis Geotécnico, Ing. Jaime Suárez Días

Clasificación y características de los flujos de escombros

Las concentraciones de sedimentos en el flujo, las propiedades de fluido intersticial, y la condición hidráulica de flujo tal como la velocidad, la profundidad y la inclinación de la pendiente del canal; son factores de los que depende el comportamiento destructivo de los flujos de escombros. La clasificación de flujo de escombros es basado principalmente en la descripción de la apariencia.

Flujo de escombros de tipo rocoso o pedregoso

Este tipo de flujo se caracteriza por el tamaño de las partículas arrastradas las cuales se pueden dividir en dos grupos, las partículas finas limos y arcilla; las partículas gruesas desde arena hasta grandes rocas como se puede ver en la

Figura 2.5.3, obligando a tomar en cuenta la interacción sólido-sólido, la cual puede traducirse como efectos de colisión o fricción coulómbica que es relevante en la dinámica del flujo.

Los flujos de detritos se pueden dividir en tres partes que son:

El frente o cabeza: Contiene la mayor concentración de rocas de gran tamaño.

El cuerpo: Es la parte más larga y es donde se da la transición entre los diferentes régimen.

La cola: que tiene la mayor concentración de sedimentos y la altura del flujo es menor.

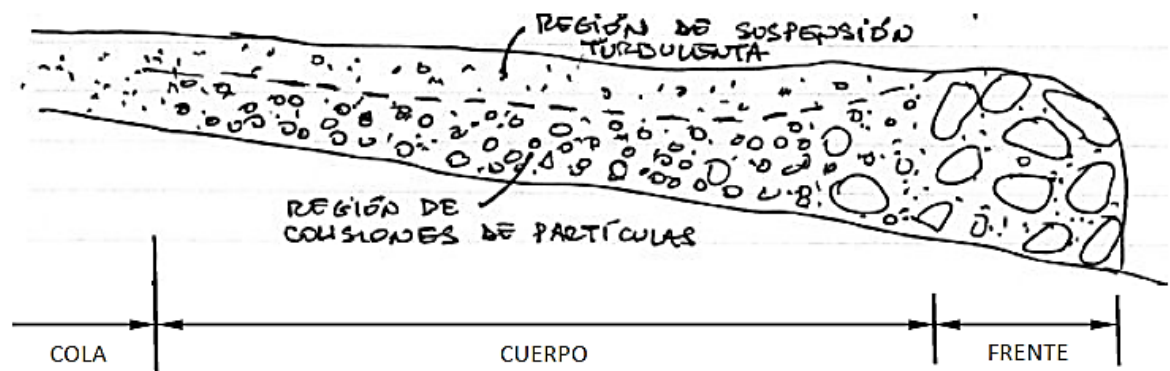


Figura 2.5.3 Partes del flujo de escombros

Fuente: Apuntes del curso CI3161 HIDRÁULICA AMBIENTAL

Flujo de escombros de tipo fangoso o turbulento

La expulsión vigorosa de la ceniza resultado de un volcán activo, forma, en la cima de la montaña, una capa de ceniza que puede ser fácilmente erosionada, incluso por una lluvia ligera. Tal erosión de ceniza provoca frecuente aparición de

flujos de escombros. Debido a que el flujo es turbulento, podemos aplicar la fórmula Manning's para la ley de resistencia.

Flujo de escombros viscoso

Es diferente del flujo de escombros de tipo pétreo ya que no tiene acumulación de grandes rocas en la parte frontal. Los materiales en flujos de escombros viscosos son casi idénticos a los de la zona de origen. El depósito carece, un poco de las fracciones finas aguas abajo, pero, se debe al lavado después de la deposición, por lo que se puede considerar que la distribución de tamaños de partículas en el flujo justo antes de la deposición es casi idéntica a la del flujo de escombros. Por lo tanto, hay que tomar en cuenta que la segregación de partículas no tiene ningún efecto en el proceso de movimiento de un flujo de escombros viscoso. La determinación del tamaño máximo de las partículas en la suspensión que se comportan como un fluido interno es un problema difícil. Se puede considerar que el peso de todo el material fino constituye un 20-30% de la totalidad del flujo de escombros y que la concentración de partículas gruesas en la suspensión es más de 50% en volumen.

Clasificación mecánica de flujos de escombros basada en la teoría de flujos granulares

Las partículas son más pesadas que el fluido, por lo que tienden a asentarse sobre el lecho; para mantener el flujo y hacer frente a la sedimentación, algunas acciones de dispersión de partículas deben actuar:

Hay cuatro mecanismos para sostener las partículas dentro del flujo.

El primer mecanismo se produce cuando la concentración de sólidos es muy denso, en el que las partículas en la superficie de corte se mueven en perdurable contacto uno con otro. Tal movimiento es posible cuando la concentración de partículas en volumen C , está entre dos valores límite $0.56 - 0.51$. El esfuerzo de corte a la altura z en este movimiento se da como:

$$\tau_s = (\sigma - \rho)gC(h - z)\cos \theta \tan \varphi \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Esta tensión es independiente de la velocidad de corte.

El segundo mecanismo es, debido a las colisiones de partículas que surgen cuando el volumen de concentración C es inferior a 0.51 . Según Takahashi y Tsujimoto (1997), la tensión total de corte y la presión se dan como:

$$\tau_c + \tau_k = \sqrt{\frac{1}{15\pi} \frac{1}{\sqrt{1-e}} \left\{ \frac{4}{5} (1+e)C^2g_0 + \frac{1}{3g_0} \right\} \sigma d_p^2 \left(\frac{du}{dz} \right)^2} \quad \text{Ecuación 2.4}$$

$$p_c = \frac{2}{15} C^2 g_0 \frac{1+e}{1-e} \sigma d_p^2 \left(\frac{du}{dz} \right)^2 \quad \text{Ecuación 2.5}$$

El peso total sumergido de partículas por encima de un plano de corte es apoyado por la presión repulsiva que actúa en ese plano. Por lo tanto, la carga total de partículas se transmite al lecho a través de las colisiones entre las partículas y la presión dentro del fluido intersticial es casi igual a la presión hidrostática para el flujo de líquido en la llanura de la misma profundidad que el flujo de escombros. La presión de dispersión debido a las colisiones entre las partículas disminuye con la concentración de partículas y si la concentración se hace menor que un

valor límite de las partículas ya no pueden ser dispersados en toda la profundidad del flujo. Aquí, este valor límite se describe como 0.2.

El tercer mecanismo para sostener las partículas en el flujo es la suspensión debido a la turbulencia a gran escala en el flujo. Este mecanismo se plantea cuando el volumen de concentración es de menor de 0.51 y la velocidad turbulenta hacia arriba en el flujo es mayor que la velocidad de sedimentación de la partícula. Debido a que la velocidad de sedimentación se hace mayor el diámetro de la partícula es mayor, este mecanismo predomina cuando el diámetro de las partículas que lo comprenden es pequeño. En este caso, no podemos separar el esfuerzo para suspender las partículas de todo el esfuerzo dentro del fluido intersticial. La existencia de partículas en suspensión funciona para aumentar la densidad aparente del líquido intersticial y la carga de las partículas suspendidas es sostenida por el aumento de la presión en la fase líquida. Si se suspenden todas las partículas en el flujo, la tensión a compartir en el flujo se da como:

$$\tau_t = \rho_T l^2 \left(\frac{du}{dz} \right)^2 \quad \text{Ecuación 2.6}$$

Donde L es la longitud de mezcla turbulenta y ρ_T es la densidad aparente de todo el material de flujo de escombros que se da como:

$$\tau_t = (\sigma - \rho)C + \rho \quad \text{Ecuación 2.7}$$

El cuarto mecanismo surge cuando la viscosidad del fluido intersticial es grande.

Cuando las partículas incrustadas en las superficies de corte adyacentes se acercan o se alejan, el fluido se mueve para causar una resistencia al corte que

es adicional a la resistencia viscosa del fluido y que provoca la acción para dispersar partículas. Por otra parte, si la concentración de sólidos es mayor hacia la parte inferior del flujo, la viscosidad aparente del fluido virtual (la mezcla de líquido y partículas) es mayor hacia la parte inferior, por lo que el movimiento de las partículas hacia arriba se hace más fácil que el movimiento hacia la parte inferior, lo que da lugar a una ecuación de distribución de la concentración. Por lo tanto, aunque el flujo como conjunto es laminar, funciona como una acción de partículas de dispersión. Como en el caso de la suspensión turbulenta, la tensión de las partículas de dispersión y la tensión de fluido no se pueden estimar por separado. En el caso, el esfuerzo cortante en el flujo se da como:

$$\tau_{\mu} = \mu_a \frac{du}{dz} \quad \text{Ecuación 2.8}$$

Donde μ_a es la viscosidad aparente del fluido virtual compuesto por la mezcla de partículas de fluido. Según Krieger (1972) se da como:

$$\mu_a = \left(1 - \frac{C}{C^*}\right)^{-1.82} \mu \quad \text{Ecuación 2.9}$$

Donde μ es la viscosidad del fluido llanura y C^* es el volumen de concentración crítico.

Hay tres tensiones dinámicas en los flujos de escombros dinámicos; τ_c (Esfuerzo asociado al contacto entre partículas sólidas), τ_t (Esfuerzo asociado a la turbulencia y a la migración de las partículas sólidas) y τ_{μ} (Esfuerzo asociado a la viscosidad del material). El predominio relativo de las respectivas tensiones

determinará las características de flujo de escombros. En aras de evaluar el predominio relativo, las relaciones de las respectivas tensiones se describen como sigue:

$$\frac{\tau_c}{\tau_\mu} = \frac{4}{5} \sqrt{\frac{1}{15\pi} \frac{1+e}{\sqrt{1-e}}} C^2 \left(1 - \frac{C}{C_*}\right)^{1.82} \frac{\left\{\left(\frac{C_*}{C}\right)^{\frac{1}{3}} - 1\right\}^{\frac{1}{2}}}{\left\{1 - \left(\frac{C_*}{C}\right)^{\frac{1}{3}}\right\}} Ba \quad \text{Ecuación 2.10}$$

$$\frac{\tau_t}{\tau_\mu} = \left\{\left(\frac{\sigma}{\rho} - 1\right)C + 1\right\} \left(1 - \frac{C}{C_*}\right)^{1.82} \frac{l^2 \left(\frac{du}{dz}\right)}{\frac{\mu}{\rho}} \quad \text{Ecuación 2.11}$$

$$\frac{\tau_t}{\tau_c} = \frac{5}{4} \sqrt{15\pi} \frac{\sqrt{1-e}}{1+e} \frac{\left\{\left(\frac{\sigma}{\rho} - 1\right)C + 1\right\} \left\{1 - \left(\frac{C_*}{C}\right)^{\frac{1}{3}}\right\}}{C^2} \frac{\sigma}{\rho} \left(\frac{l}{d_p}\right)^2 \quad \text{Ecuación 2.12}$$

Donde Ba es el número Bagnold define por:

$$Ba = \frac{\sigma d_p^2 \left(\frac{du}{dz}\right)}{\left\{\left(\frac{C_*}{C}\right)^{\frac{1}{3}} - 1\right\}^{\frac{1}{2}} \mu} \quad \text{Ecuación 2.13}$$

Según Bagnold (1954), cuando Ba es mayor que 450, τ_c es mucho mayor que τ_μ , por lo que el flujo está en el rango de inercia y cuando Ba es menor que 40, τ_μ es dominante, por lo que el flujo está en el rango viscoso.

Para el flujo de agua en canales abiertos, se convierte en un flujo turbulento con el número de Reynolds superior a 1500 y se convierte en un flujo laminar, con el número de Reynolds inferior a 500.

El flujo de escombros en el que las tensiones dinámicas predominan puede ser clasificado dentro de la zona de la demostración del diagrama ternario en la Figura 2.5.4, cuyos tres vértices significan τ_c , τ_t , τ_μ que ocupan 50%, 20% y 30%, respectivamente. Si se define el flujo de escombros pedregoso típico como en el que el esfuerzo de colisión de partículas es de más de 60% del total de todas las

tres tensiones, el dominio de existencia del flujo de escombros pedregoso se da en la zona sombreada inferior derecha en la figura 2.5.4. Del mismo modo, el flujo de escombros de tipo fangoso turbulento tiene el dominio en la parte sombreada de la zona superior central y el flujo de escombros de tipo viscoso existe en el dominio sombreado en la zona inferior izquierda en la Figura 2.5.4.

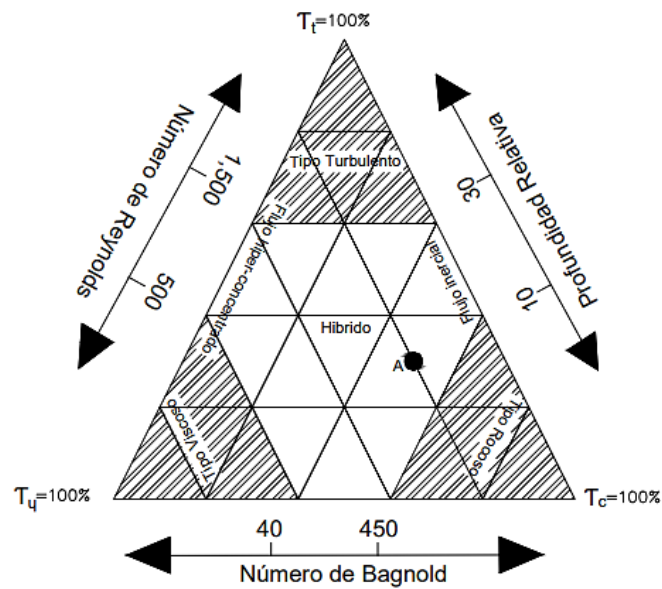


Figura 2.5.4 Clasificación de flujo de escombros dinámico por tres factores de control.

Fuente: Debris flow Tomutso Takahashi 2° edición

De acuerdo con la discusión anterior, el flujo de escombros de tipo pedregoso aparece cuando el número Bagnold es mayor que 450 y la profundidad relativa es inferior a 10. El flujo de escombros de tipo fangoso turbulento aparece cuando la profundidad relativa es mayor que 30 y el número de Reynolds es mayor que 1500. El flujo de escombros de tipo viscoso aparecen cuando el número de

Reynolds es de menos de 500 y el número Bagnold es menor que 40. El área de descanso es el dominio del flujo de escombros de tipo híbrido que tiene las características intermedias de estos tres tipos de flujo de escombros. Por lo tanto, el flujo de escombros representado gráficamente en la posición A es un flujo de escombros de tipo híbrido, cuyas características se asemejan a un flujo de escombros de tipo pétreo.

2.5.2 Modelos para la mecánica de flujo

Modelos continuos monofásicos

Es el modelo único de fase continua para flujo de escombros; la mezcla de partículas y el fluido, se consideran como un tipo de fluido continuo que se comporta como flujo de escombros en varias situaciones. Las características del fluido aparente se determinan por la relación entre el esfuerzo cortante y la tasa de deformación, es de gran importancia reconocer cual es la relación más adecuada entre estos. Las ecuaciones constitutivas de las respectivas curvas son como sigue.

Fluido newtoniano	$\tau = \mu \left(\frac{du}{dz} \right)$	Ecuación 2.14
-------------------	---	---------------

El Fluido Bingham	$\tau = \tau_y + \eta \left(\frac{du}{dz} \right)$	Ecuación 2.15
-------------------	---	---------------

Fluido de Herschel-Bulkley	$\tau = \tau_y + k_1 \left(\frac{du}{dz} \right)^n ; n \leq 1$	Ecuación 2.16
----------------------------	---	---------------

El Fluido dilatante	$\tau = k_2 \left(\frac{du}{dz} \right)^n ; n > 1$	Ecuación 2.17
---------------------	---	---------------

El fluido newtoniano está representado por el flujo laminar de agua en el que el esfuerzo cortante es linealmente proporcional a la relación de deformación y

directamente proporcional es la viscosidad dinámica. Ya que el flujo de escombros no se compone solamente por agua su comportamiento puede variar del flujo newtoniano y se puede optar por un flujo no newtoniano.

Modelo de fluido visco-plástico un evento entero de flujo de escombros

Todos los eventos de flujos de escombros empiezan con un movimiento gradual o brusco del material y se detiene en un área donde se deposita después de un movimiento considerable, para explicar este movimiento se considera que el material se encontraba en un estado estático y que cuenta con un límite elástico, el cual junto con el esfuerzo cortante explican el estado del flujo.

Para modelos de flujo viscosos se puede recurrir al modelo de flujo de Bringham que depende principalmente de parámetros reológicos, pero debido a la escala de algunos materiales muchas de las pruebas se hacen solamente para el fluido intersticial. La distribución de velocidad que éste presenta bajo ciertas condiciones, puede ser perpendicular a la superficie con una distribución parabólica, asemejándose a un flujo newtoniano, también es necesario conocer la viscosidad ya que esta se relaciona con la concentración de partículas en el fluido.

Además del modelo de Bringham existen varias teorías para explicar el comportamiento del flujo visco-plástico, entre los cuales se tienen:

Modelo de flujo dilatado

Los flujos de escombros pedregosos, cuyo mayor componente son granos a menudo pueden llegar a áreas más planas de hasta 4° de inclinación o pendiente, manteniendo su alta movilidad y su capacidad para conducir grandes rocas. La razón de esto es la reducción de la resistencia al flujo debido a la dispersión de los granos separados uno del otro (Takahashi 1978). Para lograr estas grandes distancias se presume que la presión intersticial del fluido y la repulsión por las colisiones de los granos, mantienen los granos en el flujo evitando que se deposite.

La ecuación constitutiva dado por Bagnold (1954) fue el primero en descubrir la importancia de la colisión entre las partículas como la causa de la dispersión de grano.

La hipótesis de Bagnold era que el material se comportaría como varios flujos divididos en capas, los cuales contienen partículas que se transportan dentro de ellas. Las partículas en cada capa se mueven manteniendo la misma velocidad de la capa y manteniendo la distancia, se dan colisiones cuando una capa supera a la que tiene una velocidad más lenta, la presión de repulsión entre las capas es proporcional a el cambio en el impulso, la frecuencia de las colisiones y el número de partículas por unidad de capa, suponiendo que los choques entre las partículas son elásticos, este modelo tiene muchas deficiencias de las que eran conscientes, por lo que se deben realizar dos aproximaciones del flujo de escombros.

Modelos continuos de dos fases (la teoría de mezcla)

El flujo continuo de dos fases considera la fase sólida que son todas las partículas que no se encuentran en el fluido y la fase fluida que es una mezcla entre el fluido y partículas sólidas que se encuentran suspendidas por la turbulencia, para el análisis de las fases independientes es conveniente tratarlo como un flujo permanente o uniforme.

Teoría mezcla de Coulomb (flujo de escombros cuasi-estático)

El comportamiento de este flujo es de una aceleración gradual de la mezcla, acercándose a un estado de equilibrio, pero el tiempo necesario para lograr ese estado es tan grande que prácticamente es inalcanzable.

Iverson y Delinger (2001) evaluaron en varios flujos de escombros naturales y en sus propios experimentos a gran escala, y encontraron que los valores de Savage, que es la relación entre el esfuerzo de colisión entre partículas y la fuerza actuante del peso del lecho sumergido, son siempre pequeños. Llegaron a la conclusión que el esfuerzo de fricción es el factor predominante en lugar del esfuerzo de colisiones de granos y otros.

Teoría para flujos granulares sub-aéreos rápidos

La teoría de mezcla de Coulomb aplica a movimientos laminares, que distribuyen su carga a través de un sistema esquelético continuo que conecta las partículas del sistema de superficie y se mantiene durante el movimiento.

El movimiento depende de la concentración de las partículas, en los flujos de escombros los espacios vacíos entre partículas se rellenan con agua, pero para el tipo de flujo en el que el esfuerzo de colisión de partículas predomina, los esfuerzos dinámicos en el flujo pueden ser aproximados como la suma de las tensiones de colisión de partículas y se descuida el fluido.

Cada partícula en un flujo rápido se mueve libremente, de forma independiente y la velocidad se puede descomponer en la suma de las velocidades medias.

La presión que se produce en este sistema se traduce a un término llamado temperatura granular, el cual es la energía por unidad de masa que se produce y se reduce a medida que ocurren las colisiones entre partículas, para que esta se mantenga, se deben añadir energía de movimiento.

Tabla 2.3: Modelos de fluido de acuerdo con el tipo de flujo

Flujo	Características	Fluido	Porosidad	Concentración en volumen
De lodos	Viscoso	Bingham	0.3 – 0.8	> 30 %
Hiperconcentrado Granular	Viscoso	Bingham o Manning	0.6 – 1.0	0 – 40 %

	No viscoso	Manning	0.7 – 1.0	0 – 30 %
Turbulento de residuos	Inercial (No viscoso)	Manning o Bagnold/Takahashi	0.25 – 0.7	> 30 %
	Viscoso	Bagnold/Takahashi	0.1 – 0.6	> 40 %
Laminar de residuos		Bingham	< 0.1	

Nota: Adaptación. "Deslizamientos: análisis geotécnico", Jaime Suarez, pág. 182, www.erosion.com.co.

2.5.3 Mecánica de flujos de escombros inerciales

Los flujos de escombros rocosos recurren a un modelo de flujo dilatado, que es modelo de serie continua y equivalente a un modelo continuo de dos fases ya que el esfuerzo intersticial de flujo es insignificante en flujos de escombros rocosos maduros, también puede ser aplicado el modelo de flujo granular en lugar del fluido de Bagnold.

Flujo de escombros inmaduro

La concentración de partículas más baja con el cual las partículas se dispersan en toda la profundidad debido a la acción de la colisión entre las partículas es de aproximadamente 0,2. Por otra parte, la ecuación concentración de equilibrio, da concentraciones más pequeñas cuando la pendiente de canal es plana. Sin embargo, en virtud de una concentración menor que el valor límite, las partículas ya no se dispersan en toda la profundidad, pero se concentran en la parte inferior de la corriente. En consecuencia existe una mezcla de partículas que puede

contener sedimento fino. Takahashi (1982, 1987) ha nombrado este tipo de flujo como “flujo de escombros inmaduro”.

Para que el flujo de escombros inmaduro se vuelva uno completamente desarrollado se requiere de pendientes menos pronunciadas, para confirmar esto Takahashi elaboró un experimento con materiales conocidos donde encontró que con una pendiente entre 10° - 4° se tiene un flujo de escombros inmaduro (Takahashi 1982).

Flujo de escombros fangoso turbulento

Cuando las partículas que comprenden un flujo son pequeñas pero todavía mayor que el tamaño de las partículas donde la fuerza adhesiva electroquímica llega a ser importante, la turbulencia en el flujo va a suspender las partículas y se convierte en el flujo de escombros de tipo fangoso turbulento. Aunque la contribución de esfuerzo de colisión de partículas se vuelve menos importante ya que la concentración de las partículas va disminuyendo.

Teoría generalizada de los flujos de escombros inerciales

Existen diferentes tipos de flujos inerciales también conocidos como flujos híbridos, los cuales están clasificados entre los flujos pedregosos típicos y los flujos de escombros turbulento-fangoso. Este se divide en dos capas y depende de la profundidad relativa y la concentración del material, estas capas se dividen

en la capa de colisión de partículas inferior y la capa turbulenta, estas capas ocupan casi toda la profundidad del flujo tal como se muestra en la figura 2.5.5.

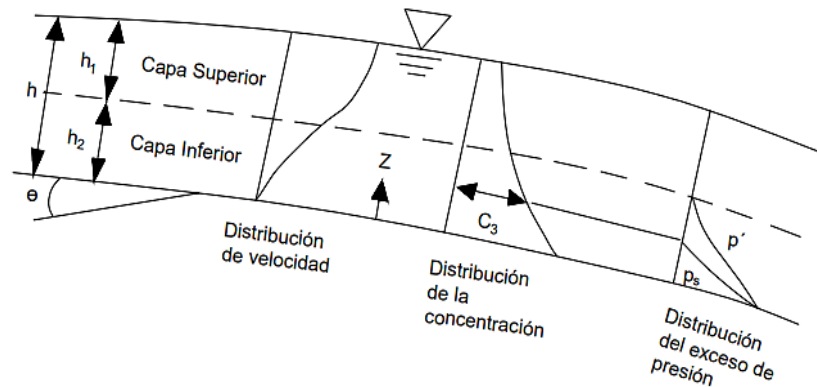


Figura 2.5.5 La estructura general de flujo de escombros inercial.

Fuente: Debris flow Tomutso Takahashi 2° edición

Para poder considerar el flujo como un flujo inercial se debe revisar el espesor y la existencia de la capa superior, la cual debe ser considerada turbulenta si las partículas están suspendidas por la turbulencia del mismo, en el caso que se reduzca la capa, el flujo cambiara de un flujo híbrido a uno pedregoso o a flujo de escombros inmaduro, para conocer la altura de las capas hay que tener en consideración la concentración de partículas la cual se determina para la capa inferior y la capa superior y se compara con un valor límite, siendo este valor el que determina la clasificación del flujo.

Modelos de flujo newtoniano para flujos de escombros viscosos

El modelo normalmente usado es el de Bingham, pero este puede ser inadecuado en algunas ocasiones, ya que la distribución de velocidades que demuestra el flujo puede tener un comportamiento de flujo Newtoniano, es decir que se distribuye como una parábola y el asentamiento según Iverson (1997) es de la siguiente manera: “Las partículas gruesas en un flujo de escombros viscoso están asentadas de manera irreversible hacia la parte inferior, pero el tiempo necesario para establecerse todas las partículas gruesas es mucho más largo que el tiempo de vida del propio flujo de escombros. Por lo tanto, las partículas se dispersan aparentemente mientras continúa el flujo de escombros.”

Según Takahashi (1997) el movimiento de las partículas en este flujo se da en varias superficies de corte las cuales tienen su propia velocidad local, las partículas chocan con las partículas de otras superficies de corte, una vez que las partículas se mueven de su superficie original a otra inferior no pueden regresar a esta ya que la distribución de velocidad es lineal, el desplazamiento entre capas depende de la viscosidad de la capa, siendo la capa con mayor viscosidad la que más resistencia a la transferencia presenta y viceversa, esto en la suposición de que la velocidad depende de la viscosidad.

Iniciación y desarrollo de flujo de escombros por erosión del lecho en quebradas

Las capas de sedimentos se producen con la acumulación de material de las paredes laterales, caídas de rocas y deslizamientos. Dependiendo de varios factores se pueden tener los diferentes casos, para esto Takahashi presenta seis casos en los cuales se considera que se tiene una capa de sedimento infinitamente larga, uniforme y que está sumergida en agua como se muestra en la figura 2.5.6.

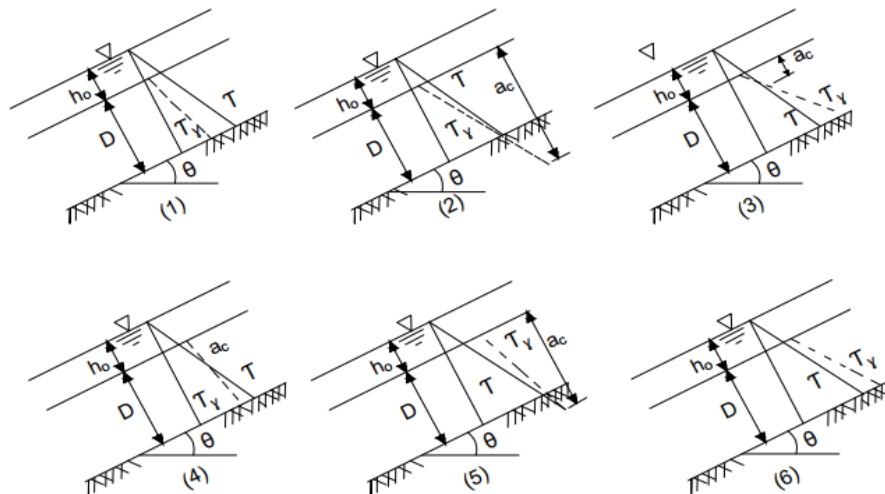


Figura 2.5.6 Casos en los que se desarrollan flujos de escombros por erosión en el lecho.

Fuente: Debris flow Tomutso Takahashi 2° edición

En el caso 1 representa un sedimento rígido e inestable, y se da cuando la altura de agua subterránea se encuentra a la misma altura de la capa de sedimentos y la fuerza de cohesión es pequeña.

Para el Caso 2 se presenta un sedimento rígido y estable, pero se vuelve inestable cuando la superficie de agua mayor que D , en caso contrario se tendría el caso 3.

El caso 3 representa un sedimento estable, pero la parte superior de éste es inestable, a menos que esta parte sea menor que el diámetro de una partícula, en cuyo caso se considera estable y con partículas suspendidas.

Para el caso 4 se presenta un sedimento rígido e inestable, y toma lugar bajo condiciones similares al caso 1 (fuerza de cohesión baja), exceptuando que en este caso la capa de sedimentos es más inclinada.

El caso 5 es un sedimento rígido y estable, se da cuando la fuerza de cohesión es alta y el flujo de la superficie del agua presenta un movimiento de partículas.

En el caso 6 se presenta un sedimento rígido y estable. Se da cuando la fuerza de cohesión es grande y el sedimento se mueve como un bloque

De los casos 1, 2, 3 y 4 se pueden generar flujos de escombros, de acuerdo a experimentos que llevó a cabo Takahashi (Takahashi, 1997) el ángulo de la pendiente de la capa para que el material sea inestable en un flujo de escombros pedregoso es de 14.5° y menciona que para que este tipo de movimiento ocurra

en una pendiente entre 14° y 15° se debe tener una lluvia continua, donde el nivel de agua aumenta gradualmente en la capa de sedimentos y se desarrolla un flujo superficial, el tamaño de las partículas que se transportan es dependiente del nivel de agua superficial que se encuentre, este nivel puede mover partículas que tengan un diámetro hasta 2.6 veces la profundidad, también puede darse el caso de movimiento en lechos no saturados, donde solo existe una corriente de agua superficial, en este caso el movimiento de partículas se llevará a cabo sólo cuando la pendiente se mantenga aguas abajo del material.

Derrumbes inducidos por flujos de escombros

Existen dos tipos de derrumbes, mencionados a continuación:

Los derrumbes superficiales: que tienen profundidades entre 1 y 2 metros, estos se dan durante lluvias de alta intensidad y grandes escorrentías superficiales, convirtiéndose casi instantáneamente en flujos de escombros, se puede entender mejor su origen a partir del tamaño de la partícula, que conociendo el tipo de erosión del lecho, este movimiento generalmente alcanza distancias mucho mayores que su profundidad.

Los derrumbes superficiales se pueden dividir en tres categorías como se muestra en Figura 2.5.7.

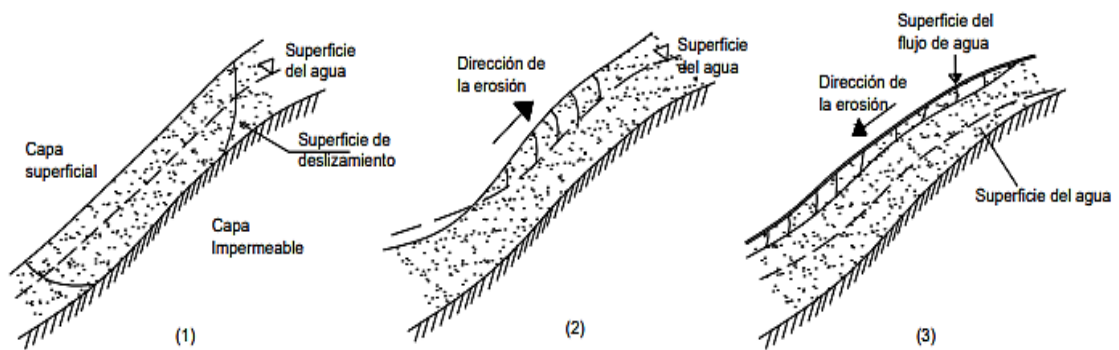


Figura 2.5.7 Derrumbes inducidos por flujos de escombros

Fuente: Debris flow Tomutso Takahashi 2° edición

La primera categoría se da cuando se tiene una capa impermeable debajo de la cama de sedimento, donde se tiene que el agua superficial se infiltra en esta cama de sedimentos, aumentando la presión de los poros y disminuyendo la fuerza de cohesión.

La segunda categoría ocurre cuando se tiene un sedimento estable y la pendiente del flujo de filtración es paralela a la pendiente del canal, incluso si cubre completamente la capa superficial, en algún punto, la filtración sale de la capa superficial y eleva partículas de sedimento, haciendo que la parte superior del volumen pierda sustento, erosionando el material.

La tercera categoría representa un sedimento estable pero al ser afectada por lluvias rápidamente se erosiona, dando un resultado similar al flujo de escombros.

Los derrumbes superficiales se pueden analizar mediante un bloque del material el cual está bajo la condición en que la parte baja de este bloque está saturada y

que debido a las fuerzas de tensión entre el bloque y la superficie de deslizamiento se tienen zonas con licuefacción, el análisis de este da como resultado que el bloque puede llegar a presentar licuefacción con una pendiente entre 20° y 35° , lo cual vuelve inestable a la masa de suelo y aunque sea poco común también se puede dar bajo la condiciones no saturadas.

Los derrumbes profundos que tienen varias decenas de metros, se originan mucho tiempo después del punto pico de una lluvia ya que requiere que el agua superficial llegue a niveles que causen inestabilidad en un bloque de suelo, este puede llegar a transformarse en un alud de escombros que llega a extenderse a grandes distancias.

La función de capa de licuefacción

La licuefacción extiende la distancia a la que puede llegar un derrumbe ya que esta capa actúa como lubricante entre el bloque de tierra y la superficie de deslizamiento.

La distribución de velocidad en la capa licuada es cero en la parte inferior y el máximo en la frontera entre la capa licuada y el bloque de tierra, de modo que el bloque de tierra va más rápido que la capa licuada, entonces la capa licuada queda rezagada del flujo de escombros. El movimiento del bloque de tierra continúa mientras la pendiente sea inclinada y exista licuefacción en la frontera entre el bloque de tierra y la superficie sólida. Por ello el bloque de tierra procede a destruir su cuerpo para producir una capa nueva licuada y alargar su cola como

flujo de escombros. Si el agua en la parte saturada del bloque de tierra ha sido consumida por producir una capa licuada o el bloque de tierra llega en un área más plana, se detiene y el flujo de escombros sigue, el bloque de tierra en movimiento irá sobre el bloque de tierra detenido y continuará moviéndose hacia abajo.

2.5.4 Proceso de depósito de flujos de escombros rocosos.

La distancia de llegada de un flujo de escombros a un cambio repentino de pendiente en el canal

Cuando un flujo de escombros pedregoso se introduce en un cauce donde la pendiente del canal espontáneamente disminuye, él desacelera gradualmente y finalmente se detiene. El perfil del flujo de escombros en el tiempo puede ser modelado con formas trapezoidales. (Takahashi y Yoshida 1979). Está supuesto que todas las partes del flujo proceden en la misma velocidad y tienen la misma concentración, el cual es la concentración del río aguas arriba. Esto también supone que el flujo continúa siendo inercial antes de detenerse.

Topografía del depósito formado en un cambio repentino de pendiente

Cuando un flujo de escombros alcanza un aplanamiento repentino en pendiente del canal, no se detiene inmediatamente, sino que continúa desacelerando un tiempo y luego se detiene. Durante la desaceleración el gradiente de velocidad en el flujo es tan grande que es suficiente para generar la presión dispersiva para sostener todas las partículas gruesas en el flujo.

Cuando se detiene el flujo de escombros la concentración de partículas debe cambiar para que el exceso de agua de los poros sea extraído del depósito y fluya en su superficie. Si el flujo de escombros es viscoso, el cambio de volumen antes y después de la deposición es mínimo, por lo tanto, el flujo de agua superficial producido por el cambio de volumen es insignificante. Pero, si es un flujo de escombros pedregoso, el flujo de agua superficial producido puede ser capaz de aplanar la pendiente de la superficie del depósito formado justo antes por un flujo de escombros completamente desarrollado hasta que se vuelva aproximadamente igual a la pendiente crítica para la ocurrencia de un flujo de escombros inmaduro. La razón de esta formación de nueva pendiente en la superficie se considera porque aunque el transporte del lecho puede ser capaz de aplanar la superficie de la pendiente una vez depositado, es demasiado gradual para ser terminado en el corto tiempo del proceso de deposición del flujo de escombros, y por lo tanto, el proceso y aplanamiento virtual termina cuando la pendiente se hace aproximadamente igual a la pendiente crítica para un flujo de escombros inmaduro en el que se produce aplanamiento de pendiente drásticamente. Contrariamente, si la pendiente de la superficie del depósito es más plana que la pendiente crítica, la deposición continúa en la pila de sedimentos recién depositado siempre que el flujo de escombros continúa desde aguas arriba.

El proceso de aplanamiento virtual cuando la pendiente se hace aproximadamente igual a la pendiente crítica para un flujo de escombros

inmaduro en el que se produce aplanamiento de la pendiente drásticamente. Contrariamente, si la pendiente de la superficie del depósito es más plana que la pendiente crítica, la deposición continúa en la pila de sedimentos recién depositado siempre que el flujo de escombros continúa desde aguas arriba. De hecho se detiene y se vuelve a mover la superficie del depósito esto ocurriría simultáneamente y la deposición procedería, desde el principio, a fin de formar la pendiente de la superficie aproximadamente igual a la pendiente crítica para el flujo de escombros inmaduro.

Cuando la pendiente se aplanan se inicia con el proceso de depósito de los flujos de escombros y estos se dividen en tres casos:

- 1) $\theta_d - \gamma_d$: Los depósitos de flujo de escombros con una pendiente de la superficie del fondo θ_d que es menor que la pendiente del depósito γ_d . Un flujo de escombros de corta duración y muy fluido puede depositarse, incluso con una pendiente de la superficie menor que la pendiente máxima.

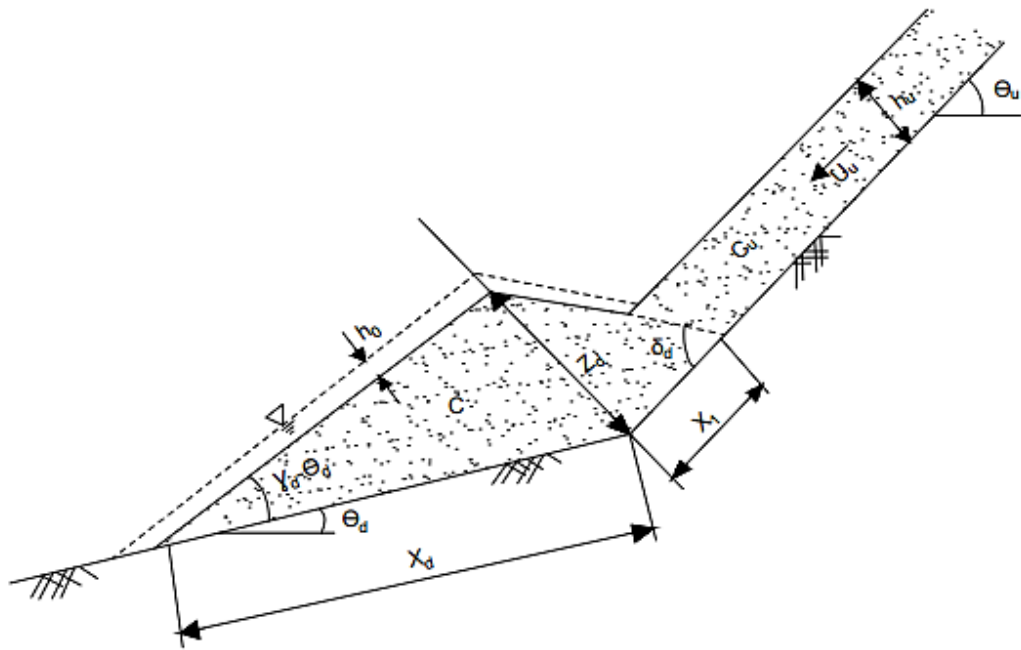


Figura 2.5.8 Etapa de depósito de un flujo de escombros en un cambio de pendiente.

Fuente: Debris flow Tomutso Takahashi 2° edición.

La figura 2.5.8 muestra la etapa de disposición de un flujo de escombros en el momento en el que un cambio de pendiente aparece. La pendiente frente a la corriente δ_d es desconocida, pero se considera constante.

Si el flujo de escombros continúa bajando, la altura de éste en el cambio de pendiente incrementa. De cualquier forma, la energía de un flujo de escombros es infinita, entonces cuando se ha superado cierta altura,

el flujo comienza a ser depositado aguas arriba. Esta etapa de depósito se muestra en la Figura 2.5.9 a continuación.

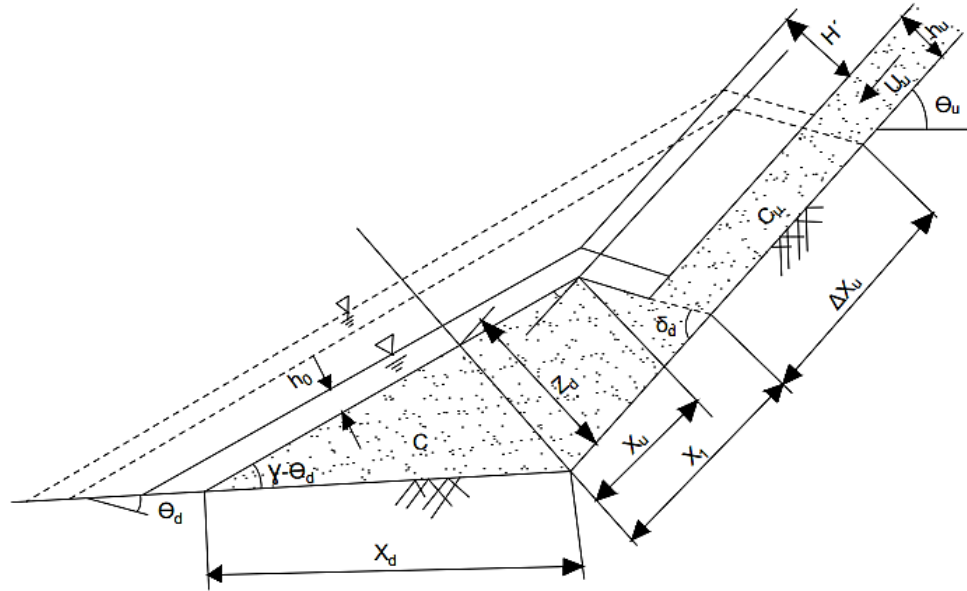


Figura 2.5.9 Rebote de la deposición en un cambio de pendiente del lecho.

Fuente: Debris flow Tomutso Takahashi 2° edición

- 2) $\gamma_d < \theta_d < \theta_c$: Los depósitos de flujos de escombros con una pendiente del lecho que está entre la pendiente del depósito y la pendiente crítica del material. Algunas partes del flujo de escombros se depositan y otras se mantienen fluyendo.
- 3) $\theta_d > \theta_c$: El depósito de flujos de escombros con una pendiente de la superficie del fondo que es mayor que la pendiente crítica: El flujo de escombros se continúa deteriorando.

No obstante existen softwares que realiza el cálculo de transporte de sedimentos en cauce de ríos o quebradas; donde al crear un modelo con la introducción de datos topográficos, hidráulicos e hidrológicos de la quebrada. Particularmente en este trabajo de investigación el desarrollo de flujos de escombros en las quebradas de interés será a través del programa HEC-RAS. En el siguiente apartado se describe las capacidades del programa y el proceso para realizar una modelación con transporte de sedimentos.

2.6 Modelo hidráulico con el programa HEC-RAS

Existen diversos criterios que se deben tomar en cuenta al momento de la modelación de un flujo de agua con sedimentos, entre los cuales se menciona: Erosión de superficies de suelo, Erosión de la cama de la corriente, Erosión subterránea, Flujos de escombros, deslizamientos de tierra superficiales, asentamientos profundos, avalancha de escombros, disolución, desprendimientos, etc.

Se pueden tener fenómenos que son demasiado grandes para algunos modelos por lo que la mayoría solo toma en cuenta los fenómenos de erosión, además se centran en cuencas relativamente pequeñas y lisas, asimismo, no consideran lo que pueda ocurrir aguas abajo.

El periodo de análisis de la esorrentía de los sedimentos es un factor muy importante, ya que este permite conocer el volumen de los sedimentos que sirve para resolver los problemas en embalses, las variaciones en los lechos de ríos y

la erosión en la costa, el periodo de análisis puede ser un evento de inundación específico o incluso años del comportamiento de un río.

Existen varios modelos matemáticos que se pueden ser utilizados para el transporte de sedimento, para esto es deseable obtener simultáneamente el hidrograma de crecida y el gráfico de sedimentos de la esorrentía de una cuenca en una inundación, estos modelos de simulación dinámica de los fenómenos físicos en un corto período de tiempo, pero tienen dificultades para establecer la condición inicial de las cuencas hidrográficas y requieren un tiempo de cálculo largo. La mayoría de ellos no tienen en cuenta la esorrentía del agua de lluvia infiltrada por lo que no son aplicables a una gran cuenca³⁸.

Aun cuando el programa HEC-RAS no realiza todas las funciones que requiere un modelo este es parte de un conjunto de programas que permiten la simulación del mismo, siendo este el encargado de la parte hidráulica del modelo. A continuación se describen algunas de las características y capacidades que el programa posee basados en el manual del mismo:



HEC RAS 5.0.3

Figura 2.6.1 Icono del Programa HEC-RAS (Acceso directo)

Fuente: Captura de Imagen del Manual de Usuario de HEC-RAS 5.0.1

³⁸ "Drebis Flow" Tomutsu Takahashi, 2da edición, CRC Press Taylor & Francis Group, p. 303-306

HEC-RAS (River Analysis System, RAS.) es un software desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center, HEC.) para la modelación hidráulica, que permite cuatro tipos de análisis en ríos:

- Modelación de un flujo en régimen permanente en una dimensión
- Modelación de un flujo en régimen no permanente en una o dos dimensiones
- Modelación del transporte de sedimentos
- Análisis de calidad de aguas

Para los diferentes análisis es de gran importancia la información geométrica. Además, el sistema contiene varias características de diseño que pueden ser solicitadas una vez calculado el perfil de la superficie del agua.

El programa está diseñado para realizar cálculos de una red completa de canales naturales e intervenidos con construcciones, áreas de inundaciones, áreas protegidas por un dique, etc.

2.6.1 Descripción de las capacidades de HEC-RAS

1. Interfaz del Usuario:

El diseño del software ha sido creado para ser amigable con el usuario manteniendo un alto nivel de eficiencia (ver Figura 2.6.2), esta cuenta con las siguientes funciones:

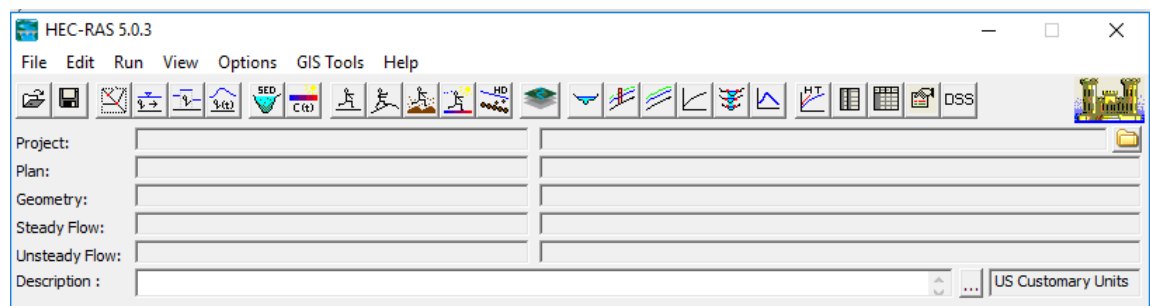


Figura 2.6.2 Interfaz de usuario.

Fuente: Elaboración propia: Captura de imagen del programa HEC-RAS 5.0.1

- Gestión de archivos
- Entrada /edición de datos e interfaces de datos GIS
- Análisis de ríos
- Tabulación y visualización gráfica de los datos de entrada y salida
- Mapas de inundación y animaciones de la propagación del agua
- Facilidad de reporte
- Ayuda o asistencia en línea

2. Componentes del análisis de ríos

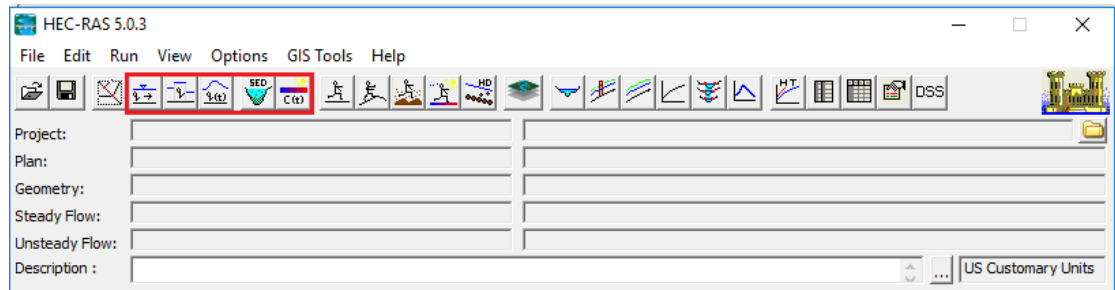


Figura 2.6.3 Componentes de análisis de ríos

Fuente: Elaboración propia: Captura de imagen del programa HEC-RAS 5.0.1

Perfiles de superficie de agua de flujo permanente:

Este componente del sistema de modelación está destinado para calcular los perfiles de la superficie del agua para flujos permanentes gradualmente variables. El sistema puede manejar una red completa de canales, un sistema ramificado o un solo río. El flujo permanente se puede modelar en perfiles de superficie de agua sub-crítica, supercrítica o mixta.

Los efectos de las obstrucciones como puentes, obras de paso, represas y otras obras en las llanuras de inundación pueden ser consideradas en los cálculos.

Simulación de flujo no permanente:

Este componente de la modelación en HEC-RAS es capaz de analizar flujos no permanentes en una dimensión, dos dimensiones o combinados a través de una red completa de canales abiertos, llanuras de inundación y aluviones. El componente de flujo no permanente puede ser usado para modelar flujos sub-críticos, supercríticos o de régimen mixto.

Los efectos de las obstrucciones como puentes, obras de paso, represas y otras obras en las llanuras de inundación pueden ser consideradas en los cálculos del flujo no permanente.

Las características especiales del componente de flujo no permanente incluyen: análisis de la ruptura de una presa con amplia capacidad hidráulica, brechas en diques, estaciones de bombeo, etc.

Cálculo del transporte de sedimentos:

Este componente está destinado a la simulación del transporte de sedimentos en una dimensión, resultante de la erosión y deposición durante periodos de tiempo de moderado a largo.

El potencial del transporte de sedimentos se calcula por las fracciones de tamaños de los granos de suelo existentes en el lecho de un canal, de este modo se puede caracterizar la modelación hidráulica. Las características principales incluyen la capacidad de modelar una red completa de corrientes, arroyos, dragado de canales, diversas alternativas de diques e invasiones y el uso de varias ecuaciones para el cálculo del transporte de sedimentos.

El modelo está diseñado para simular las tendencias a largo plazo de las escorias y deposiciones en la corriente del canal que puede resultar en la modificación de la frecuencia y duración de las descargas de agua o de modificaciones en la

geometría del canal. Este sistema puede ser usado para evaluar la deposición en reservorios, contracción de canal de diseño necesaria para mantener las profundidades de navegación, predecir la influencia del dragado en la cantidad de depósito, estimar el máximo escurrimiento posible durante los grandes eventos de inundación y evaluar la sedimentación en canales fijos.

Análisis de la calidad del agua:

Este componente está destinado a permitir al usuario a analizar la calidad del agua fluvial. El programa permite detallar análisis de temperatura y transporte de un número limitado de constituyentes del agua (algas, oxígeno disuelto, demanda biológica de oxígeno, fósforo orgánico disuelto, nitrato de amonio disuelto, etc.)

2.6.2 Realizar un análisis de flujo no permanente

El programa requiere de la introducción datos de flujo no permanente dependiendo de lo que se desea realizar, para lo cual se presentan las siguientes opciones en el editor de flujos no permanente (Figura 2.6.4):

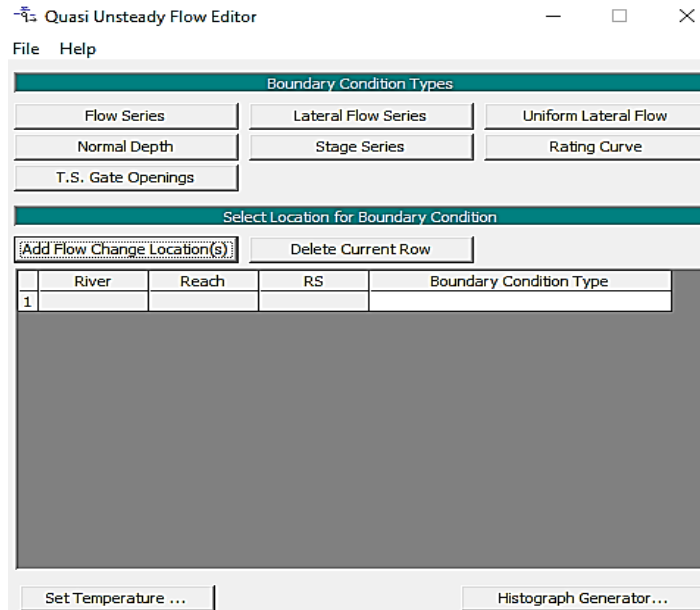


Figura 2.6.4 Editor de flujo no permanente

Fuente: Elaboración propia: Captura de imagen del programa HEC-RAS 5.0.1

Datos de flujo no permanente:

Para esto se debe elegir del menú “Edit” la opción “Unsteady Flow Data”. El programa requerirá del usuario las condiciones de contorno que pueden ser:

- Flow Hydrograph (Hidrograma de Flujo): Se puede hacer de dos maneras; seleccionando la opción de lectura de datos DSS; o introduciendo directamente la tabla en, “Use Simulation Time” o “Fixed Star Time”.
- Stage Hydrograph (Hidrograma de Calado)
- Stage and Flow Hydrograph (Hidrograma de Caudal y Calado)

- Rating Curve (Curva de Gasto)
- Normal Deep (Profundidad Normal): La opción de Normal Deep puede ser usada únicamente como una condición de contorno aguas abajo. Este método utiliza la ecuación de Manning para estimar una etapa por cada flujo calculado. Para utilizar este método el usuario deberá introducir el ángulo de fricción en la proximidad de la condición de contorno.
- Lateral Inflow Hydrograph (Hidrograma de Flujo Lateral): Esta opción permite al usuario llevar el flujo a un punto específico a lo largo de la corriente.
- Uniform Lateral Inflow Hydrograph (Hidrograma del Flujo Lateral Uniforme): Esta opción permite al usuario tener el diagrama de flujo y distribuirlo a lo largo del río entre dos posiciones de secciones transversales especificadas por el usuario.
- Groundwater Interflow (Flujo de Agua Subterránea): Groundwater Interflow permite al usuario identificar la distancia donde el río intercambiará agua con el flujo subterráneo.

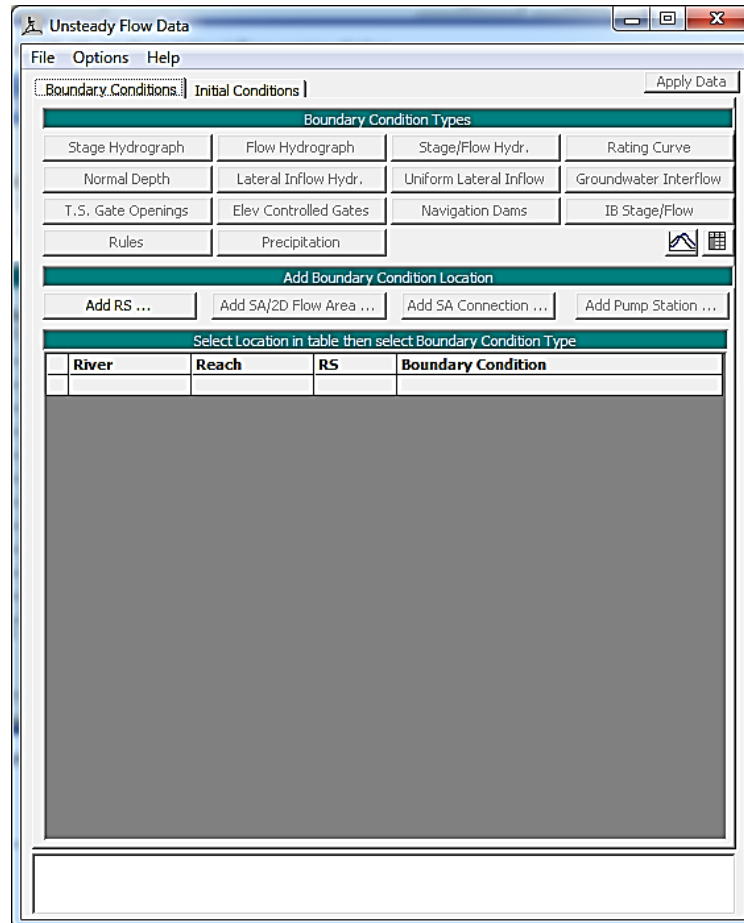


Figura 2.6.5 Editor de flujo no permanente

Fuente: Creación propia: Captura de imagen del programa HEC-RAS

5.0.1

Condiciones iniciales

Se debe establecer condiciones iniciales antes de la simulación de Flujo No Permanente. Las condiciones iniciales consisten en información del flujo y calado de cada una de las secciones transversales.

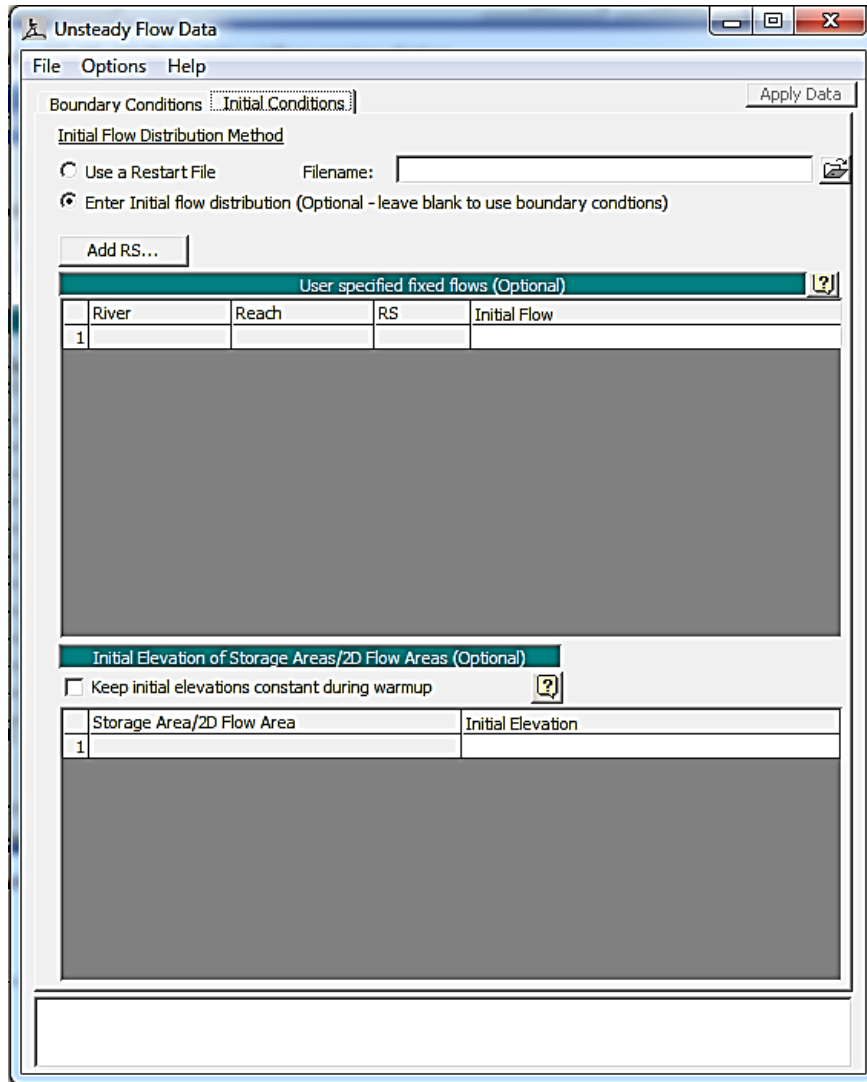


Figura 2.6.6 Editor de condiciones iniciales de flujo no permanente

Fuente: Creación propia: Captura de imagen del programa HEC-RAS 5.0.1

Ejecución de cálculos de flujo no permanente

Existen tres componentes usados para realizar un análisis de flujo no permanente dentro de HEC-RAS. Tales componentes son: Un pre-procesador de Datos Geométricos, Simulador de Flujo no permanente y un post-procesador de salida.

El pre-procesador de datos geométricos:

El preprocesador de datos geométricos es usado para procesar los datos geométricos dentro de una serie de tablas con Propiedades Hidráulicas, Curva de Gasto, y familia de Curva de Gastos. Esto es a fin de acelerar los cálculos de Flujo No Permanente. En lugar de calcular las variables hidráulicas para cada sección transversal, durante cada iteración, el programa interpola las variables hidráulicas de las tablas. El procesador debe ejecutarse al menos una vez, pero después solo necesita ser re-ejecutado si algo en los datos de geometría ha sido modificado.

Simulación de flujo no permanente

El programa computacional de flujo no permanente en HEC-RAS usa exactamente los mismos cálculos que HEC desarrolla para flujo permanente. Sin embargo las ecuaciones son resueltas usando una única Matriz de Horizonte.

Post-procesador

El Post-Procesador es utilizado para calcular los detalles de la información hidráulica para una serie de líneas de tiempo especificadas por el usuario durante el periodo de la simulación de flujo no permanente.

Ventana de Tiempo de Simulación

El usuario introduce a una ventana de tiempo, el comienzo y el final del periodo de simulación. La ventana de tiempo requiere una fecha y tiempo de comienzo y una fecha y tiempo de finalización puede ser introducida.

Ajustes del Cálculo de Flujo No Permanente

Los ajustes de cálculo en el área de la ventana de análisis de flujo no permanente contienen: el intervalo computacional; intervalo de salida del hidrograma; intervalo de salida detallado; una bandera de salida de nivel de cálculo; el nombre y la ubicación del archivo de salida DSS, y si realmente el programa es controlado en un modo de régimen de flujo variado.

Opciones de la Simulación de Flujo Permanente

En el menú Opciones de la ventana análisis de flujo no permanente, están disponibles las siguientes opciones: (Ver tabla 2.4)

Tabla 2.4: Opciones de la simulación de flujo permanente		
Ubicaciones de salida de etapa y flujo	Ubicaciones de distribución de flujo	Factores de rugosidad del flujo
Factores de rugosidad estacional	Invasiones inestables	Ruptura de presa
Ruptura de diques	Flujos laterales sin acoplar	Opciones de flujo mixto
Rebanar el tiempo	Opciones de cálculo y tolerancias	Opciones de salida
Métodos de pendiente de fricción para secciones transversales y puentes	Optimizaciones iniciales del flujo de agua	Tiempo de ejecución Opciones computacionales
Comprobar los datos antes de la ejecución	Ver el registro de cálculo	

Nota: Fuente: Elaboración propia, basado en el manual de usuario de HEC RAS

Guardar la Información del Proyecto

Para guardar la información del Proyecto en el disco duro, seleccione Guardar Plan en el menú Archivo de la ventana de simulación.

Calibración del modelo de flujo no permanente

La calibración es el ajuste de los parámetros de un modelo, tales como la rugosidad y los coeficientes de la estructura hidráulica, de modo que reproduce los datos observados con una precisión aceptable.

Geometría de los ríos y de las llanuras de inundación

Es esencial disponer de un número adecuado de secciones transversales que representen con precisión la geometría del canal. Esto puede ser una gran fuente de error al intentar calibrar. Además, todas las estructuras hidráulicas deben ser representadas con precisión

Coeficientes de Rugosidad

Los coeficientes de rugosidad son una de las principales variables utilizadas en la calibración de un modelo hidráulico. Generalmente, para un río que fluye libremente, la rugosidad disminuye con el aumento de la fase y el flujo. Sin embargo, si los laterales de un río son más rugosos que el fondo del canal entonces el valor n compuesto aumentará. Los sedimentos y los desechos también pueden desempeñar un papel importante en el cambio de la rugosidad. Más sedimentos y desechos en un río requerirán que el modelador utilice valores de n más altos para hacer coincidir las superficies de agua observadas.

Revisión de resultados

Una vez que el modelo ha terminado los cálculos de flujo permanente o no permanente, el usuario puede comenzar a ver los resultados. Los resultados están disponibles en un formato gráfico y tabular.

La visualización en forma gráfica de los resultados en ocasiones facilita su comprensión, para lo cual HEC-RAS tiene las siguientes opciones:

Visualización de gráficos en la pantalla

Para ver un gráfico en la pantalla, seleccione Secciones Transversales, Perfiles de superficie de agua o Curvas de clasificación en el menú “Ver” de la ventana principal de HEC-RAS. Una vez que haya seleccionado una de estas opciones, aparecerá una ventana con el gráfico representado en el área de visualización.

Opciones gráficas de trazado

En el menú Opciones de todas las gráficas hay disponibles varias funciones de trazado. Estas opciones incluyen: aumentar el zoom; disminuir el zoom; seleccionar planos, perfiles, alcances y variables a trazar; y control sobre etiquetas, líneas, símbolos, escalado, opciones de cuadrícula, ubicación de la ventana de zoom, tamaños de fuente y marcas de terreno.

Trazar otras variables en el perfil

Para trazar variables distintas de la superficie del agua en perfil, seleccione Trazado de perfil general en el menú Ver de la ventana principal de HEC-RAS. Cualquier variable que se calcula en una sección transversal se puede mostrar en el perfil.

Trazar una variable frente a otra

La ventana de trazado de la curva de calificación tiene la capacidad de trazar otras variables además de la descarga frente a la elevación de la superficie del agua. Cualquier variable que se calcula en una sección transversal se puede mostrar contra otra (s) variable (s) calculada (s).

Gráfico de perspectiva X-Y-Z

Otro tipo de gráfico disponible para el usuario es la trama de perspectiva X-Y-Z. El gráfico X-Y-Z es un diagrama tridimensional de secciones múltiples dentro de un alcance.

La presentación de los resultados de forma tabular se da con cuadros resumen de los cálculos detallados del perfil de la superficie del agua, son a menudo necesarios para analizar y documentar los resultados de la simulación. Lo que permite al usuario mostrar grandes cantidades de información detallada en un formato conciso. El programa tiene dos formas para la presentación de estos, los cuales son:

Tablas detalladas de resultados

Muestran información hidráulica en un solo lugar, para un solo perfil.

Tablas de resumen de perfil

Se utilizan para mostrar un número limitado de variables hidráulicas para varias secciones. Una característica especial de las tablas de resumen de perfil es la capacidad de los usuarios para definir sus propias tablas de resultados.

Características avanzadas para rutinas de flujo no permanente

HEC-RAS tiene varias características avanzadas que pueden ser usadas cuando se modelan situaciones complejas de flujo no permanente. Estas características incluyen capacidades de régimen de flujo mixto (subcrítico, supercrítico, saltos hidráulicos y bajadas); la habilidad de realizar análisis de rompimientos de presa; desbordamiento y rompimiento de diques; cálculos de piscinas articuladas para barreras de navegación; como modelar flujos de tuberías presurizadas; y usar reglas genéricas para controlar el funcionamiento de puertas en estructuras hidráulicas.

Régimen de flujo mixto

Modelar régimen de flujo mixto (subcrítico, supercrítico, saltos hidráulicos y bajadas de agua) es bastante complejo en modelos de flujo inestable. En general, la mayoría del algoritmo de solución de flujo no permanente se vuelve inestable cuando el flujo pasa a través de la profundidad crítica. La solución de las ecuaciones de flujo no permanente es completada por el cálculo de derivadas (cambios en la profundidad y la velocidad con respecto al tiempo y espacio) en orden de resolver las ecuaciones numéricas. Cuando el flujo pasa a través de la profundidad crítica, las derivadas empiezan a ser muy largas y comienzan a presentar oscilaciones en la solución.

En orden de resolver el problema de estabilidad en el sistema de régimen de flujo mixto, El Dr. Danny Fread (Fread, 1986) desarrolló una metodología llamada “Técnica de inercia parcial local” o LPI por sus siglas en inglés (Local Partial

Inertial Technique). El método LPI ha sido adaptado al HEC-RAS como una opción para resolver problemas de régimen de flujo mixto cuando se utiliza la parte de análisis de flujo inestable de HEC-RAS. Esta metodología aplica un factor de reducción a dos términos inerciales en la ecuación de momento mientras el número de Froude va hacia un umbral, el usuario ingresa un valor límite de Froude (por defecto = 0.8). La ecuación de momento modificada se muestra a continuación:

$$\sigma \left[\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\frac{\beta Q^2}{A} \right)}{\partial x} \right] + gA \left(\frac{\partial h}{\partial x} + S_f \right) = 0 \quad \text{Ecuación 2.18}$$

Y

$$\sigma = \begin{cases} 1.0 - \left(\frac{F_r}{F_T} \right)^m & (F_r \leq F_T; m > 1) \\ 0 & (F_r > F_T) \end{cases} \quad \text{Ecuación 2.19}$$

Donde:

σ = Factor LPI a multiplicar por los términos inerciales

F_T = Valor límite de Froude cuyo factor es cero.

Este valor tiene una aplicación práctica con un rango desde 0.0 hasta 2.0 (por defecto = 0.8). Si utiliza el valor de cero, el término inercial siempre es llevado a cero, y como resultado siempre tiene un esquema enrutador de difusión de ondas, en lugar de ecuaciones de flujo no permanente completas.

F_r = Número de Froude

m = Exponente de la ecuación, que cambia la forma de la curva. Este exponente está en el rango entre 1 y 128 (su valor por defecto es 4). Un límite superior práctico sería de 32.

h = Elevación de la superficie del agua

S_f = Pendiente de fricción

Q = Tasa de flujo (Descarga)

A = Área efectiva de la sección transversal

g = Aceleración gravitacional

Los valores por defecto para la ecuación son $F_T = 0.8$ y $m = 4$. Cuando el número de Froude es mayor que el valor límite, el factor es cero. El usuario puede cambiar ambos el valor límite de Froude y el exponente. A medida que incrementa el valor de ambos el límite y el exponente, usted disminuye la estabilidad pero incrementa la precisión. A medida que disminuye el valor del límite y/o el exponente, incrementa la estabilidad pero disminuye la precisión.

Análisis de rompimiento de presas

HEC-RAS puede ser usado para el modelo de ambos tanto desbordamiento como falla de tuberías o rupturas de presas de tierra. Adicionalmente, los tipos de falla instantáneas en presas de concreto también pueden ser modelados. El resultado de la inundación es orientado aguas abajo usando ecuaciones de flujo no permanente. El mapa de inundación resultado de la inundación puede realizarse con la sección Ras-mapper del programa cuando los datos GIS (datos del terreno) están disponibles.

Desbordamiento y rompimiento de diques

Los desbordamientos o rompimientos de diques pueden ser analizados en HEC-RAS al modelar el dique con las siguientes consideraciones:

- 1- El dique debe ser modelado como una estructura lateral (Esto permite que se pueda unir a diferentes estructuras como áreas de almacenamiento u otras sección del río)
- 2- El área aguas arriba del dique no debe tener secciones transversales del río.
- 3- Se tienen diferentes opciones para la modelación del comportamiento aguas arriba del dique después de ocurrir la ruptura y el desbordamiento, esto dependerá del tipo de falla que se desea evaluar. Como se explica a continuación:
 - a. Si el agua sobrepasa o atraviesa el dique: se tienen variaciones en el nivel del agua por lo que se utilizara un modelo de flujo en 2D.
 - b. Si el agua llena el dique sobrepasándolo: Se considerará el área detrás del dique como un área de almacenamiento.
 - c. Si el agua se reúne con el río aguas abajo: Se considerará como un área separada del río.

Usar reglas definidas para controlar las funciones de las puertas

Los procedimientos de la operación para determinar y controlar la liberación de los reservorios y otros tipos de estructuras hidráulicas pueden ser un poco

complejo. HEC-RAS permite flexibilidad en la modelación de estructuras hidráulicas por medio del uso de reglas.

Las reglas pueden usarse para controlar la altura de la apertura de las puertas, Alternativamente, las reglas pueden utilizarse para controlar directamente (o constantemente) el flujo a pesar de la apertura de las puertas (o incluso sin ninguna puerta).

Las reglas pueden utilizarse también en estaciones de bombeo.

Calibración automática de valores n de Manning para flujo no permanente

Esta opción calibra el valor n de Manning utilizando una serie de tiempo, o un hidrograma el cual se divide en zonas de flujo de alto a bajo para que el valor de n de Manning cambie con el flujo para lo cual se realizan iteraciones con los diferentes flujos que se calculen, para esto se tiene dos opciones, una global y otra secuencial.

La opción Global permite que el valor sea calculado para todo el cauce del río y la secuencial se utiliza para calcular diferentes valores para cada sección transversal, este cálculo se realiza de aguas arriba a aguas abajo.

2.6.3 Realizando un análisis de transporte de sedimentos

Los modelos hidráulicos con transporte de sedimentos requieren de cuatro archivos: un archivo de flujo (Permanente o no permanente), archivo de

geometría, archivo de plan (que une los demás archivos con condiciones de fronteras) y archivo de datos de sedimento.

Hidrodinámica

Para el modelo se cuenta con dos enfoques hidrodinámicos para el análisis de transporte de sedimentos:

- Flujo cuasi-no permanente y
- Flujo no permanente

Las capacidades de flujo cuasi no permanente se utilizan solamente en el análisis de transporte de sedimentos.

El modelo hidrodinámico cuasi-no permanente simula la serie de flujo con una secuencia de cálculos de flujo permanente. Los parámetros hidrodinámicos para el modelo de sedimento se calculan con el motor de flujo permanente, luego se aplican sobre ventanas de tiempo especificadas para calcular el transporte de sedimentos temporalmente.

La selección del modelo hidrodinámico apropiado para un análisis de transporte de sedimentos HEC-RAS implica compromisos clásicos entre precisión y esfuerzo (Gibson 2013). El modelado cuasi-no permanente tiende a ser más fácil, pero debido a que no conserva el flujo, puede introducir errores inaceptables, particularmente en sistemas con almacenamiento significativo.

El modelado de flujo no permanente requiere una práctica cuidadosa y hábil porque la solución puede ser inestable con un lecho fijo. Los modelos pueden

tener múltiples lechos, que serían archivos de gran tamaño o documentos muy detallados pero que, dependiendo del modelo que se use esto puede implicar problemas en la modelación e interpretación de los resultados.

Sin embargo, el flujo no permanente conserva la masa y explica el cambio de volumen, haciéndolo particularmente aplicable para el modelado de yacimientos (Gibson y Boyd, 2014), modelos con flujos de estructura lateral, flujos inversos o problemas de ingeniería donde el cronometraje hidrográfico es crítico.

Condiciones de frontera

HEC-RAS incluye varias condiciones fronterizas cuasi-no permanentes (Ver Figura 2.6.7), pero sólo un tipo de límite cuasi-no permanente ascendente. Cada límite de aguas arriba (la sección transversal aguas arriba de un extremo aguas arriba abierto) requiere un límite de la Serie de Flujo. Los modelos de flujo cuasi-no permanente deben ser dendríticos, lo que significa que tendrán uno y sólo un límite aguas abajo. HEC-RAS incluye tres opciones para establecer condiciones de contorno cuasi-no permanente:

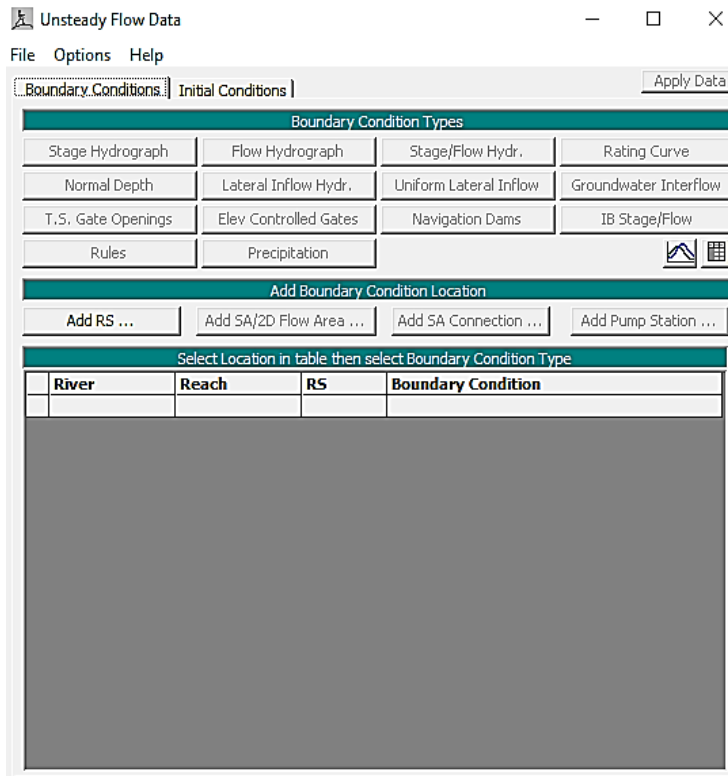


Figura 2.6.7 Editor de flujo cuasi no permanente

Fuente: Elaboración propia: Captura de imagen del programa HEC-RAS 5.0.1

Serie de tiempo de la etapa

Esta opción se recomienda al hacer análisis históricos en los cuales se realizará una proyección de futuras series temporales, teniendo en cuenta las condiciones morfológicas.

Curva de calificación

Definir la relación entre la etapa y el flujo aguas abajo, se utiliza para el cálculo de las etapas de contorno en base a la simulación de la serie de flujo, también se utiliza en análisis predictivos de curvas de gasto con la condición de que la

morfología esté en cuasi equilibrio (condición en la cual no se espera la deposición de material ni la erosión en la cama).

Profundidad normal

Esta característica solamente necesitan los parámetros de forma de la sección transversal, el valor de n (rugosidad) y la pendiente de fricción (S_f de la ecuación de Manning; puede ser estimada a partir de la pendiente de la cama), este método de análisis hace que la elevación de la superficie del agua sea independiente de la elevación de la cama, por lo tanto la condición de contorno tiene gran influencia, los cambios en la cama son los que definirán el comportamiento del sedimento, si aumenta la cama, el cortante aumentará y la tasa de material depositado, bajará hasta que la sección se encuentre en equilibrio y de manera similar funcionaria con la erosión, debido a esta susceptibilidad y a la independencia de la superficie del agua el modelo aunque conveniente puede no ser la mejor opción para la modelación de sedimentos.

Los límites internos opcionales incluyen la Serie de Flujo Lateral, Serie de Flujo Lateral Uniforme y Operaciones de Puerta de Serie de Tiempo.

Serie de flujo

El flujo cuasi-no permanente puede manejar escalas de tiempo irregulares (que varían), permitiendo pasos de tiempo aproximados durante regímenes de bajo flujo de transporte y pasos de tiempo finos durante flujos grandes que transportan la mayor parte del sedimento y mueven el lecho. Por lo tanto, cada flujo tiene dos pasos de tiempo: una Duración de Flujo y un Incremento Computacional.

Duración de flujo: La duración del flujo es un incremento de entrada de flujo constante. No controla el paso del tiempo del modelo (es decir, el incremento computacional).

Incremento Computacional: Es la subdivisión de la Duración del Flujo, en la cual se considera que los cambios ocurridos en la geometría del lecho no son suficientes para alterar la hidrodinámica.

Serie de flujo lateral

Esta opción distribuye la esorrentía de la cuenca a lo largo del cauce (varias secciones transversales) en lugar de introducir toda la esorrentía en un solo punto, esta se distribuye utilizando un cálculo de medias ponderadas de superficie de hidráulica, donde se les dará mayor flujo las que tengan mayor longitud en el canal de aguas abajo. Los flujos laterales uniformes no se pueden especificar a través de uniones de flujo, puentes, estructuras lineales o laterales.

Serie de tiempo de puerta

El programa también puede modelar canales con compuertas por donde pase el sedimento, pero este modelo es más apropiado para flujos no permanentes, ya que el modelo cuasi no permanente puede causar fluctuaciones en los datos.

Temperatura Cuasi-no permanente

La velocidad de caída y algunas ecuaciones de transporte de sedimentos son sensibles a la viscosidad del agua, que ésta en función de la temperatura, siendo más susceptibles entre más fino sea el material

1. Temperatura Constante: Para sistemas menos sensibles (sistemas de materiales gruesos; arenas y gravas) se puede utilizar una temperatura constante.
2. Interpolación máximos anuales y las Bajas: Si los resultados son sensibles a la temperatura, se puede introducir la fecha de temperaturas máximas y mínimas de cada año y el programa puede interpolar los datos para la simulación.
3. Promedio mensual de temperatura: El programa permite introducir largas series de tiempo de temperatura de las cuales se puede obtener promedios mensuales de temperatura que se utilizan para simulaciones largas.

Introducción y edición de datos de sedimentos

Como se ha mencionado anteriormente los resultados de sedimento son muy sensibles a los resultados hidráulicos (por ejemplo, parámetros de rugosidad y áreas de flujo ineficaz), por lo tanto se recomienda que antes de añadir la complejidad del cambio del lecho se identifiquen los problemas del modelo hidráulico.

Después de tener un modelo hidráulico fiable se procede a realizar el archivo de sedimentos, esta opción cuenta con tres pestañas de las cuales las primeras dos

son de carácter obligatorio y la tercera es para un análisis de estabilidad de bancos y de erosión.

Condiciones iniciales y parámetros de transporte de sedimentos

En esta primera pestaña se deben especificar las siguientes funciones:

Función de transporte:

Esta función simula los procesos de transporte no lineales, los resultados de la simulación son muy sensibles al método por el que se opte, por lo que se deben revisar cuidadosamente los parámetros y supuestos de cada una.

Método de clasificación

Este complementa la función de transporte, esta mantiene el registro de la graduación del lecho que se utiliza para el cálculo de transporte de sedimentos, además, por medio de la simulación de procesos de blindaje regula el suministro de sedimentos, para esto se cuenta con las siguientes opciones:

- Thomas (Ex5) - Este método utiliza un modelo de cama de tres capas que forma una capa de blindaje de agua dulce independiente que limita la erosión de las capas más profundas.
- Copeland (Ex7) - Copeland (1993) desarrolló una versión alternativa del algoritmo de mezcla Thomas. Este método fue diseñado para los ríos de la cama de arena, ya que forma capas de blindaje más lentamente y calcula más erosión.
- Capa activa - Es un método simple capa activa de dos capas. El espesor de la capa activa se establece igual a la d_{90} (Diámetro del material del 90% de la curva

de calificación) por defecto (un supuesto sólo es apropiado para los lechos de grava).

Métodos de velocidad de caída

Hay varios métodos disponibles para el cálculo de la velocidad de caída y el usuario debe seleccionar el algoritmo más apropiado. Las opciones incluyen:

- Rubí
- Toffaleti
- Van Rijn
- Dietrich
- Reportar 12 (aplicable por defecto en HEC-6)

Volumen de control

El volumen de control es otra condición inicial la cual contiene el sedimento erosionable o “depósito de sedimento”: El volumen de control se ubica alrededor de la sección transversal, la mitad aguas arriba y la otra mitad aguas abajo, para la definición de éste se establece el ancho y después la profundidad, para definir la profundidad existen dos métodos que son:

- 1- Profundidad máxima: Establece la parte inferior del volumen de control a una distancia por debajo de la solera original del canal
- 2- Elevación mínima: Se establece una capa sólida en la sección, a partir de la cual no se puede erosionar. Todo el material por encima de esta cota se considera sedimento.

El programa permite la opción de realizar múltiples lechos de sedimentos (volúmenes de control) y también permite la definición de secciones donde se acumule es sedimento y no se erosione también conocidas como “islas”.

Graduación del lecho

Al introducir el archivo de granulometría del material sedimentado y el coeficiente de cohesión, este se debe asignar a las diferentes secciones transversales. El programa permite el uso de varios archivos de graduación.

Para introducir los datos de sedimentos seleccionar datos en el menú “Editar” o pulse el icono de datos de sedimentos. Aparecerá el editor de datos de sedimento. El editor de datos de sedimentos tiene tres pestañas: las condiciones iniciales y parámetros de transporte de sedimentos, las condiciones de frontera, y el USDA-ARS Estabilidad de Banco y Modelo de erosión en la punta (BSTEM). Las dos primeras pestañas son de carácter obligatorio. El tercero (BSTEM) es sólo para cálculos de procesos bancarios y no se requiere para un modelo de transporte de sedimentos.

Límites de Localización de sedimentos

El programa automáticamente une los límites externos, se deben especificar la ubicación de los límites internos de sedimento.

Carga de equilibrio

La condición límite de carga de equilibrio se utiliza para el cálculo de la graduación del lecho y la capacidad de transporte, este método parte del

equilibrio hasta simular el efecto de depósito o erosión, también, es muy sensible a la graduación del lecho y solo puede ser utilizado para los límites aguas arriba.

Datos de flujo de carga

El Flujo de carga se utiliza para correlacionar las cargas de sedimentos con las descargas límite, la curva de gasto incluye el emparejado de datos de flujo de carga.

La realización de flujo de carga es muy sensible ya que generalmente los datos se distorsionan con facilidad por una gran variedad de efectos, se utilizan cuatro consideraciones para guiar este proceso:

1. Considerar carga no medidas: Si el río tiene carga de fondo sustancial, en particular a altas corrientes, aumentar la curva de flujo de carga para reflejar estos.

2. Considerar Correctores imparciales de estimación de carga: Debido a que el transporte de sedimentos se extiende por varios órdenes de magnitud.

3. Selección del número de puntos de flujo de carga: una curva de flujo de carga debe abarcar toda la gama de flujos, incluyendo un mínimo de dos puntos, un flujo bajo y un alto flujo que unían observados o previstos flujos y sus cargas de acompañamiento. Hay dos razones para añadir puntos de flujo de carga intermedios:

- Cambio de pendiente: se utiliza una interpolación lógica para asociar cargas con flujos entre pares de flujo de carga especificados.

- Cambiar la gradación: Definir los puntos de flujo de carga intermedios en cualquier flujo que requiere datos de gradación únicas, incluso si se aproxima a la carga que la curva de gasto seleccionará automáticamente.

4. Calibración: modelos de sedimentos deben ser calibrados para proporcionar resultados predictivos fiables. Los parámetros de calibración, las ajustadas para replicar el cambio de cauce histórico, deben ser los que son más inciertos y más sensibles.

Carga de derivación

Curvas de sedimentos de calificación requieren flujos positivos y cargas. A veces las condiciones de contorno de flujo lateral simulan el flujo bidireccional, el modelado de las entradas con los valores positivos y abstracciones con flujos negativos.

Serie de sedimentos de carga: DSS - Tiempo de carga de sedimentos de la serie de la Clase grano

El programa tiene la opción de realizar una serie de carga de sedimentos: La cual es una condición de contorno de correlación entre los sedimentos y una serie de tiempo, durante la cual se especifica en qué momento se moverán las partículas del material dependiendo también del tamaño de la partícula que se moverá.

Uniones

Cuando se dan ramificaciones en el curso de un río, el programa tiene la función de Unión que se utiliza para que las camas de sedimentos que se encuentran aguas arriba se combinen, esto en base al tamaño de sedimento y al flujo.

USDA-ARS Banco de Estabilidad y del Modelo de erosión en la punta del pie (BSTEM)

El modelo BSTEM en HEC-RAS no es necesario para un modelo de transporte de sedimentos. El USDA-ARS Estabilidad de banco y Modelo de erosión de la punta del pie (BSTEM) capacidades son complejos y tienen sus propios requisitos de parametrización, comparable a las características de transporte de sedimentos en HEC-RAS (Gibson et al. 2015).

Opciones de propiedades de los sedimentos

Hay una serie de valores por defecto utilizados por HEC-RAS que puede ser cambiado por el usuario. Para cambiar los valores por defecto, seleccionar las distintas opciones disponibles en el menú Opciones en el editor de datos de sedimentos. Sólo realizar cambios en la configuración predeterminada si es apropiado para una aplicación específica. Una lista de las opciones disponibles de la siguiente manera.

Establecer propiedades de los sedimentos

Seleccionar las propiedades del grupo de sedimentos desde el menú de opciones para editar los sedimentos gravedad específica y el peso unitario. Gravedad Específica: El peso específico predeterminado para todas las partículas de sedimento es de 2.65. Los usuarios pueden cambiar este valor.

Factor de Forma: El factor de forma es la relación de eje B a la A eje de una partícula, la longitud del eje intermedio, perpendicular al eje más largo dividido

por la longitud del eje más largo. Una partícula esférica tiene un factor de forma de 1.

Peso de la unidad / Densidad: Pesos o densidades unidad de sedimentos se utilizan para convertir masas depositados o erosionado en volúmenes que se traducen en cambios de elevación de la cama. Tres pesos unitarios o densidades se utilizan para definido para la arcilla (clase de grano 1), limo (clases de grano 2-5) y arena / grava (clases de grano 6-20).

Opción de modificación del lecho:

Deposición

HEC-RAS cambia secciones transversales con el “método de la chapa” por defecto. Todos los nodos húmedos entre los límites del lecho móviles se elevan o se bajan por igual. Este cambio vertical uniforme traduce cambio de masa a un cambio de sección transversal de forma uniforme generalmente adición o eliminación de un 'chapa' de sedimento.

No hay cambios fuera de los límites base móvil: Este es el método por defecto de chapa. Todos los puntos de elevación de la estación sección transversal que cumplen tres condiciones para subir o bajar de manera uniforme para traducir la erosión o deposición en cambio sección transversal. Los nodos deben ser:

- 1) Húmedos durante ese intervalo de tiempo
- 2) Dentro de los límites de cama móviles
- 3) Sólo se erosionara si el flujo está transmitiendo activamente sobre el nodo (es decir, no está protegido con ineficaces áreas de flujo o diques activos).

Erosión

En las opciones de cama también se encuentra la erosión que se simula especificando una sección trapezoidal y aplicando los diferentes métodos disponibles para este. Para lo cual se necesitan los datos de la pendiente lateral y anchura máxima:

El canal de evolución modelo simplificado se supone que el canal se expandirá hasta que alcanza una anchura máxima. Una vez que se recorre a la anchura máxima, se mantendrá este ancho trapezoidal inferior hasta que alcanza la parte inferior del volumen de sedimento (Profundidad Máx. o Mín. Elevación). Si el río todavía tiene la capacidad de erosionar cuando el canal alcanza la parte inferior del volumen de control de sedimentos, el canal trapezoidal se expandirá lateralmente, manteniendo la elevación y laterales pendientes del fondo, pero el aumento de la anchura de fondo.

- Método de enrutamiento

Al utilizar la ecuación de Exner o Método de Copeland (Ver Anexo A) se da un fenómeno en el cual las partículas pueden llegar a superar la velocidad del flujo, por lo tanto se debe limitar esta, para esto el programa tiene la opción del método de enrutamiento, la cual libera los sedimentos del volumen de control que el agua puede llevar en ese momento.

- Función de transporte y Calibración

Las funciones de transporte de sedimentos son, en grados variables, los resultados de la ciencia teórica y empírica. Incluso la teoría detallada, más se

ajuste a los datos utilizando los coeficientes empíricos. Para cuatro de las funciones de transporte.

Cada una de las cuatro funciones de transporte tiene una variable que cuantifica la fuerza o energía necesaria para movilizar la partícula. En Laursen-Copeland y MPM es el esfuerzo cortante crítico, τ_{do} *(También conocido como el número Shields), en Ackers-White es el Umbral de Movilidad (A) y en Wilcock es la tensión de corte de referencia τ_{rm} *. Al calibrar una función de transporte de sedimentos uso de esta función, estos factores de movilidad deben ser los principales parámetros ajustados, ya que pueden estar relacionados con los fenómenos físicos.

Ajuste del paso a través de nodos

El sedimento que entra en el volumen de control sección transversal asociado con esa sección transversal deja el volumen de control. La sección transversal no deposita o erosiona. Esta característica fue diseñada para las curvas del canal, donde la dinámica del canal multidimensionales mantienen los sedimentos se depositen pero el enfoque de transporte tridimensional calcula deposición.

Dragado

Es el proceso mediante el cual se eliminan los sedimentos del lecho del río mecánicamente, este proceso normalmente se lleva a cabo de forma explícita, ya que las ecuaciones de transporte y continuidad no contemplan las modificaciones antropogénicas. El programa incluye diferentes métodos para el dragado, los cuales se dividen en métodos de elevación o de masa.

Métodos de elevación: Este método superpone una plantilla rectangular sobre la superficie y se draga todo el material por encima de ella, normalmente se utiliza para zonas de navegación.

Métodos de masa: estos métodos eliminan el material especificando la masa y dragándola de la sección transversal.

CAPÍTULO 3 OBTENCIÓN DE LA TOPOGRAFÍA

3.1 Descripción General de La Quebrada “Buenos Aires”

La quebrada Buenos Aires se ubica en el municipio de Santa Tecla, La Libertad. Es un drenaje natural del Volcán de San Salvador que hace su recorrido en dirección Sur-Este partiendo desde el volcán pasando por el Eco-parque El Espino y luego a la zona Urbanizada de Santa Tecla.

En la parte alta cerca al acceso del Eco-parque la quebrada es discontinua debido a la calle, en estos tramos la quebrada es muy estrecha, accidentada y densa de vegetación, como se muestra en la Figura 3.1.1.



Figura 3.1.1 Tramos de la Quebrada Buenos Aires.

Fuente: Elaboración propia, Fotografías del interior de la quebrada Buenos Aires.

En toda esa zona el material colindante con la quebrada es suelo inestable de fácil movilidad debido a factores constantes como son: la naturaleza del material,

pendiente topográfica y morfología de la ladera; y factores variables como: erosión fluvial, climatología y sismicidad. Como se puede ver en la Figura 3.1.2 en su mayoría el material es suelo arenoso (ver en anexos los resultados de las granulometrías) con bloques de rocas incrustados y con humedad considerable. Cabe mencionar que las granulometrías a realizarse incluyen el material del tamaño de gravas, arenas y finos por ser los sedimentos más propensos a transportarse durante una tormenta.



Figura 3.1.2 El lecho de la Quebrada Buenos Aires está compuesto de material arenosos y de rocas con diámetros que varían entre 0.30 – 1.00 metros.

Fuente: Elaboración propia: Fotografías del Interior de la quebrada Buenos Aires.

También, al pie de las laderas de la quebrada existen sectores de brotes de agua, muy probablemente del agua infiltrada. Todo este material de las laderas

es susceptible a fallas como: desprendimientos o colapsos; debido a las socavaciones de las corrientes de agua y a deslizamientos. El material en el lecho de la quebrada va desde bloque de roca, agregados grueso, arena y material fino (sedimentos). Ver figura 3.1.3.

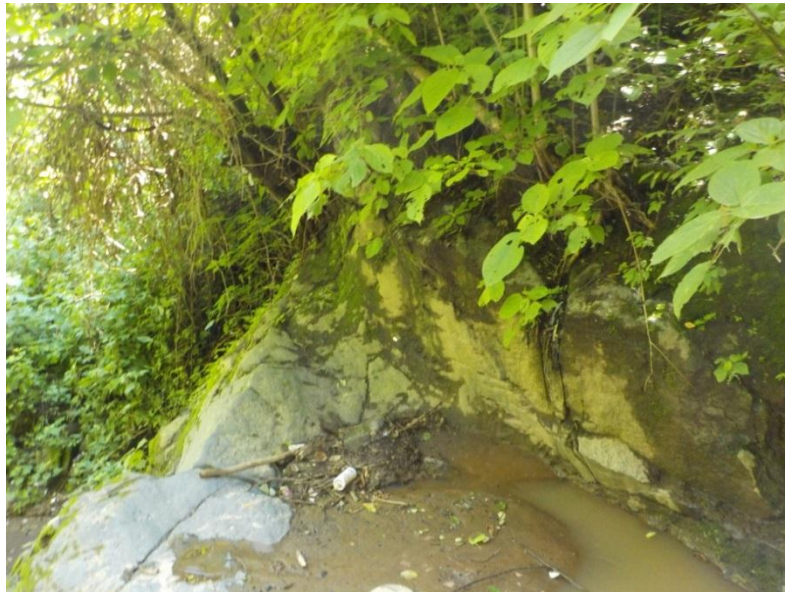


Figura 3.1.3 Brotes de agua infiltrada en las laderas de la quebrada.

Fuente: Elaboración propia, Fotografías del Interior de la quebrada Buenos Aires

3.1.1 Levantamiento topográfico de la quebrada “Buenos Aires, Santa Tecla”

El levantamiento topográfico se realizó dentro de la quebrada Buenos Aires en un tramo de 1,065.8 metros, comprendido desde el polideportivo con Longitud= $89^{\circ}16'19.54''\text{O}$ y Latitud= $13^{\circ}41'24.72''\text{N}$ hasta el Eco-parque El Espino con Longitud= $89^{\circ}16'45.14''\text{O}$ y Latitud= $13^{\circ}42'7.39''\text{N}$. Se inició aguas abajo, donde

se encuentra urbanizado, avanzando desde ahí hasta encontrar un tramo cuya pendiente sea mayor a 20°. Como se puede observar en la figura 3.1.4, el levantamiento se realizó aproximadamente a 580.00 metros del punto de descarga de la cuenca de la Quebrada Buenos Aires.



Figura 3.1.4 Cuenca de la Quebrada Buenos Aires y tramo obtenido en el levantamiento topográfico.

Fuente: Elaboración propia, Basadas en imágenes de Google Earth

En el levantamiento se utilizó el GPS de alta precisión para la obtención de coordenadas “x”, “y” y “z”. El GPS consta de la base, el móvil y los colectores de información. La base y el móvil se configuran para trabajar conjuntamente para la lectura de coordenadas en el lugar donde se posiciona el móvil. En tramos

donde la señal del GPS era interrumpida, se optó por utilizar estación total. (Ver figura 3.1.5)



Figura 3.1.5 Vegetación abundante en Quebrada Buenos Aires.

Fuente: Elaboración propia, Fotografía del interior de la quebrada Buenos Aires.

Se realizó el siguiente procedimiento de levantamiento: Se obtienen dos puntos de coordenadas con el GPS uno de posicionamiento para la Estación Total y otro de Vista Atrás ambos puntos se almacenan en el colector Carlson. Se establece conexión por bluetooth entre el colector y la Estación Total. Se posiciona la Estación Total en el punto descrito anteriormente y realizando las configuraciones que incluye el punto ocupado, altura de instrumento, altura de prisma, vista atrás,

etc. Se inicia el levantamiento de la quebrada en dirección aguas arriba tomando datos de eje de quebrada y secciones transversales a cada 50.00 m. Para la toma de datos de las secciones se configura la estación sin prisma, se registran datos hasta el último punto visible, y se vuelve a ubicar la estación consecutivamente realizando el proceso descrito. La medición descrita anteriormente concluyó hasta la zona urbanizada. Se optó por continuar con el levantamiento topográfico de la quebrada desde el Eco-parque y avanzar en dirección a aguas abajo; debido a la dificultad que comprendía avanzar a la parte alta de la quebrada con la movilización de todo el equipo (GPS, prismas, bastones, estación total, etc.) Ver Figura 3.1.6.



Figura 3.1.6 Toma de datos en Quebrada Buenos Aires con estación total en sincronía con el colector Carlson.

Fuente: Elaboración propia, Fotografía del interior de la quebrada Buenos Aires

En el tramo del Eco-parque hacia aguas abajo se comenzó el levantamiento exactamente en la intersección de la quebrada con la calle de acceso al Eco-parque, de forma similar ubicando dos puntos en el lugar con el GSP, para ubicar la estación total y vista atrás. Luego conectar vía bluetooth la estación total y colector; el colector es donde se almacena todo los datos y donde se configura los valores de la estación total o GPS

3.2 Descripción General de la Quebrada El Arenal

La quebrada El Arenal se ubica en el municipio de Mejicanos, San Salvador. Es un drenaje natural del Volcán de San Salvador que hace su recorrido en dirección Sur-Este partiendo desde el volcán.

La quebrada El Arenal es la que se encuentra más poblada incluso en el cauce y en sus cercanías. Además el lecho está compuesto en gran mayoría de laja y de material fino sobre todo en las zonas de asentamientos humanos materiales arenosos y rocas.

3.2.1 Levantamiento topográfico de la quebrada “El Arenal de Mejicanos”

El levantamiento topográfico se hizo para un tramo de 161.08 metros, comprendido desde la intersección del Boulevard Constitución con Latitud= 13°43'52.31"N y Longitud= 89°13'30.99"O. Se inició aguas abajo, donde se encuentra urbanizado, avanzando desde ahí hasta encontrar un tramo cuya pendiente sea mayor a 20°, debido a que los sedimentos en dicho tramo son

inestables y se considera que su movimiento se debe principalmente a la gravedad y no a un flujo de agua.

En el levantamiento se utilizó el GPS de alta precisión para la obtención de coordenadas “x”, “y” y “z”. El GPS consta de la base, el móvil y los colectores de información. La base y el móvil se configuran para trabajar conjuntamente para la lectura de coordenadas en el lugar donde se posiciona el móvil. No se utilizó el GPS únicamente para el levantamiento debido a que la señal es interrumpida en zonas de abundante vegetación y se optó por el uso de la Estación Total. (Ver figura 3.2.1)



Figura 3.2.1 Estación base de GPS para el levantamiento topográfico.

Fuente: Elaboración propia, Fotografía tomada en la quebrada El Arenal.

Se realizó el siguiente procedimiento de levantamiento: Se obtienen dos puntos de coordenadas con el GPS uno de posicionamiento para la Estación Total y otro

de Vista Atrás ambos puntos se almacenan en el colector Carlson. Se posiciona la Estación Total en el punto descrito anteriormente y realizando las configuraciones. Se inicia el levantamiento de la quebrada en dirección hacia aguas arriba tomando datos de eje de quebrada y secciones transversales a cada 50.00 m. Cabe mencionar que el levantamiento topográfico se vio limitado debido a la alta inseguridad social en las comunidades asentadas en la cuenca de la quebrada. (Ver Figura 3.2.2)



Figura 3.2.2 Asentamientos en la quebrada El Arenal.

Fuente: Elaboración propia, Fotografía tomada en la quebrada El Arenal.

3.3 Descripción General de la Quebrada Las Lajas

La Quebrada Las Lajas inicia en el Cantón Álvarez en San Salvador con Latitud= $13^{\circ}43'0.73''N$ y Longitud= $89^{\circ}15'17.21''O$; en una hondonada de aproximadamente 10.00 metros con abundante vegetación. En este punto de la quebrada su morfología es definida por pendientes pronunciadas, y en las cercanías se encuentran sub-cuencas que funcionan como afluentes de la quebrada. Su recorrido es en dirección Sur-Oeste hasta llegar a la zona de la colonia La Escalón.

El lecho de la quebrada está compuesto de material fino (sedimentos), material grueso (bloques de roca de forma angulosa con tamaños considerables (0.30-1.00m) en su parte baja; y las lajas son encontradas aguas arriba, como se muestra en la figura 3.3.1 y 3.3.2.



Figura 3.3.1 Suelo arenoso y rocoso aguas abajo de la Quebrada Las Lajas San Salvador.

Fuente: Elaboración propia, Fotografía tomada en la quebrada Las Lajas.



Figura 3.3.2 Suelo compuesto de lajas aguas arriba de la Quebrada Las Lajas San Salvador.

Fuente: Elaboración propia, Fotografía tomada en la quebrada Las Lajas.

Estos bloques de gran tamaño han sido movilizados por flujos de agua y/o movimientos sísmicos que los transportan hacia aguas abajo de la quebrada.

Otro aspecto importante es la cantidad de desechos que hay en la quebrada como: Plástico, Llantas, Bolsas, etc.; que son arrojados por los habitantes de las zonas aledañas, ya que comúnmente los pobladores usan las quebradas como botaderos de residuos sólidos y la ciudad en general utiliza las quebradas para descargar aguas residuales. Ver figura 3.3.3



Figura 3.3.3 Basura encontrada en la Quebrada Las Lajas San Salvador.

Fuente: Elaboración propia, Fotografías tomadas en la quebrada Las Lajas.

Los laterales de la quebrada están siendo erosionados por las aguas fluviales. Las corrientes desgastan los materiales de los bordes dejando entre ver que son arrastrados los materiales más finos y luego los más gruesos, como se muestra en la figura 3.3.4.



Figura 3.3.4 Laterales de la Quebrada Las Lajas San Salvador.

Fuente: Elaboración propia, Fotografía tomada en la quebrada Las Lajas.

Los árboles tienen poca estabilidad y caen al lecho, como resultado el terreno está siendo modificado debido a la erosión, como se muestra en la Figura 3.3.5.



Figura 3.3.5 Suelo erosionado y vegetación inestable.

Fuente: Elaboración propia, Fotografías tomadas en la quebrada Las Lajas.

La Quebrada en la zona de La Escalón se caracteriza por estar influenciada por actividades antropogénicas aguas arriba, como por ejemplo: Los habitantes drenan sus aguas a la quebrada como se muestra en la Figura 3.3.6.



Figura 3.3.6 Drenaje de zona urbanizada en las cercanías directamente a la Quebrada Las Lajas San Salvador.

Fuente: Elaboración propia, Fotografías tomadas en la quebrada Las Lajas.

Intentos por encauzar un tramo de la quebrada con tubería de concreto; sin embargo, la misma ha sido aplastada por los flujos de agua de la quebrada como se muestra en la figura 3.3.7.

Además la quebrada ha sido intervenida bruscamente por un muro de mampostería de piedra que obstaculiza y reduce la sección hidráulica de la quebrada en gran medida. En este tramo de quebrada la cantidad de basura es menor. Ver figura 3.3.8



Figura 3.3.7 Restos de la tubería de concreto con la que se intervino la Quebrada Las Lajas San Salvador.

Fuente: Elaboración propia, Fotografía tomada en la quebrada Las Lajas.



Figura 3.3.8 Muro de mampostería que estrecha significativamente el cauce de la Quebrada Las Lajas San Salvador.

Fuente: Elaboración propia, Fotografía tomada en la quebrada Las Lajas.

En cuanto a los flujos de escombros se identifica la zona de depósito recientes en la parte baja de la quebrada, como se muestra en la Fotografía. Con espesores de que varían entre los 0.14 y 0.31 m. Ver figura 3.3.9



Figura 3.3.9 Zonas de depósito en la Quebrada Las Lajas San Salvador.

Fuente: Elaboración propia, Fotografías tomada en la quebrada Las Lajas.

3.3.1 Levantamiento topográfico de la quebrada “Las Lajas, La Escalón”

La topografía fue levantada con el uso del GPS de alta precisión y Estación Total. El tramo comprendido de una longitud de 112.50 metros se inició aguas abajo, donde se encuentra urbanizado, avanzando desde ahí hasta un cambio de pendiente del cauce mayor a 20°.

Como se puede observar en la figura 3.3.10, el levantamiento se realizó aproximadamente a 380.00 metros bajo el punto de descarga de la cuenca (indicada en color verde) de la Quebrada Las Lajas San Salvador.



Figura 3.3.10 Cuenca de la Quebrada Las Lajas San Salvador y tramo obtenido en el levantamiento topográfico.

Fuente: Elaboración propia, Adaptación de imagen de Google Earth.

El levantamiento resulta de obtener coordenadas “x”, “y” y “z” por medio del GPS Carlson de alta precisión; en el punto de inicio, como se muestra en la Figura 3.3.11.



Figura 3.3.11 Inicio del levantamiento de la Quebrada Las Lajas San Salvador.

Fuente: Elaboración propia, Fotografía tomada en la quebrada Las Lajas.

A partir de este punto, se procede a configurar la estación total, debido a que la vegetación es abundante, como se muestra en la Figura 3.3.12 y no se obtiene la precisión requerida con el GPS.



Figura 3.3.12 Vegetación abundante en Quebrada Las Lajas San Salvador.

Fuente: Elaboración propia, Fotografía tomada en la quebrada Las Lajas.

Por medio de conexión bluetooth el colector Carlson y la estación total Sokkia Set 650 se sincronizan para la configuración de la estación total, toma y registro de datos.

En cada punto de posicionamiento de la estación total se tomó vista atrás hacia el punto anterior con el objetivo de referenciar la ubicación actual con la anterior ocupada. Desde el colector Carlson se emite la orden de toma de datos a la estación total. La toma de datos consiste en obtener coordenadas “x”, “y” y “z” del eje de la quebrada y secciones transversales a cada 50.00 metros.

Este proceso se repitió hasta la finalización de toma de datos, es decir una pendiente de 20°.

3.4. Datos de la quebrada “Buenos Aires, Santa Tecla”

Los datos obtenidos del levantamiento topográfico se presentan en AutoCAD, gracias a que el colector Carlson es capaz de guardar los levantamientos en un formato dwg, los cuales son fácilmente exportados y tratados adecuadamente.

El colector Carlson guarda los puntos tomados en diferentes capas para mejor comprensión del levantamiento. Por ejemplo, en la Quebrada Buenos Aires, el eje de la quebrada se presenta con el código “EQ” con color morado, las secciones con el código “SECCIÓN” de un color azul, y, los puntos ocupados por la estación total fueron guardados con el código “PBE” de un color azul oscuro, como se muestra en la figura 3.4.1

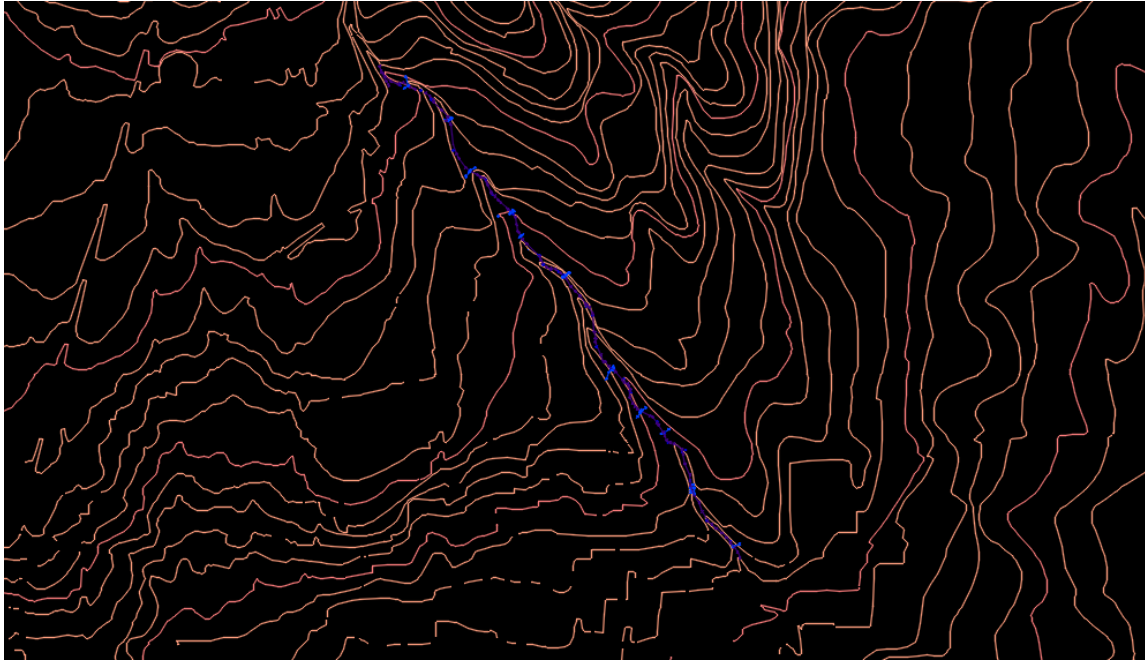


Figura 3.4.1 Eje de la Quebrada Buenos Aires, las secciones transversales y los puntos ocupados por la estación total.

Fuente: Elaboración propia, Captura adaptación de cuadrantes digitados en el visor de civil 3D.

Cabe mencionar que los datos obtenidos fueron posicionados en las curvas de nivel a cada 5.00 metros, dichas curvas fueron obtenidas mediante la digitalización de los cuadrantes que proporciona el CNR. Para continuar con el tratamiento de datos, el levantamiento se incluye en el eje de la quebrada de las curvas a cada 5.00 metros, para complementar el tramo comprendido entre el final de la cuenca y el final de la quebrada. Ver figura 3.4.2

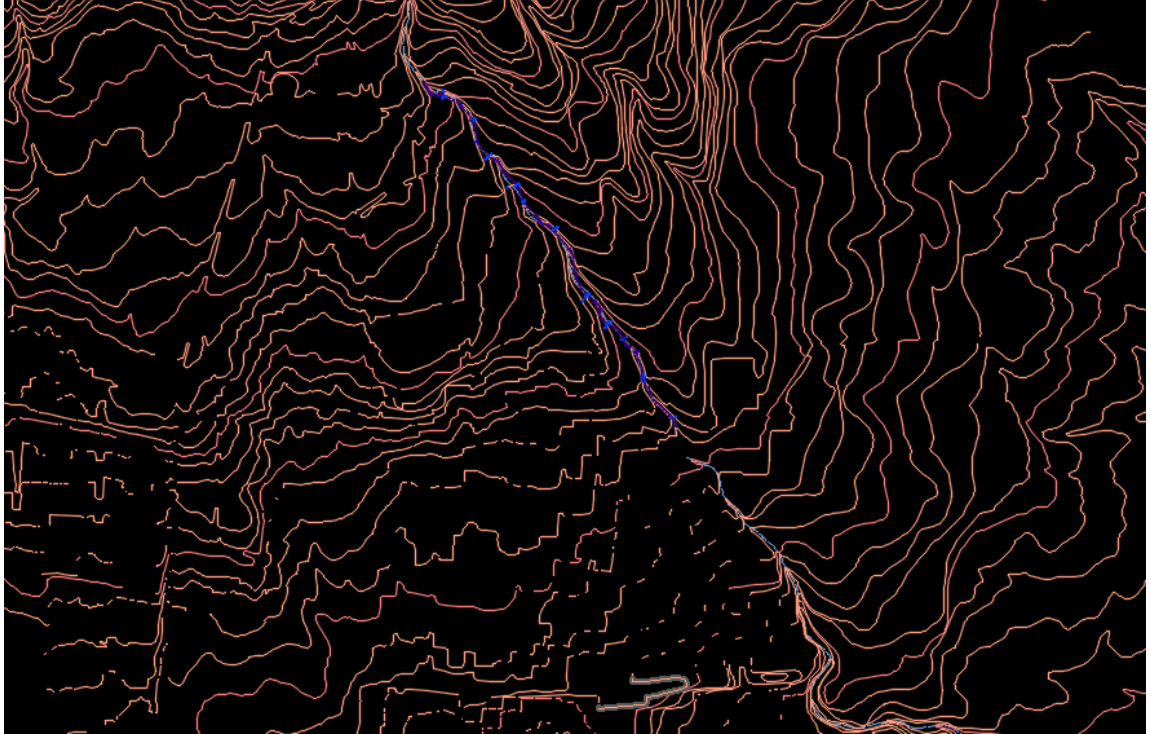


Figura 3.4.2 Tramo completo de la Quebrada San Salvador a utilizarse en la modelación hidráulica.

Fuente: Elaboración propia, Captura adaptación de cuadrantes digitados en el visor de civil 3D.

Se obtuvo el siguiente perfil longitudinal del Eje de la quebrada, al posicionar el levantamiento efectuado con las curvas de nivel a cada 5.00 metros. Comenzando desde el estacionamiento 0+000 m finalizando en 4+800 m. (Ver figura 3.4.3)

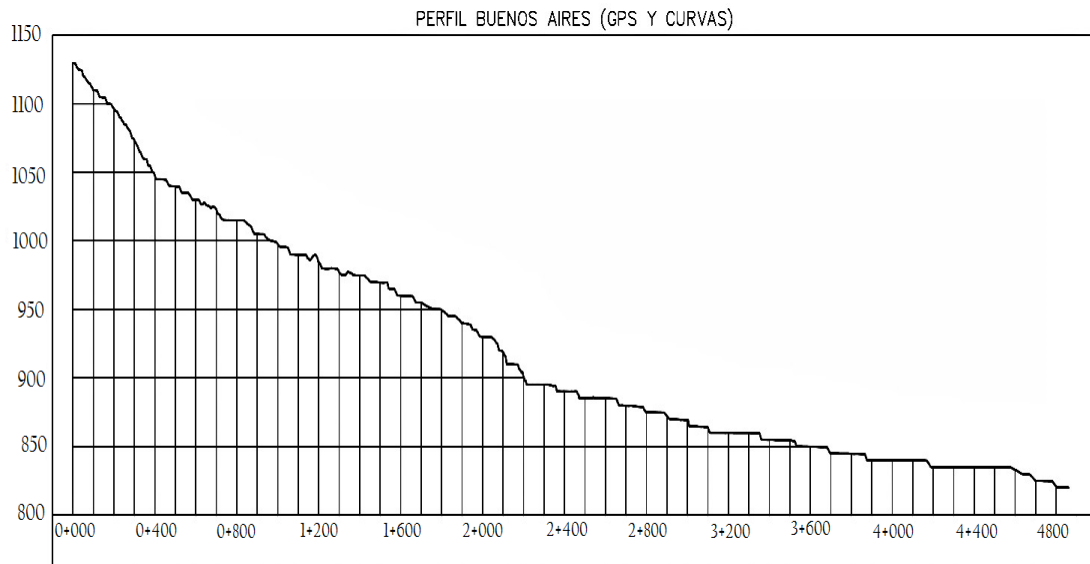


Figura 3.4.3 Perfil Longitudinal resultado de la modelación topográfica con curvas a 5.00m y GPS.

Fuente: Elaboración propia, Captura del visor de Civil 3D.

El tramo de interés levantado con GPS es entre el estacionamiento 0+2000 al 1+700. Obteniendo el siguiente perfil longitudinal del Eje de la quebrada Buenos Aires. (Ver Figura 3.4.4)

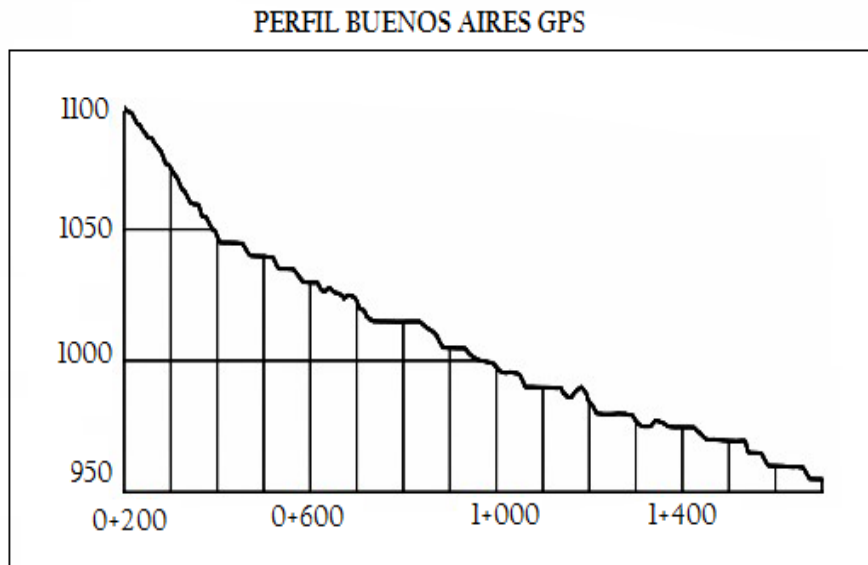


Figura 3.4.4 Perfil Longitudinal resultado de la modelación topográfica de los datos obtenidos en campo.

Fuente: Elaboración propia, Captura del visor de civil 3D.

3.4.1. Granulometría en la quebrada

Al realizar el análisis de flujo con sedimentos se requiere de un archivo que contenga la granulometría, para lo cual se requiere de realizar ensayos de granulometría y gravedad específica, los cuales son los principales valores que se requieren.

Con la finalidad de conocer estos datos se realiza una campaña geotécnica, en la cual se seleccionaron arbitrariamente los puntos de recolección de muestras, tal como se ve en la figura 3.4.5, las cuales fueron tomadas en el cauce de la quebrada, con el cuidado de tener muestras representativas de la zona teniendo el cuidado de que las muestras no contengan material que esté por encima de

los límites del equipo que se cuenta para realizar los ensayos (Rocas mayores a 0.05 m).



Figura 3.4.5 Ubicación de lugares de toma de muestras en la quebrada Buenos Aires en Santa Tecla.

Fuente: Elaboración propia, Adaptación de imagen de Google Earth.

A continuación se presentan los resultados más relevantes de los ensayos (Apéndice C):

Muestra 2

La recolección de esta muestra se realizó en la parte media del volcán de San Salvador también conocido como El Boquerón, en las cercanías de un asentamiento conocido como el Cantón Álvarez. Al observar la zona se notaba poca presencia de rocas de gran tamaño y la muestra presentaba un color café claro. La granulometría se muestra en la tabla 3.1.

Tabla 3.1: Granulometría de la Muestra 2		
No Mallas	mm	% pasante de la malla
2	50.000	100
1 1/2"	38.100	99
1	25.000	98
3/4"	19.000	97
3/8"	9.500	89
No 10	2.000	66
No 16	1.180	59
No 30	0.600	50
No 50	0.300	40
No 100	0.150	25
No 200	0.075	14

Con estos resultados se presenta la siguiente gráfica:



Figura 3.4.6 Gráfica de la muestra 2.

Fuente: Elaboración propia, Gráfica elaborada en Excel.

Al realizar los ensayos de límite plástico y límite líquido resultó que el material es no plástico.

El ensayo de gravedad específica da como resultado un valor de 2.58.

El material se clasificó como una arena mal graduada con grava.

Muestra 3

Esta muestra fue tomada en la parte media del volcán de San Salvador, dentro del municipio de Santa Tecla en terreno del Eco parque el Espino. Principalmente constaba de arenas y poca presencia de rocas de gran tamaño con un color café claro. Aguas abajo de la calle de entrada al Eco parque se observó una alta concentración de rocas de gran tamaño y presencia de basura. La granulometría se muestra en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2: Granulometría de la Muestra 3		
No Mallas	mm	% pasante de la malla
2	50.000	100
1 1/2"	38.100	99
1	25.000	97
3/4"	19.000	93
3/8"	9.500	88
No 4	4.7500	73
No 10	2.000	73
No 16	1.180	58
No 30	0.600	42
No 50	0.300	23
No 100	0.150	8
No 200	0.075	3

Con estos resultados se presenta la siguiente grafica

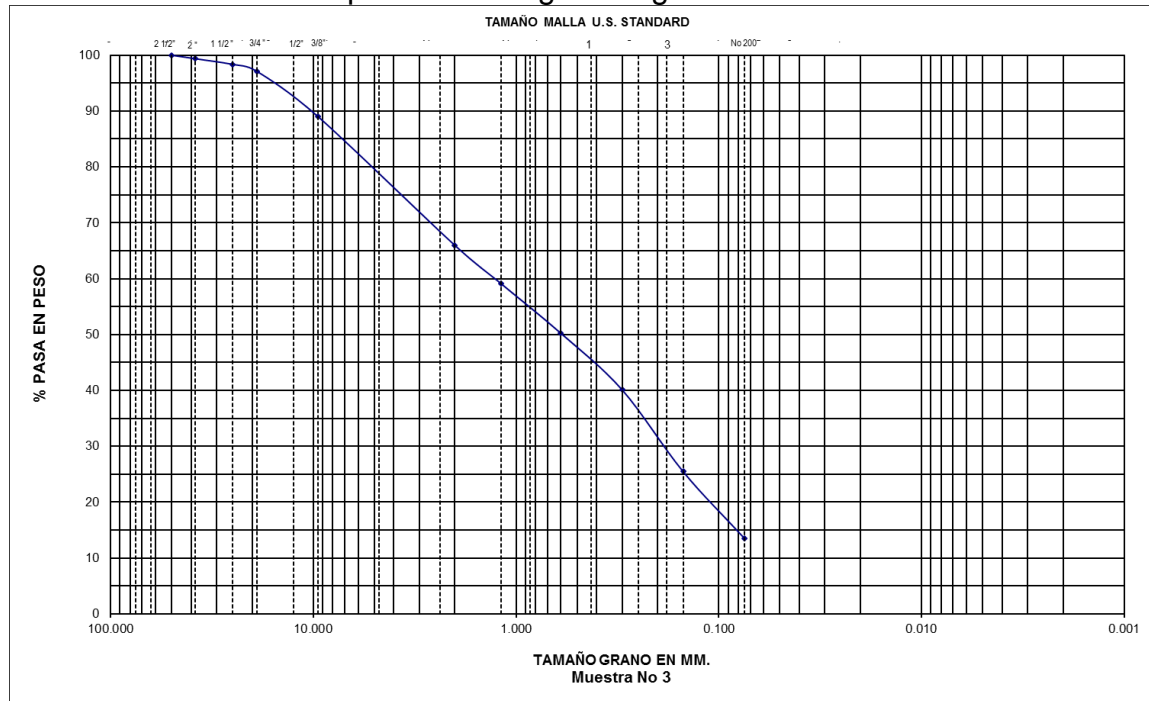


Figura 3.4.7 Gráfica de la muestra 3.

Fuente: Elaboración propia, Gráfica elaborada en Excel.

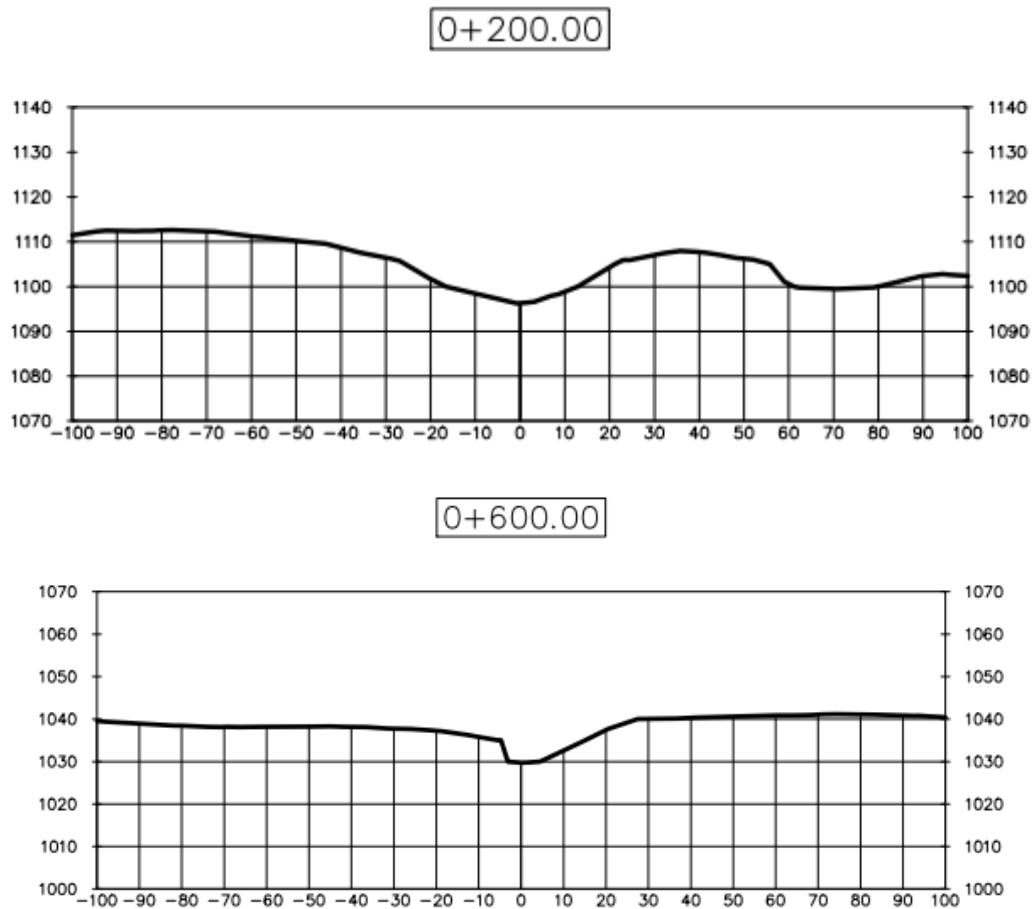
Al realizar los ensayos de límite plástico y límite líquido resultó que el material es no plástico.

El material se clasificó como una arena mal graduada con grava.

Se tomaron espesores en algunos puntos donde se encontraron sedimentos, estos se midieron hasta la superficie sólida de la quebrada, cuyos valores fueron de 0.19 m, 0.32 m y 0.14 m. Dejando una profundidad promedio en la quebrada de 0.22 m.

3.4.2. Ubicación de las secciones transversales

La obtención de las secciones transversales en el tramo de interés definido entre el estacionamiento 0+200 al 1+700 se realizó a cada 50.00 m con ancho a cada lado del eje de 100.00 m. A continuación se muestra algunas de las secciones obtenidas: (Ver Figura 3.4.8)



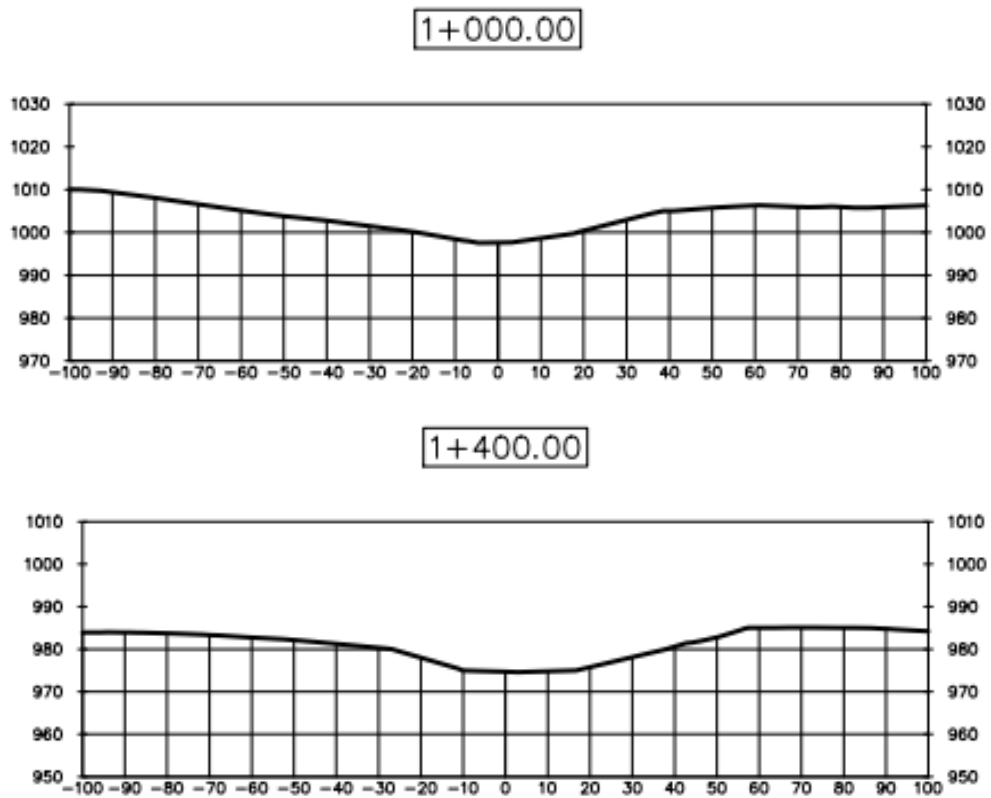


Figura 3.4.8 Representación de las secciones obtenidas del levantamiento topográfico.

Fuente: Elaboración propia, Captura del visor de Civil 3D.

Comparación Topográfica

Topografía 10.00 m –Topografía 5.00 m

Para hacer una comparación topográfica se hará en base a perfiles y secciones transversales creadas a partir de ambas topografías. A continuación se presentan los perfiles de la topografía de 10.00 m y la topografía de 5.00 m. Ver Figura 3.4.9

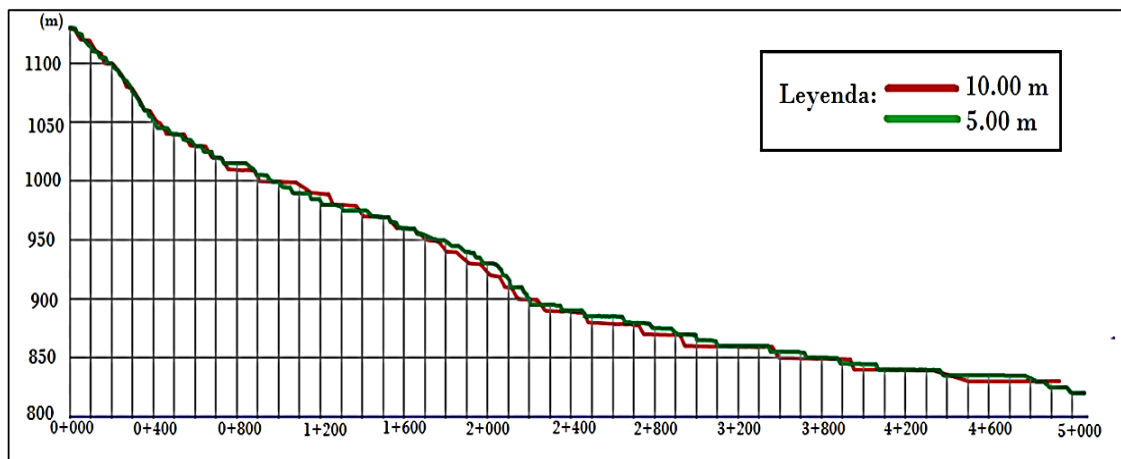


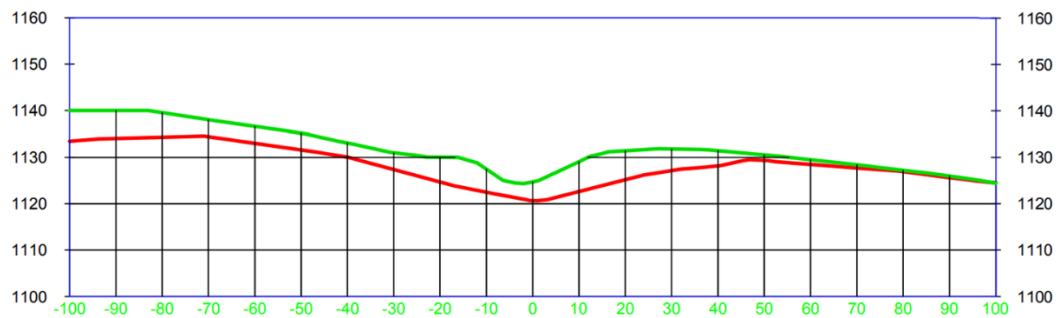
Figura 3.4.9 Perfil Quebrada Buenos Aires con topografía de 10.00 m y 5.00m.

Fuente: Elaboración propia, Captura de visor de Civil 3D.

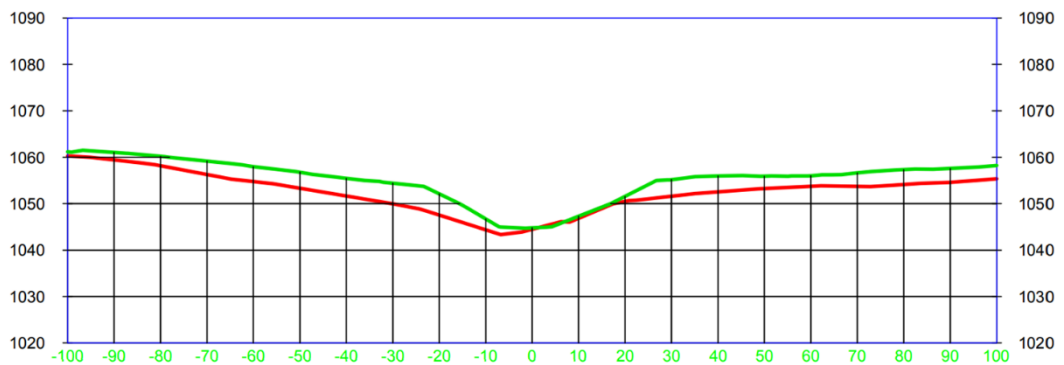
Desde el estacionamiento 0+000 hasta el 0+800 de la Quebrada Buenos Aires con la topografía de 5.00 m se muestra mayor detalle en las ondulaciones del lecho de la quebrada. En la topografía de 10.00 metros las ondulaciones son más profundas debidas a dos factores importantes: la precisión de curvas de nivel a cada 10.00 metros y la antigüedad de estas. En el primer tramo de 400.00 m la inclinación del lecho no es distinta para ambas topografías. Entre los estacionamiento 0+800 y 1+1200 la diferencia más notable es que el perfil con la

topografía de 5.00 m es más inclinado que la proporcionada por la topografía de 10.00m. Además, entre los estacionamientos 1+200 a 2+800 el perfil con la topografía de 10.00 metros es ligeramente más inclinado que el perfil generado a partir de la topografía de 5 metros. En la estación 2+100 el perfil con la topografía de 5.00 metros se muestra una caída abrupta en el lecho de la quebrada que no se visualiza así en el perfil con la topografía de 10.00m.

0+050.00



0+450.00



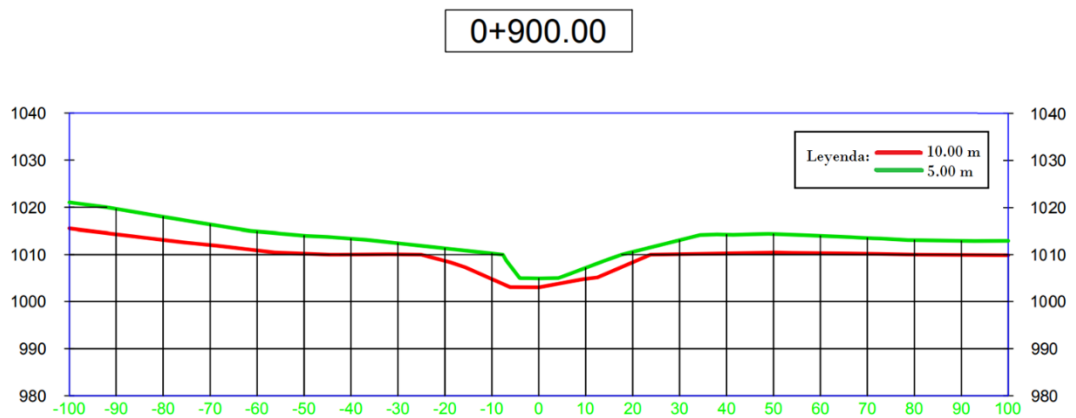


Figura 3.4.10 Secciones Transversales de La Quebrada Buenos Aires con topografía de 10.00 m y 5.00 m.

Fuente: Elaboración propia, Capturas de Imgen de Civil 3D.

Al comparar ambas topografías mediante las secciones transversales es evidente que en la topografía de 5.00 m se muestra con mayor detalle la geometría transversal de la sección. Y el lecho de la quebrada Buenos Aires esta mejor definido en la topografía de 5.00 m que en la de 10.00 m.

Topografía 5m-Topografía de GPS

La topografía obtenida con GPS y estación total se compara con la topografía a 5m, ya que observamos en la comparación anterior que es más precisa respecto a la de 10 m. La topografía se realizó en tramos de interés no a lo largo de toda la quebrada según lo necesario para la modelación hidráulica. La topografía levantada en la quebrada Buenos aires referenciada a toda la quebrada en la topografía de 5m corresponde entre los estacionamiento 0+200 al 1+700. Para

poder hacer una comparación entre ambas topografías se extrae el tramo de interés de la topografía de 5m.

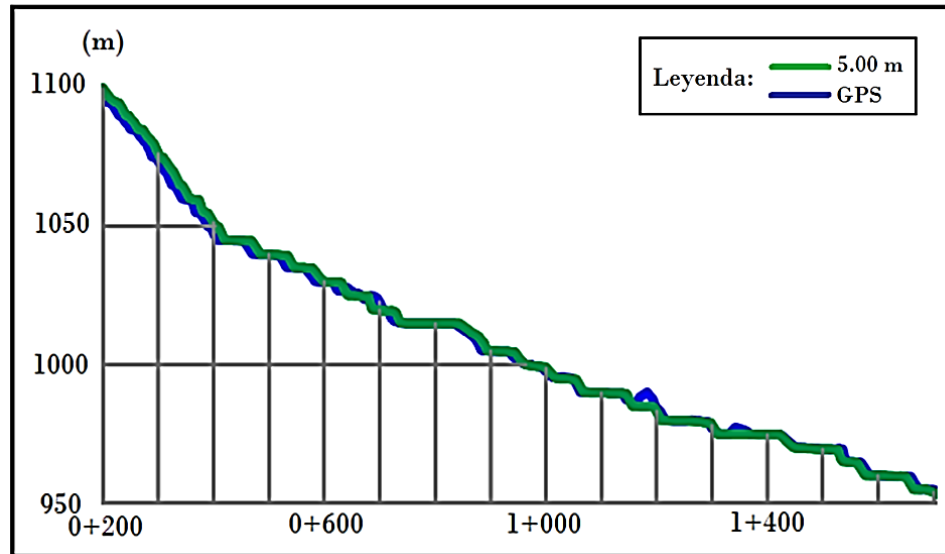


Figura 3.4.11 Comparación Topográfica de Perfiles, Curvas a 5.00 m Vs. Topografía obtenida con GPS y Estación Total.

Fuente: Elaboración propia.

En la comparación de ambos perfiles, las diferencias más significantes están en el estacionamiento 0+700, donde en la topografía de 5.00 m se visualizan pronunciados desniveles con esquinas angulosas: en cambio, en el levantamiento con GPS no se visualizan esos desniveles tan escarpados sino más suavizados y con sus bordes más redondeados. Además del estacionamiento 1+200 en adelante la morfología descrita por el perfil creado a

partir del levantamiento con GPS muestra más detalle que el perfil de topografía a 5.00 m.

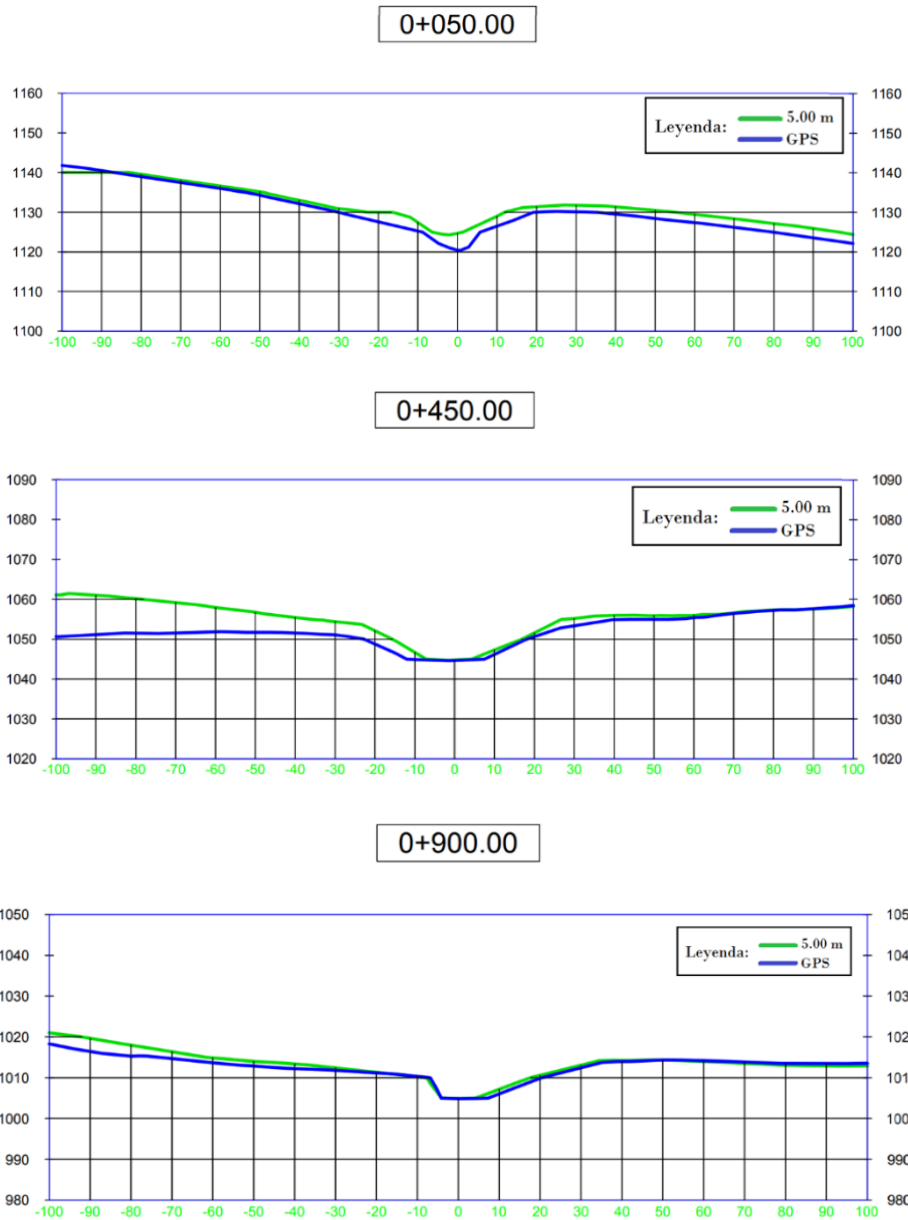


Figura 3.4.12 Comparación Topográfica de Secciones Transversales, Curvas a 5.00 m Vs. Topografía obtenida con GPS y estación total.

Fuente: Elaboración propia, Capturas del visor de Civil 3D.

La comparación de secciones transversales muestra que el levantamiento con GPS brinda detalles importantes, como se puede observar en la sección 0+050, según la topografía a 5.00 m el lecho tiene una elevación aproximada de 1,124.00 m pero según la topografía obtenida con GPS la elevación es de 1,120.00m. Podemos atribuir esta diferencia a dos aspectos: a la inexactitud de los datos de 5.00 m y/o que el lecho de que la quebrada haya descendido 4.00 m desde el año 1980 del cual data la topografía de 5.00 m hasta el año 2017 donde hicimos el levantamiento con GPS. También, en la sección 0+050 se visualiza que los laterales de la quebrada se han ensanchado, y el lecho de la quebrada se ilustra más amplio, posiblemente debido a la erosión. Este mismo efecto se identifica en las siguientes secciones donde los laterales se ven que han adquirido más profundidad.

3.5. Datos de la quebrada “El Arenal, Mejicanos”

Los datos obtenidos del levantamiento topográfico se presentan en AutoCAD, gracias a que el colector Carlson es capaz de guardar los levantamientos en un formato dwg, los cuales son fácilmente exportados y tratados adecuadamente.

El colector Carlson guarda los puntos tomados en diferentes capas para mejor comprensión del levantamiento. Por ejemplo: en la Quebrada El Arenal, el eje de la quebrada se presenta con el código "EQ" con color morado, las secciones con el código "SECCIÓN" de un color azul, y los puntos ocupados por la estación total fueron guardados con el código "PBE" de un color azul oscuro, como se muestra en la figura 3.5.1

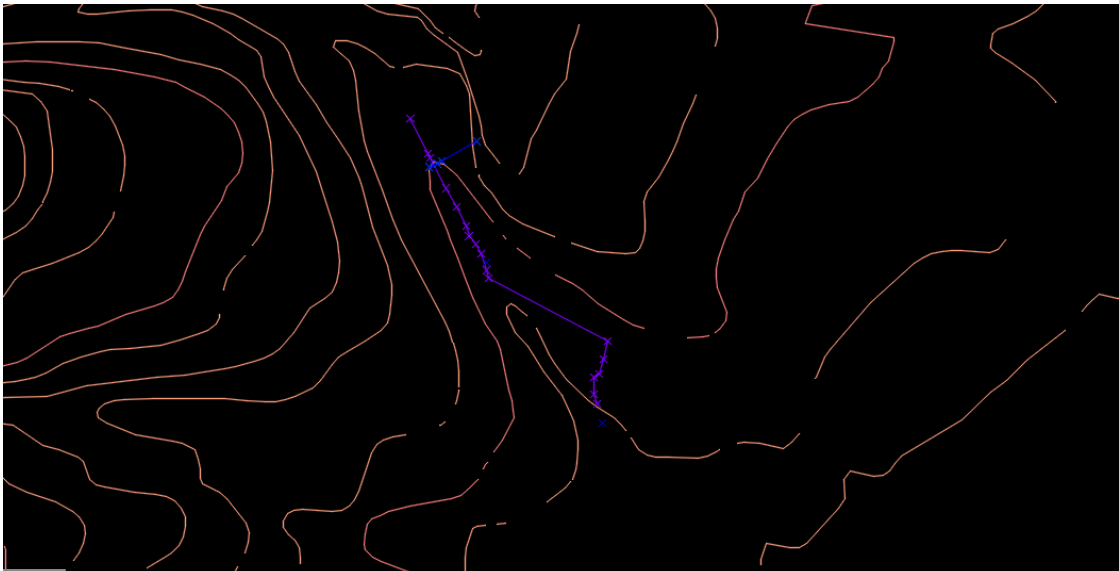


Figura 3.5.1 Eje de la Quebrada El Arenal, las secciones transversales y los puntos ocupados por la estación total.

Fuente: Elaboración propia, Captura del visor de Civil 3D.

A continuación se observa en la figura 3.5.2 el eje de la quebrada superpuesto en las curvas de nivel a cada 5.00 m, obtenidas por la digitalización de los cuadrantes que presenta el CNR.

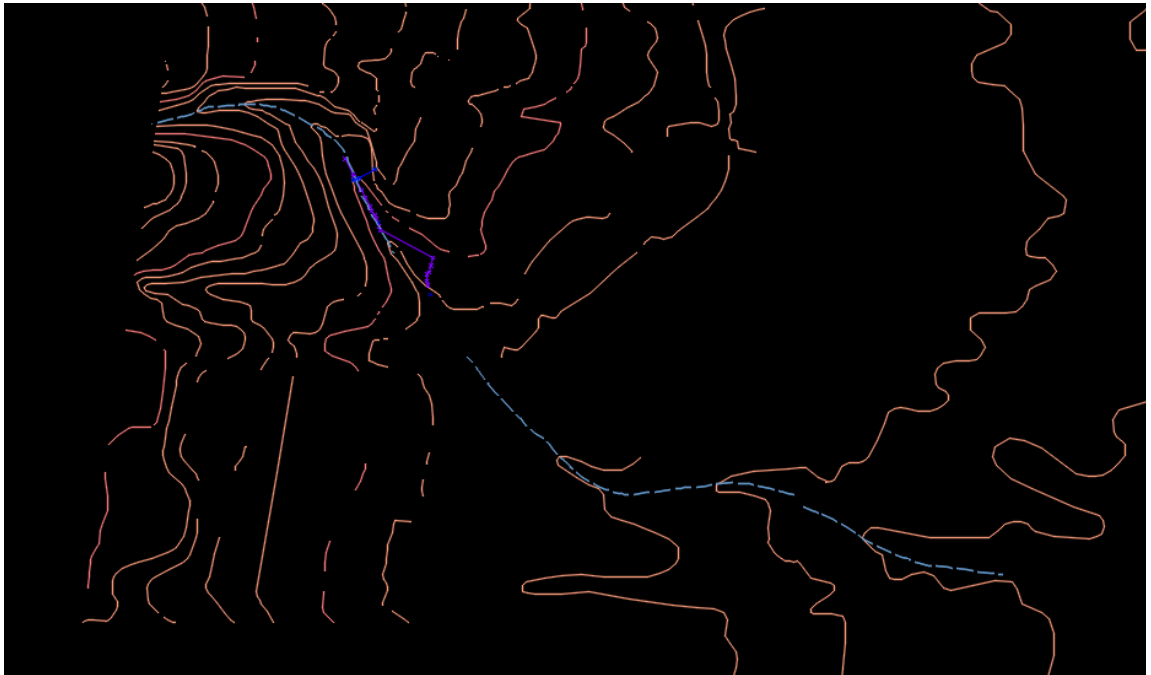


Figura 3.5.2 Tramo completo de la Quebrada El Arenal, Mejicanos a utilizarse en la modelación hidráulica.

Fuente: Elaboración propia, Captura del visor de Civil 3D.

Se obtuvo el siguiente perfil longitudinal del levantamiento con GPS geo referenciado a la topografía de 5.00 metros: (Ver Figura 3.5.3)

PERFIL EL ARENAL GPS

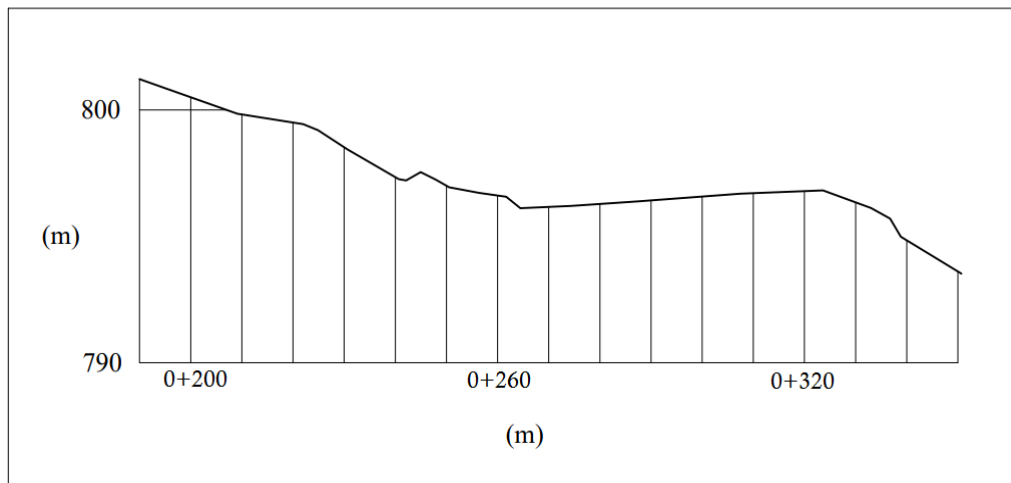


Figura 3.5.3 Perfil Longitudinal resultado de la modelación topográfica con curvas a 5.00 m y GPS.

Fuente: Elaboración propia, Captura del visor de Civil 3D.

3.5.1. Granulometría en la quebrada

La campaña geotécnica realizada en la quebrada El Arenal, en la cual se seleccionaron arbitrariamente los puntos de recolección de muestras, tal como se ve en la figura 3.5.4, las cuales fueron tomadas en el cauce de la quebrada, con el cuidado de tener muestras representativas de la zona considerando de que las muestras no contengan material que esté por encima de los límites del equipo que se cuenta para realizar los ensayos (Rocas mayores a 0.05 m).



Figura 3.5.4 Ubicación de lugares de toma de muestras en la quebrada El Arenal en Mejicanos.

Fuente: Elaboración propia, Adaptación de imagen de Google Earth.

A continuación se presentan los resultados más relevantes de los ensayos

(Apéndice C):

Muestra 7

Granulometría:

Tabla 3.3: Granulometría de la Muestra 7 (Material grueso)		
No Mallas	mm	% pasante de la malla
1 1/2"	38.100	100
1	25.000	96
3/4"	19.000	95
3/8"	9.500	90
No 10	2.000	85
No 16	1.180	83
No 30	0.600	77
No 50	0.300	68
No 100	0.150	56
No 200	0.075	44

Tabla 3.4: Granulometría de la Muestra 7 (Material fino)		
No Mallas	mm	% pasante de la malla
N/A	0.028	17.90
N/A	0.019	15.19
N/A	0.012	8.72
N/A	0.008	6.55
N/A	0.006	4.44
N/A	0.003	3.41
N/A	0.001	2.44
N/A	0.028	17.90
N/A	0.019	15.19
N/A	0.012	8.72

Con estos resultados se presenta la siguiente gráfica:

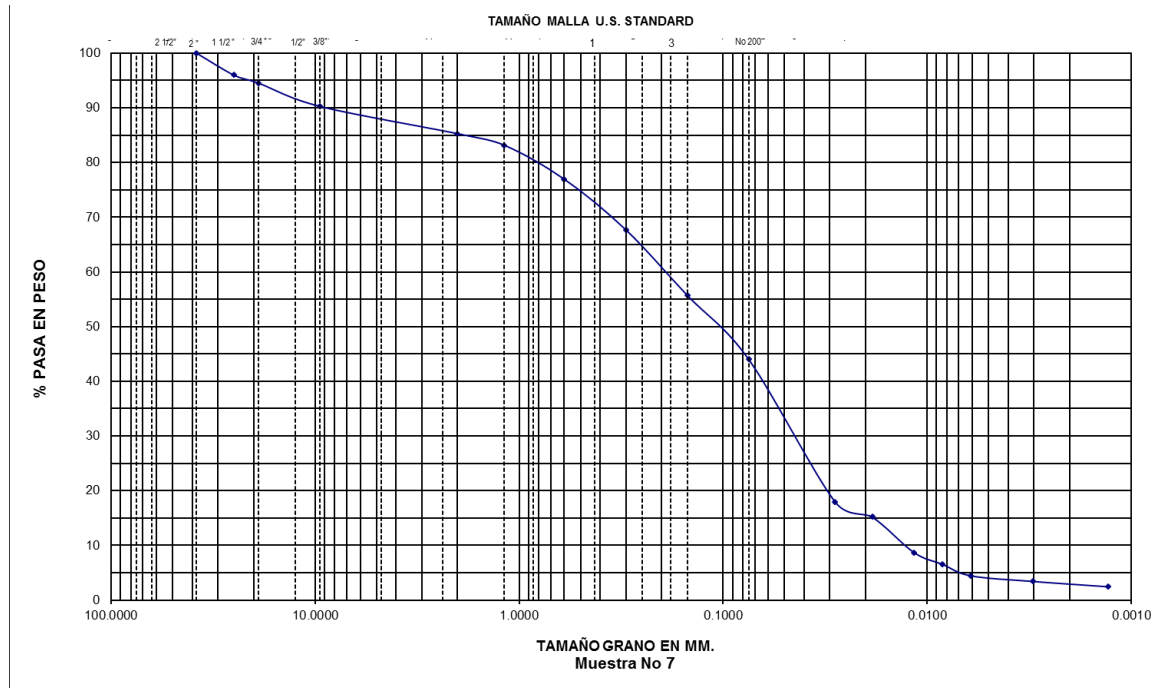


Figura 3.5.5 Gráfica de la muestra 7.

Fuente: Elaboración propia, Grafica elaborada en Excel.

Al realizar los ensayos de límite plástico y límite líquido resultó que el material es no plástico.

El ensayo de gravedad específica da como resultado un valor de 2.64.

El material se clasificó como una arena limosa.

Muestra 8

Granulometría:

Tabla 3.5: Granulometría de la Muestra 8 (Material grueso)		
No Mallas	mm	% pasante de la malla
1 1/2"	38.100	100
1	25.000	98
3/4"	19.000	98
3/8"	9.500	95
No 10	2.000	92
No 16	1.180	91
No 30	0.600	88
No 50	0.300	83
No 100	0.150	73
No 200	0.075	62

Tabla 3.6: Granulometría de la muestra 9 (Material fino)		
No Mallas	mm	% pasante de la malla
N/A	0.028	26.50
N/A	0.019	20.29
N/A	0.012	14.81
N/A	0.008	11.70
N/A	0.006	8.47
N/A	0.003	5.52
N/A	0.001	3.65

Con estos resultados se presenta la siguiente gráfica:



Figura 3.5.6 Gráfica de la muestra 8.

Fuente: Elaboración propia, Grafica elaborada en Excel.

Al realizar los ensayos de límite plástico y límite líquido resultó que el material es no plástico.

El ensayo de gravedad específica da como resultado un valor de 2.60.

El material se clasifico como un limo arenoso.

Muestra 9

Granulometría:

Tabla 3.7: Granulometría de la Muestra 9 (Material grueso)		
No Mallas	mm	% pasante de la malla
1	25.000	100
3/4"	19.000	99
3/8"	9.500	99
No 10	2.000	96
No 16	1.180	92
No 30	0.600	86
No 50	0.300	75
No 100	0.150	64
No 200	0.075	59

Tabla 3.8: Granulometría de la Muestra 9 (Material fino)		
No Mallas	mm	% pasante de la malla
N/A	0.028	30.24
N/A	0.019	27.23
N/A	0.012	21.99
N/A	0.008	16.80
N/A	0.006	12.34
N/A	0.003	6.75
N/A	0.001	3.59

Con estos resultados se presenta la siguiente gráfica:

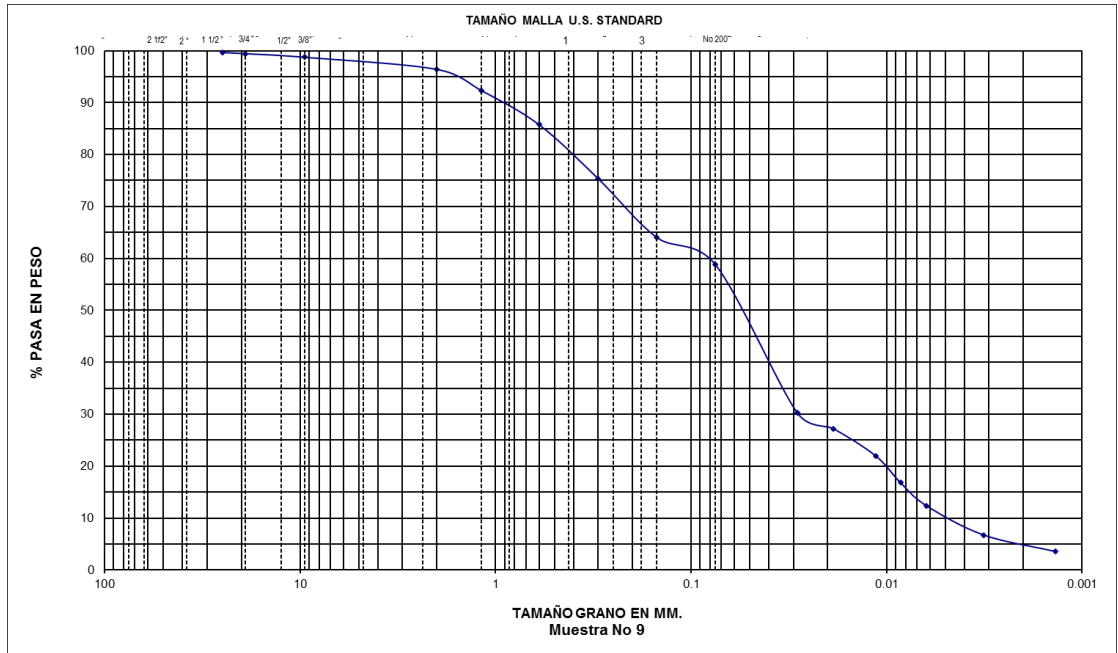


Figura 3.5.7 Gráfica de la muestra 9.

Fuente: Elaboración propia, Gráfica elaborada en Excel.

Al realizar los ensayos de límite plástico y límite líquido resultó que el material es no plástico.

El ensayo de gravedad específica da como resultado un valor de 2.45.

El material se clasifico como un limo arenoso.

Muestra 10

Granulometría:

Tabla 3.9: Granulometría de la Muestra 10 (Material grueso)		
No Mallas	mm	% pasante de la malla
2"	50.000	100
1 1/2"	38.100	95
1"	25.000	86
3/4"	19.000	80
3/8"	9.500	73
No 10	2.000	65
No 16	1.180	59
No 30	0.600	51
No 50	0.300	45
No 100	0.150	36
No 200	0.075	28

Tabla 3.10: Granulometría de la Muestra 10 (Material fino)		
No Mallas	Mm	% pasante de la malla
N/A	0.031	7.51
N/A	0.020	6.08
N/A	0.012	3.57
N/A	0.009	2.86
N/A	0.006	2.16
N/A	0.001	0.71

Con estos resultados se presenta la siguiente gráfica:

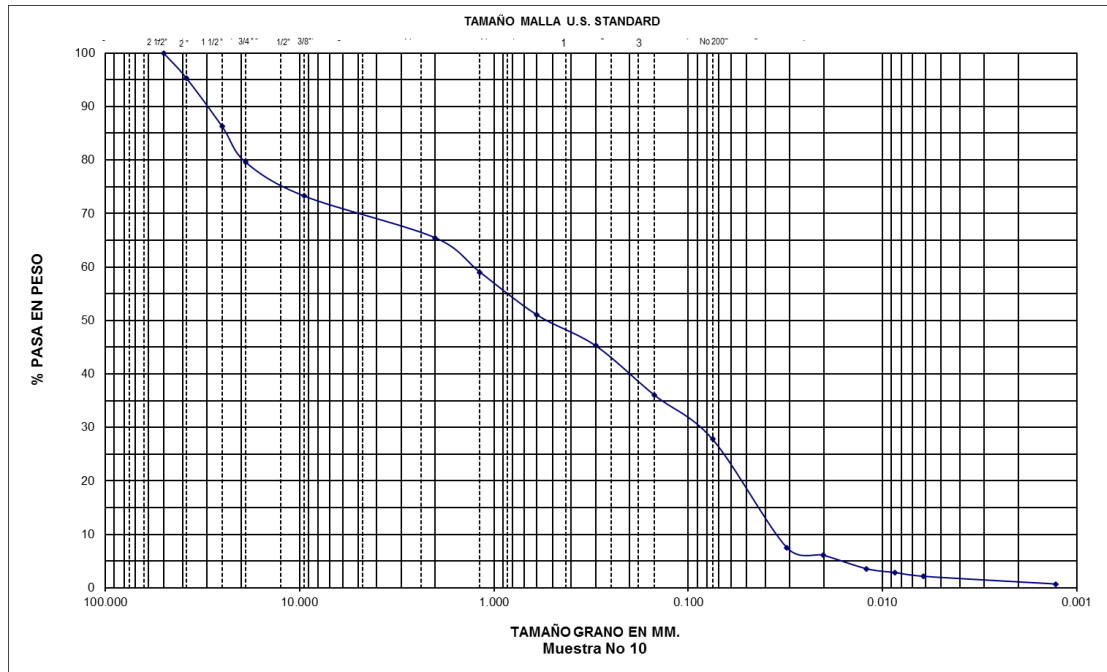


Figura 3.5.8 Gráfica de la muestra 10.

Fuente: Elaboración propia, Gráfica elaborada en Excel.

Al realizar los ensayos de límite plástico y límite líquido resultó que el material es no plástico, por lo tanto no se procedió con el ensayo de límite líquido.

El ensayo de gravedad específica da como resultado un valor de 2.68.

El material se clasificó como una arena limosa con grava.

Muestra 11

Granulometría:

Tabla 3.11: Granulometría de la Muestra 11 (Material grueso)		
No Mallas	mm	% pasante de la malla
2"	50.000	100
1 1/2"	38.100	99
1"	25.000	97
3/4"	19.000	96
3/8"	9.500	94
No 4	4.750	93
No 10	2.000	92
No 16	1.180	91
No 30	0.600	85
No 50	0.300	76
No 100	0.150	64
No 200	0.075	58

Tabla 3.12: Granulometría de la Muestra 11 (Material fino)		
No Mallas	mm	% pasante de la malla
N/A	0.024	31.98
N/A	0.016	27.23
N/A	0.010	21.09
N/A	0.008	17.70
N/A	0.005	14.33
N/A	0.001	4.78

Con resultados anteriores se presenta la siguiente gráfica:

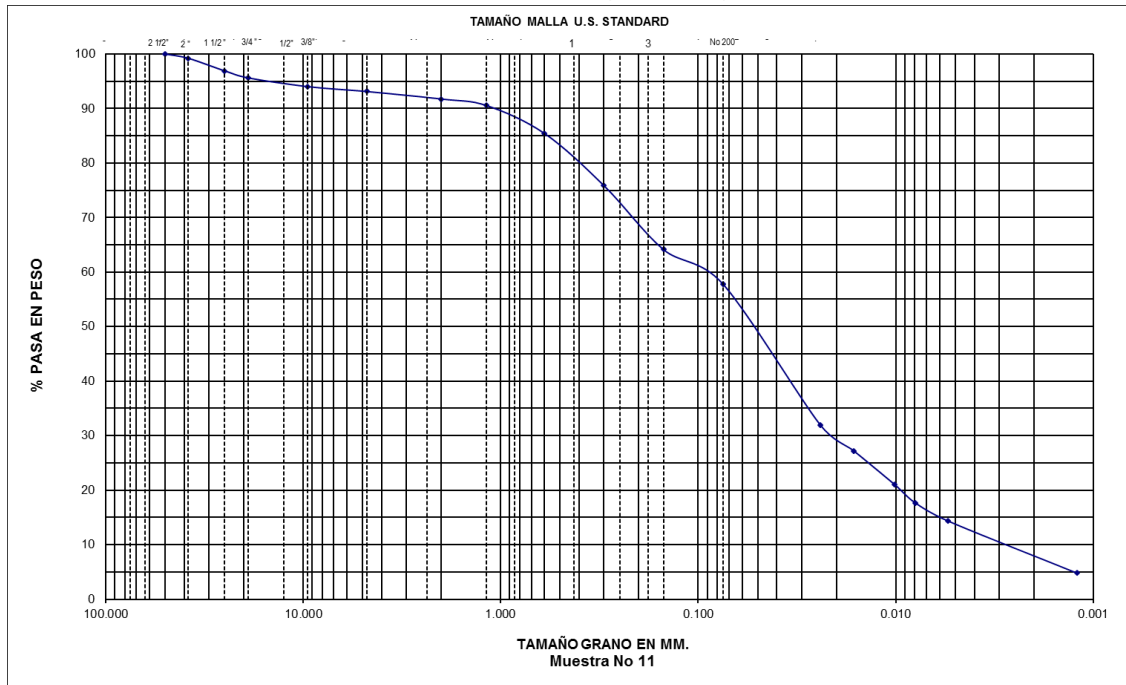


Figura 3.5.9 Gráfica de la muestra 11.

Fuente: Elaboración propia, Gráfica elaborada en Excel.

Al realizar los ensayos de límite plástico y límite líquido resultó que el material es no plástico.

El ensayo de gravedad específica da como resultado un valor de 2.77.

El material se clasificó como un limo arenoso.

Muestra 12

Granulometría:

Tabla 3.13: Granulometría de la Muestra 12 (Material grueso)		
No Mallas	mm	% pasante de la malla
2"	50.000	100
1 1/2"	38.100	96
1"	25.000	91
3/4"	19.000	86
3/8"	9.500	83
No 4	4.750	79
No 10	2.000	76
No 16	1.180	66
No 30	0.600	52
No 50	0.300	40
No 100	0.150	30
No 200	0.075	24

Tabla 3.14: Granulometría de la Muestra 12 (Material fino)		
No Mallas	mm	% pasante de la malla
N/A	0.024	3.84
N/A	0.016	3.12
N/A	0.010	2.40
N/A	0.008	2.17
N/A	0.005	1.72
N/A	0.001	1.39

Con estos resultados se presenta la siguiente gráfica:

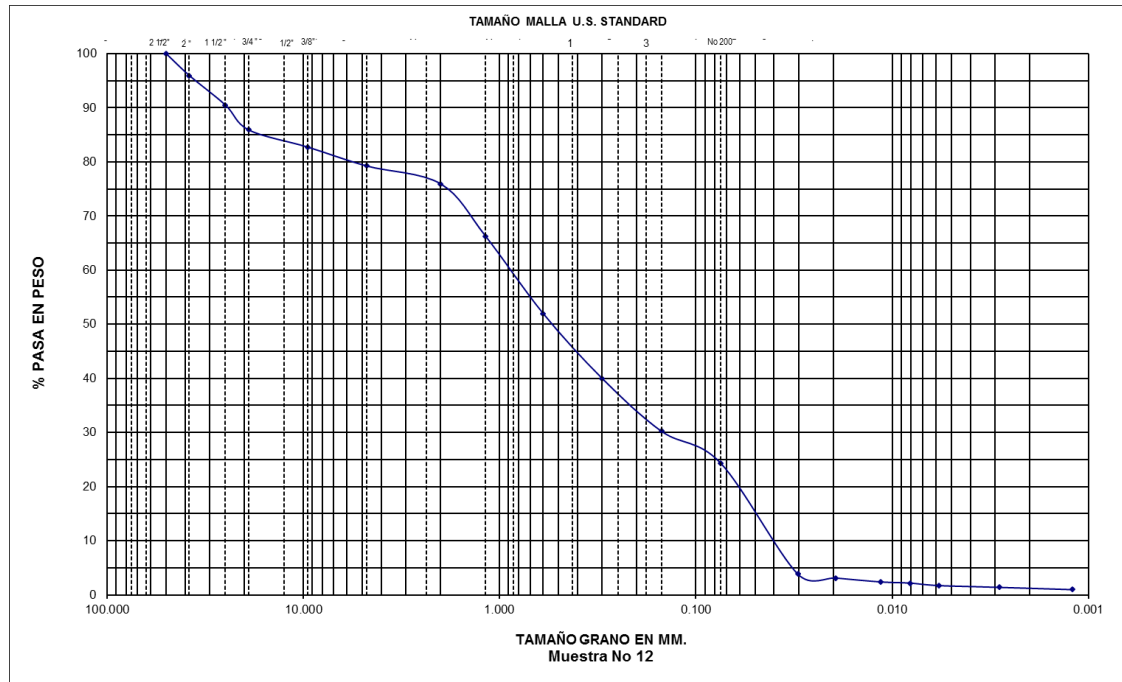


Figura 3.5.10 “Gráfica de la muestra 12”.

Fuente: Elaboración propia, Gráfica elaborada en Excel.

Al realizar los ensayos de límite plástico y límite líquido resultó que el material es no plástico, por lo tanto no se procedió con el ensayo de límite líquido.

El ensayo de gravedad específica da como resultado un valor de 2.88.

El material se clasificó como una arena limosa con grava.

Muestra 13

Granulometría:

Tabla 3.15: Granulometría de la Muestra 13 (Material grueso)		
No Mallas	mm	% pasante de la malla
1 1/2"	38.100	100
1"	25.000	91
3/4"	19.000	91
3/8"	9.500	89
No 4	4.750	85
No 10	2.000	80
No 16	1.180	76
No 30	0.600	71
No 50	0.300	64
No 100	0.150	61
No 200	0.075	60

Tabla 3.16: Granulometría de la Muestra 13 (Material fino)		
No Mallas	mm	% pasante de la malla
N/A	0.031	19.28
N/A	0.021	14.32
N/A	0.012	11.52
N/A	0.009	6.63
N/A	0.007	4.57
N/A	0.003	2.20
N/A	0.001	1.67

Con estos resultados se presenta la siguiente gráfica:

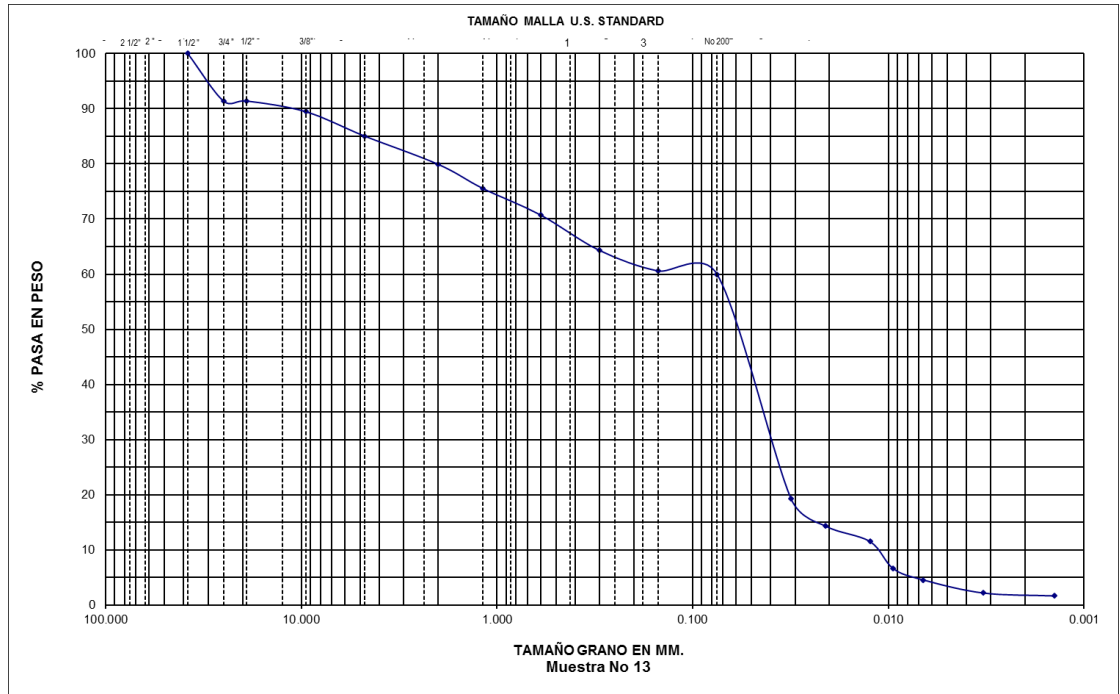


Figura 3.5.11 “Gráfica de la muestra 13”

Fuente: Elaboración propia, Gráfica elaborada en Excel.

Al realizar los ensayos de límite plástico y límite líquido resultó que el material es no plástico, por lo tanto no se procedió con el ensayo de límite líquido.

El ensayo de gravedad específica da como resultado un valor de 2.45.

El material se clasificó como un limo arenoso con grava.

Muestra 14

Granulometría:

Tabla 3.17: Granulometría de la Muestra 14 (Material grueso)		
No Mallas	mm	% pasante de la malla
2"	50.000	100
1 1/2"	38.100	94
1"	25.000	86
3/4"	19.000	78
3/8"	9.500	57
No 10	2.000	43
No 16	1.180	37
No 30	0.600	29
No 50	0.300	20
No 100	0.150	13
No 200	0.075	10

Tabla 3.18: Granulometría de la Muestra 14 (Material fino)		
No Mallas	mm	% pasante de la malla
N/A	0.021	5.84
N/A	0.018	4.97
N/A	0.011	3.85
N/A	0.008	3.23
N/A	0.006	2.62
N/A	0.001	0.87

Con estos resultados se presenta la siguiente gráfica:

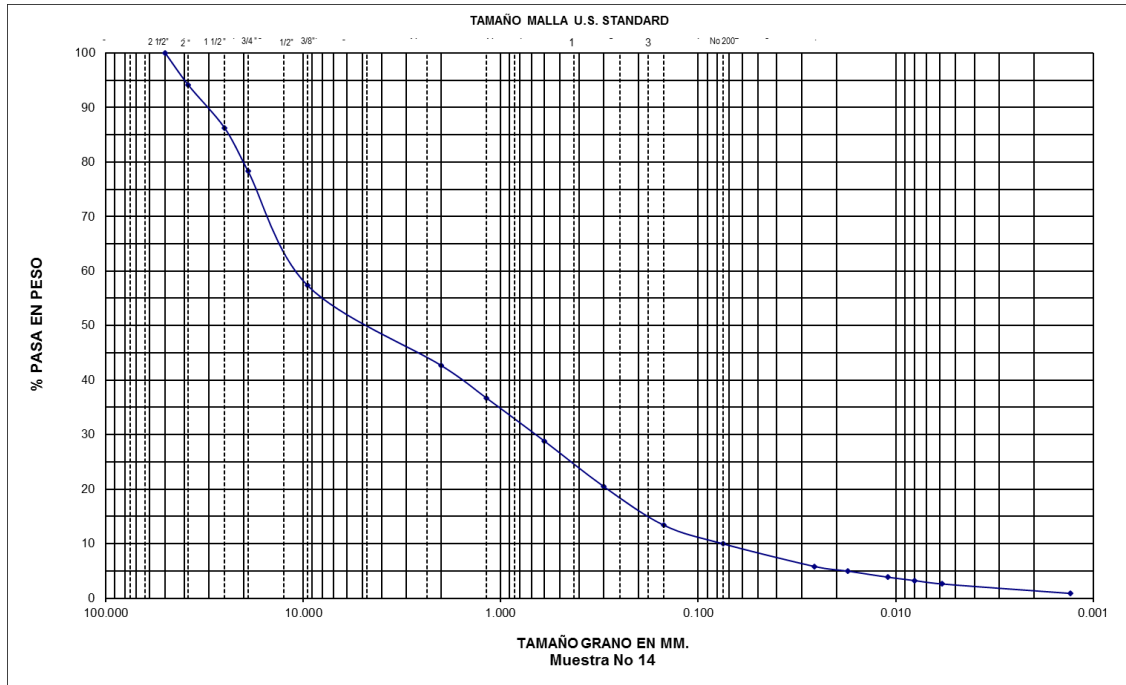


Figura 3.5.12 "Gráfica de la muestra 14".

Fuente: Elaboración propia, Gráfica elaborada en Excel.

Al realizar los ensayos de límite plástico y límite líquido resultó que el material es no plástico, por lo tanto no se procedió con el ensayo de límite líquido.

El ensayo de gravedad específica da como resultado un valor de 2.55.

El material se clasificó como una grava bien graduada con arena.

Muestra 15

Granulometría:

Tabla 3.19: Granulometría de la Muestra 15 (Material grueso)		
No Mallas	mm	% pasante de la malla
2"	50.000	100
1 1/2"	38.100	90
1"	25.000	81
3/4"	19.000	78
3/8"	9.500	67
No 4	4.750	67
No 10	2.000	57
No 16	1.180	32
No 30	0.600	14
No 50	0.300	9
No 100	0.150	8
No 200	0.075	8

Tabla 3.20: Granulometría de la Muestra 15 (Material fino)		
No Mallas	mm	% pasante de la malla
N/A	0.033	0.58
N/A	0.021	0.51
N/A	0.012	0.35
N/A	0.009	0.21
N/A	0.006	0.21
N/A	0.003	0.13
N/A	0.001	0.05

Con estos resultados se presenta la siguiente gráfica:

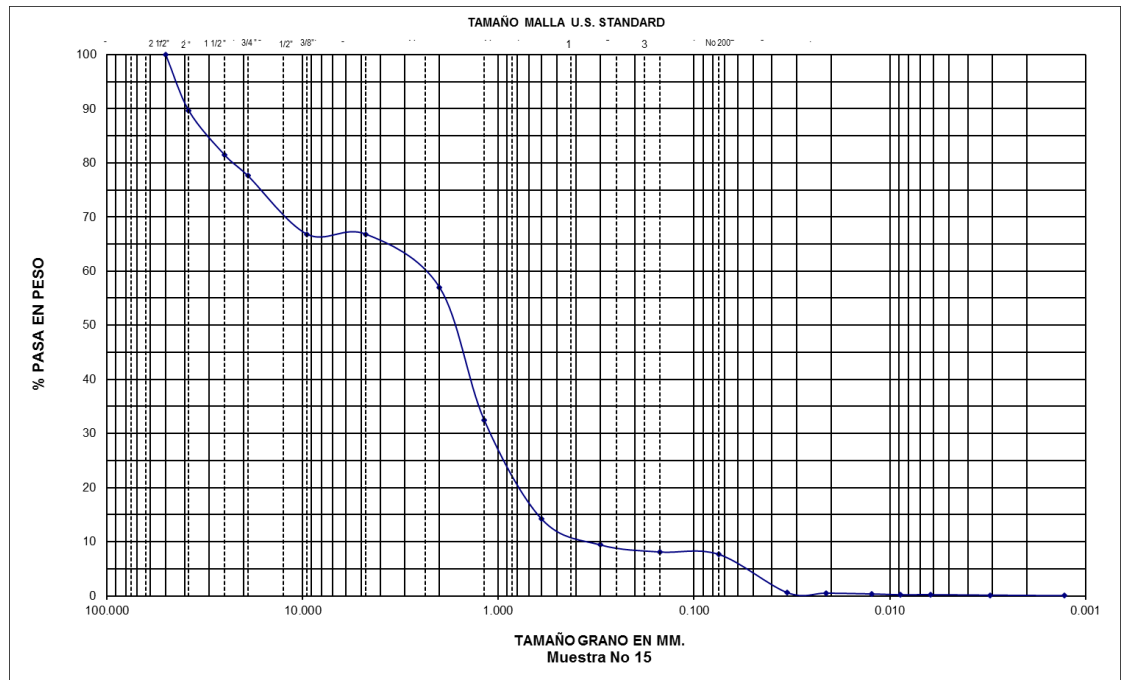


Figura 3.5.13 “Gráfica de la muestra 15”

Fuente: Elaboración propia, Gráfica elaborada en Excel.

Al realizar los ensayos de límite plástico y límite líquido resultó que el material es no plástico, por lo tanto no se procedió con el ensayo de límite líquido.

El ensayo de gravedad específica da como resultado un valor de 2.71.

El material se clasificó como una arena bien graduada con grava.

Muestra 16

Granulometría:

Tabla 3.21: Granulometría de la Muestra 16 (Material grueso)		
No Mallas	mm	% pasante de la malla
1 1/2"	38.100	100
1"	25.000	99
3/4"	19.000	98
3/8"	9.500	88
No 10	2.000	59
No 16	1.180	43
No 30	0.600	27
No 50	0.300	14
No 100	0.150	6
No 200	0.075	3

Tabla 3.22: Granulometría de la Muestra 16 (Material fino)		
No Mallas	mm	% pasante de la malla
N/A	0.033	0.42
N/A	0.021	0.36
N/A	0.012	0.29
N/A	0.009	0.22
N/A	0.006	0.20
N/A	0.003	0.11
N/A	0.001	0.11

Con estos resultados se presenta la siguiente gráfica:

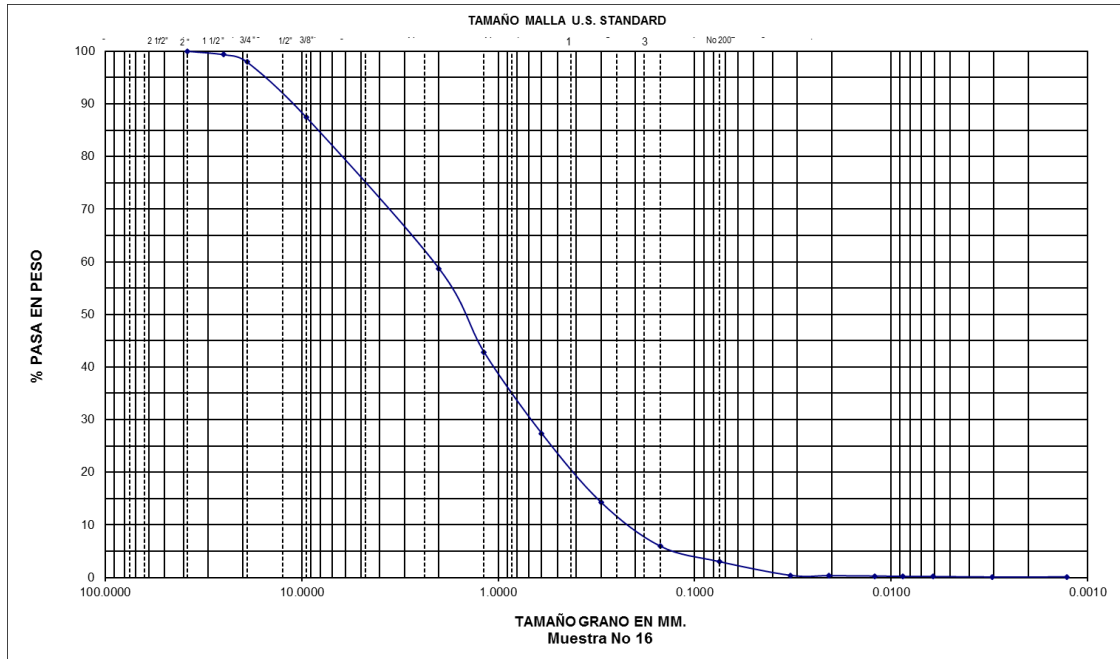


Figura 3.5.14 “Gráfica de la muestra 16”

Fuente: Elaboración propia, Gráfica elaborada en Excel.

Al realizar los ensayos de límite plástico y límite líquido resultó que el material es no plástico, por lo tanto no se procedió con el ensayo de límite líquido.

El ensayo de gravedad específica da como resultado un valor de 2.71.

El material se clasificó como una arena mal graduada con grava.

Muestra 17

Granulometría:

Tabla 3.23: Granulometría de la Muestra 17 (Material grueso)		
No Mallas	mm	% pasante de la malla
1 1/2"	38.100	100
1"	25.000	99
3/4"	19.000	98
3/8"	9.500	88
No 10	2.000	63
No 16	1.180	50
No 30	0.600	34
No 50	0.300	18
No 100	0.150	10
No 200	0.075	9

Tabla 3.24: Granulometría de la Muestra 17 (Material fino)		
No Mallas	mm	% pasante de la malla
N/A	0.032	1.37
N/A	0.021	1.03
N/A	0.012	0.85
N/A	0.009	0.76
N/A	0.006	0.58
N/A	0.003	0.52
N/A	0.001	0.34

Con estos resultados se presenta la siguiente gráfica:

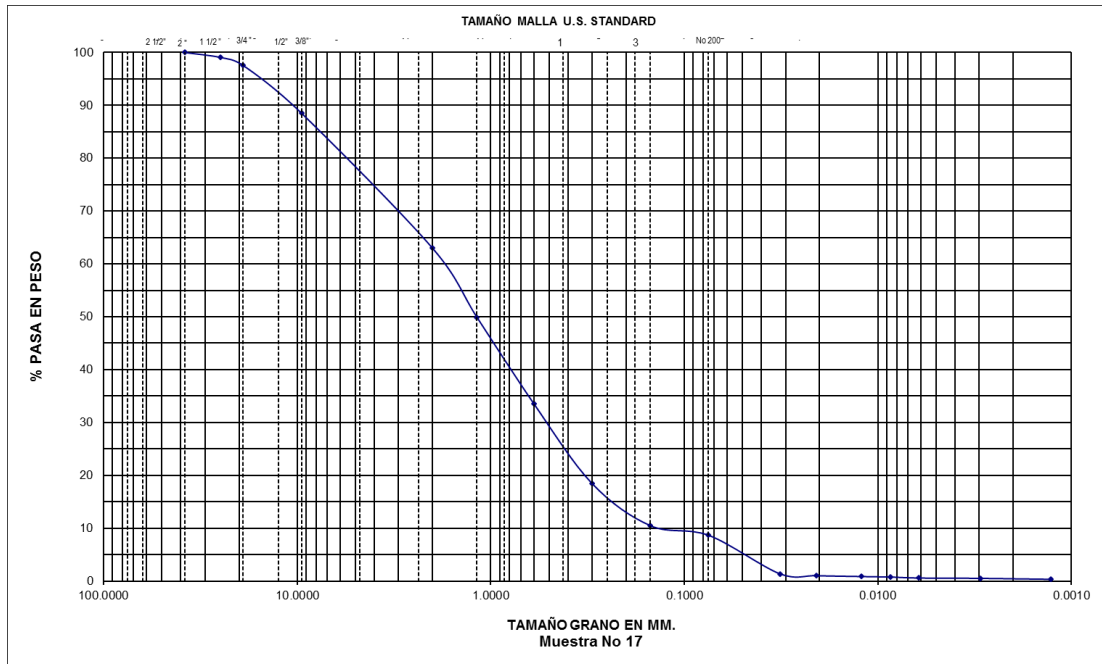


Figura 3.5.15 Gráfica de la muestra 17.

Fuente: Elaboración propia, Gráfica elaborada en Excel.

Al realizar los ensayos de límite plástico y límite líquido resultó que el material es no plástico.

El ensayo de gravedad específica da como resultado un valor de 2.71.

El material se clasificó como una arena mal graduada con grava.

Muestra 18

Granulometría:

Tabla 3.25: Granulometría de la Muestra 18		
No Mallas	mm	% pasante de la malla
1 1/2"	38.100	100
1"	25.000	93
3/4"	19.000	84
3/8"	9.500	70
No 10	2.000	46
No 16	1.180	36
No 30	0.600	24
No 50	0.300	12
No 100	0.150	6
No 200	0.075	5

Con estos resultados se presenta la siguiente gráfica:

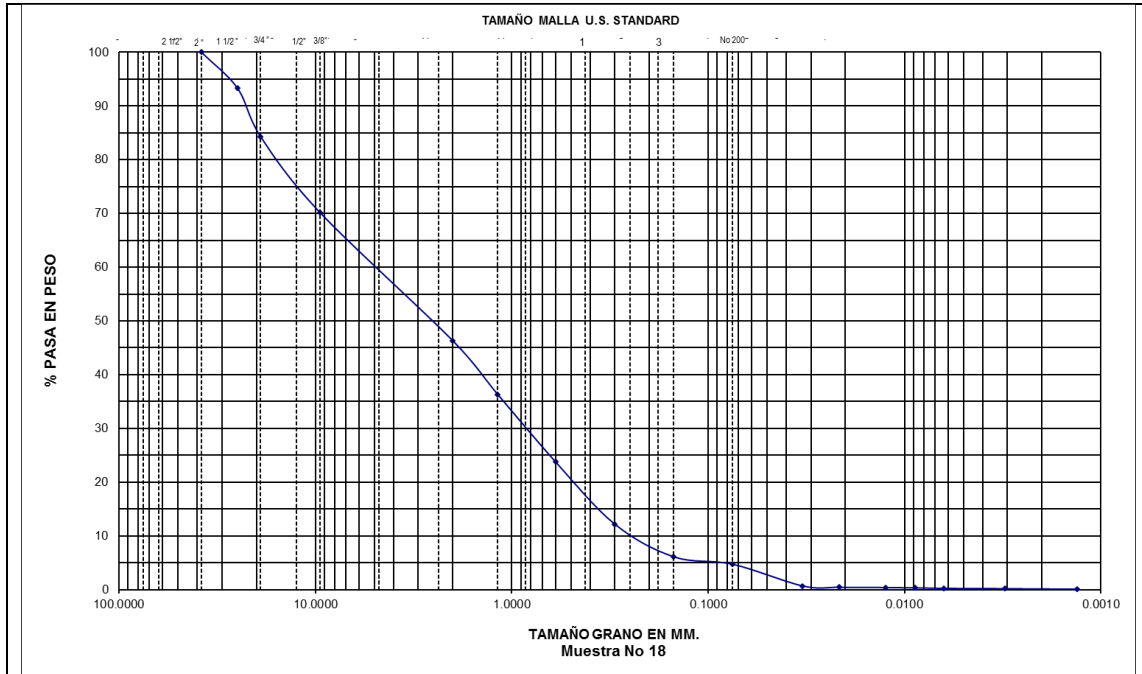


Figura 3.5.16 Gráfica de la muestra 18.

Fuente: Elaboración propia, Gráfica elaborada en Excel.

Al realizar los ensayos de límite plástico y límite líquido resultó que el material es no plástico.

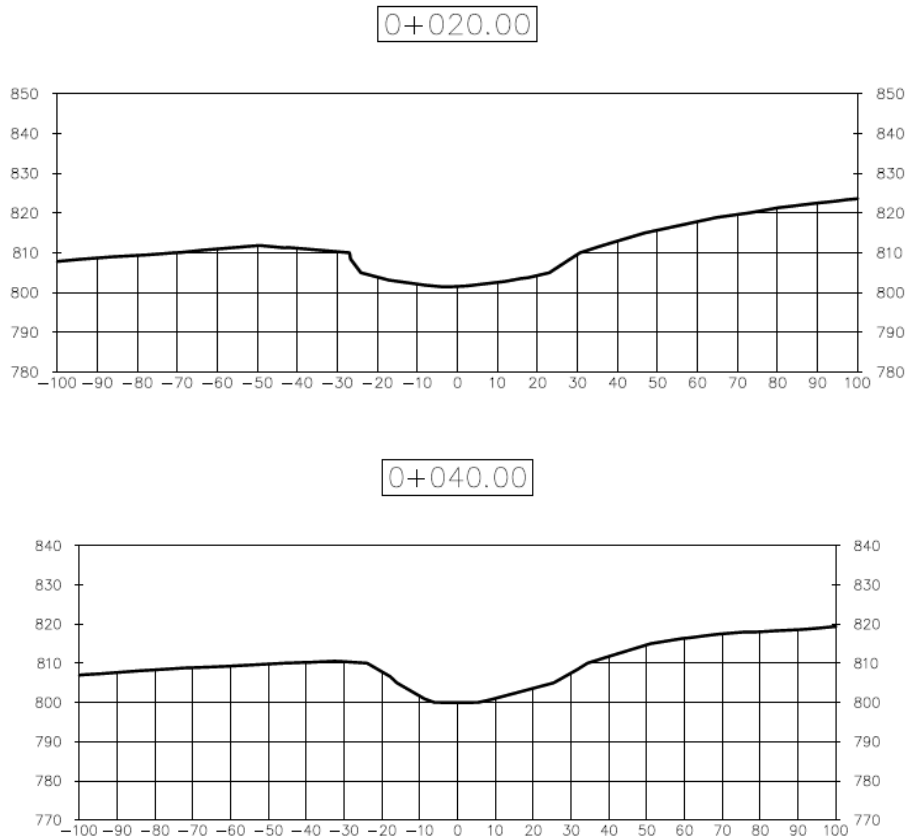
El ensayo de gravedad específica da como resultado un valor de 2.61.

El material se clasificó como una arena mal graduada con grava.

Se tomó el espesor en un punto ya que el recorrido fue corto y cuyo valor fue de 0.17 m de sedimento, éste se midió hasta la superficie sólida de la quebrada.

3.5.2. Ubicación de las secciones transversales

El tramo levantado en la quebrada El Arenal fue alrededor de 200.00 m, debido que este representaba el tramo de interés para la modelación hidráulica. Donde se extrajeron secciones transversales a cada 20.00 m, con 100.00 m de ancho del eje a la izquierda y del eje a la derecha. Como se muestra en la Figura 3.5.17



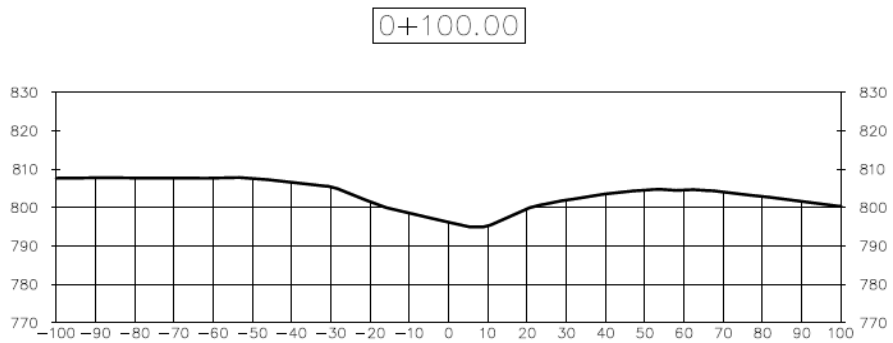
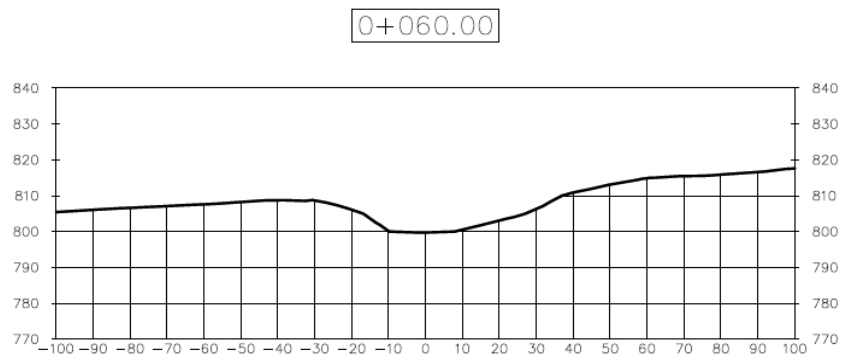


Figura 3.5.17 Representación de las secciones obtenidas del levantamiento topográfico.

Fuente: Elaboración propia, Captura del visor de Civil 3D.

Comparación Topográfica

Topografía 10.00 m –Topografía 5.00 m

La comparación topográfica se realizó de igual forma que en la sección anterior, en base a perfiles y secciones transversales creadas a partir de ambas topografías. A continuación se presentan los perfiles de la topografía de 10.00 m y la topografía correspondiente a la Quebrada El Arenal:

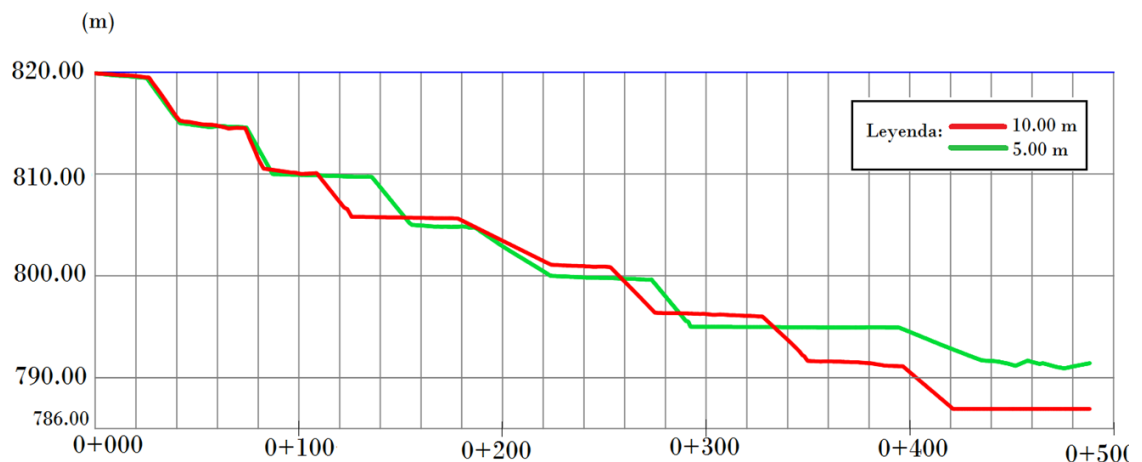


Figura 3.5.18 Perfil Quebrada El Arenal con topografía de 10.00 m y 5.00 m.

Fuente: Elaboración propia, Captura del visor de Civil 3D.

La diferencia más notable entre dos perfiles es el desnivel que muestran ambos, el perfil generado a partir de la topografía de 10.00 m y 5.00 m muestran elevaciones diferentes a lo largo del lecho.

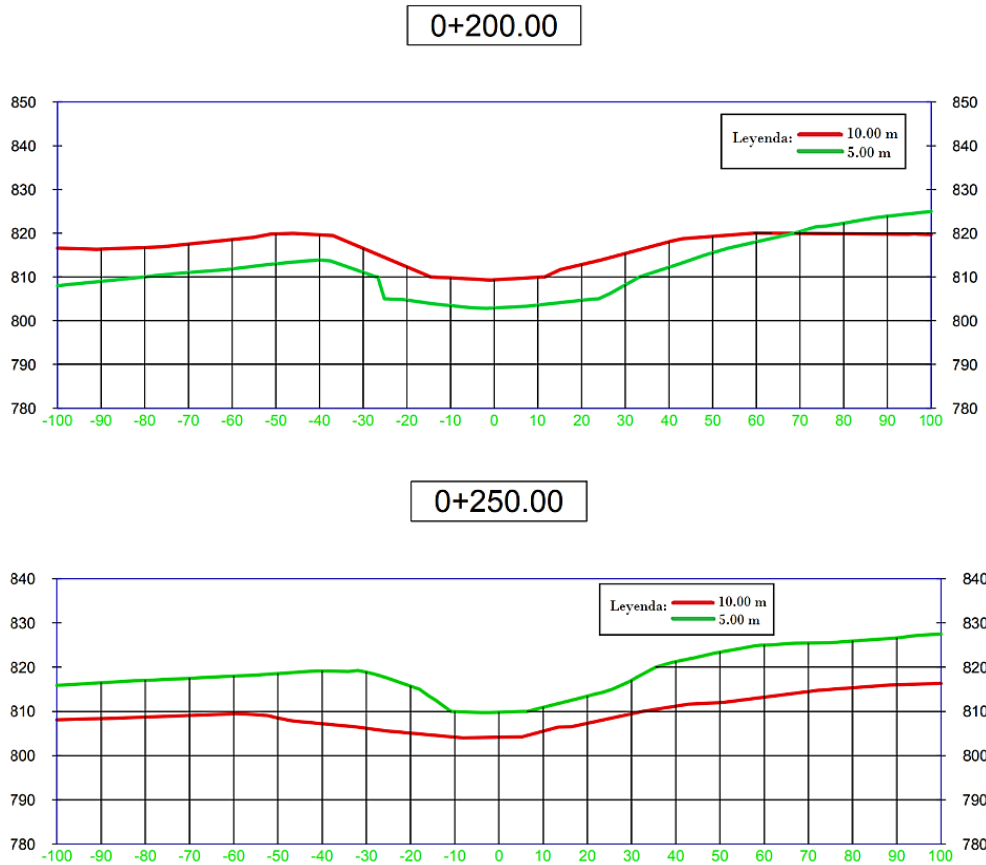


Figura 3.5.19 Secciones Transversales de La Quebrada El Arenal con topografía de 10.00 m y 5.00 m.

Fuente: Elaboración propia, Captura del visor de Civil 3D.

Al comparar las secciones transversales de ambas topografías, se hace notoria la poca escala de resolución brinda la topografía de 10.00 m, ya que en algunas secciones no muestran ni una aproximación de la geometría transversal de la quebrada parecida a la secciones con la topografía de 5.00 m. Las secciones están mejor definidas con la topografía de 5.00 metros.

Topografía 5.00 m-Topografía de GPS

La topografía obtenida con GPS y estación total se comparará con la topografía a 5.00 m, mediante perfiles y secciones transversales de la quebrada El Arenal. La topografía levantada en la quebrada El Arenal referenciada a toda la quebrada en la topografía de 5.00 m corresponde entre los estacionamiento 0+190 al 1+360. Para poder hacer una comparación entre ambas topografías se extrae el tramo de interés de la topografía de 5.00 m.

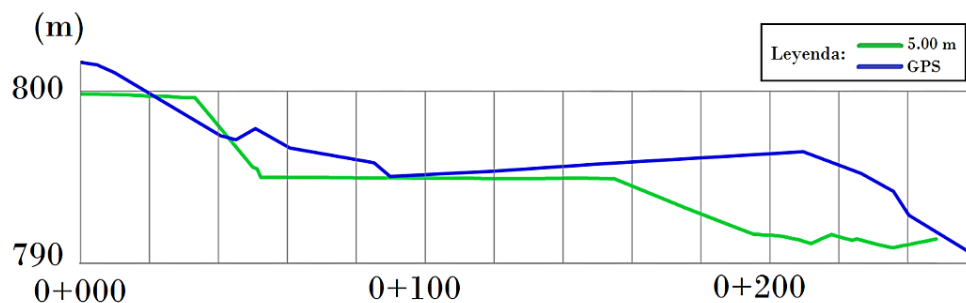


Figura 3.5.20 Comparación Topográfica de Perfiles, Curvas a 5.00 m Vs. Topografía obtenida con GPS y Estación Total. Fuente: Elaboración propia, Captura del visor de Civil 3D.

Al comparar ambos perfiles en el tramo de interés correspondiente al estacionamiento 0+190 al 0+350 podemos mencionar: que significativamente el perfil obtenido con topografía de GPS muestra mejor escala de resolución, y que la topografía de 5.00 m difiere en las elevaciones del lecho de la quebrada en

aproximadamente 4.00 metros de diferencia en comparación con el perfil creado a partir de nuestro levantamiento.

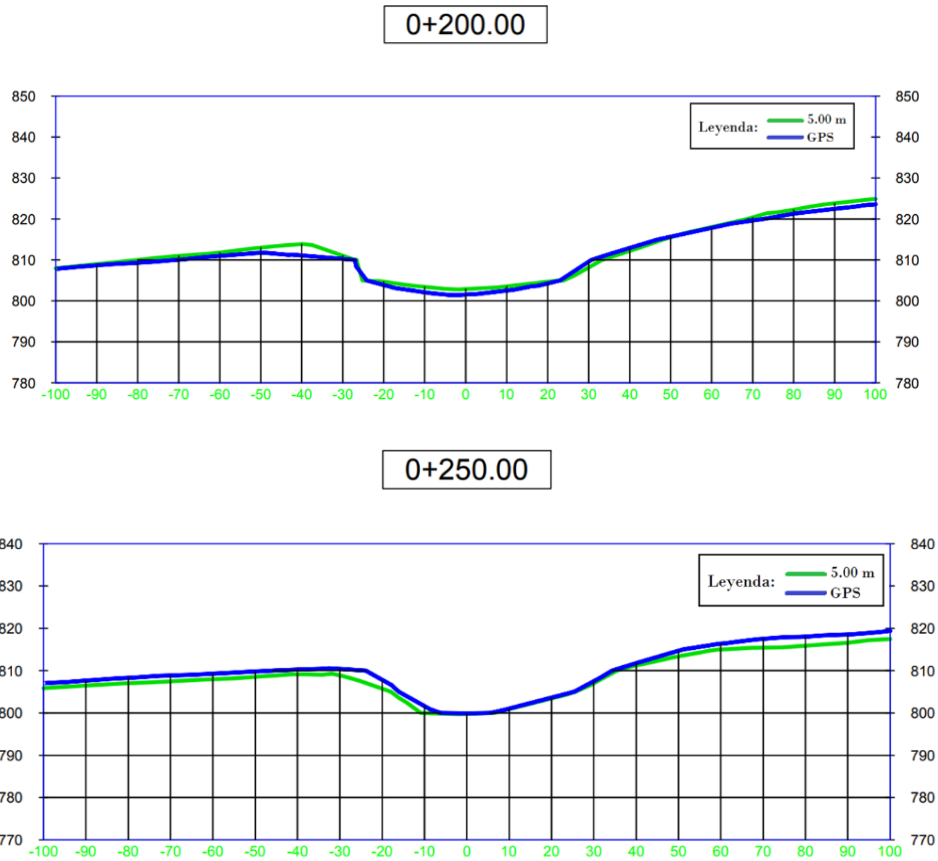


Figura 3.5.21 Comparación Topográfica de Secciones Transversales, Curvas a 5.00 m Vs. Topografía obtenida con GPS y Estación Total.

Fuente: Elaboración propia, Captura del visor de Civil 3D.

La comparación de topografía de 5.00 m no muestra mayores diferencias en la geometría transversal de la quebrada en el tramo de interés.

3.6. Datos de la quebrada “Las Lajas, Colonia Escalón”

Los datos obtenidos del levantamiento topográfico se presentan en AutoCAD, gracias a que el colector Carlson es capaz de guardar los levantamientos en un formato dwg, los cuales son fácilmente exportados y trabajados adecuadamente. El colector Carlson guarda los puntos tomados en diferentes capas para mejor comprensión del levantamiento. Por ejemplo, en la Quebrada Las Lajas de San Salvador, el eje de la quebrada se presenta con el código “EQ” con color morado, las secciones con el código “SECCIÓN” de un color azul, y los puntos ocupados por la estación total fueron guardados con el código “PBE” de un color azul oscuro, como se muestra en la figura 3.6.1

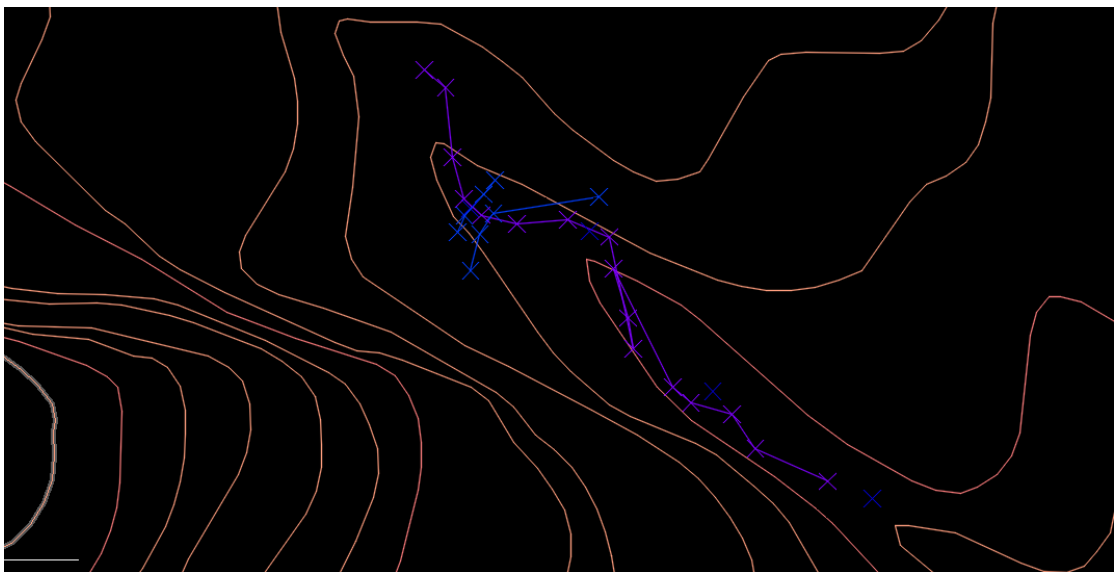


Figura 3.6.1 Eje de la Quebrada Las Lajas San Salvador, las secciones transversales y los puntos ocupados por la estación total.

Fuente: Elaboración propia, Captura del visor de Civil 3D.

Cabe mencionar que los datos obtenidos fueron posicionados en las curvas de nivel a cada 5.00 m, dichas curvas fueron obtenidas mediante la digitalización de los cuadrantes que proporciona el CNR. Esto, con el fin de obtener un mayor número de secciones transversales y una mejor visión de los cambios en la topografía de la quebrada. Por ejemplo, en la figura 3.6.2 se resalta un cambio perceptible en la dirección del eje de la quebrada. La línea celeste representa al eje de la quebrada con los datos digitalizados de los cuadrantes, y la línea morada representa los datos obtenidos en campo.

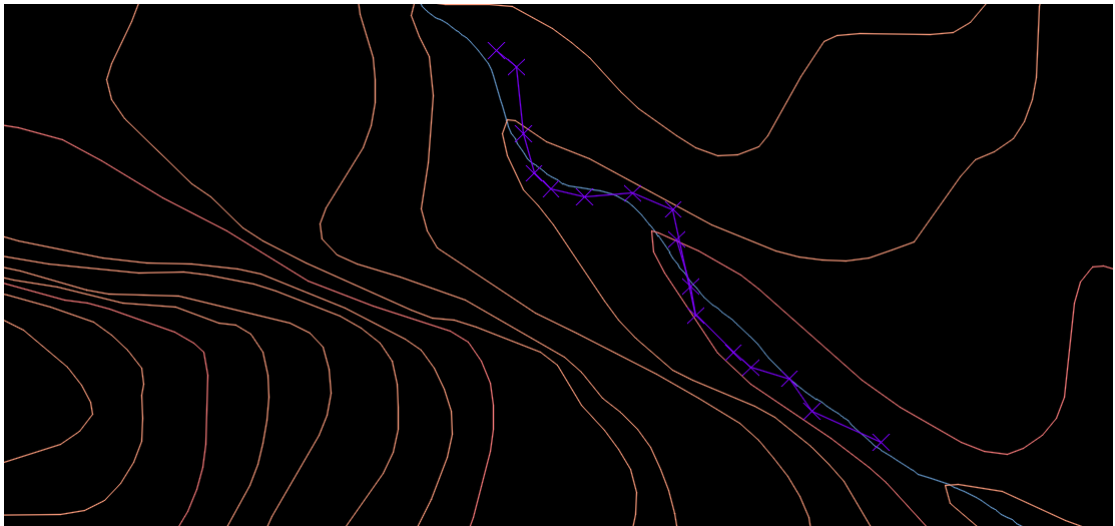


Figura 3.6.2 Eje de la Quebrada Las Lajas de San Salvador obtenido del levantamiento, superpuesto al eje de dicha quebrada obtenido de las curvas de nivel a cada 5 m.

Fuente: Elaboración propia, Captura del visor de Civil 3D.

Para continuar con el tratamiento de datos, el levantamiento se incluye en el eje de la quebrada de las curvas a cada 5 metros, para complementar el tramo comprendido entre el final de la cuenca y el final de la quebrada. Ver figura 3.6.3

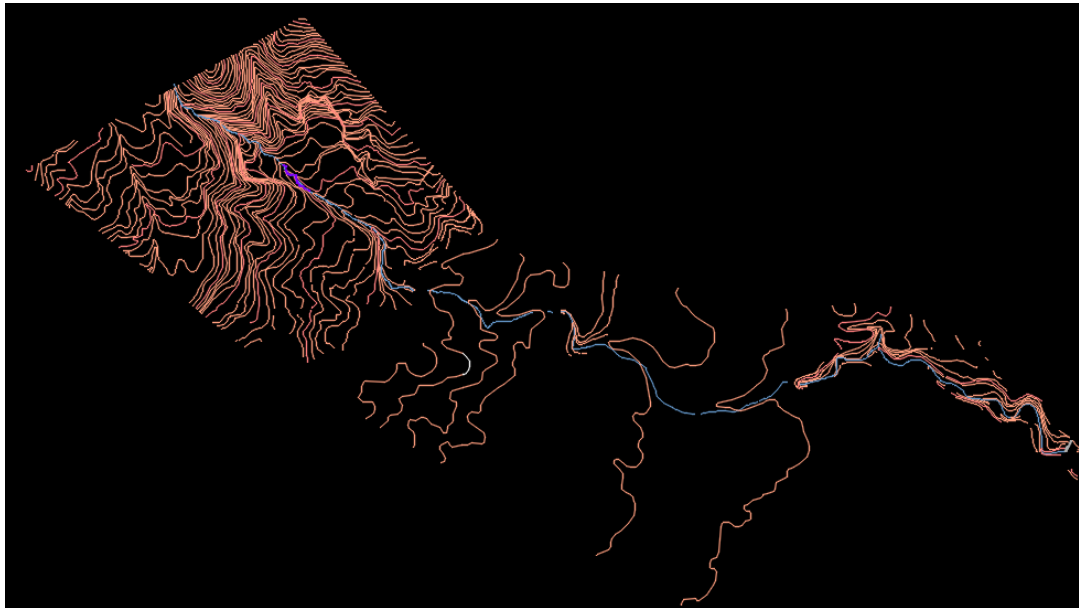


Figura 3.6.3 Tramo completo de la Quebrada Las Lajas San Salvador a utilizarse en la modelación hidráulica.

Fuente: Elaboración propia, Captura del visor de Civil 3D.

Se obtuvo el siguiente perfil longitudinal del Eje de la quebrada, al posicionar el levantamiento efectuado con las curvas de nivel a cada 5.00 metros. Comenzando desde el estacionamiento 0+000 m finalizando en 2+400 m. (Ver Figura 3.6.4)

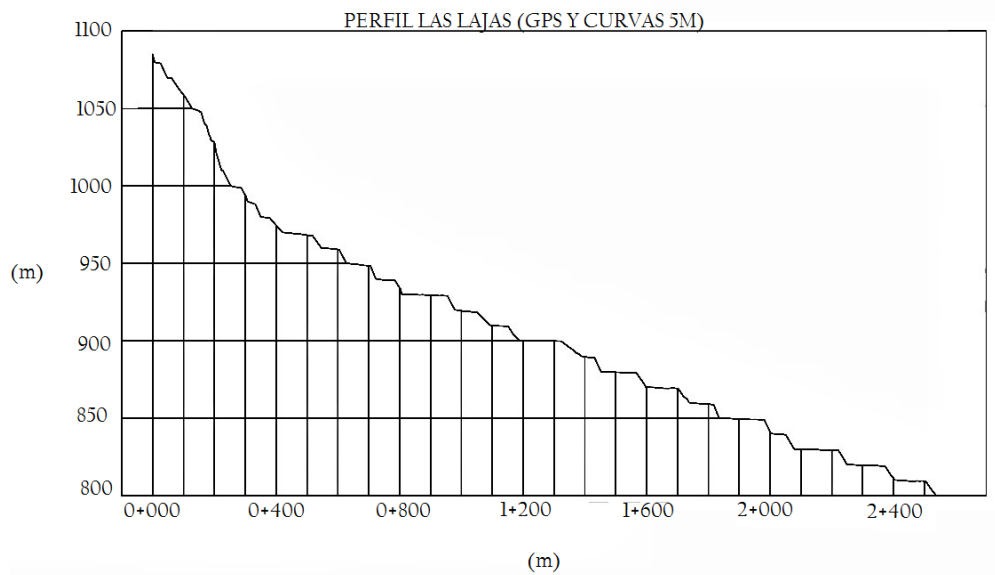


Figura 3.6.4 Perfil Longitudinal resultado de la modelación topográfica con curvas a 5.00 m y GPS.

Fuente: Elaboración propia, Captura del visor de Civil 3D.

El tramo de interés levantado con GPS es entre el estacionamiento 0+350 al 0+500. Obteniendo el siguiente perfil longitudinal del Eje de la quebrada Buenos Aires. (Ver Figura 3.6.5)

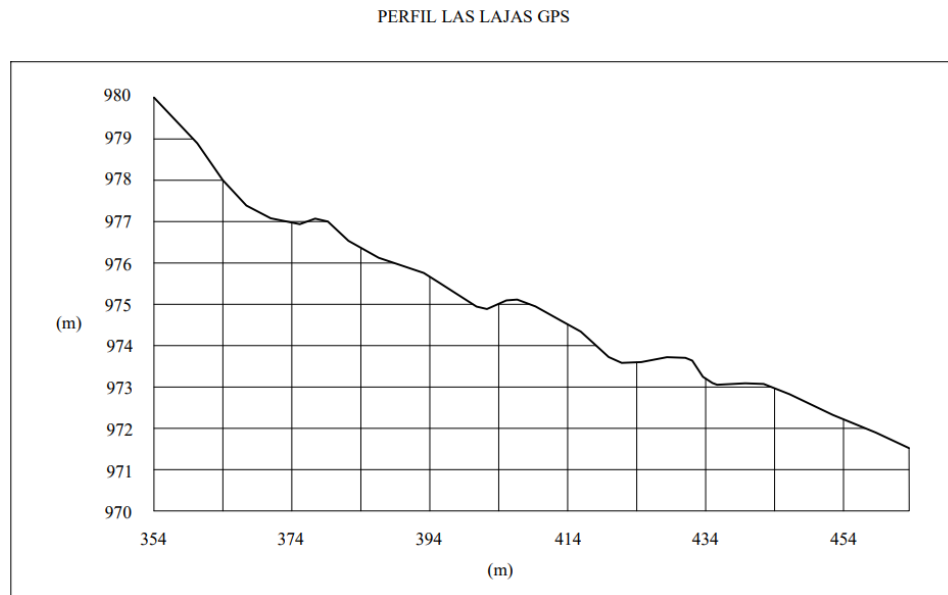


Figura 3.6.5 Perfil Longitudinal resultado de la modelación de la topografía obtenida.

Fuente: Elaboración propia, Captura del visor de Civil 3D.

3.6.1. Granulometría en la quebrada

La campaña geotécnica correspondiente en la quebrada Las Lajas, en la cual se seleccionaron arbitrariamente los puntos de recolección de muestras, tal como se ve en la figura 3.6.6, las cuales fueron tomadas en el cauce de la quebrada, con el cuidado de tener muestras representativas de la zona considerando que las muestras no contengan material que esté por encima de los límites del equipo que se cuenta para realizar los ensayos (Rocas mayores a 0.05 m).



Figura 3.6.6 Ubicación de lugares de toma de muestras en la quebrada Las Lajas de la colonia escalón.

Fuente: Elaboración propia, adaptación de imagen de Google Earth.

A continuación se presentan los resultados más relevantes de los ensayos (Apéndice C): **Muestra 1**

Es tomada en la parte media del volcán de San Salvador en la frontera entre el municipio de San Salvador y Santa Tecla, cerca del Cantón Álvarez. La zona cuenta con rocas de gran tamaño y arena con un color grisáceo además se observa que en la zona se acumula basura. La granulometría se muestra en la tabla 3.26

Tabla 3.26: Granulometría de la Muestra 1		
No Mallas	mm	% pasante de la malla
2	50.000	100
1 1/2"	38.100	99
1	25.000	97
3/4"	19.000	91
3/8"	9.500	88
No 4	4.7500	80
No 10	2.000	68
No 16	1.180	62
No 30	0.600	49
No 50	0.300	31
No 100	0.150	16
No 200	0.075	9

Con estos resultados se presenta la siguiente gráfica:

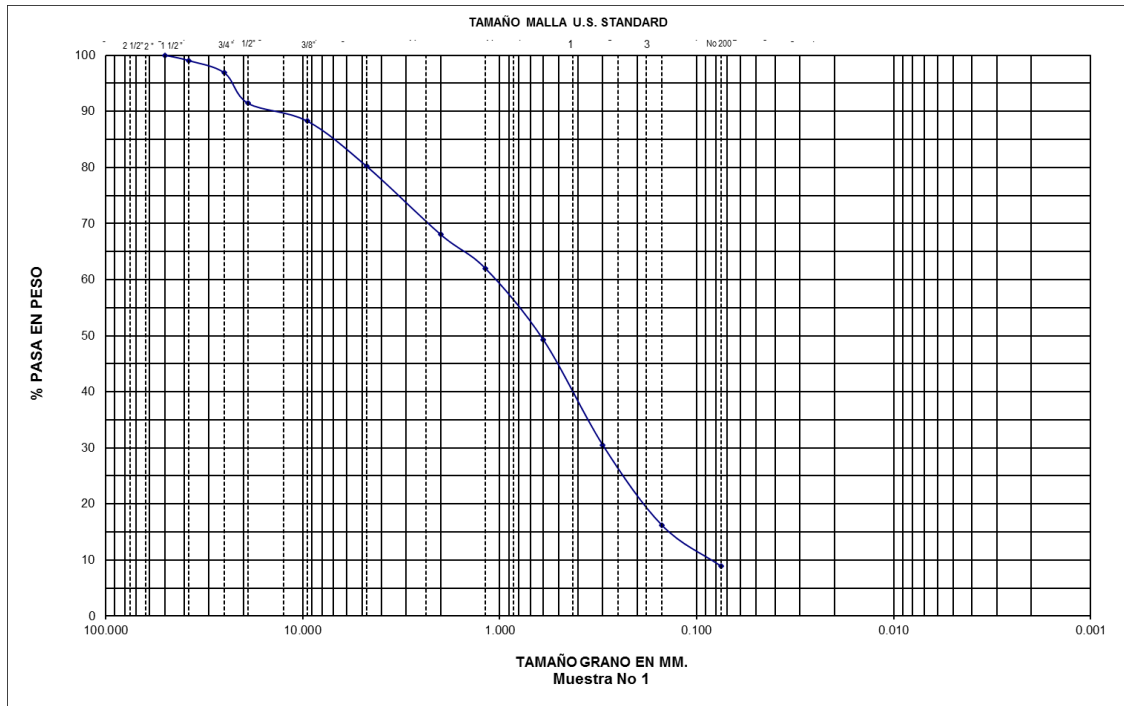


Figura 3.6.7 Gráfica de la muestra 1.

Fuente: Elaboración propia, Gráfico elaborado en Excel.

Al realizar los ensayos de límite plástico y límite líquido resultó que el material es no plástico.

El ensayo de gravedad específica da como resultado un valor de 2.59.

El material se clasificó como una arena mal graduada con grava.

Muestra 4

Granulometría:

Tabla 3.27: Granulometría de la Muestra 4		
No Mallas	mm	% pasante de la malla
2	50.000	100
1 1/2"	38.100	82
1	25.000	74
3/4"	19.000	68
3/8"	9.500	55
No 10	2.000	42
No 16	1.180	32
No 30	0.600	17
No 50	0.300	9
No 100	0.150	6
No 200	0.075	5

Con estos resultados se presenta la siguiente gráfica:

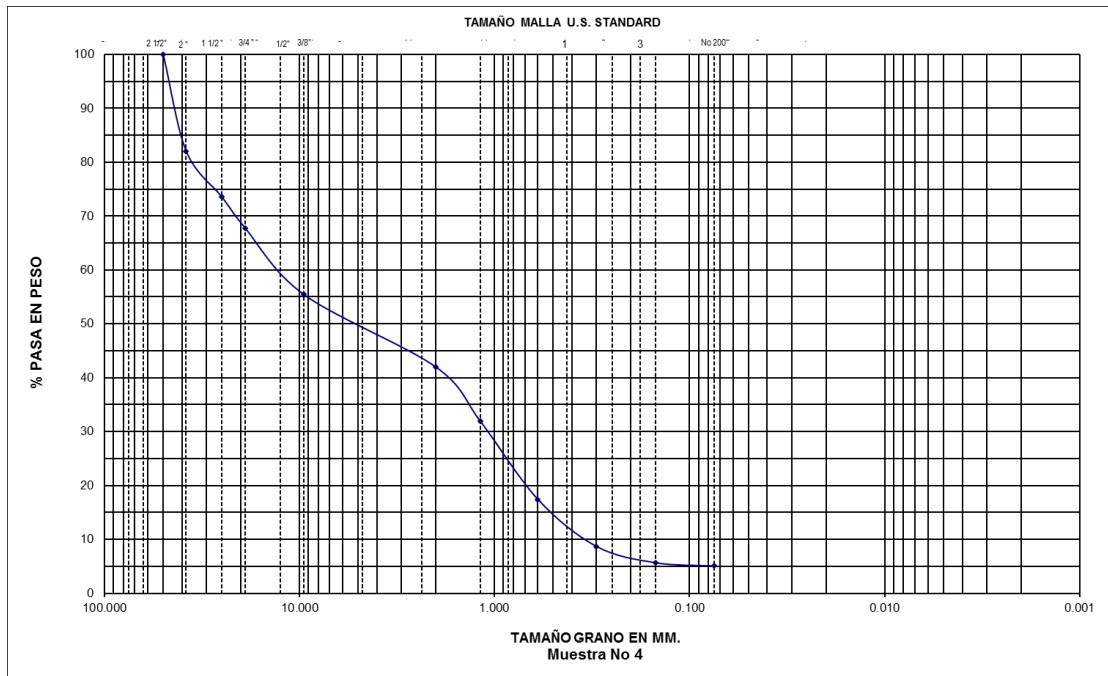


Figura 3.6.8 Gráfica de la muestra 4.

Fuente: Elaboración propia, Gráfico elaborado en Excel.

Al realizar los ensayos de límite plástico y límite líquido resultó que el material es no plástico.

El ensayo de gravedad específica da como resultado un valor de 2.58.

El material se clasificó como una grava mal graduada con arena.

Muestra 5

Granulometría:

Tabla 3.28: Granulometría de la Muestra 5		
No Mallas	mm	% pasante de la malla
2	50.000	100
1 1/2"	38.100	83
1	25.000	74
3/4"	19.000	71
3/8"	9.500	58
No 4	4.750	58
No 10	2.000	52
No 16	1.180	37
No 30	0.600	19
No 50	0.300	9
No 100	0.150	5
No 200	0.075	4

Con estos resultados se presenta la siguiente gráfica:

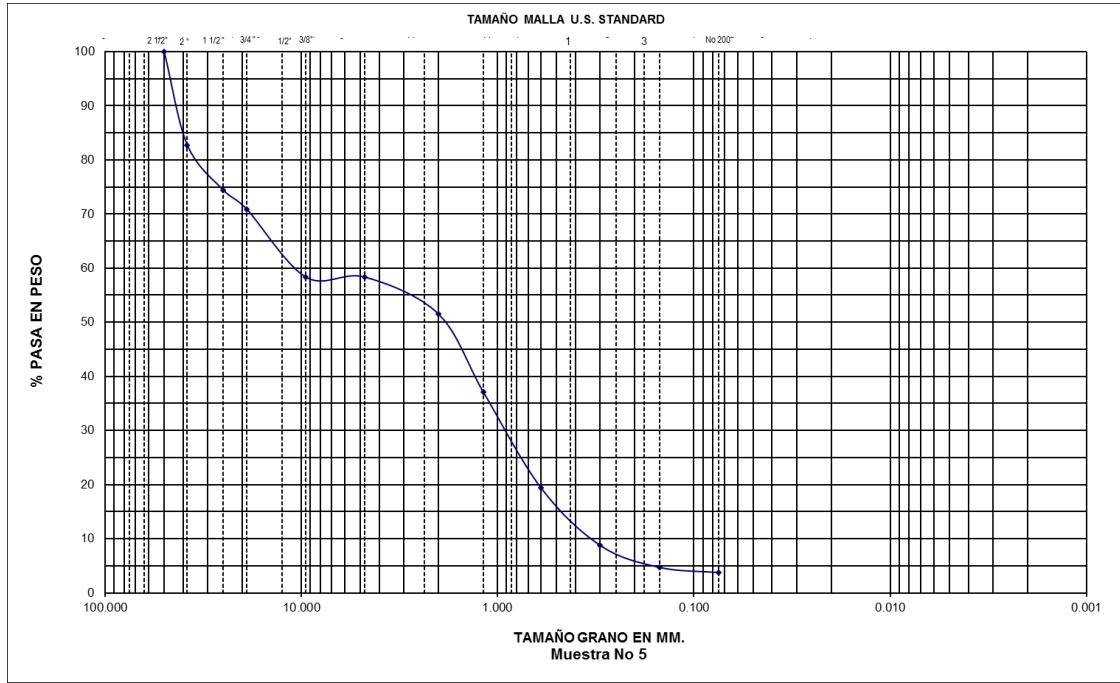


Figura 3.6.9 Gráfica de la muestra 5.

Fuente: Elaboración propia, Gráfica elaborada en Excel.

Al realizar los ensayos de límite plástico y límite líquido resultó que el material es no plástico.

El ensayo de gravedad específica da como resultado un valor de 2.58.

El material se clasificó como una arena mal graduada con grava.

Muestra 6

Granulometría:

Tabla 3.29: Granulometría de la Muestra 6		
No Mallas	mm	% pasante de la malla
2	50.000	100
1 1/2"	38.100	99
1	25.000	92
3/4"	19.000	85
3/8"	9.500	68
No 4	4.750	68
No 10	2.000	50
No 16	1.180	43
No 30	0.600	32
No 50	0.300	20
No 100	0.150	9
No 200	0.075	5

Con estos resultados se presenta la siguiente gráfica:

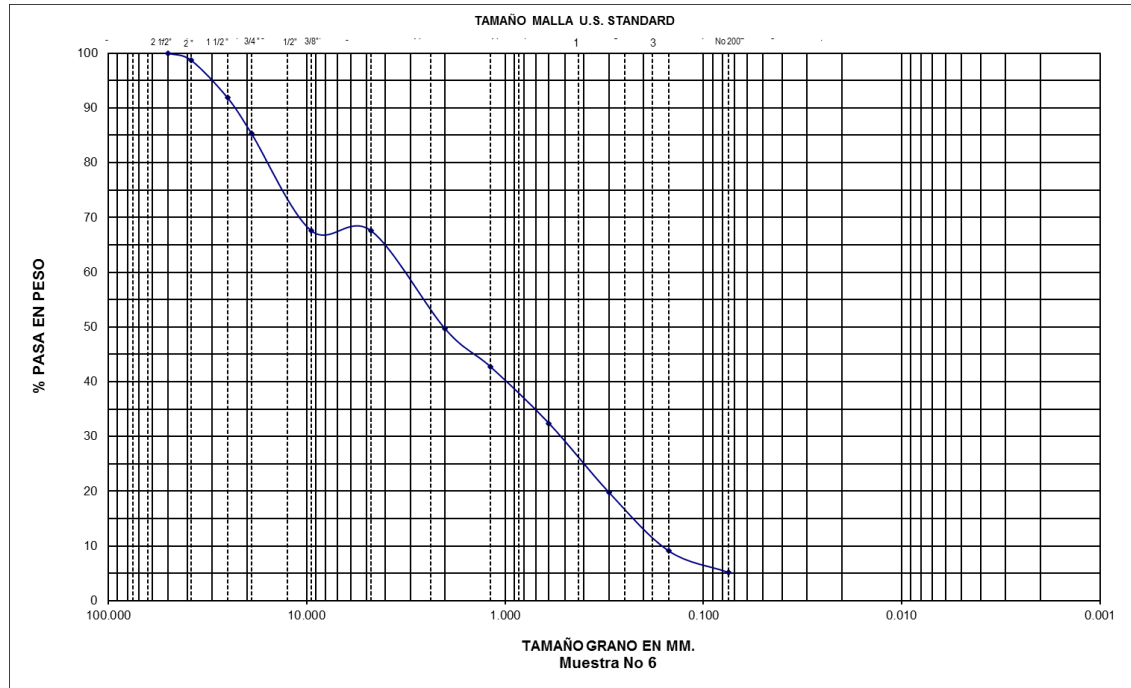


Figura 3.6.10 Gráfica de la muestra 6.

Fuente: Elaboración propia, Gráfica elaborada en Excel.

Al realizar los ensayos de límite plástico y límite líquido resultó que el material es no plástico.

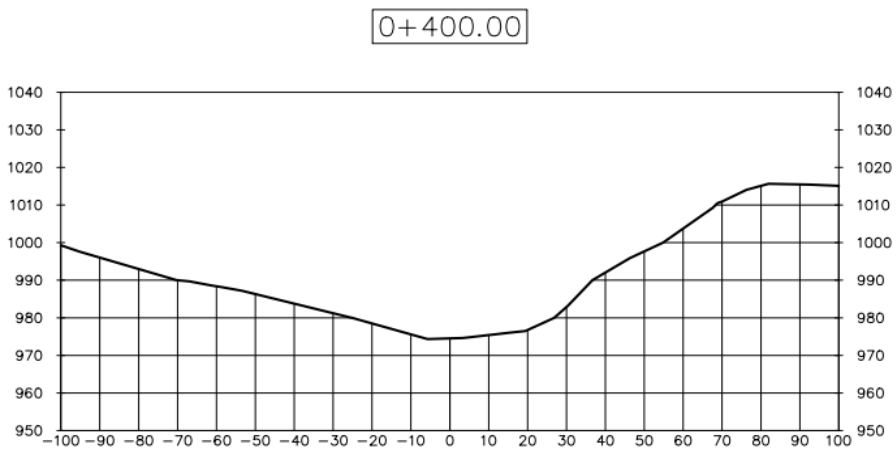
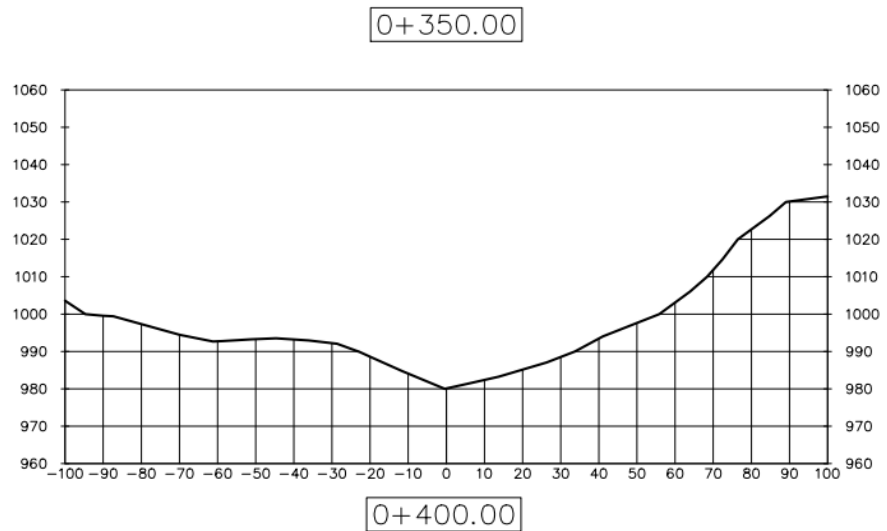
El ensayo de gravedad específica da como resultado un valor de 2.58.

El material se clasificó como una arena mal graduada con grava.

Se tomaron espesores en algunos puntos donde se encontraron sedimentos, estos se midieron hasta la superficie sólida de la quebrada, cuyos valores fueron de 0.11 m, 0.14 m y 0.03 m. Dejando una profundidad promedio en la quebrada de 0.09 m, además se encontró una zona con un espesor mayor a 0.40 m.

3.6.2. Ubicación de las secciones transversales

Las secciones obtenidas en el tramo de interés referenciado respecto a la topografía de 5.00 m los estacionamientos 0+350 al 0+500m donde se obtuvo secciones a cada 50.00 m con ancho del eje a la derecha de 100.00 m y del eje a la izquierda 100.00 m. A continuación se muestra las cuatro secciones obtenidas:



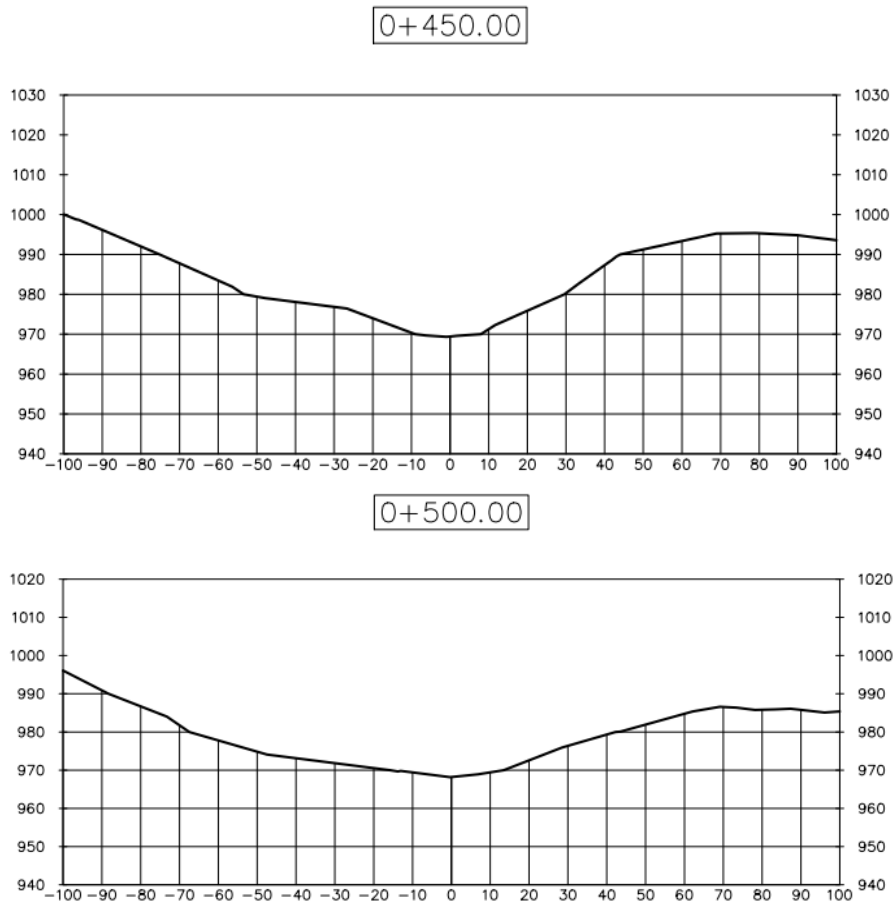


Figura 3.6.11 Creación Propia “Algunas de las secciones obtenidas del levantamiento topográfico.

Fuente: Elaboración propia, Captura de visor de Civil 3D

Comparación Topográfica

Topografía 10.00 m –Topografía 5.00 m

A continuación se presentan los perfiles de la topografía de 10.00 m y la topografía:

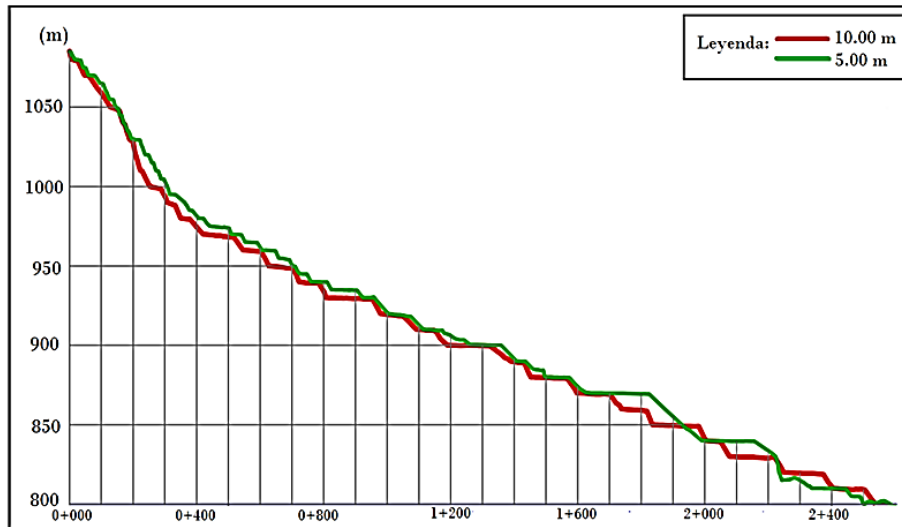
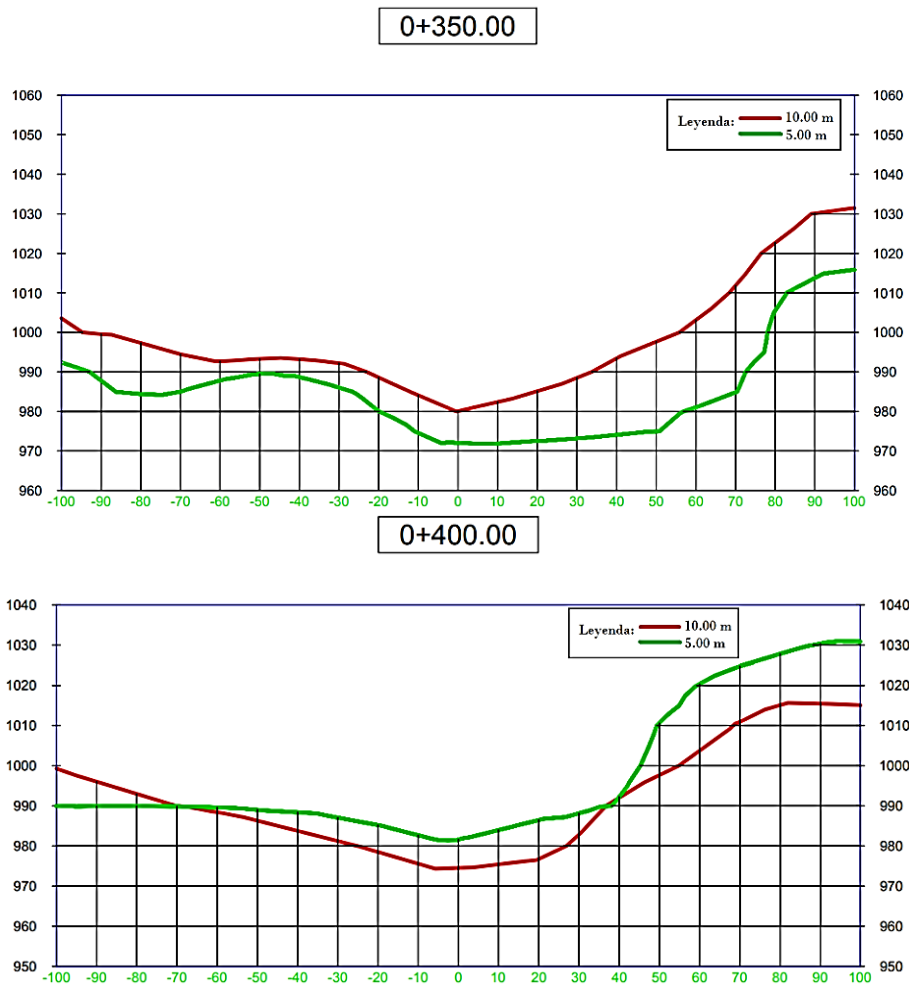


Figura 3.6.12 Perfil Quebrada Las Lajas con topografía de 10.00 m y 5.00 m.

Fuente: Elaboración propia, Captura de visor de Civil 3D

Al comparar ambos perfiles la pendiente es similar aproximadamente 11%, en forma general. Como es de esperarse la topografía a 5.00 m muestra más detalles. En los primeros 300.00 m el tramo del perfil de 10.00 m es más inclinado. Del estacionamiento 0+300 al 1+600 en el perfil con datos a 10.00 m se muestran los desniveles muy marcados y en el perfil con datos a 5.00 m el descenso se muestra en ondulaciones no muy marcadas. Del estacionamiento 1+600 en adelante se observa la diferencia más notable entre ambos perfiles es que en el perfil con curvas a 10.00 m continúan los desniveles marcados y en el perfil de

las curvas de 5.00 m hay un tramo de doscientos metros de igual elevación, luego los siguientes doscientos metros un desnivel aproximadamente de 40.00 m y los posteriores 200.00 m otro tramo bastante plano. En el estacionamiento 2+200 existe una caída abrupta de unos 20.00 m aproximadamente. Todos estos detalles no se visualizan en la topografía de 10.00 m.



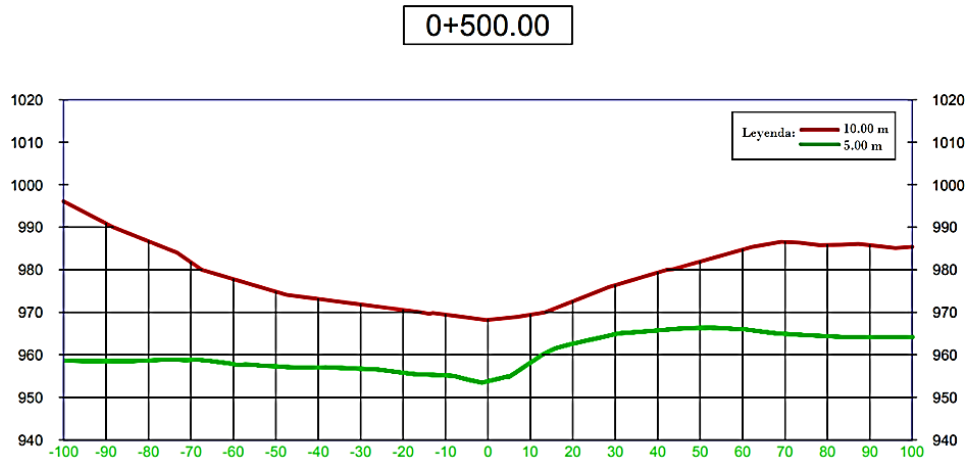


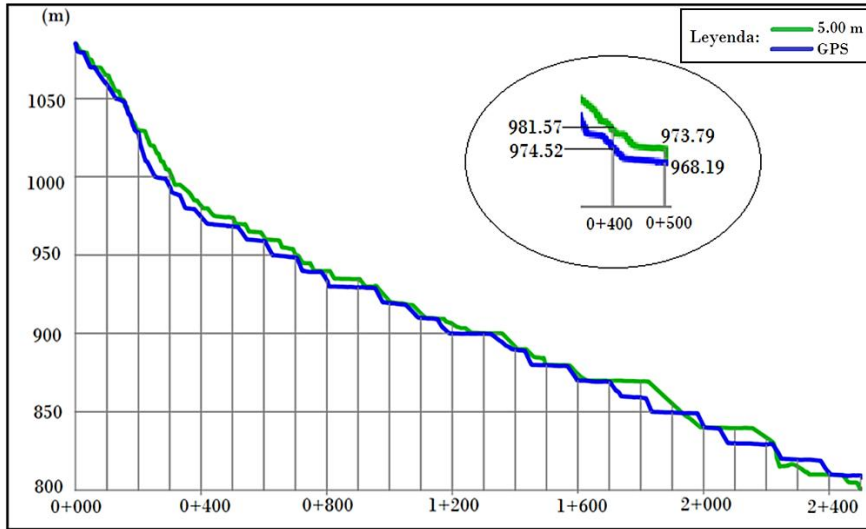
Figura 3.6.13 Secciones Transversales de La Quebrada Las Lajas con topografía de 10.00 m y 5.00 m.

Fuente: Elaboración propia, Captura de visor de Civil 3D

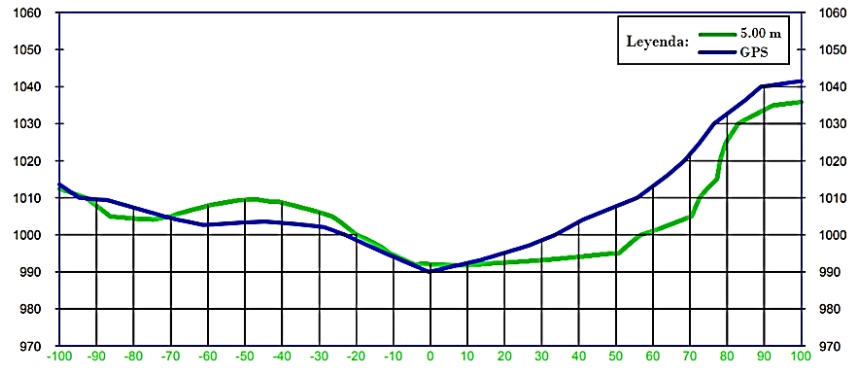
En este caso se detalla que los datos de topografía en cuanto a la comparación mediante secciones transversales brindan diferencias bastantes significantes respecto a las elevaciones del lecho y la forma de las secciones.

Topografía 5.00 m-Topografía de GPS

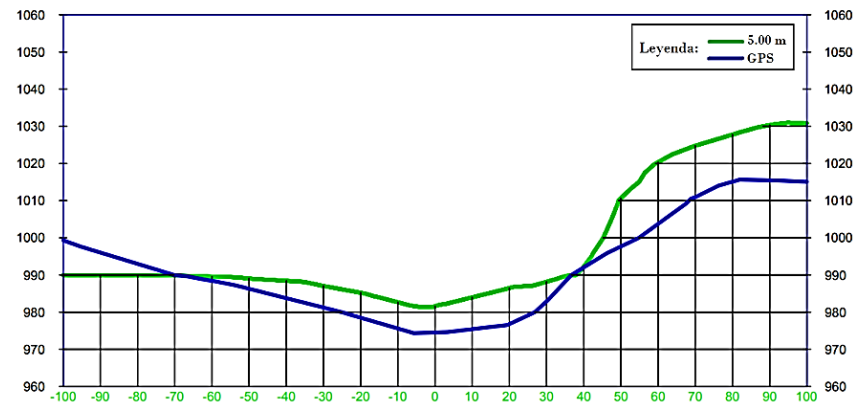
La topografía obtenida con GPS y estación total se va a comparar con la topografía a 5.00 m, como se ha hecho para las quebradas anteriores. El levantamiento topográfico se realizó en un tramo de interés. La topografía levantada en la quebrada Las Lajas referenciada a toda la quebrada corresponde entre los estacionamientos 0+350 al 0+500. Para poder hacer una comparación entre ambas topografías se extrae el tramo de interés de la topografía de 5.00 m.



0+350.00



0+400.00



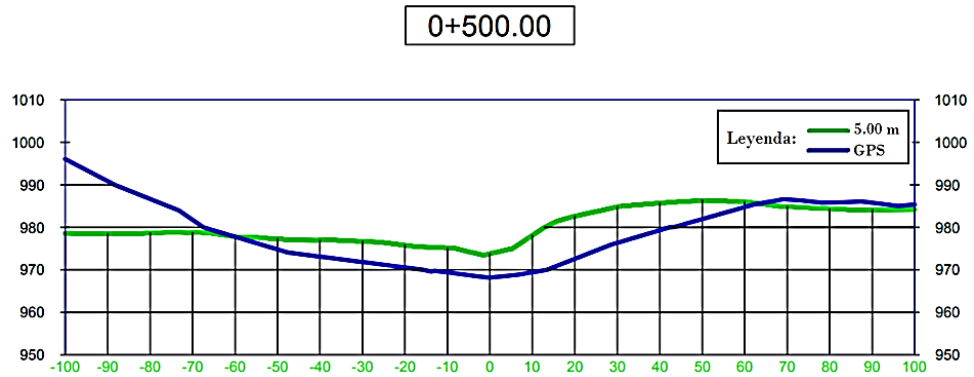


Figura 3.6.14 Comparación Topográfica de Secciones de Perfiles y Transversales, Curvas a 5.00 m Vs. Topografía obtenida con GPS y Estación Total.

Fuente: Elaboración propia, Captura de visor de Civil 3D.

Las comparaciones correspondientes a los estacionamientos en estas cuatro secciones transversales que se encuentran dentro del tramo interés muestran variaciones significativas la topografía de 5.00 m respecto a la obtenida con GPS.

CAPÍTULO 4 MODELACIÓN HIDRÁULICA DE LAS QUEBRADAS

4.1 Introducción

Como se mencionó en capítulo 2, HEC-RAS tiene capacidad de análisis hidráulico siempre y cuando los datos se introduzcan de manera correcta al programa ya que este, al igual que cualquier software o programa, es muy sensible a las características que estos datos puedan tener, por lo cual siempre es recomendado que estos análisis los realicen personas con criterios o experiencia.

En este capítulo se desarrolla la manera en que se introdujeron los datos para su posterior análisis, así como las funciones y criterios principales. Cabe mencionar que se utilizó la versión 5.03 de HEC-RAS, la cual es de uso libre.

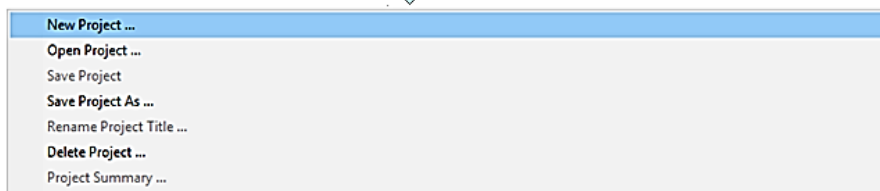
4.2 Introducción de datos Quebrada Buenos Aires

4.2.1 Creación del proyecto

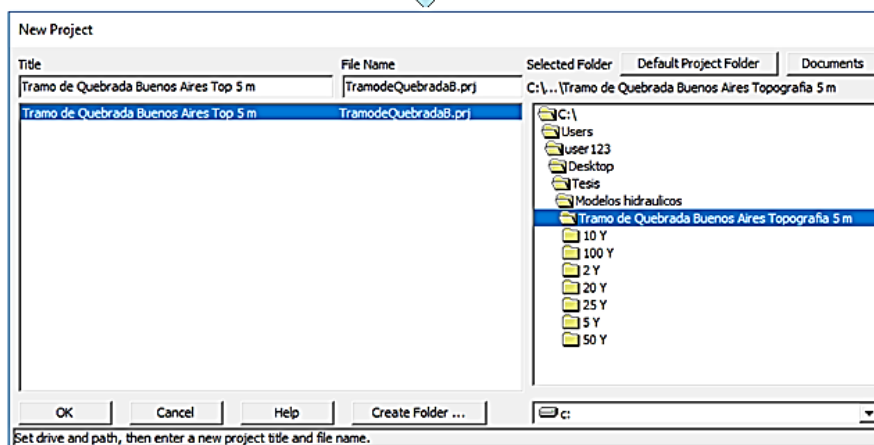
Se abre el programa HEC-RAS y se selecciona la opción “New Project” de la pestaña “File”, esta acción abrirá una ventana en la cual se introduce el nombre del archivo y la ubicación del mismo, al seleccionar la ubicación del proyecto esta se vuelve la ubicación por defecto.



a) Menu principal



b) Opciones de la pestaña archivo "FILE"



c) Ventana de creación de proyecto y selección de la ubicación

Figura 4.2.1 Pasos para la creación de un archivo de proyecto.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS

4.2.2 Creación del archivo de geometría (Sección transversal y Planta)

Una vez definidas las secciones de la quebrada Buenos Aires que se utilizarán en el modelo hidráulico, se procede a trazar el eje de la quebrada sobre las curvas de nivel a cada 10.00 m y 5.00 m, en el caso del levantamiento realizado con

GPS y estación total, el tramo del eje de la quebrada, así como las secciones transversales obtenidas mediante las mediciones, se superponen en las curvas de nivel a cada 5 metros. A continuación se trabaja en la versión estudiantil de Civil 3D, generando la superficie con las curvas de nivel; una vez generada la superficie, se identifica el eje de la quebrada como el “Alineamiento”, esto con el fin de trazar las secciones transversales al eje.

Cabe mencionar que las secciones transversales de la quebrada Buenos Aires comprenden una longitud de 100.00 m en promedio a cada lado del eje, lo cual es requerimiento para análisis de ríos y quebradas en zonas montañosas. Ver figura 4.2.2.

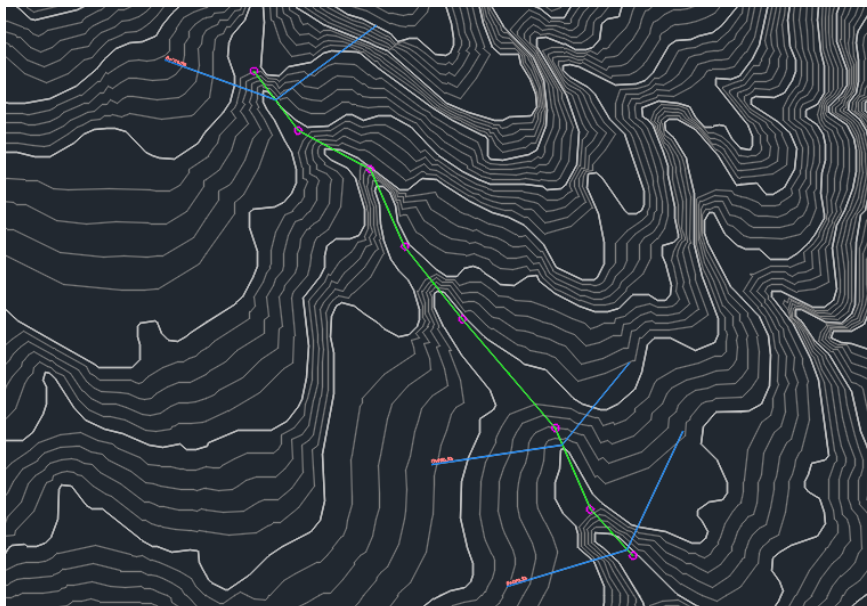


Figura 4.2.2 Tramo de la Quebrada Buenos Aires donde se observan: eje de quebrada, puntos de intersección de tangentes y secciones transversales.

Fuente: Elaboración propia, Captura desde el visor de civil3D.

Finalmente al tener las secciones transversales en Civil 3D se procede a exportar el archivo a HEC-RAS, y se obtiene así el archivo geo. Ver figura 4.2.3

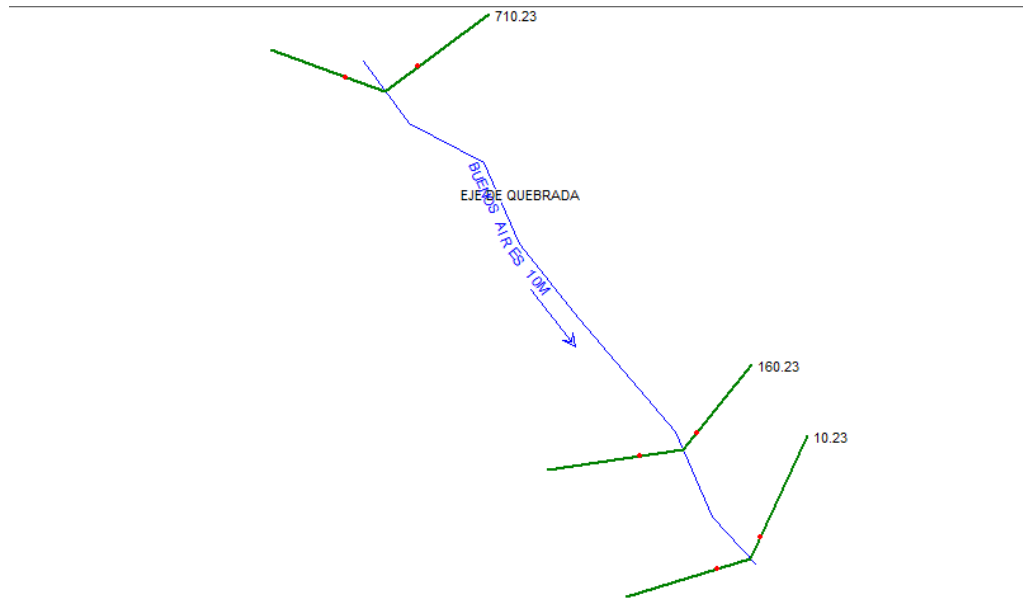


Figura 4.2.3 Archivo geo de la quebrada Buenos Aires obtenido mediante el procedimiento descrito anteriormente.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS

En la figura 4.2.3 el eje de la quebrada Buenos Aires está representada por la línea color celeste y las secciones transversales son las líneas color verde.

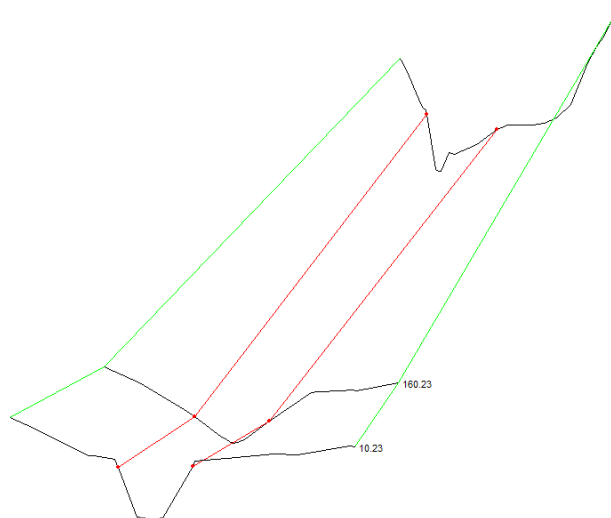


Figura 4.2.4 Vista en perspectiva x-y-z generada en HEC-RAS mediante la importación del archivo geo.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

A continuación, se presenta una tabla resumen con los parámetros geométricos del tramo de la Quebrada Buenos Aires trabajado sobre las curvas de nivel a cada 10.00 m. (Ver tabla 4.1)

Tabla 4.1: Resumen de parámetros geométricos de la Quebrada Buenos Aires sobre curvas de nivel a cada 10.00 m.	
Total de secciones transversales	3
Estación aguas abajo	0+010.23
Estación aguas arriba	0+710.23
Longitud de análisis	753.172 metros
Elevación aguas arriba	1030.00 msnm

Elevación aguas abajo	980.00 msnm
Diferencia de elevación	50.00 metros

*Nota: Fuente Elaboración propia.

Se realiza el mismo procedimiento para los tramos de la Quebrada Buenos Aires superpuestos en las curvas de nivel a cada 5 metros, obteniéndose los siguientes parámetros:

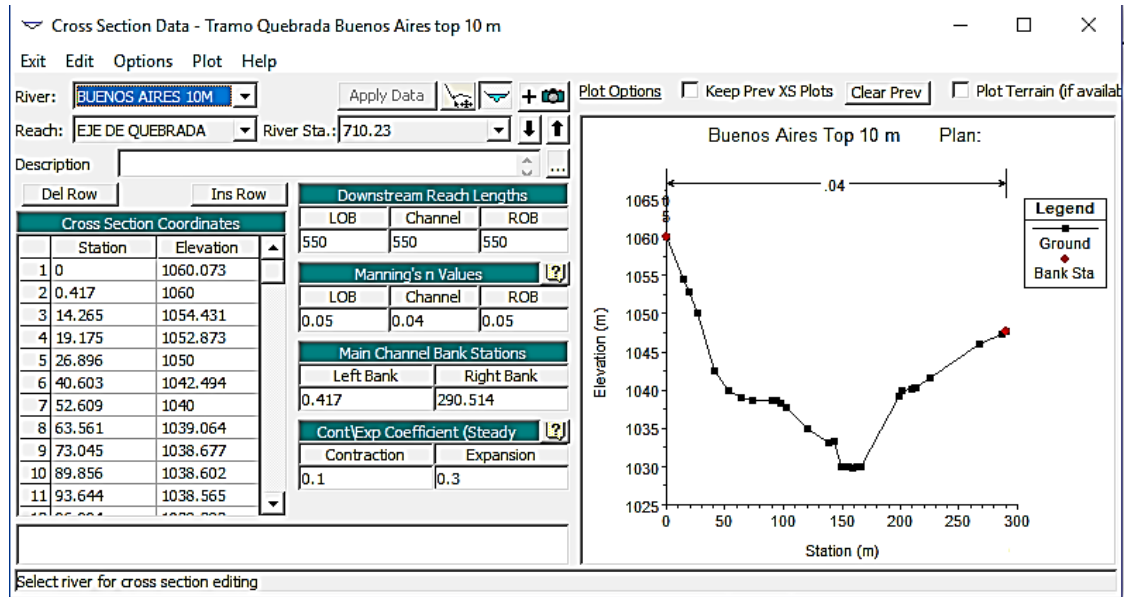
Tabla 4.2: Resumen de parámetros geométricos de la Quebrada Buenos Aires sobre curvas de nivel a cada 5.00 m.	
Total de secciones transversales	3
Estación aguas abajo	0+022.83
Estación aguas arriba	0+36.38
Longitud de análisis	765.69 metros
Elevación aguas arriba	1036.00 msnm
Elevación aguas abajo	975.00 msnm
Diferencia de elevación	61.00 metros

*Nota: Fuente Elaboración propia.

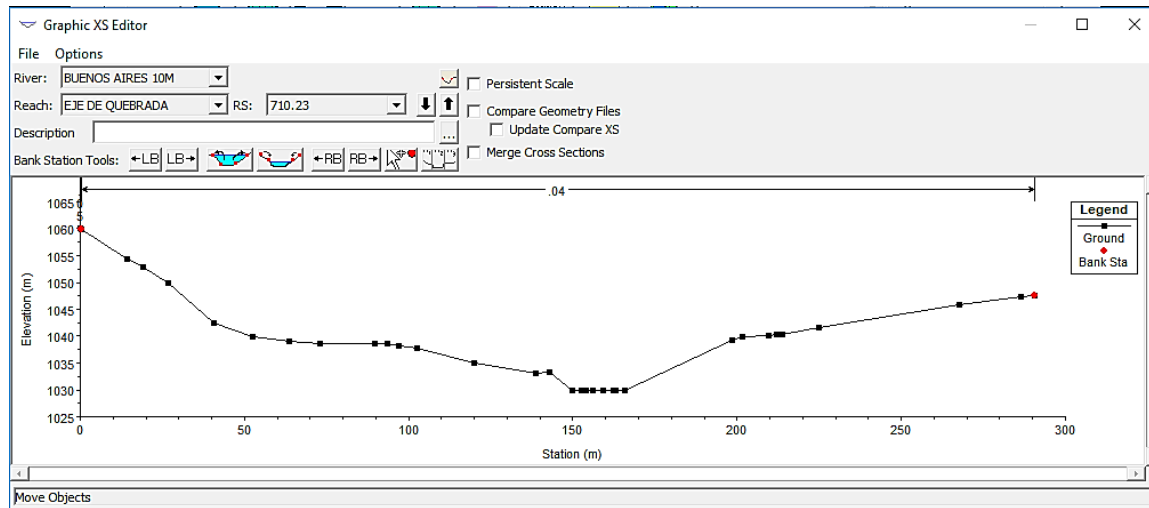
Tabla 4.3: Resumen de parámetros geométricos de la Quebrada Buenos Aires sobre curvas de nivel a cada 5.00 m incluyendo los datos obtenidos en campo.	
Total de secciones transversales	3
Estación aguas abajo	0+004.52
Estación aguas arriba	0+751.51
Longitud de análisis	766.74 metros
Elevación aguas arriba	1033.00 msnm
Elevación aguas abajo	975.00 msnm
Diferencia de elevación	58.00 metros

*Nota: Fuente Elaboración propia.

Una vez obtenido el archivo, éste se importa al proyecto mediante la opción importar de la pestaña “File” en la ventana del editor de geometría, posteriormente se procede a delimitar los bordes de las secciones o puntos a partir de los cuáles la sección desborda al haber un flujo de agua, para lo cual se utiliza el editor de secciones transversales, para esto el editor cuenta con una función que facilita la selección de los bordes la cual permite la selección de manera gráfica, es decir seleccionando el punto en la ventana de edición entre otras formas.



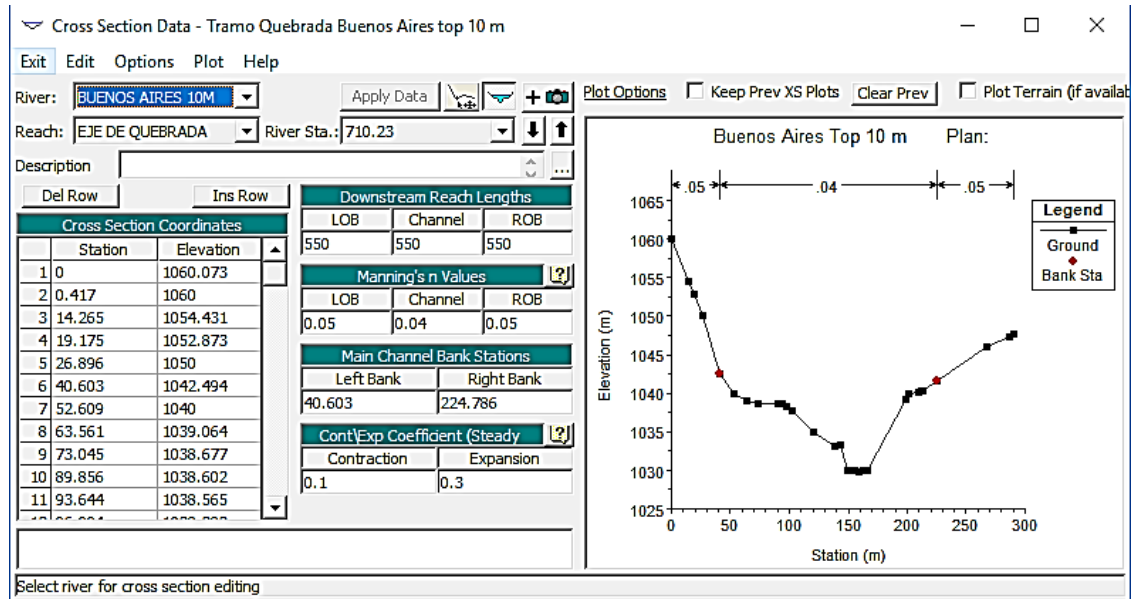
a) Vista del editor principal de secciones transversales



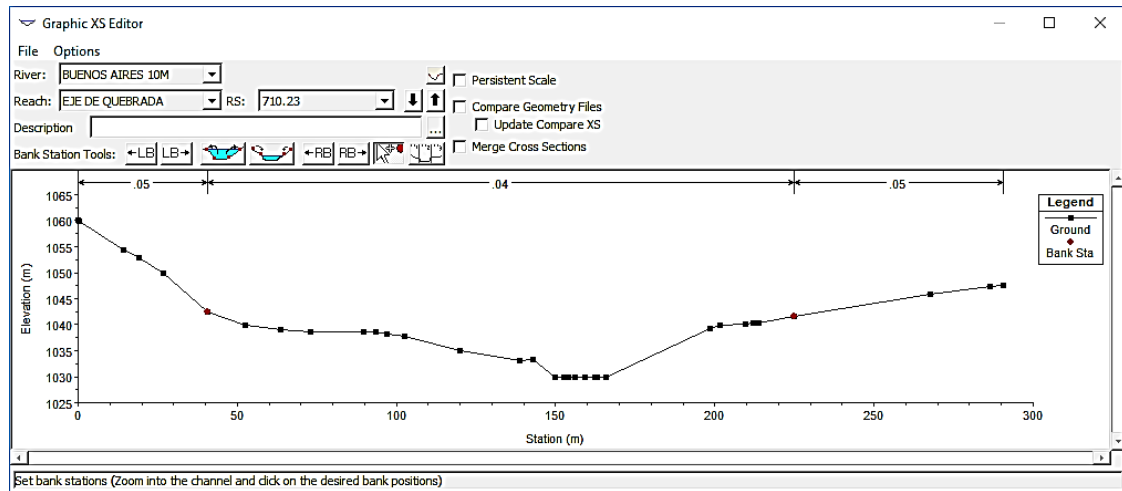
b) Vista el editor de bordes

Figura 4.2.5 Sección transversal antes de colocar los bordes.

Fuente: Elaboración propia, Capturas del programa HEC-RAS.



a) Vista desde el editor principal de secciones transversales



b) Vista desde el editor de bordes

Figura 4.2.6 Sección transversal después de colocar los bordes.

Fuente: Elaboración propia, Capturas del programa HEC-RAS.

Una vez se modifican los bordes de las secciones transversales se procede a introducir los valores “n” de Manning para lo cual se puede seleccionar en la pestaña “Table” donde aparecen las secciones transversales e introducir los valores de 0.04 para el lecho y 0.05 para los laterales como se muestra en la figura 4.2.7. Finalmente se guardan los cambios realizados.

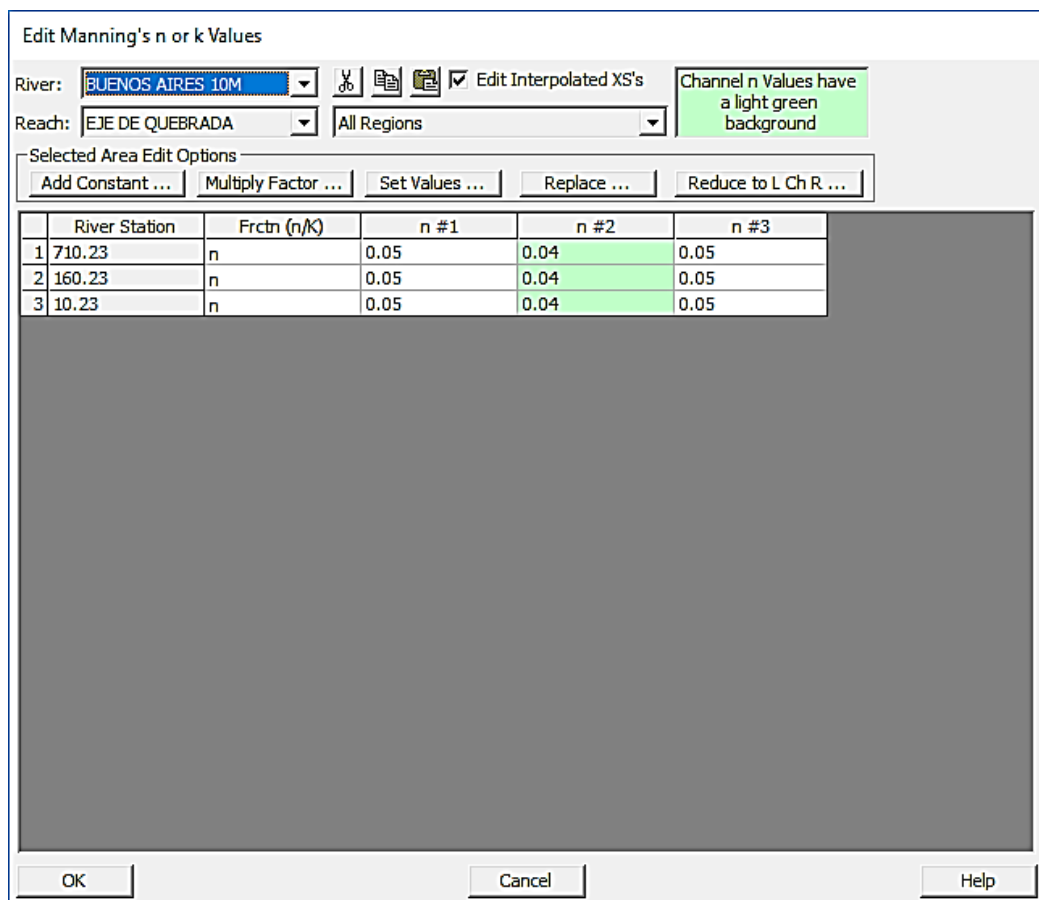


Figura 4.2.7 Ventana de introducción de valores n de Manning.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

4.2.3 Creación de archivo de Sedimentos

Se selecciona la opción de sedimentos que abre la ventana del mismo y se crea el archivo de sedimento al seleccionar la opción “New Sediment Data” en la pestaña “File” de la ventana de sedimentos, se inicia introduciendo la granulometría con la que se trabajará en el proyecto.

Para este caso se seleccionó la muestra N° 2 que está ubicada como se muestra en la figura 4.2.8 y cuyos valores están en base a la norma ASTM D-655.



Figura 4.2.8 Ubicación de la muestra con respecto al área de análisis

Fuente: Elaboración propia, Imagen adaptada de Google Earth.

Ya que el programa tiene un sistema de clasificación diferente se deben convertir los valores teniendo como resultado las siguientes tablas:

Tabla 4.4: Granulometría ASTM	
Diámetro (mm)	% Pasante
50.000	100
38.1000	99
25	97
19.0000	93
9.5000	88
4.7500	73
2.0000	73
1.1800	58
0.6000	42
0.3000	23
0.1500	8
0.0750	3



Tabla 4.5: Granulometría Unión Americana de Geofísica	
Diámetro (mm)	% Pasante
64.000	100
32.000	98.2
16.000	91.4
8.000	83.9
4.000	72.7
2.000	72.7
1.000	54
0.500	36.9
0.250	19.3
0.125	7.0

*Nota: Fuente Elaboración propia, datos de 3.4.1 Granulometría en la quebrada “Buenos Aires”

Una vez obtenida la granulometría se procede a introducir los datos, para lo cual se oprime el botón “Define/Edit Bed Gradation”, y se oprime el botón “New Bed

Gradation Sample”, que abre la una ventana para introducir el nombre de la muestra. Ver Figura 4.2.9.

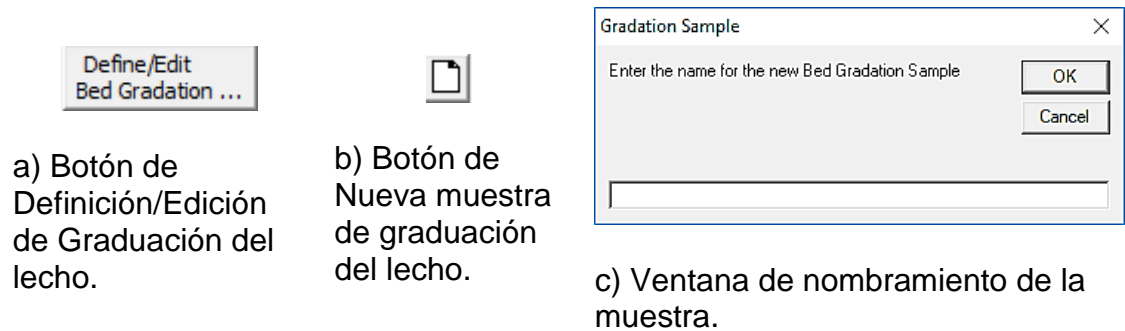


Figura 4.2.9 Imágenes de creación de archivo de granulometría.

Fuente: Elaboración propia, Capturas de imagen del programa HEC-RAS

Después de introducir el nombre de la muestra se procede a introducir los datos de granulometría y automáticamente se puede visualizar la curva granulométrica como en la figura 4.2.10

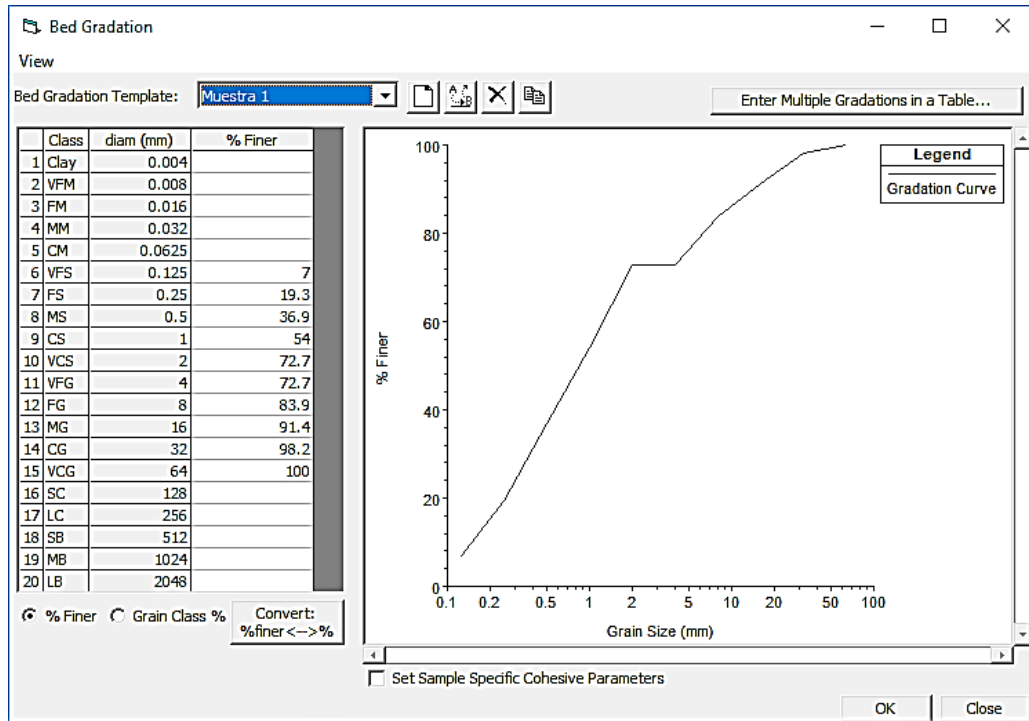


Figura 4.2.10 Editor de datos de granulometría.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

Después de definir el material que constituye el lecho del cauce se procede a introducir los límites y seleccionar el material para cada sección, los límites laterales se seleccionaron bajo el criterio seleccionar la mitad de la altura del área hidráulica y para el límite inferior se seleccionó una distancia de 10.00 m de material erosionable.

De las funciones disponibles se cumple con los requisitos para utilizar la función de transporte de Meyer Peter Muller, El método de clasificación de capa de

Thomas y la teoría de velocidad de caída de Toffoleti, tal como se muestra en la figura 4.2.11.

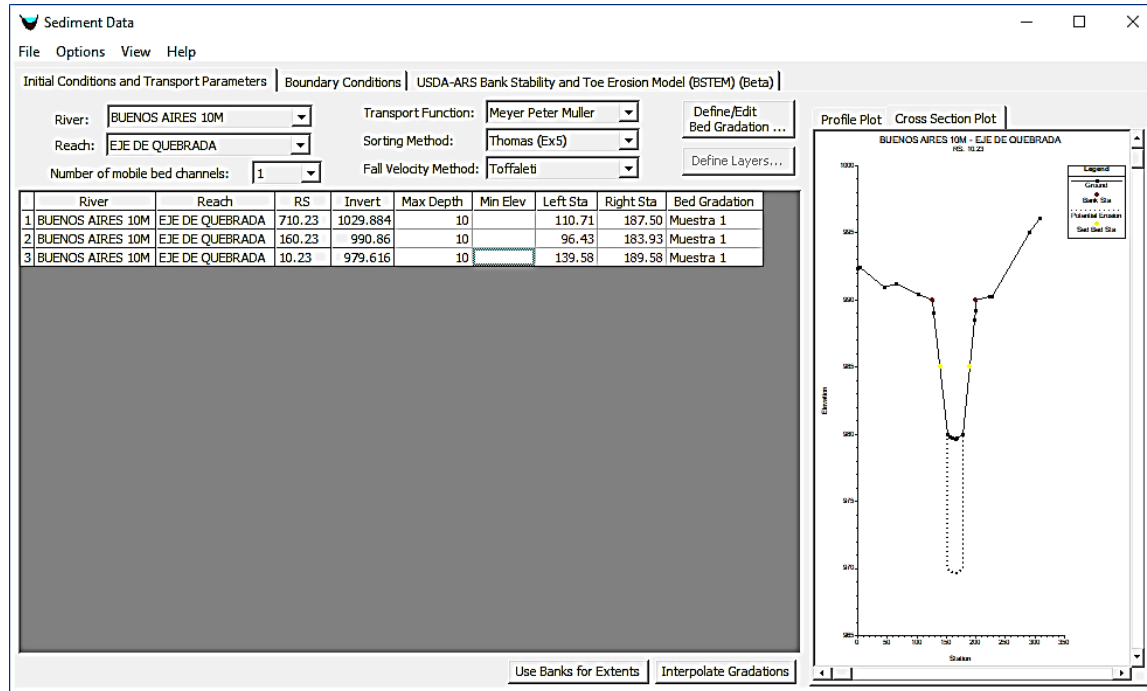


Figura 4.2.11 Ventana de Condiciones iniciales del archivo de sedimentos.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

Después de completar la ventana de condiciones iniciales se procede a introducir las condiciones de contorno que en nuestro caso se utilizará la opción “Equilibrium Load” que como se ha explicado anteriormente indica que el lecho de sedimentos de la sección aguas arriba regresará a sus condiciones iniciales después de cada paso de tiempo.

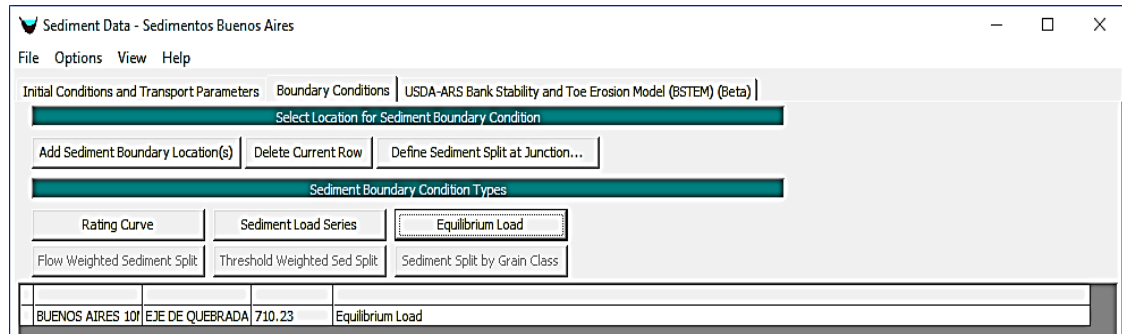


Figura 4.2.12 Ventana de condiciones de contorno del archivo de sedimentos.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

Estas condiciones aplican a los modelos que se realizarán con topografía de 10.00 m, 5.00 m, y GPS. Finalmente, se guardan todos los cambios realizados.

4.2.4 Creación del archivo de flujo

Se realiza la creación de un archivo que contendrá el caudal de análisis para la quebrada, este proviene de un hidrograma con diferentes tormentas de diseño, para este trabajo se emplearon tormentas de 2, 5, 10, 20, 25, 50 y 100 años los cuales fueron proporcionados por el análisis hidrológico proporcionado por OPAMSS y dentro de los cuales se utilizaron los valores máximos para el archivo de flujo. A continuación se presentan los valores con los cuales se realizará la modelación.

Tabla 4.6: Valores máximos de caudal							
Tormenta de diseño (años)	2	5	10	20	25	50	100
Caudal (m ³ /s)	42.4	68.7	87	105.1	110.8	129	147.3

*Nota: Fuente Elaboración propia.

Dado que el análisis que se desea realizar es sobre cómo las quebradas susceptibles a flujos de escombros se ven afectadas por la topografía, se deben realizar ajustes para la simulación de este tipo de eventos, uno de los ajustes es que el análisis se debe realizar para un flujo constante, para esta condición se optó por realizar una serie de flujo de 24 horas, debido a que solamente se puede realizar análisis de sedimentos con flujo no permanente y cuasi no permanente, los cuales implican mayores complicaciones para conseguir estabilidad, por lo que se decide utilizar un análisis cuasi permanente y se genera un archivo de flujo cuasi permanente.

Para esto se utiliza la opción “View/Edit Quasy Unsteady Flow Data” que abre la ventana que se observa en la figura 4.2.13, donde se selecciona la opción “New Quasi Unsteady Flow File” y luego, la ubicación en que se guardará y el nombre del archivo, en esta ventana se deben seleccionar las condiciones de flujo con las cuales contará por lo que se selecciona la opción serie de flujo para la sección aguas arriba y profundidad normal para la sección aguas abajo y se introduce el valor de temperatura que tendrá el agua.

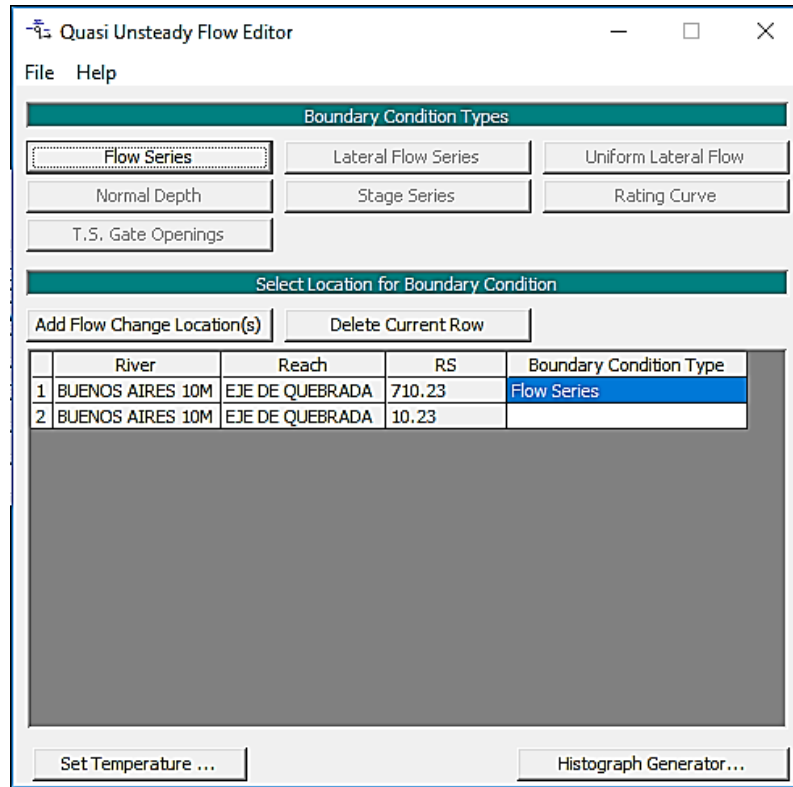


Figura 4.2.13 Editor de Condiciones de contorno de Flujo cuasi permanente.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

Dentro de la ventana de serie de flujo se introduce la duración del flujo, el incremento computacional y el caudal.

Flow Series for BUENOS AIRES 10M EJE DE QUEBRADA 710.23

Select/Enter the Data's Starting Time Reference

Use Simulation Time: Date: Time:

Fixed Start Time: Date: Time:

Hydrograph Data

No. Ordinates Interpolate Values Del Row Ins Row

	Simulation Time	Elapsed Time (hours)	Flow Duration (hours)	Computation Increment (hours)	Flow (m3/s)
1	30dic1899 0000	1	1	0.5	42.4
2	30dic1899 0100	2	1	0.5	42.4
3	30dic1899 0200	3	1	0.5	42.4
4	30dic1899 0300	4	1	0.5	42.4
5	30dic1899 0400	5	1	0.5	42.4
6	30dic1899 0500	6	1	0.5	42.4
7	30dic1899 0600	7	1	0.5	42.4
8	30dic1899 0700	8	1	0.5	42.4
9	30dic1899 0800	9	1	0.5	42.4
10	30dic1899 0900	10	1	0.5	42.4
11	30dic1899 1000	11	1	0.5	42.4
12	30dic1899 1100	12	1	0.5	42.4
13	30dic1899 1200	13	1	0.5	42.4
14	30dic1899 1300	14	1	0.5	42.4
15	30dic1899 1400	15	1	0.5	42.4
16	30dic1899 1500	16	1	0.5	42.4
17	30dic1899 1600	17	1	0.5	42.4

Compute computation increments based on flow

Plot ... OK Cancel

Figura 4.2.14 Ventana de introducción de datos de flujo cuasi permanente.

Fuente: Elaboración propia, captura del programa HEC RAS.

En la opción “Normal Depth” se introduce la pendiente entre las últimas secciones aguas abajo. Este proceso se repite para los diferentes archivos de geometría que se tengan; dichos valores se presentan en la tabla 4.2.7.

$$\begin{aligned}
 \text{Pendiente} &= \frac{\text{Elevación del eje aguas arriba} - \text{Elevación del eje aguas abajo}}{\text{espaciamiento entre secciones}} && \text{Ecuación 4.1} \\
 \text{Pendiente} &= \frac{990.86 - 979.616}{150} = 0.07496
 \end{aligned}$$

Tabla 4.7: Valores de pendiente para la sección aguas abajo			
Archivo de topografía	10 m	5 m	GPS
Profundidad normal (pendiente)	0.07496 m/m	0.06295 m/m	0.07161 m/m

*Nota: Fuente Elaboración propia.

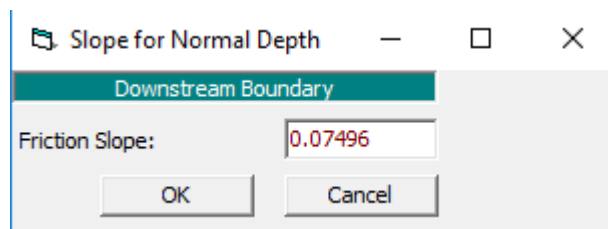


Figura 4.2.15 Ventana de introducción de datos de la condición Profundidad Normal. Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

Para introducir el valor de temperatura que tendrá el agua se oprime el botón “Set Temperature”, el cual abre una venta en la que se debe introducir una serie de temperatura, esta serie tiene que contener el mismo tiempo que la serie de flujo, se decidió utilizar la temperatura de 27° centígrados ya que El Salvador cuenta con una variación en temperatura desde los 26 a los 30° centígrados a nivel del

mar pero al ubicarse las quebradas en zonas boscosas y con mayor elevación se considera que un valor de 27° es aceptable para el análisis .

Una vez llenados todos los campos se procede a guardar los cambios realizados en el archivo y a crear un nuevo archivo de flujo.

No. Ordinates	Simulation Time	Elapsed Time (hours)	Duration (hours)	Temp (C)
1	30sep2016 2400	24	24	27
2	01oct2016 2400	25	1	27
3	02oct2016 0100			
4	02oct2016 0100			
5	02oct2016 0100			
6	02oct2016 0100			

Figura 4.2.16 Ventana de introducción de datos de temperatura para flujo cuasi permanente.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

4.2.5 Creación del archivo de resultados hidráulicos

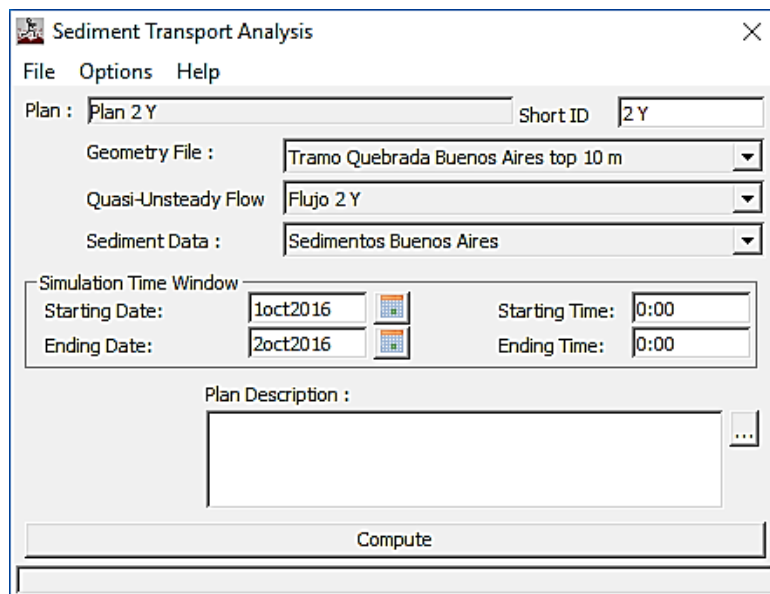
4.2.5.1 Creación del Archivo de Análisis de Datos

Para crear el archivo de corrida del programa se selecciona la opción “Perform a Sediment Transport Simulation” (Ver figura 4.2.17), que abre una ventana secundaria en la cual se selecciona la opción “New Plan” de la pestaña de archivo y se selecciona la ubicación y el nombre del archivo, una vez seleccionado, se

deberá introducir un nombre corto para facilitar su identificación, se llenan los datos con los archivos creados de geometría, flujo y sedimentos, además se especifica la fecha en la que ocurrirá la tormenta, la fecha seleccionada ha sido el día primero de octubre del 2016 a las 0:00 horas, esta fecha fue elegida debido a que el programa solamente es capaz de reconocer fechas a partir del primero de septiembre.



a) Botón Análisis de sedimentos



b) Ventana de Análisis de sedimentos

Figura 4.2.17 Inicio de plan de simulación de sedimentos.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

Debido a que el tipo de análisis realizado se deben modificar las opciones de salida del archivo, dentro de las cuales se selecciona la opción "Sediment Output

Option” donde se modifican la opción nivel de salida a 5 y se selecciona que el resultado se presente en volumen. (Ver figura 4.2.18).

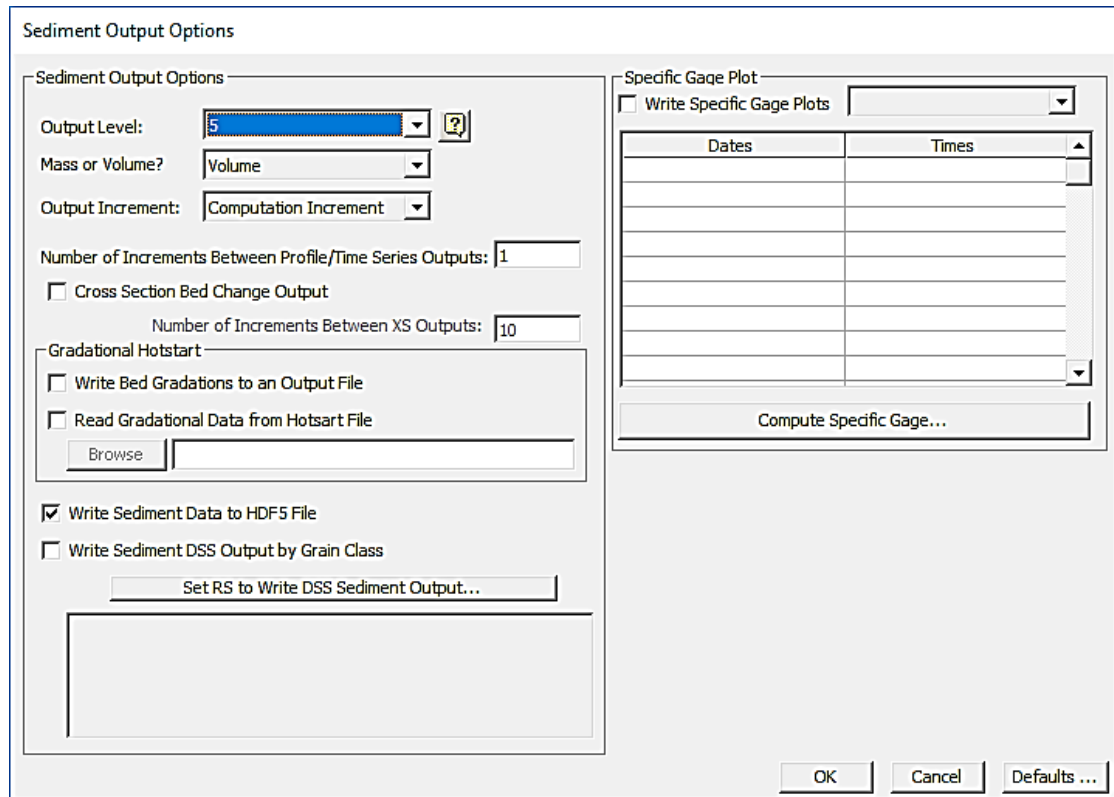


Figura 4.2.18 Ventana de opciones de salida de datos de simulación de sedimentos.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

4.2.5.2 Archivos de Salida

Para visualizar los archivos de salida del análisis de sedimentos se necesita seleccionar la opción “Sediment Output” de la pestaña “View” del menú principal, la cual abre una ventana secundaria donde se pueden seleccionar el tipo de datos que se desea visualizar, la sección en la cual se desea conocer el parámetro a visualizar y como visualizarlo.

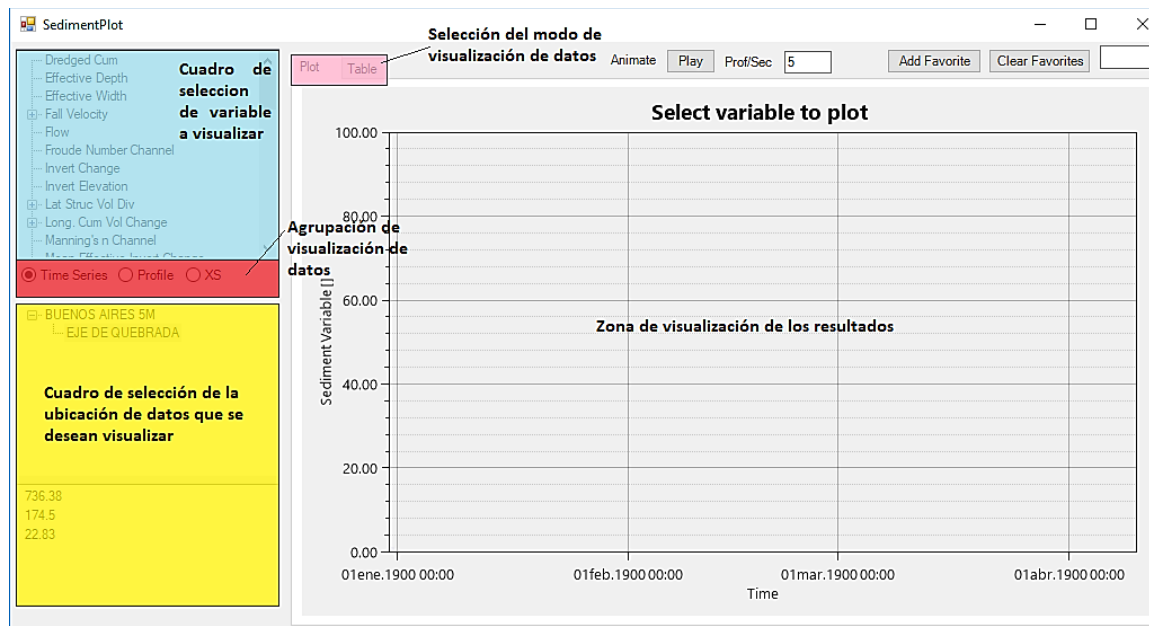


Figura 4.2.19 Ventana de visualización de datos de salida del análisis de sedimentos.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

A continuación se presentan algunos de los resultados del análisis de sedimentos en las figuras 4.2.20 y 4.2.25.

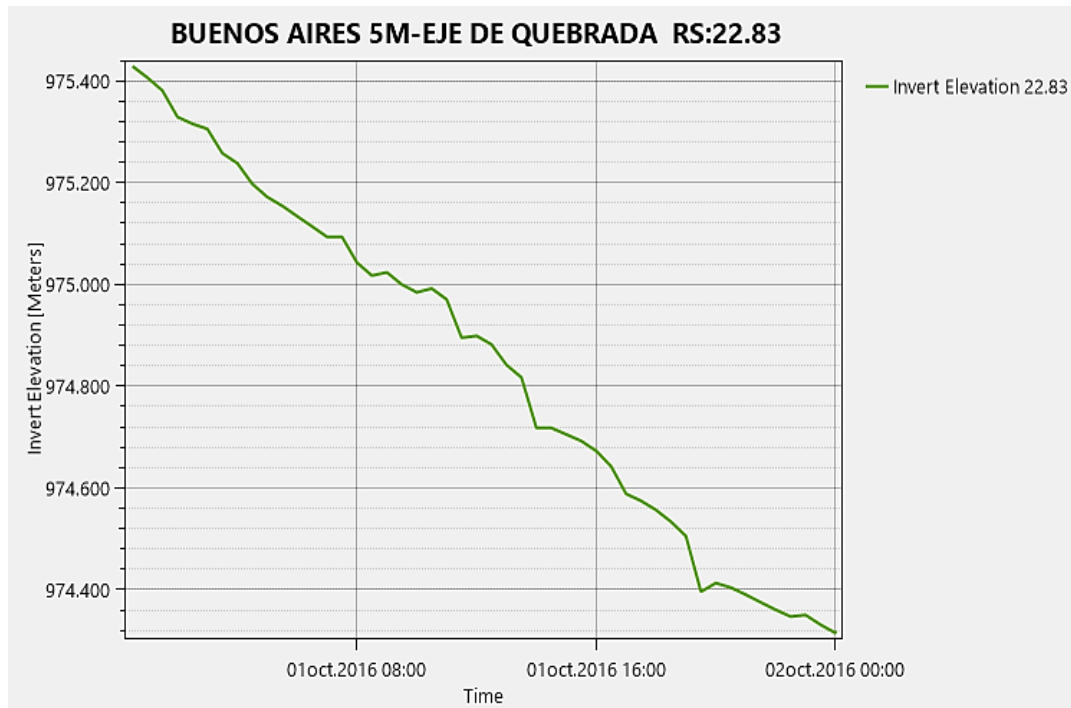


Figura 4.2.20 Gráfico del cambio en el lecho Vrs el tiempo de simulación de la sección 22.83 de la topografía de 5.00 m.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

Invert Elevation 22.83		
	Time	Invert Elevation
1	01oct.2016 00:3...	975.429
2	01oct.2016 01:0...	975.406
3	01oct.2016 01:3...	975.381
4	01oct.2016 02:0...	975.329
5	01oct.2016 02:3...	975.316
6	01oct.2016 03:0...	975.306
7	01oct.2016 03:3...	975.258
8	01oct.2016 04:0...	975.238
9	01oct.2016 04:3...	975.198
10	01oct.2016 05:0...	975.172
11	01oct.2016 05:3...	975.155
12	01oct.2016 06:0...	975.134
13	01oct.2016 06:3...	975.114
14	01oct.2016 07:0...	975.094
15	01oct.2016 07:3...	975.094
16	01oct.2016 08:0...	975.043

Figura 4.2.21 Tabla de datos del cambio en el lecho de la sección 22.83 de la topografía de 5.00 m.

Fuente: Elaboración propia, captura del programa HEC-RAS

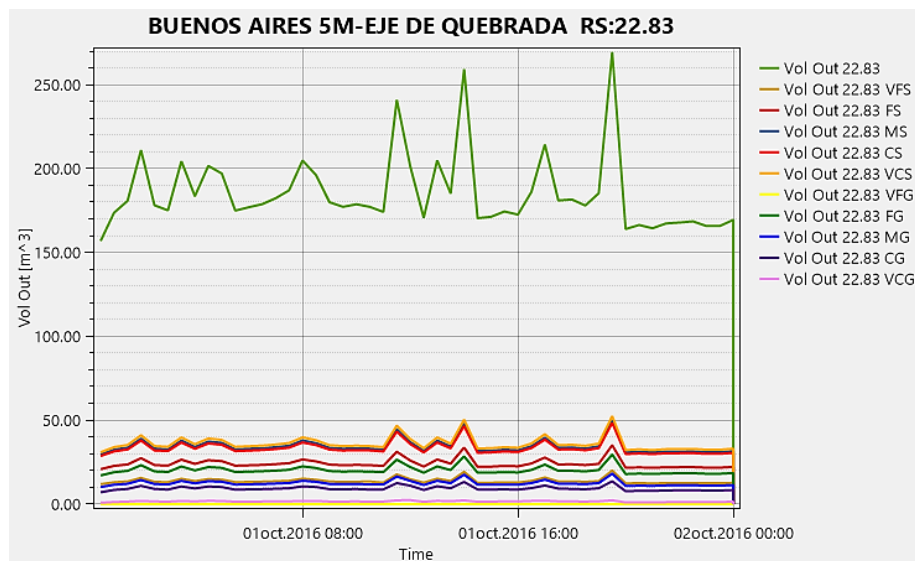


Figura 4.2.22 Gráfico de sedimentos transportados por tipo de grano Vrs tiempo de la sección 22.83 de la topografía de 5.00 m.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

	Time	Vol Out 22.83
1	01oct.2016 00:3...	156.877
2	01oct.2016 01:0...	173.754
3	01oct.2016 01:3...	180.775
4	01oct.2016 02:0...	211.038
5	01oct.2016 02:3...	178.164
6	01oct.2016 03:0...	175.136
7	01oct.2016 03:3...	204.441
8	01oct.2016 04:0...	183.548
9	01oct.2016 04:3...	201.664
10	01oct.2016 05:0...	197.068
11	01oct.2016 05:3...	174.971
12	01oct.2016 06:0...	177.004
13	01oct.2016 06:3...	178.806
14	01oct.2016 07:0...	182.363
15	01oct.2016 07:3...	187.084
16	01oct.2016 08:0...	204.881

Figura 4.2.23 Tabla de datos de sedimentos transportados por tipo de grano de la sección 22.83 de la topografía de 5.00 m.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

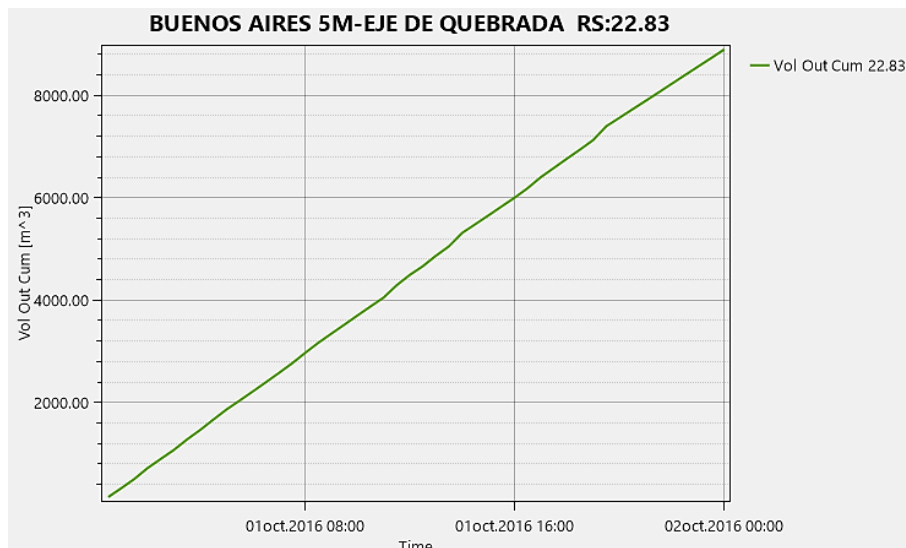


Figura 4.2.24 Gráfico de sedimentos transportados acumulado contra tiempo de la sección 22.83 de la topografía de 5.00 m.

Fuente: Elaboración propia, captura del programa HEC-RAS.

Vol Out Cum 22.83		
	Time	Vol Out Cum
1	01oct.2016 00:3...	156.877
2	01oct.2016 01:0...	330.631
3	01oct.2016 01:3...	511.407
4	01oct.2016 02:0...	722.444
5	01oct.2016 02:3...	900.609
6	01oct.2016 03:0...	1075.745
7	01oct.2016 03:3...	1280.186
8	01oct.2016 04:0...	1463.734
9	01oct.2016 04:3...	1665.398
10	01oct.2016 05:0...	1862.466
11	01oct.2016 05:3...	2037.437
12	01oct.2016 06:0...	2214.441
13	01oct.2016 06:3...	2393.247
14	01oct.2016 07:0...	2575.61
15	01oct.2016 07:3...	2762.694
16	01oct.2016 08:0...	2967.574

Figura 4.2.25 Tabla de datos de sedimentos transportados acumulados de la sección 22.83 de la topografía de 5.00 m.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

En la pestaña de opciones también se puede encontrar la opción “Sediment Output (old)” la cual es otra función de salida de datos que ayuda a visualizar los cambios en el lecho de la sección transversal, esta opción contiene un sub conjunto de opciones:

“Sediment XS Change”: permite visualizar los cambios en el lecho de la sección como se muestra en la figura 4.2.26

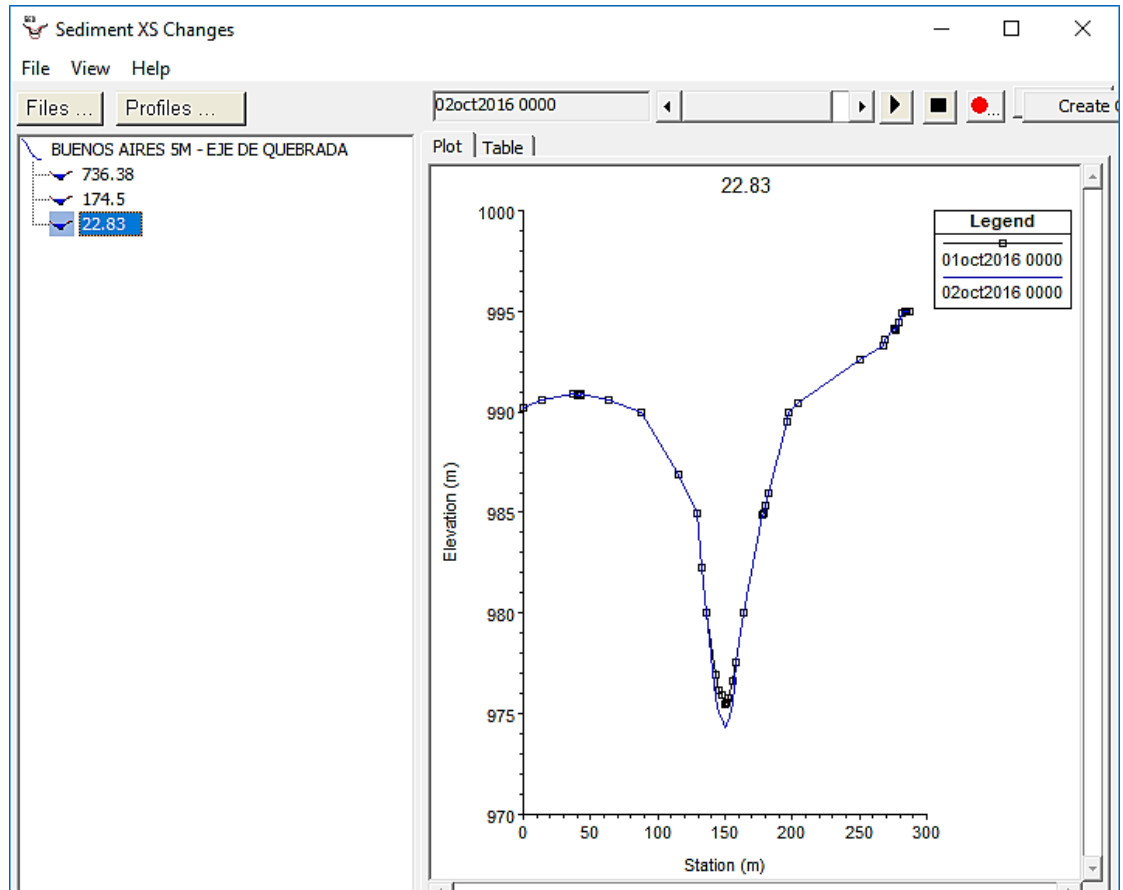


Figura 4.2.26 Cambios en la sección 22.82 de la topografía de 5.00 m debido al análisis en los sedimentos.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

“Sediment Spatial Plot” permite realizar gráficos de una variable seleccionada versus la distancia para un paso de tiempo determinado, esquemas de la geometría versus la variable y también permite la visualización de tablas de las secciones versus la variable, como puede verse en las figuras 4.2.27 – 4.2.29.

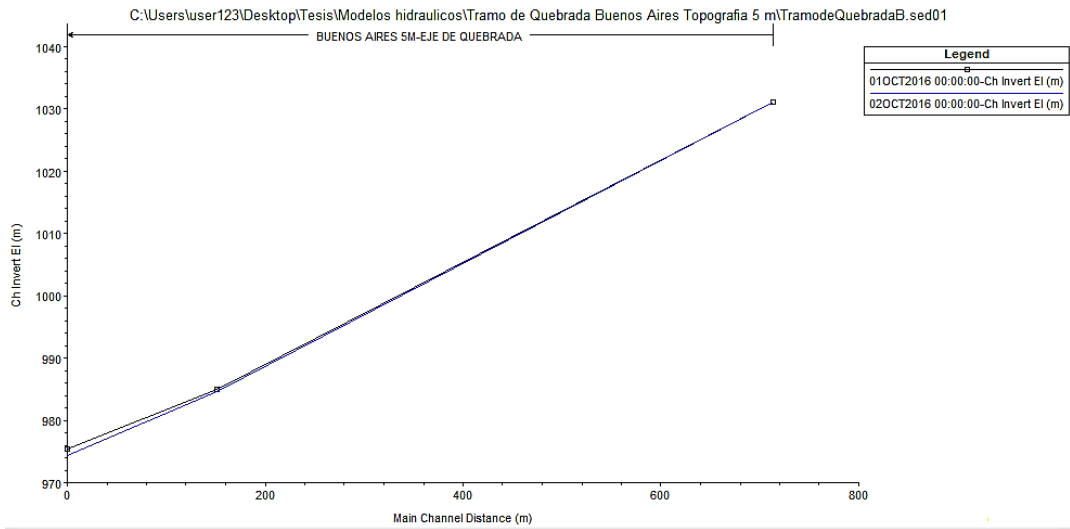


Figura 4.2.27 Grafica de elevación del lecho contra la distancia de la topografía de 5.00 m debido al análisis en los sedimentos.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

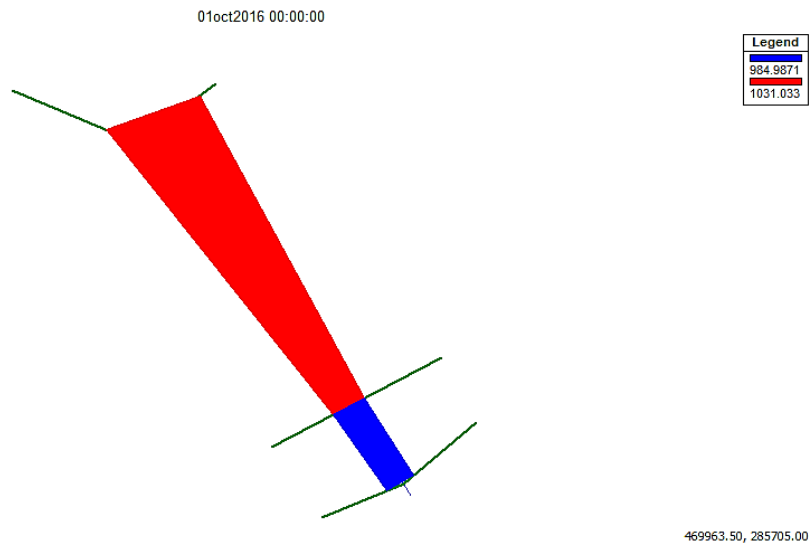


Figura 4.2.28 Esquema del nivel del lecho de la topografía de 5.00 m debido al análisis en los sedimentos.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

Sediment Spatial Plot

File View Help

Files ... Reaches ... Profiles ... Variables ... Plot Observed Data

Profile Plot | Schematic Plot | Table

	River	Reach	RS	Ch Dist	1 (01OCT2016 00:00:00)-Ch Invert El (m)	50 (02OCT2016 00:00:00)-Ch Invert El (m)
1	BUENOS AIRES 5M	EJE DE QUEBRADA	736.38	561.8799	1031.033	1031.033
2	BUENOS AIRES 5M	EJE DE QUEBRADA	174.5	151.67	984.9871	984.686
3	BUENOS AIRES 5M	EJE DE QUEBRADA	22.83	0	975.439	974.319

Figura 4.2.29 Tabla de elevación del lecho del canal para la topografía de 5.00 m debido al análisis en los sedimentos.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

La opción “Sediment Time Series”: permite visualizar los cambios que tiene una variable con respecto al tiempo en una sección y crear tablas de variable contra tiempo de la sección seleccionada. (Ver figura 4.2.30 y 4.2.31)

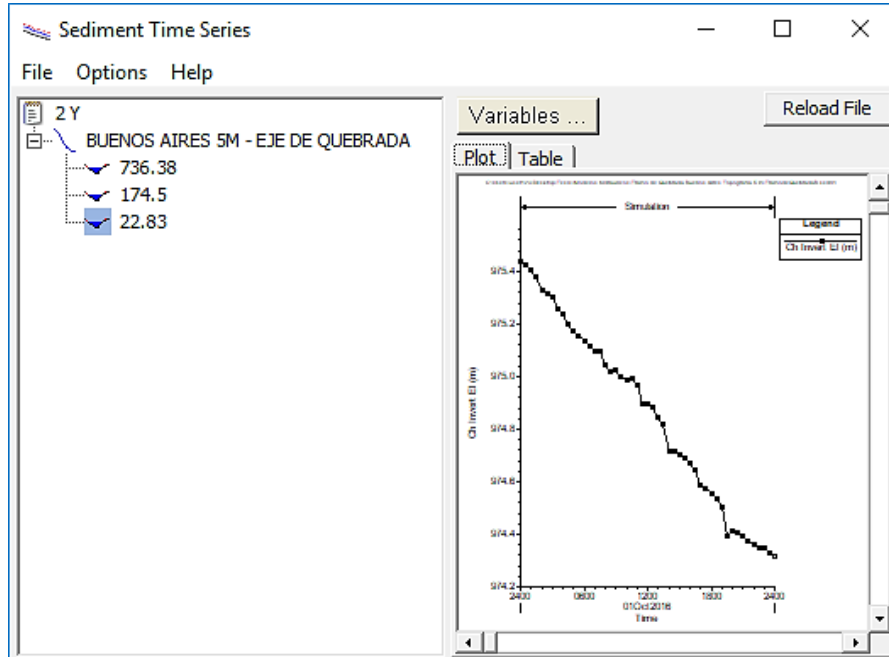


Figura 4.2.30 Salida de datos de forma gráfica para la topografía de 5.00 m debido al análisis en los sedimentos.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS

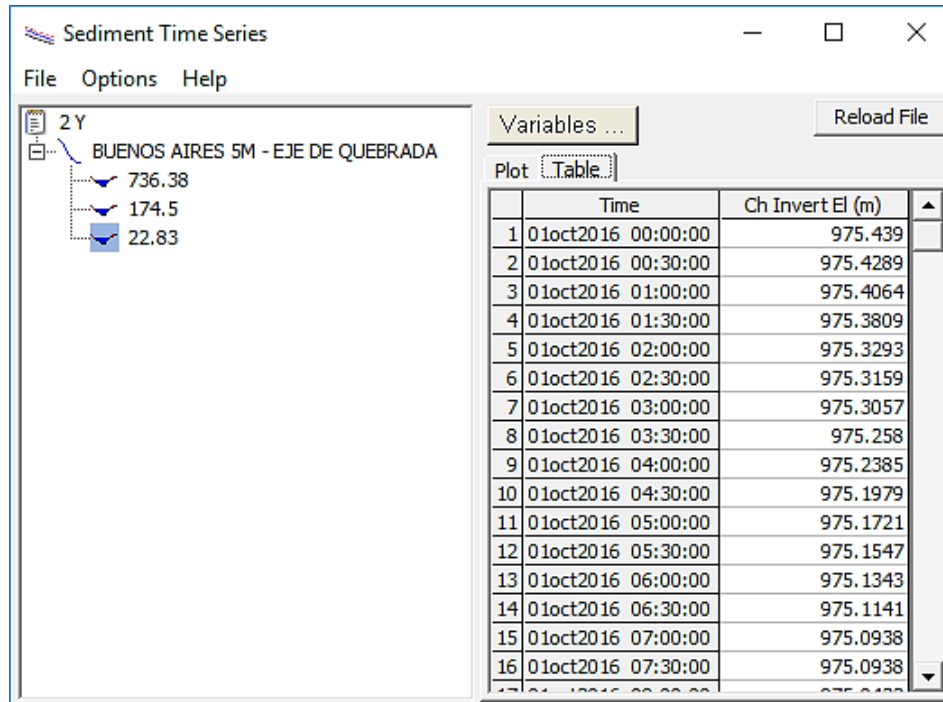


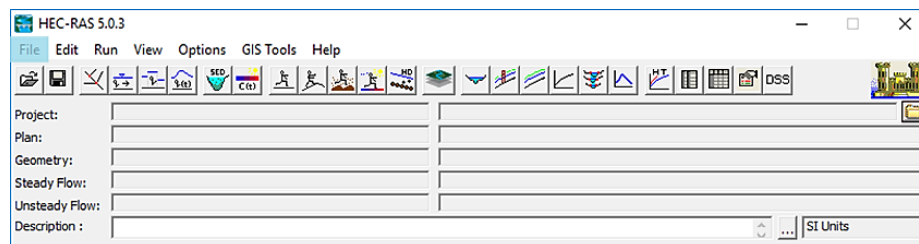
Figura 4.2.31 Salida de datos de forma tabular para la topografía de 5.00 m debido al análisis en los sedimentos.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS

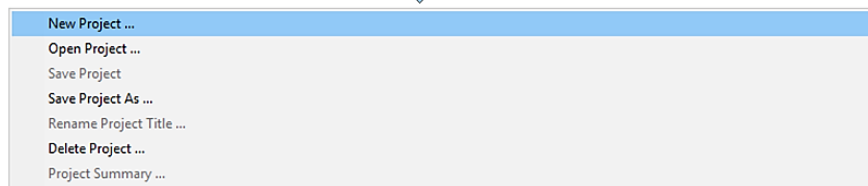
4.3 Introducción de Datos de la Quebrada El Arenal de Mejicanos

4.3.1 Creación del proyecto

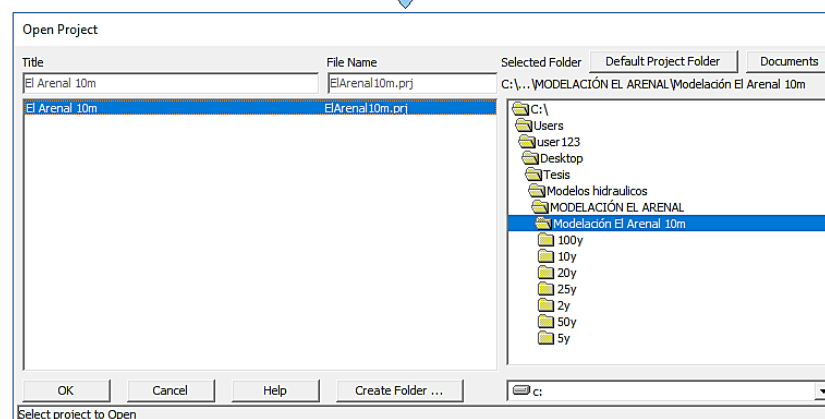
Al iniciar el programa HEC-RAS se selecciona la opción “New Project” de la pestaña “File”, esta acción abrirá una ventana en la cual se introduce el nombre del archivo y la ubicación del mismo, al seleccionar la ubicación del proyecto esta se vuelve la ubicación por defecto.



a) Menu principal



b) Opciones de la pestaña archivo "FILE"



c) Ventana de creación de proyecto y selección de la ubicación

Figura 4.3.1 Pasos para la creación de un archivo de proyecto.

Fuente: Elaboración propia, Capturas del programa HEC-RAS

4.3.2 Creación del archivo de geometría (Sección transversal y Planta)

Una vez definidas las secciones de la quebrada El Arenal que se utilizarán en el modelo hidráulico, se procede a trazar el eje de la quebrada sobre las curvas de nivel a cada 10.00 m y 5.00 m, en el caso del levantamiento realizado con GPS y estación total, el tramo del eje de la quebrada, así como las secciones transversales obtenidas mediante las mediciones, se superponen en las curvas de nivel a cada 500 m.

A continuación, en la versión estudiantil de Civil 3D, se genera la superficie con las curvas de nivel; una vez generada la superficie, se identifica el eje de la quebrada como el "Alineamiento", esto con el fin de trazar las secciones transversales al eje.

Cabe mencionar que las secciones transversales de la quebrada El Arenal comprenden una longitud de 100.00 m en promedio a cada lado medido desde el eje, lo cual es requerimiento para análisis de ríos y quebradas en zonas montañosas. Ver figura 4.3.2.

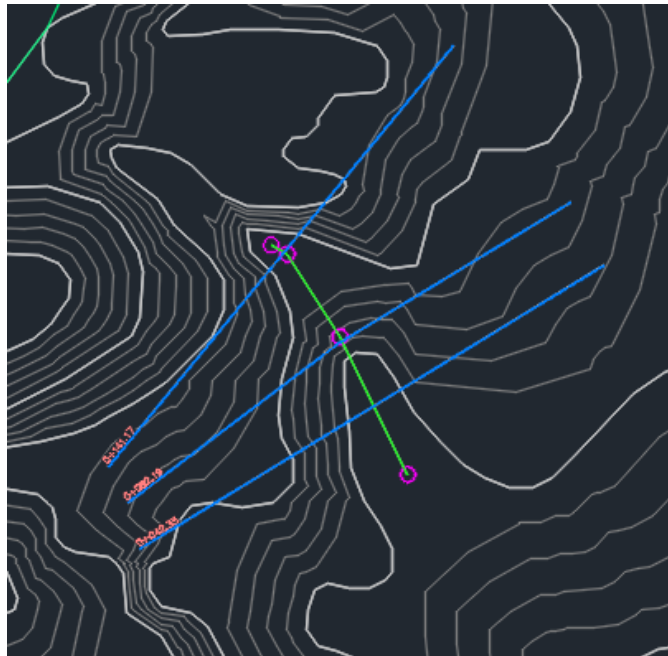


Figura 4.3.2 Tramo de la Quebrada El Arenal donde se observan: eje de quebrada, puntos de intersección de tangentes y secciones transversales.

Fuente: Elaboración propia, Captura desde el visor de civil3D

Finalmente al tener las secciones transversales en Civil 3D se procede a exportar el archivo a HEC-RAS, y se obtiene así el archivo geo. Ver figura 4.3.3.

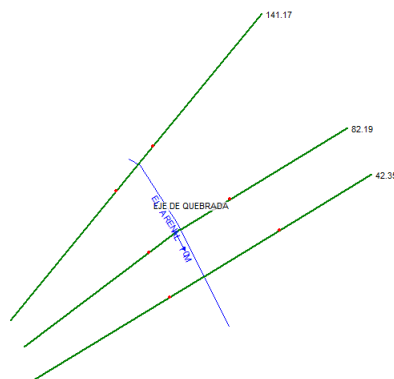


Figura 4.3.3 Archivo geo de la quebrada El Arenal obtenido mediante el procedimiento descrito anteriormente.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS

En la figura 4.3.3 el eje de la quebrada El Arenal está representada por la línea color celeste y las secciones transversales son las líneas color verde.

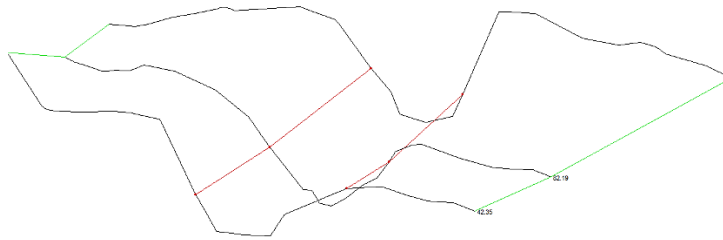


Figura 4.3.4 Vista en perspectiva x-y-z generada en HEC-RAS mediante la importación del archivo geo.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS

A continuación, se presenta una tabla resumen con los parámetros geométricos del tramo de la Quebrada El Arenal trabajado sobre las curvas de nivel a cada 10.00 m.

Tabla 4.8: Resumen de parámetros geométricos de la Quebrada El Arenal sobre curvas de nivel a cada 10.00 m.	
Total de secciones transversales	3
Estación aguas abajo	0+042.35
Estación aguas arriba	0+141.17
Longitud de análisis	149.29 metros
Elevación aguas arriba	810.00 msnm

Elevación aguas abajo	799.00 msnm
Diferencia de elevación	11.00 metros

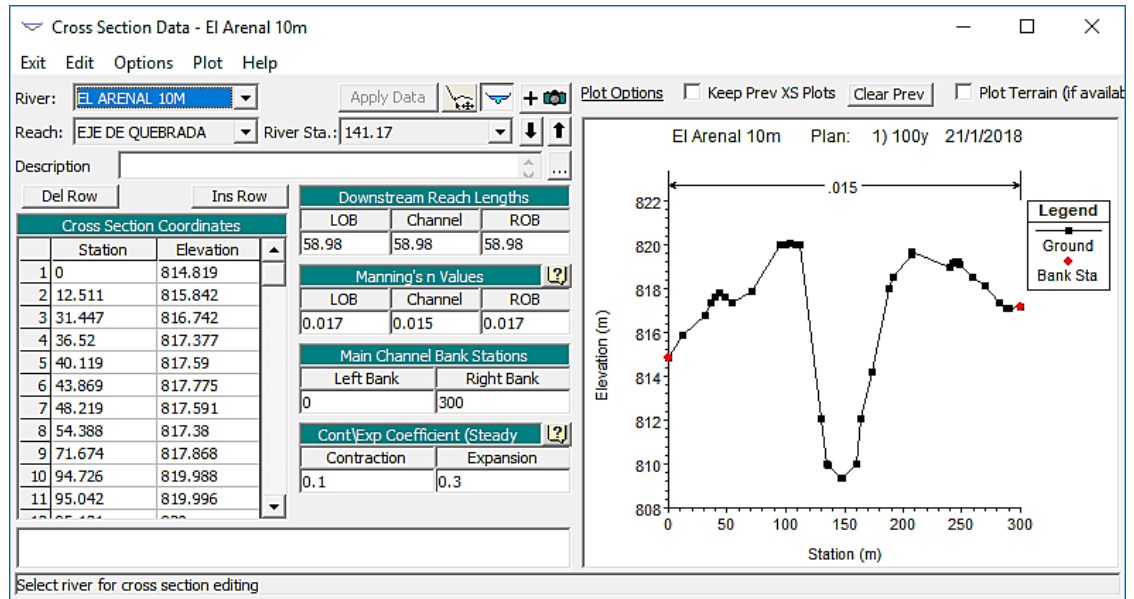
*Nota: Fuente Elaboración propia.

Se realiza el mismo procedimiento para los tramos de la Quebrada El Arenal superpuestos en las curvas de nivel a cada 5.00 m, obteniéndose los siguientes parámetros:

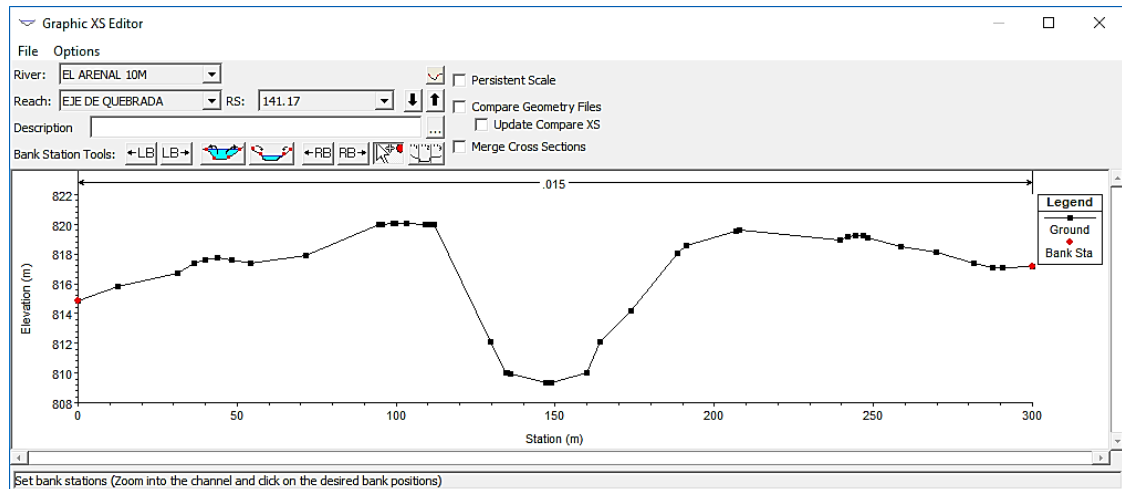
Tabla 4.9: Resumen de parámetros geométricos de la Quebrada El Arenal sobre curvas de nivel a cada 5.00 m.	
Total de secciones transversales	3
Estación aguas abajo	0+034.36
Estación aguas arriba	0+114.08
Longitud de análisis	130.12 m
Elevación aguas arriba	804.00 msnm
Elevación aguas abajo	795.00 msnm
Diferencia de elevación	9.00 metros

*Nota: Fuente Elaboración propia.

Una vez obtenido el archivo este se importa al proyecto mediante la opción importar de la pestaña archivo en la ventana del editor de geometría, posteriormente se procede a delimitar los bordes de las secciones, para lo cual se utiliza el editor de secciones transversales, para esto el editor cuenta con una función que facilita la selección de los bordes la cual permite la selección de manera gráfica, es decir seleccionando el punto en la ventana de edición entre otras formas.



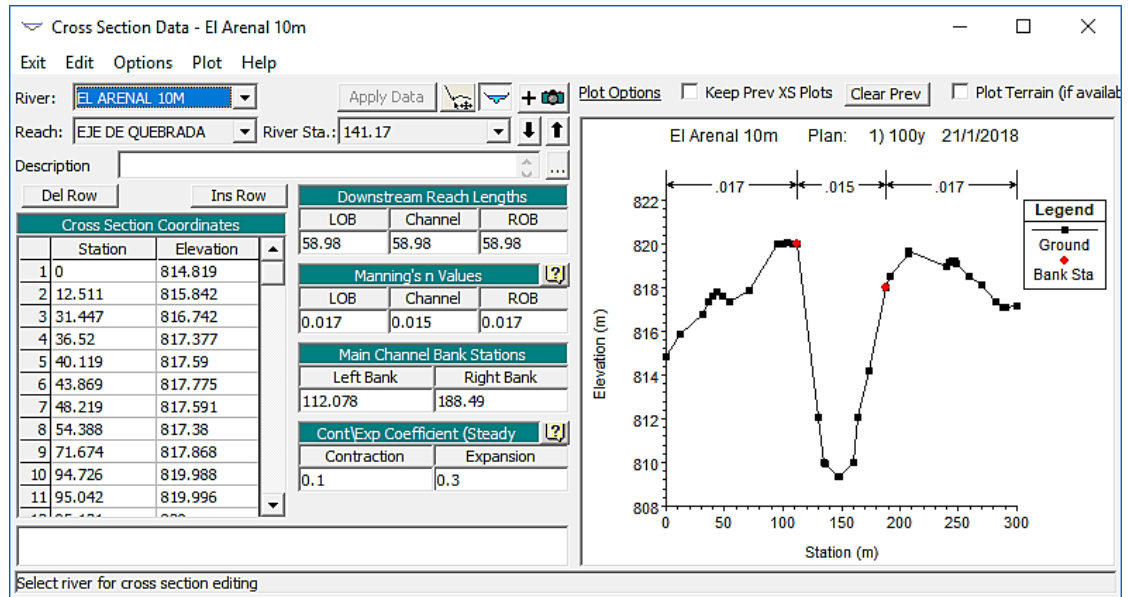
a) Vista desde el editor principal de secciones transversales



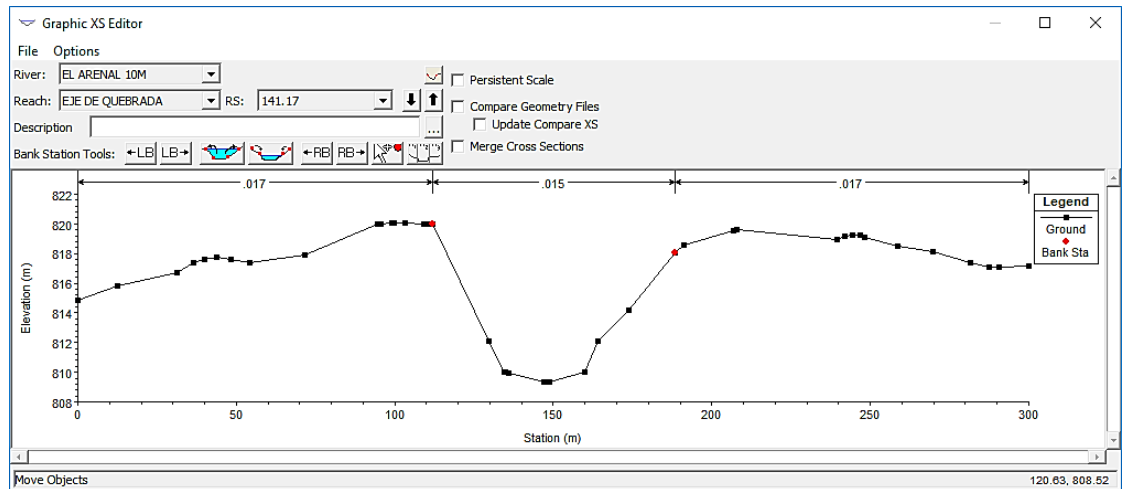
b) Vista desde el editor de bordes

Figura 4.3.5 Sección transversal antes de colocar los bordes.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS



a) Vista desde el editor principal de secciones transversales



b) Vista desde el editor de bordes

Figura 4.3.6 Sección transversal después de colocar los bordes.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS

Una vez al tener los bordes se procede a introducir el valor n de Manning para las diferentes zonas de la sección, para las secciones se utilizará un valor de 0.015 para el centro del canal y 0.017 para los laterales, esta selección de valores de n de Manning son utilizados para construcciones de concreto y similares. La introducción se puede realizar en el editor principal de datos geométricos o en la pestaña “Table” de la ventana de datos geométricos como se muestra en la siguiente figura 4.3.7.

Channel n Values have a light green background

	River Station	Frctn (n/K)	n #1	n #2	n #3
1	141.17	n	0.017	0.015	0.017
2	82.19	n	0.017	0.015	0.017
3	42.35	n	0.017	0.015	0.017

Figura 4.3.7 Tabla de valores de n de Manning para las diferentes zonas de las secciones.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

4.3.3 Creación de Archivo de Sedimentos

Se selecciona la opción de sedimentos que abre la ventana del mismo y se crea el archivo de sedimento al seleccionar la opción “New Sediment Data” en la pestaña “File” de la ventana de sedimentos, se inicia introduciendo la granulometría con la que se trabajará en el proyecto.

Para este caso se seleccionó la muestra con la ubicación más cercana al área de análisis, en base a lo observado en la Figura 4.3.8 la muestra más cercana es la N° 10, cuyos valores están en base a la norma ASTM D-655.



Figura 4.3.8 Tabla de valores de n de Manning para las diferentes zonas de las secciones.

Fuente: Elaboración propia, Imagen adaptada de Google Earth

Debido a que el programa tiene un sistema de clasificación diferente se deben convertir los valores teniendo como resultado las siguientes tablas:

Tabla 4.10: Granulometría ASTM	
Diámetro (mm)	% Pasante
50.000	100
38.1000	90
25	81
19.0000	78
9.5000	67
4.7500	67
2.0000	57
1.1800	32
0.6000	14
0.3000	9
0.1500	8
0.0750	8
0.033	0.58
0.021	0.51



Tabla 4.11: Granulometría Unión Americana de Geofísica	
Diámetro (mm)	% Pasante
64.000	100
32.000	86.25
16.000	74.93
8.000	66.84
4.000	64.89
2.000	57.03
1.000	27.97
0.500	12.91
0.250	9.06
0.125	8.00
0.064	6.08
0.032	0.57
0.016	0.43
0.008	0.21

0.012	0.35
0.009	0.21
0.006	0.21
0.003	0.13
0.001	0.05

0.004	0.16
0.002	0.09

*Nota: Fuente Elaboración propia, Datos de 3.5.1 Granulometría en la quebrada “El Arenal”

Una vez obtenida la granulometría se procede a introducir los datos, para lo cual se oprime el botón “Define/Edit Bed Gradation” y se oprime el botón “New Bed Gradation Sample”, que abre la una ventana para introducir el nombre de la cama

Figura 4.3.9.

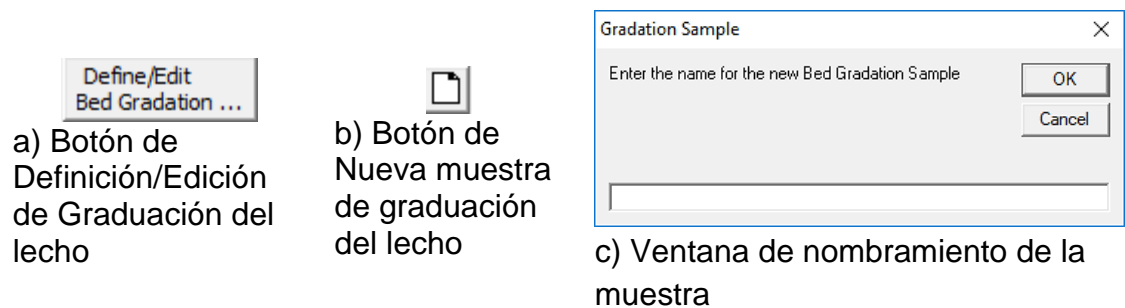


Figura 4.3.9 Imágenes de creación de archivo de granulometría.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

Después de introducir el nombre de la muestra se procede a introducir los datos como se muestra en la figura 4.3.10

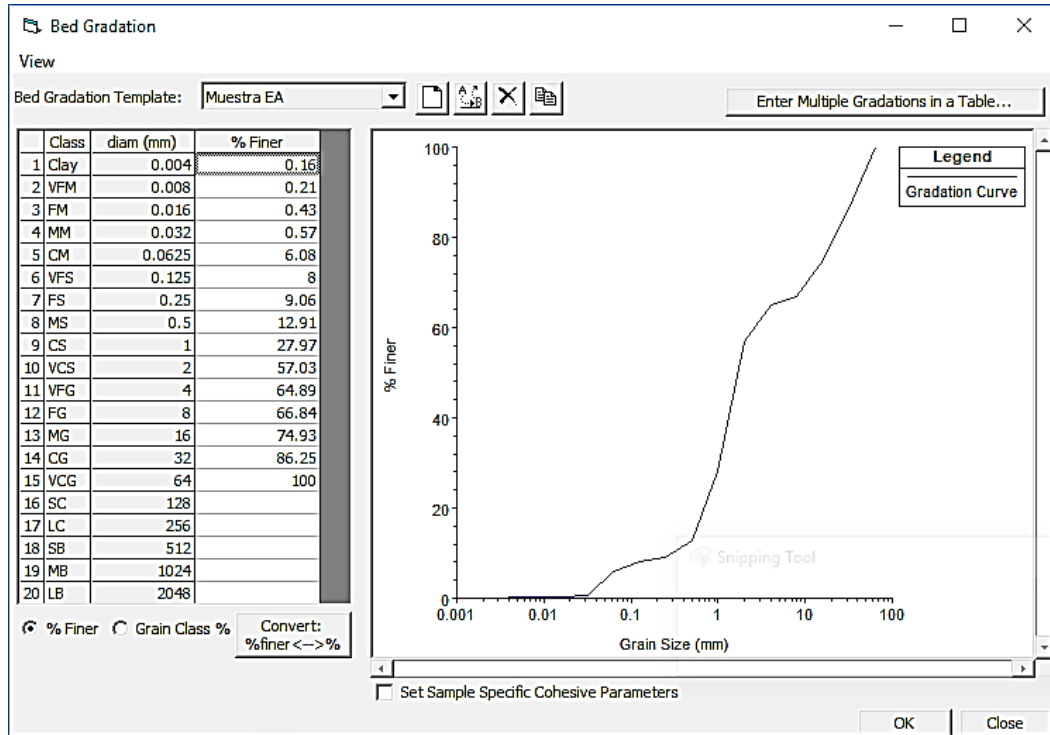


Figura 4.3.10 Editor de datos de granulometría.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

Después de definir el material que constituye el lecho del cauce se procede a introducir los límites y seleccionar el materia para cada sección, los limites laterales se seleccionaron bajo el criterio de que tener la mitad de la altura del área hidráulica y para el límite inferior se seleccionó una distancia de 10.00 m de material erosionable. De las funciones disponibles se cumple con los requisitos para utilizar la función de transporte de Meyer Peter Muller, El método de

clasificación de capa de Thomas y la teoría de velocidad de caída de Toffaleti, tal como se muestra en la figura 4.3.11

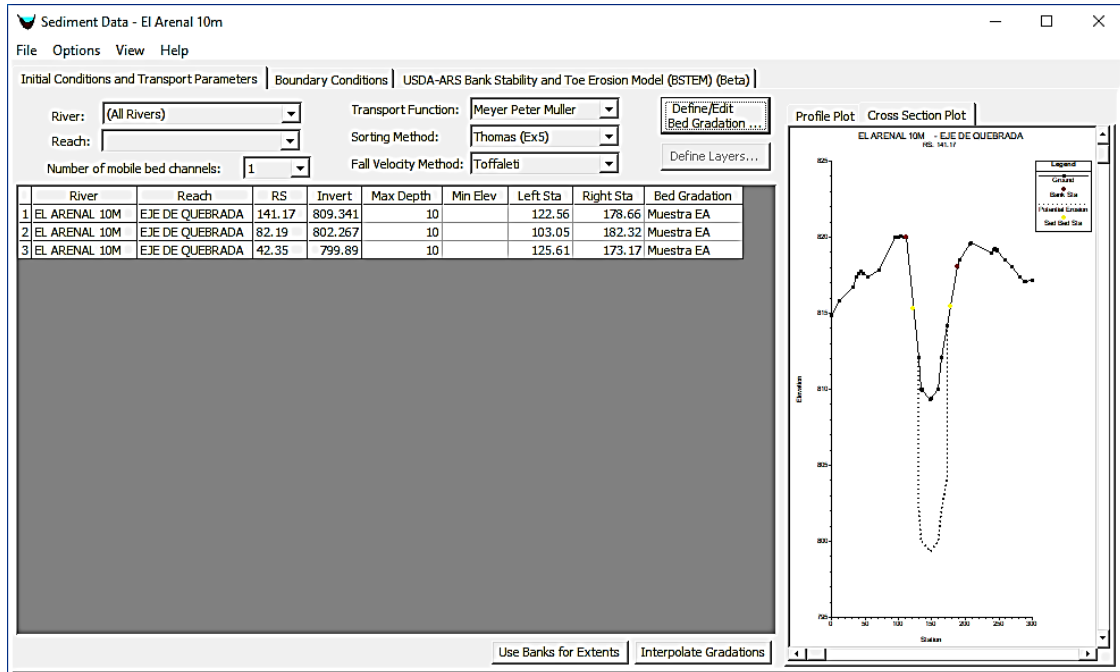


Figura 4.3.11 Ventana de Condiciones iniciales del archivo de sedimentos.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

Después de completar la ventana de condiciones iniciales se procede a introducir las condiciones de contorno que en nuestro caso se utilizará la opción carga de equilibrio que como se ha explicado anteriormente indica que la cama de sedimentos de la sección aguas arriba regresara a sus condiciones iniciales después de cada paso de tiempo.

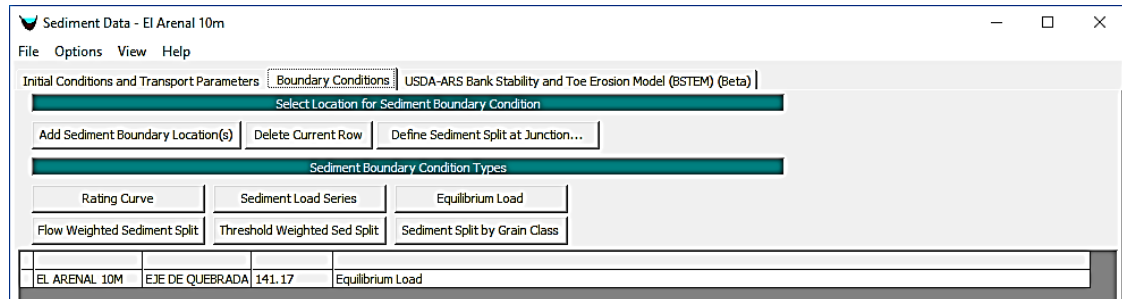


Figura 4.3.12 Ventana de condiciones de contorno del archivo de sedimentos.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

Estas condiciones aplican a los modelos que se realizaran con topografía de 10.00 m, 5.00 m, y GPS.

4.3.4 Creación del Archivo de Flujo

Se crea un archivo que contendrá el caudal de análisis para la quebrada, este proviene de un hidrograma con diferentes tormentas de diseño, para este trabajo se emplearon tormentas de 2, 5, 10, 20, 25, 50 y 100 años los cuales fueron proporcionados por la OPAMSS y dentro de los cuales se utilizaron los valores máximos para el archivo de flujo. A continuación se presentan los valores con los cuales se realizara la modelación.

Tabla 4.12: Valores máximos de caudal							
Tormenta de diseño (años)	2	5	10	20	25	50	100
Caudal (m ³ /s)	15.6	31.9	43.6	56.9	59.5	73.2	86.6

*Nota: Fuente Elaboración propia.

Dado que el análisis que se desea realizar es como la topografía afecta a las quebradas susceptibles a flujos de escombros se deben realizar arreglos para la simulación de este tipo de evento, uno de los arreglos es que el análisis se debe realizar para un flujo constante, para este arreglo se optó por realizar una serie de flujo de 24 horas, debido a que solamente se puede realizar análisis de sedimentos en con flujo no permanente y cuasi no permanente, al implicar el análisis de con flujo no permanente mayores complicaciones para conseguir estabilidad se decide utilizar un análisis cuasi permanente por lo que se crea un archivo cuasi permanente.

Para esto se utiliza la opción “View/Edit Quasi Unsteady Flow Data” que abre la ventana en la figura 4.3.13, donde se selecciona la opción “New Quasi Unsteady Flow File” donde se selecciona la ubicación en que se guardará y el nombre del archivo, en esta ventana se debe seleccionar las condiciones de flujo con las cuales contará por lo que se selecciona la opción serie de flujo para la sección aguas arriba y profundidad normal para la sección aguas abajo y se introduce el valor de temperatura que tendrá el agua.

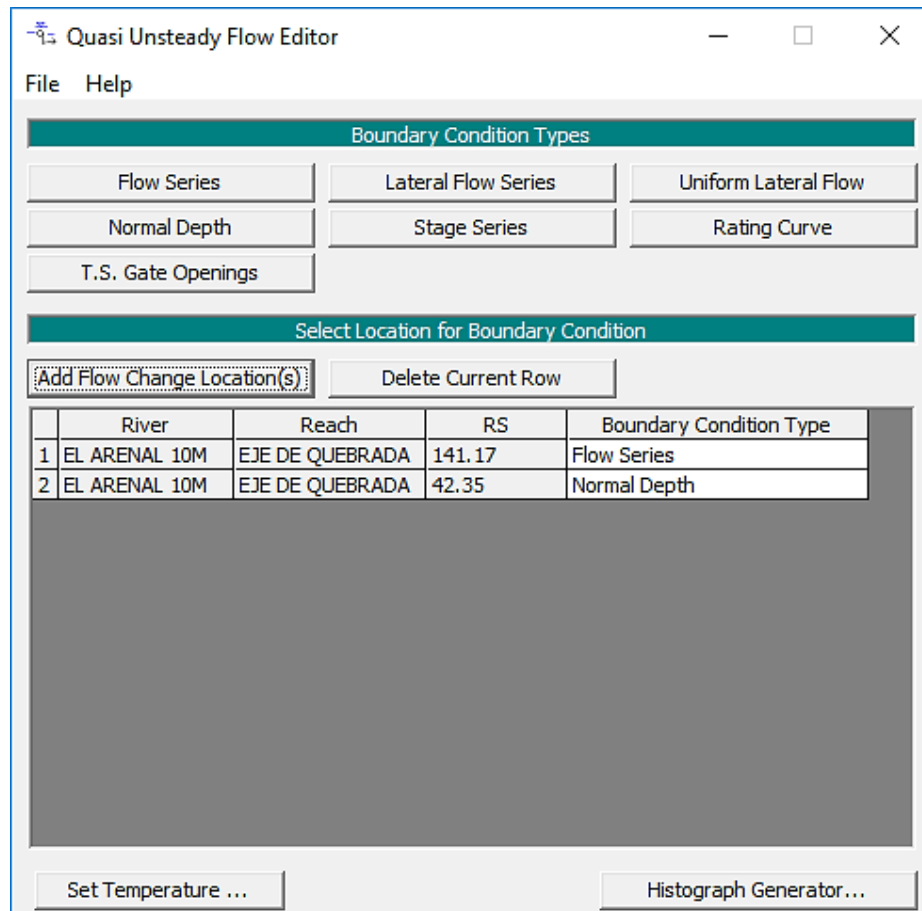


Figura 4.3.13 Editor de Condiciones de contorno de Flujo cuasi permanente.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

Dentro de la ventana de serie de flujo se introduce la duración del flujo, el incremento computacional y el caudal.

Flow Series for EL ARENAL 10M EJE DE QUEBRADA 141.17

Select/Enter the Data's Starting Time Reference

Use Simulation Time: Date: 1oct2016 Time: 00:00

Fixed Start Time: Date: Time:

Hydrograph Data

No. Ordinates Interpolate Values Del Row Ins Row

No.	Simulation Time	Elapsed Time (hours)	Flow Duration (hours)	Computation Increment (hours)	Flow (m3/s)
1	01oct2016 0000	6	6	0.5	15.6
2	01oct2016 0600	12	6	0.5	15.6
3	01oct2016 1200	18	6	0.5	15.6
4	01oct2016 1800	24	6	0.5	15.6
5	02oct2016 0000	25	1	0.5	15.6
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					

Compute computation increments based on flow

Plot ... OK Cancel

Figura 4.3.14 Ventana de introducción de datos de flujo casi permanente.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

En la opción profundidad normal se introduce la pendiente entre las ultimas secciones aguas abajo. Este proceso se repite para los diferentes archivos de geometría que se tengan, los valores calculados se presentan en la tabla 4.3.6

$$\begin{aligned}
 & \text{Pendiente} \\
 & = \frac{\text{Elevación del eje aguas arriba} - \text{Elevación del eje aguas abajo}}{\text{espaciamiento entre secciones}} \quad \text{Ecuación 4.2} \\
 & \text{Pendiente} = \frac{802.267 - 799.89}{39.84} = 0.06
 \end{aligned}$$

Tabla 4.13: Valores de pendiente para la sección aguas abajo			
Archivo de topografía	de	10 m	5 m
Profundidad normal (pendiente)		0.06 m/m	0.12 m/m

*Nota: Fuente Elaboración propia.

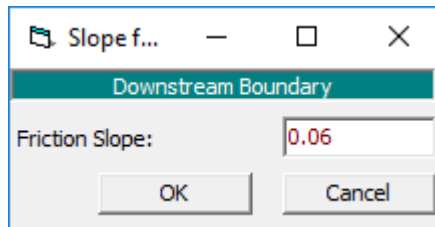


Figura 4.3.15 Ventana de introducción de datos de la condición Profundidad Normal.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

Para introducir el valor de temperatura que tendrá el agua se oprime el botón Establecer temperatura “Set Temperature”, el cual abre una venta en la que se debe introducir una serie de temperatura, esta serie tiene que contener el mismo tiempo que la serie de flujo, se decidió utilizar la temperatura de 27° centígrados ya que El Salvador cuenta con una variación en temperatura desde los 26° a los

30° centígrados en el mar pero al ubicarse las quebradas en zonas boscosas y con elevación promedio de 800 msnm se decidió que un valor de 27° centígrados sería aceptable para el análisis.

The dialog box 'Temperature Series' has the following configuration:

- Select/Enter the Data's Starting Time Reference:**
 - Use Simulation Time: Date: 1oct2016 Time: 00:00
 - Use Fixed Start Time: Date: [] Time: []
- Temperature Data Table:**

No. Ordinates	Simulation Time	Elapsed Time (hours)	Duration (hours)	Temp (C)
1	30sep2016 2400	6	6	27
2	01oct2016 0600	12	6	27
3	01oct2016 1200	18	6	27
4	01oct2016 1800	24	6	27
5	01oct2016 2400	25	1	27
6	02oct2016 0100			

Figura 4.3.16 Ventana de introducción de datos de temperatura para flujo cuasi permanente.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

Una vez rellenos todos los campos se procede a guardar los cambios realizados en el archivo y a crear un nuevo archivo de flujo.

4.3.5 Creación del archivo de resultados hidráulicos

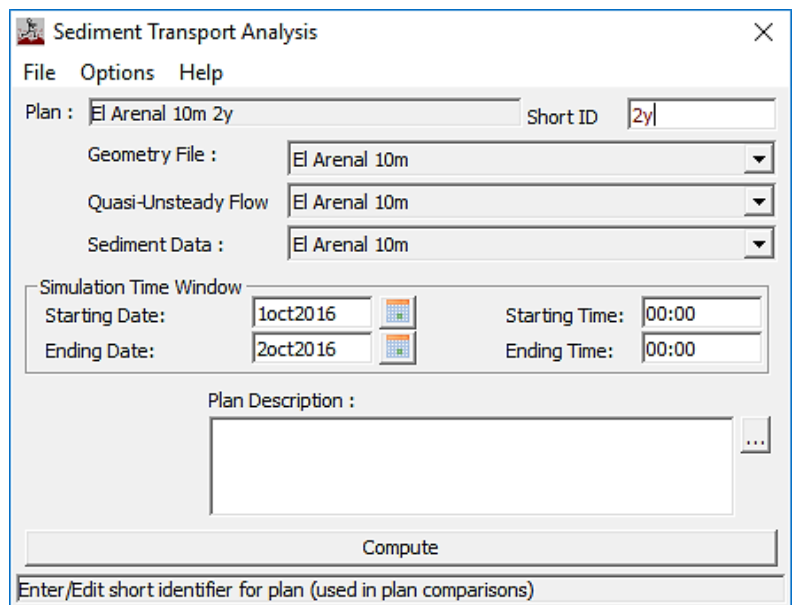
4.3.5.1 Creación del Archivo de Análisis

Para crear el archivo de simulación del programa se selecciona la opción "Perform a Sediment Transport Simulation" (Ver Figura 4.3.17), que abre una

ventana secundaria en la cual se selecciona la opción “New Plan” de la pestaña de archivo y se selecciona la ubicación y el nombre del archivo, una vez seleccionado se deberá introducir una identificación corta para facilitar su identificación, se rellenan los datos con los archivos creados de geometría, flujo y sedimentos, además se especifica la fecha en la que ocurrirá la tormenta, la fecha seleccionada ha sido el día primero de octubre del 2016 a las 0:00 horas esta fecha se eligió debido a que el programa solamente es capaz de reconocer fechas a partir del primero de septiembre.



a) Botón Análisis de sedimentos



b) Ventana de Análisis de sedimentos

Figura 4.3.17 Inicio de plan de simulación de sedimentos.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

Debido a que el tipo de análisis que se va a realizar se deben modificar las opciones de salida del archivo, dentro de las cuales se selecciona la opción

“Sediment output Option” donde se modifican la opción nivel de salida a 5 y se selecciona que el resultado se presente en volumen en unidades de m³.

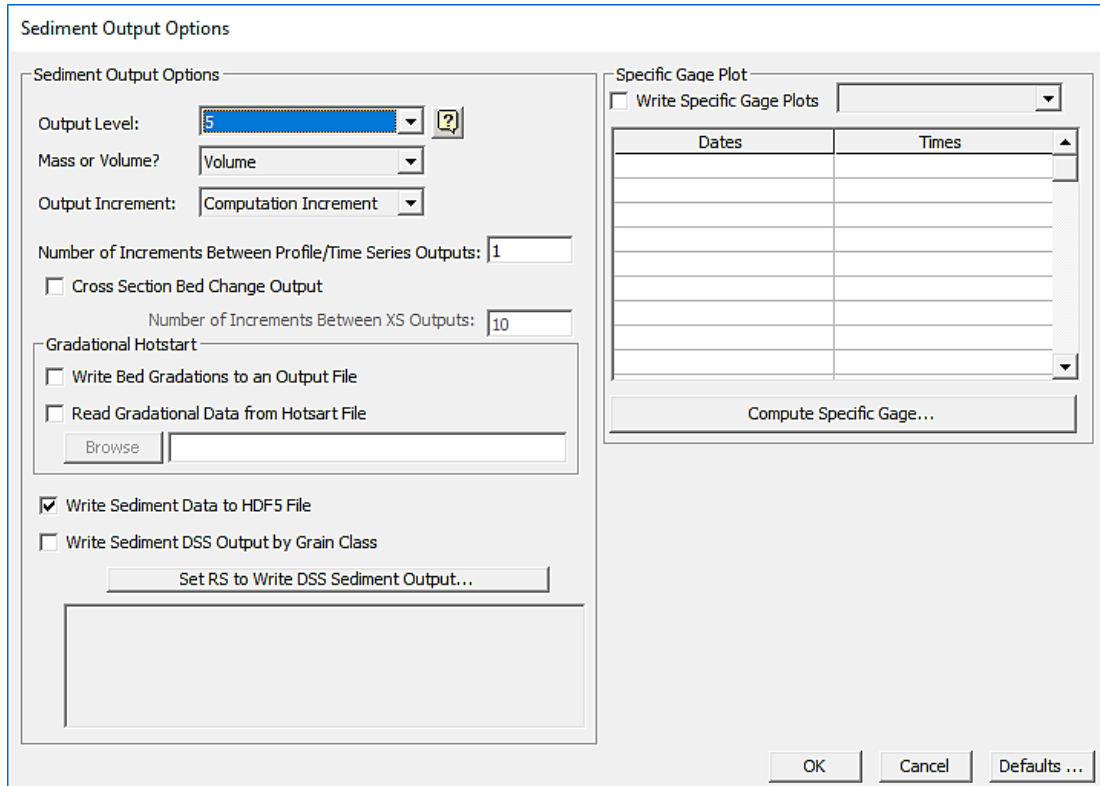


Figura 4.3.18 Ventana de opciones de salida de datos de simulación de sedimentos.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

4.3.5.2 Archivos de salida

Para visualizar los archivos de salida del análisis de sedimentos se necesita seleccionar la opción “Sediment output” de la pestaña Ver “View” del menú principal, la cual abre una ventana secundaria donde se pueden seleccionar el tipo de datos que se desea visualizar, la sección en la cual se desea conocer el parámetro a visualizar y como visualizarlo.

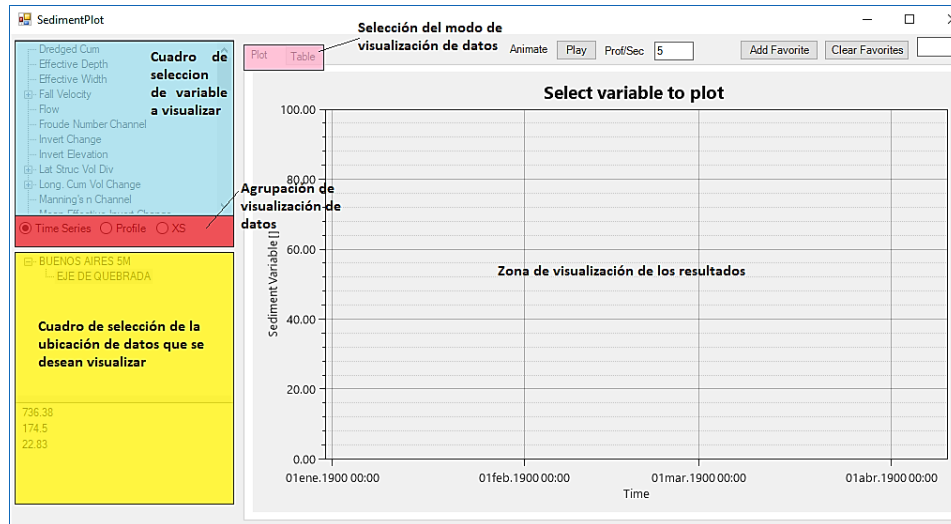


Figura 4.3.19 Ventana de visualización de datos de salida del análisis de sedimentos.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS

A continuación se presentan algunos de los resultados del análisis de sedimentos, en las figuras 4.4.5.20 – 4.4.5.25.

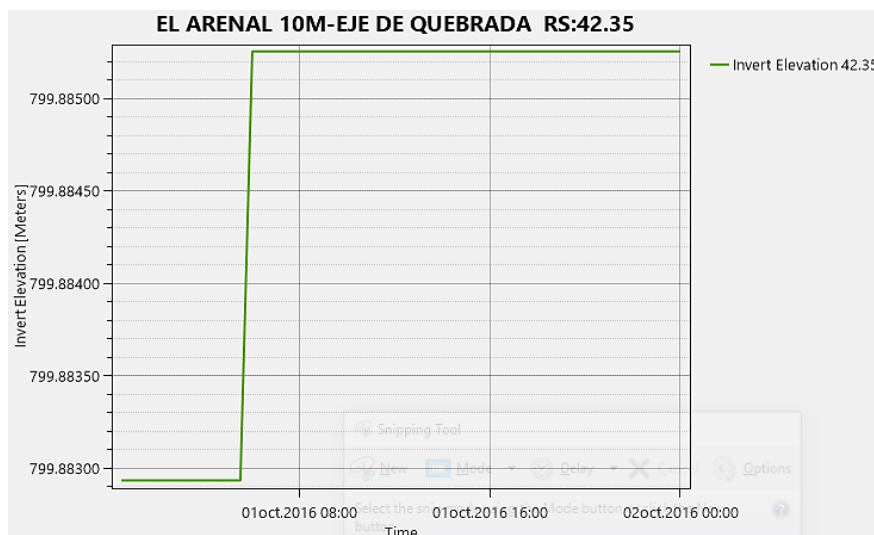


Figura 4.3.20 Gráfico de cambio de lecho contra tiempo de simulación de la sección 42.35 de topografía de 5.00 m.

Fuente: Elaboración propia. Captura del programa HEC-RAS

Invert Elevation 42.35		
	Time	Invert Elevation
1	01oct.2016 00:3...	799.883
2	01oct.2016 01:0...	799.883
3	01oct.2016 01:3...	799.883
4	01oct.2016 02:0...	799.883
5	01oct.2016 02:3...	799.883
6	01oct.2016 03:0...	799.883
7	01oct.2016 03:3...	799.883
8	01oct.2016 04:0...	799.883
9	01oct.2016 04:3...	799.883
10	01oct.2016 05:0...	799.883
11	01oct.2016 05:3...	799.883
12	01oct.2016 06:0...	799.885
13	01oct.2016 06:3...	799.885
14	01oct.2016 07:0...	799.885
15	01oct.2016 07:3...	799.885
16	01oct.2016 08:0...	799.885

Figura 4.3.21 Tabla de datos de cambio en el lecho de la sección 42.35 de topografía de 5.00 m.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

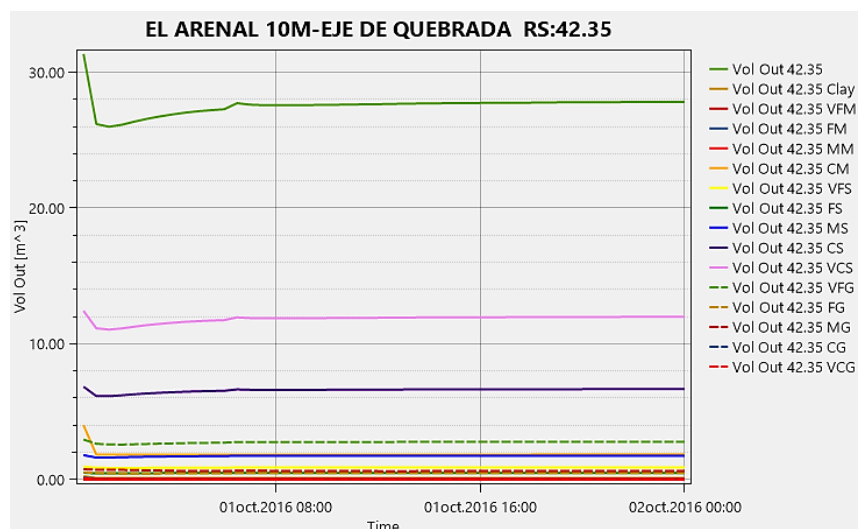


Figura 4.3.22 Gráfico de sedimentos transportados por tipo de grano contra el tiempo de simulación de la sección 42.35 de topografía de 5.00 m.

Fuente: Elaboración propia. Captura del programa HEC-RAS

	Time	Vol Out 42.35
1	01oct.2016 00:3...	31.358
2	01oct.2016 01:0...	26.193
3	01oct.2016 01:3...	25.996
4	01oct.2016 02:0...	26.141
5	01oct.2016 02:3...	26.375
6	01oct.2016 03:0...	26.585
7	01oct.2016 03:3...	26.761
8	01oct.2016 04:0...	26.908
9	01oct.2016 04:3...	27.04
10	01oct.2016 05:0...	27.139
11	01oct.2016 05:3...	27.218
12	01oct.2016 06:0...	27.283
13	01oct.2016 06:3...	27.731
14	01oct.2016 07:0...	27.626
15	01oct.2016 07:3...	27.586
16	01oct.2016 08:0...	27.575

Figura 4.3.23 Tabla de datos de sedimentos transportados por tipo de grano de la sección 42.35 de topografía de 5.00 m.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

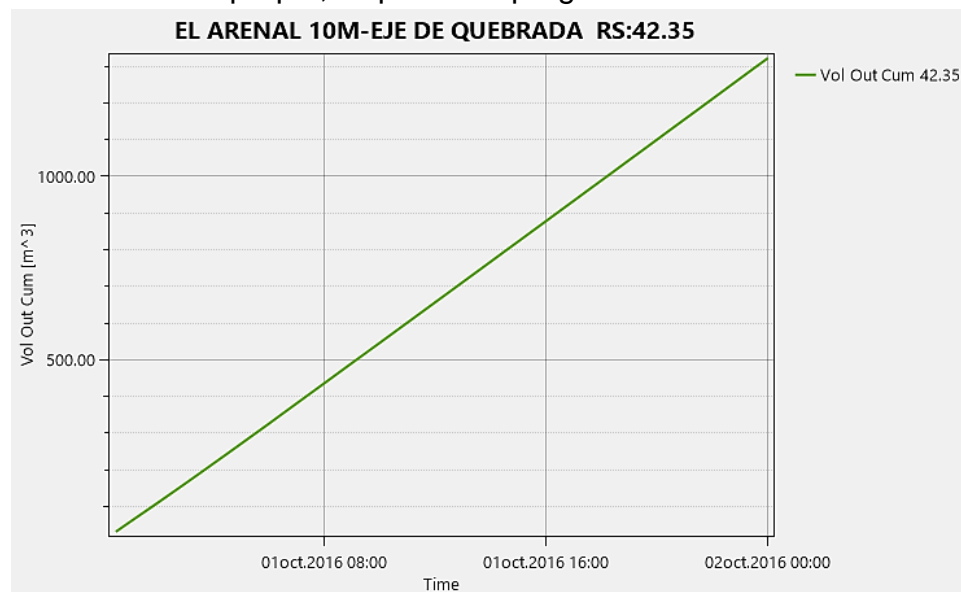


Figura 4.3.24 Gráfico de sedimentos transportados acumulado contra tiempo de simulación de la sección 42.35 de topografía de 5.00 m.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

Vol Out Cum 42.35		
	Time	Vol Out Cum
1	01oct.2016 00:3...	31.358
2	01oct.2016 01:0...	57.551
3	01oct.2016 01:3...	83.547
4	01oct.2016 02:0...	109.688
5	01oct.2016 02:3...	136.064
6	01oct.2016 03:0...	162.649
7	01oct.2016 03:3...	189.41
8	01oct.2016 04:0...	216.318
9	01oct.2016 04:3...	243.357
10	01oct.2016 05:0...	270.497
11	01oct.2016 05:3...	297.715
12	01oct.2016 06:0...	324.998
13	01oct.2016 06:3...	352.729
14	01oct.2016 07:0...	380.355
15	01oct.2016 07:3...	407.942
16	01oct.2016 08:0...	435.517

Figura 4.3.25 Tabla de datos de sedimentos transportados acumulados de la sección 42.35 de topografía de 5.00 m.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

En la pestaña de opciones también se puede encontrar la opción “Sediment Output (old)” que es otra función de salida de datos que ayuda a visualizar los cambios en el lecho de la sección transversal esta opción contiene un sub conjunto de opciones:

“Sediment XS Change”: permite visualizar los cambios en el lecho de la sección

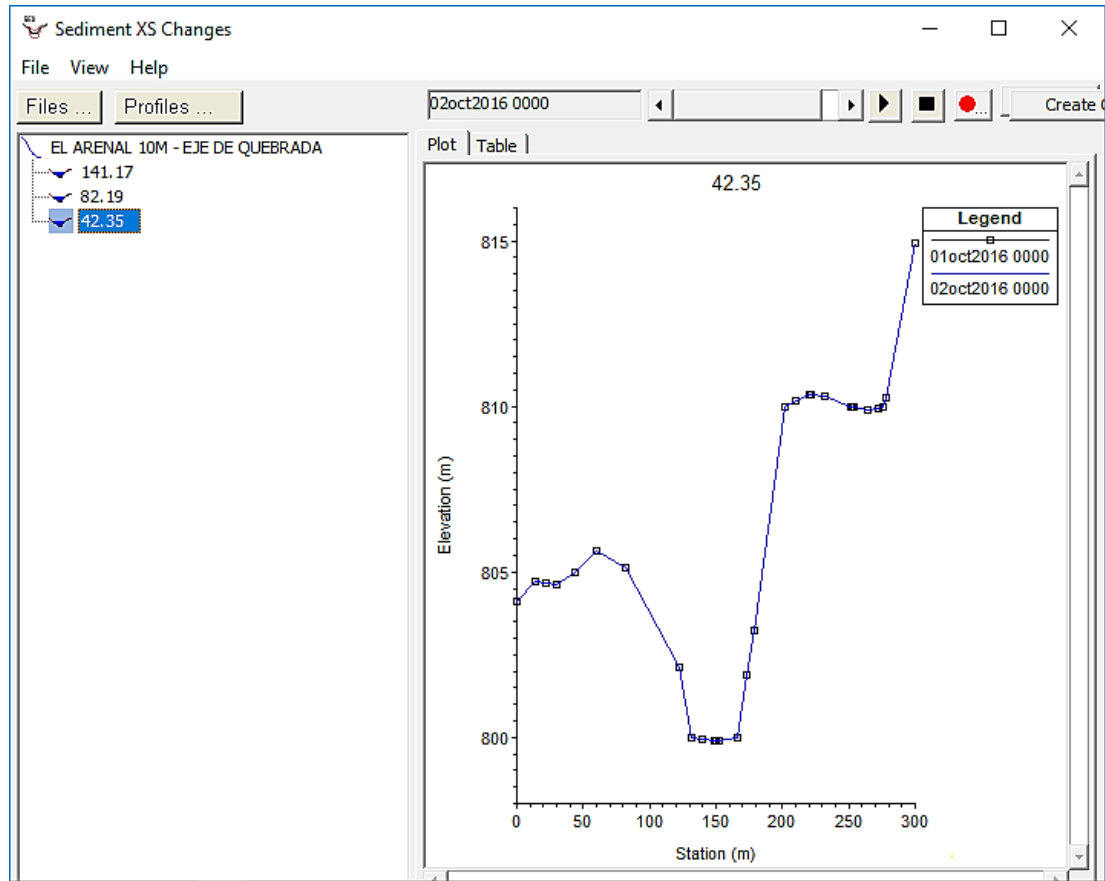


Figura 4.3.26 Cambios en la sección 42.35 de la topografía de 5.00 m debido al análisis en los sedimentos.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

“Sediment Spatial Plot” permite realizar gráficos de una variable seleccionada Vrs. la distancia para un paso de tiempo determinado, esquemas de la geometría Vrs. la variable y también permite la visualización de tablas de las secciones contra la variable, como se observa en las figura 4.3.27 – 4.3.29.

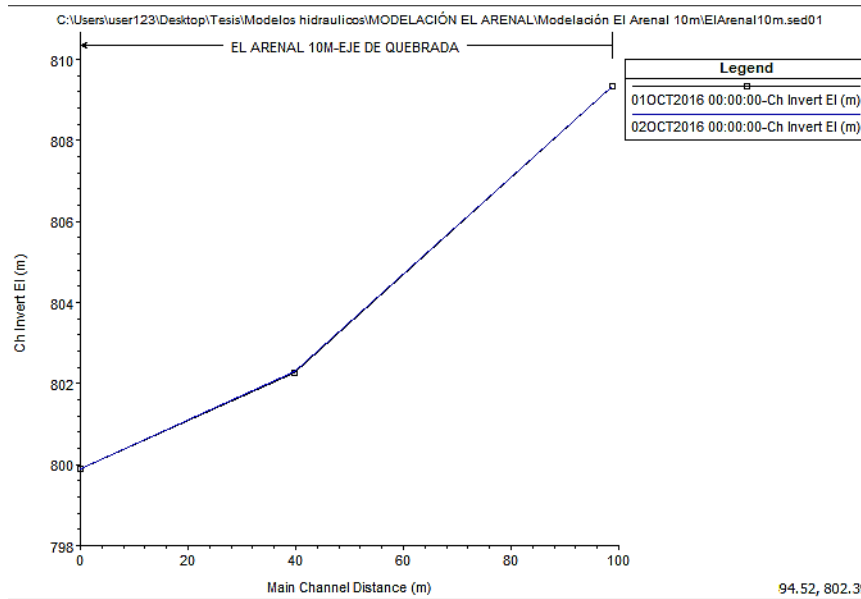


Figura 4.3.27 Gráfica de elevación del lecho de la quebrada de la topografía de 5.00 m debido al análisis en los sedimentos.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

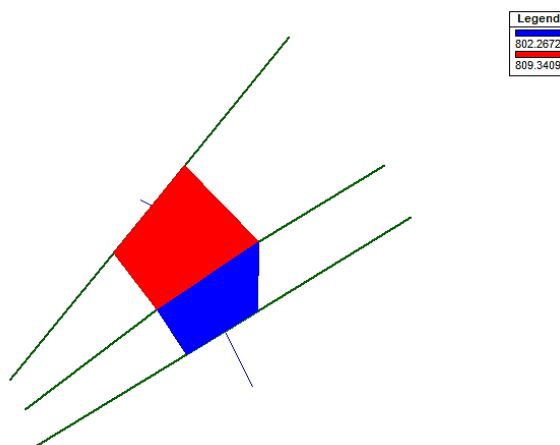


Figura 4.3.28 Esquema del nivel del lecho de la topografía de 5.00 m debido al análisis en los sedimentos.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

	River	Reach	RS	Ch Dist	02OCT2016 00:00:00)-Ch Invert El	02OCT2016 00:00:00)-Ch Invert El
1	EL ARENAL 10M	EJE DE QUEBRADA	141.17	58.98002	809.3409	809.3409
2	EL ARENAL 10M	EJE DE QUEBRADA	82.19	39.8401	802.2672	802.2941
3	EL ARENAL 10M	EJE DE QUEBRADA	42.35	0	799.89	799.8853

Figura 4.3.29 Tabla de elevación del lecho de la quebrada para la topografía de 5.00 m debido al análisis en los sedimentos.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

“Sediment Time Series”: permite visualizar los cambios que tiene una variable con respecto al tiempo en una sección y crear tablas de variable contra tiempo de la sección seleccionada.

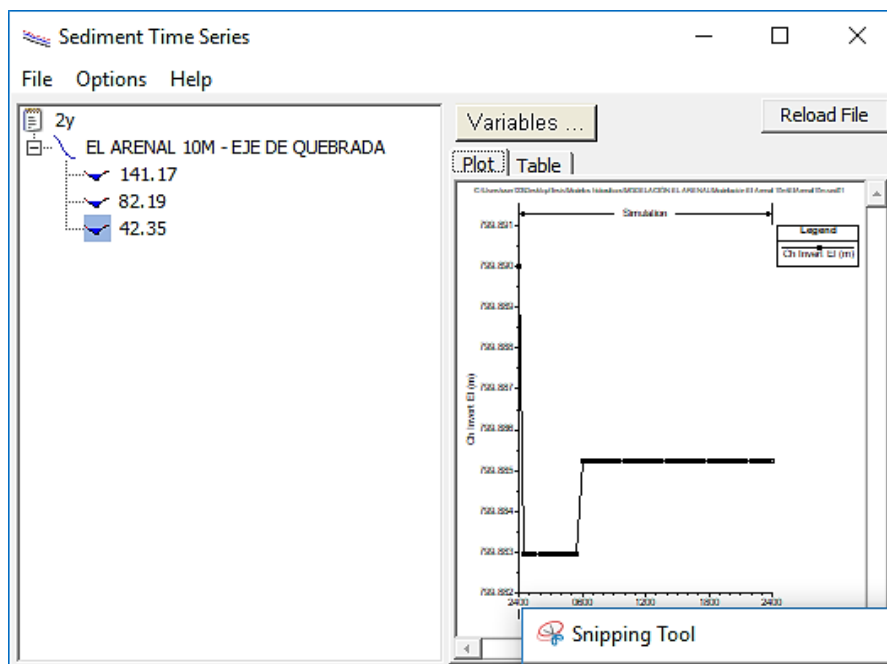


Figura 4.3.30 Salida de datos de forma gráfica para la topografía de 5.00 m debido al análisis en los sedimentos.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

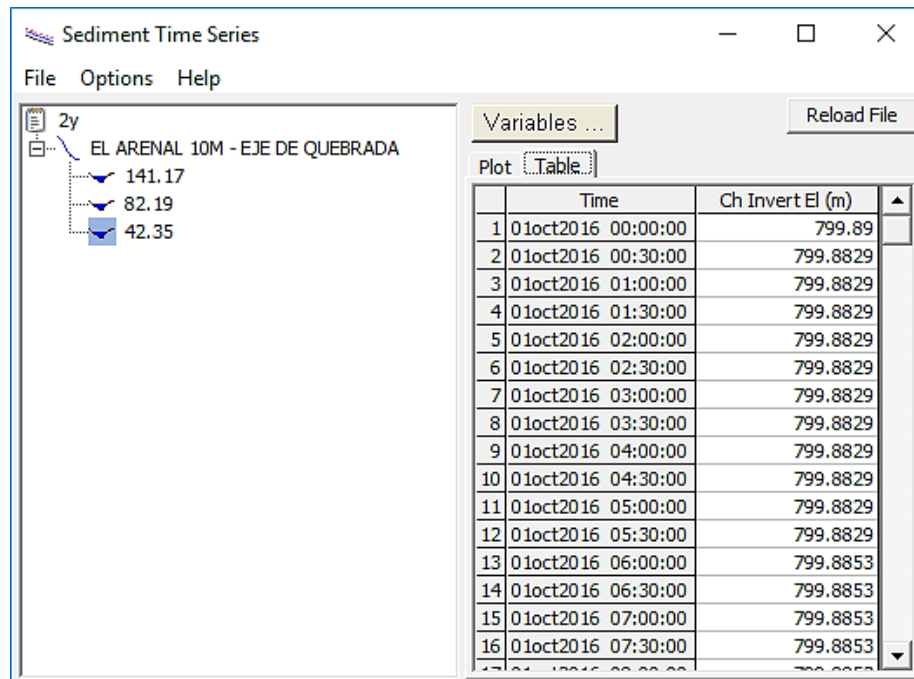


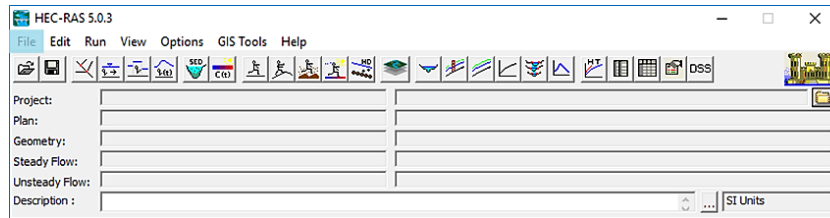
Figura 4.3.31 Salida de datos de forma tabular para la topografía de 5.00 m debido al análisis en los sedimentos.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

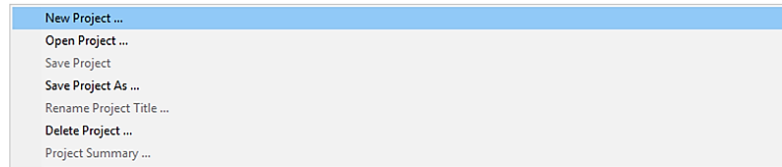
4.4 Introducción de Datos de la Quebrada Las Lajas en la Colonia Escalón

4.4.1 Creación del proyecto

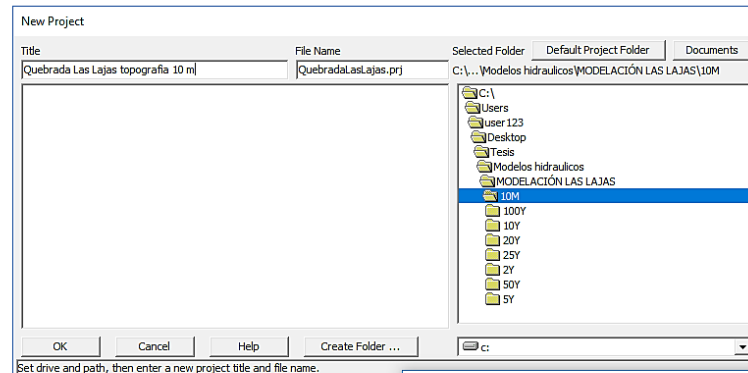
Se abre el programa HEC-RAS y se selecciona la opción “New Project” de la pestaña “File”, esta acción abrirá una ventana en la cual se introduce el nombre del archivo y la ubicación del mismo, al seleccionar la ubicación del proyecto esta se vuelve la ubicación por defecto.



a) Menu principal



b) Opciones de la pestaña archivo "FILE"



c) Ventana de creación de proyecto y selección de la ubicación

Figura 4.4.1 Pasos para la creación de un archivo de proyecto.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

4.4.2 Creación del archivo de geometría (Sección transversal y Planta)

Una vez definidas las secciones transversales de la quebrada Las Lajas en el programa CIVIL3D que se utilizarán en el modelo hidráulico, se procede a trazar el eje de la quebrada sobre las curvas de nivel a cada 10.00 m y 5.00 m, en el caso del levantamiento realizado con GPS y estación total, el tramo del eje de la quebrada, así como las secciones transversales obtenidas mediante las mediciones, se superponen en las curvas de nivel a cada 5 metros.

A continuación se trabaja en la versión estudiantil de Civil 3D, generando la superficie con las curvas de nivel; una vez generada la superficie, se identifica el eje de la quebrada como el “Alineamiento”, esto con el fin de trazar las secciones transversales al eje.

Cabe mencionar que las secciones transversales de la quebrada Las Lajas comprenden una longitud de 100 metros en promedio a cada lado del eje, lo cual es requerimiento para análisis de ríos y quebradas en zonas montañosas. Ver figura 4.4.2.

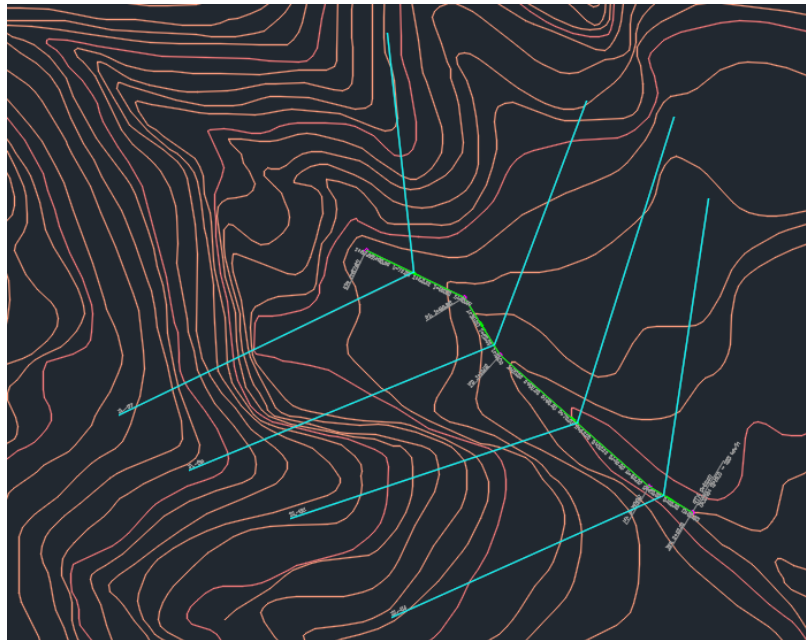


Figura 4.4.2 Tramo de la Quebrada Las Lajas donde se observan: eje de quebrada, puntos de intersección de tangentes y secciones transversales.

Fuente: Elaboración propia, Captura desde el visor de civil3D.

Finalmente al tener las secciones transversales en Civil 3D se procede a exportar el archivo a HEC-RAS, y se obtiene así el archivo geo. Cabe mencionar que por efectos del software las secciones transversales se ven inclinadas. Ver figura 4.4.3.

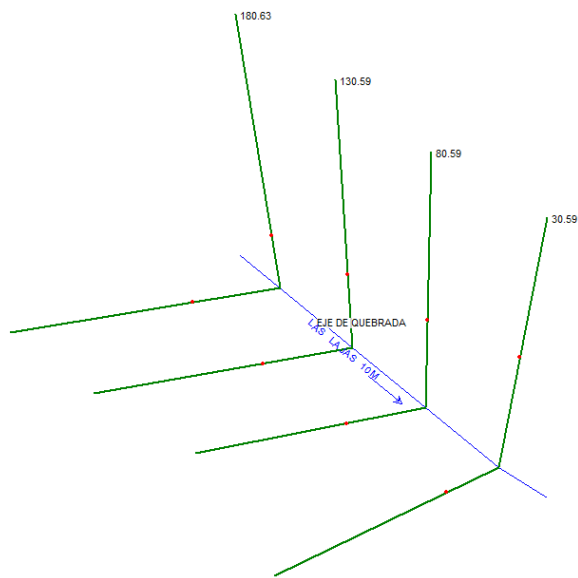


Figura 4.4.3 Archivo geo de la quebrada Las Lajas obtenido mediante el procedimiento descrito anteriormente.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

En la figura 4.4.3. El eje de la quebrada Las Lajas está representada por la línea color celeste y las secciones transversales son las líneas color verde.

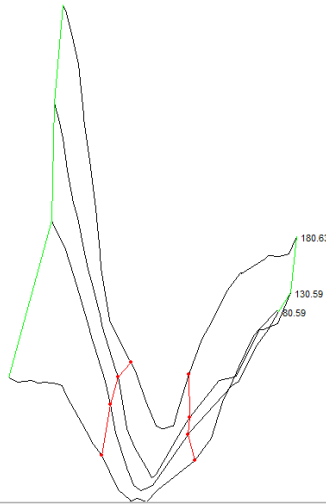


Figura 4.4.4 Vista en perspectiva x-y-z generada en HEC-RAS mediante la importación del archivo geo.

Fuente: Elaboración propia. Captura del programa HEC-RAS.

A continuación se presenta una tabla resumen con los parámetros geométricos del tramo de la Quebrada Las Lajas trabajado sobre las curvas de nivel a cada 10 metros.

Tabla 4.14: Resumen de parámetros geométricos de la Quebrada Las Lajas sobre curvas de nivel a cada 10.00 m.	
Total de secciones transversales	4
Estación aguas abajo	0+030.59
Estación aguas arriba	0+180.58
Longitud de análisis	180.60 metros
Elevación aguas arriba	980.00 msnm
Elevación aguas abajo	960.00 msnm

Diferencia de elevación	20.00 metros
-------------------------	--------------

*Nota: Fuente Elaboración propia.

Se realiza el mismo procedimiento para los tramos de la Quebrada Las Lajas superpuestos en las curvas de nivel a cada 5.00 m, obteniéndose los siguientes parámetros:

Tabla 4.15: Resumen de parámetros geométricos de la Quebrada Las Lajas sobre curvas de nivel a cada 5 metros.	
Total de secciones transversales	4
Estación aguas abajo	0+014.87
Estación aguas arriba	0+165.17
Longitud de análisis	187.89 metros
Elevación aguas arriba	995.00 msnm
Elevación aguas abajo	970.00 msnm
Diferencia de elevación	25.00 metros

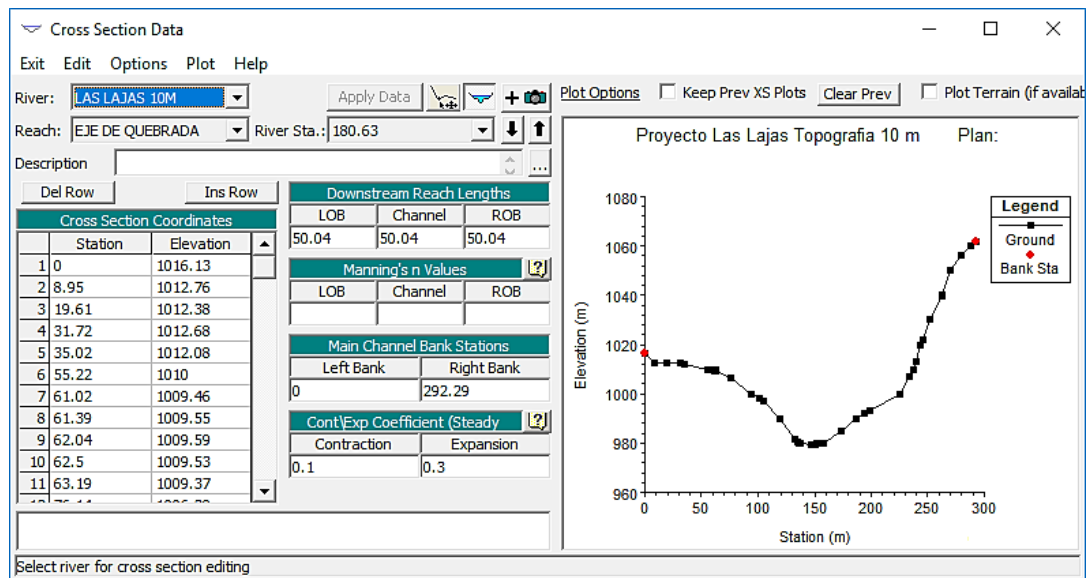
*Nota: Fuente Elaboración propia.

Tabla 4.16: Resumen de parámetros geométricos de la Quebrada Las Lajas sobre curvas de nivel a cada 5.00 m incluyendo los datos obtenidos en campo.	
Total de secciones transversales	4
Estación aguas abajo	0+012.46
Estación aguas arriba	0+149.07

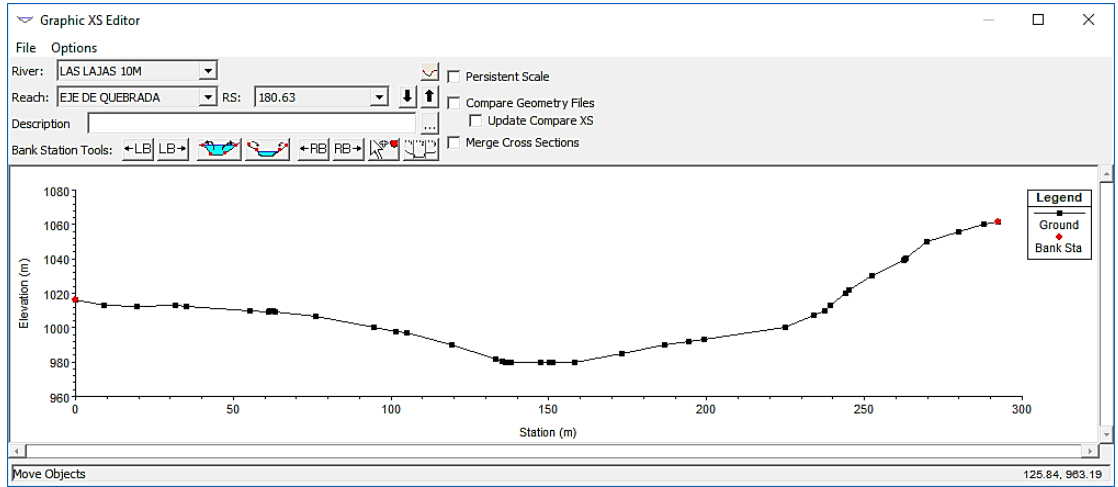
Longitud de análisis	172.18 metros
Elevación aguas arriba	994.00 msnm
Elevación aguas abajo	970.00 msnm
Diferencia de elevación	24.00 metros

*Nota: Fuente Elaboración propia.

Una vez obtenido el archivo este se importa al proyecto mediante la opción importar de la pestaña “File” en la ventana del editor de geometría, posteriormente se procede a delimitar los bordes de las secciones, para lo cual se utiliza el editor de secciones transversales, para esto el editor cuenta con una función que facilita la selección de los bordes la cual permite la selección de manera gráfica, es decir seleccionando el punto en la ventana de edición entre otras formas.



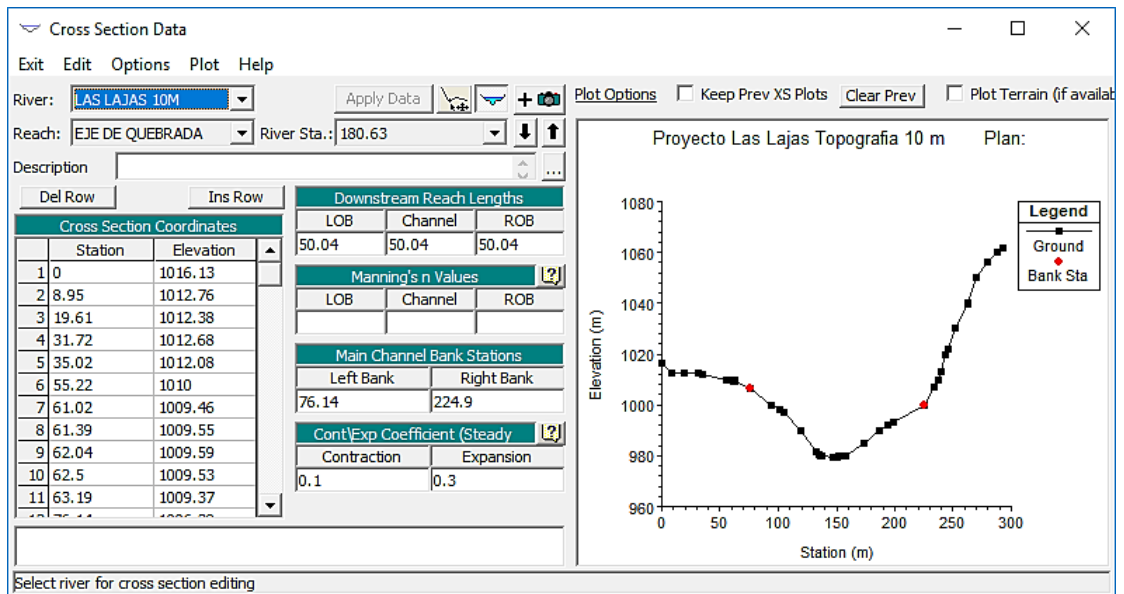
a) Vista desde el editor principal de secciones transversales



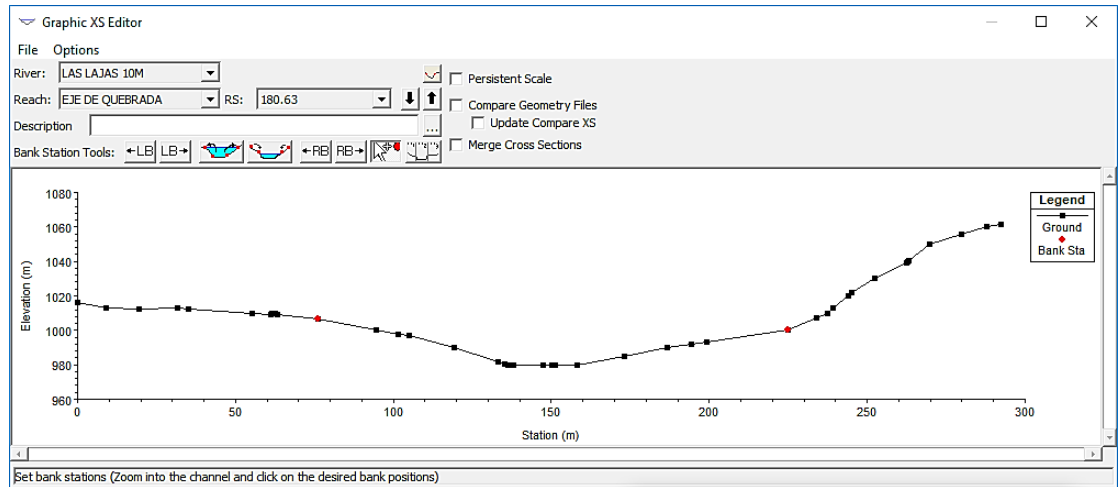
b) Vista desde el editor de bordes

Figura 4.4.5 Sección transversal antes de colocar los bordes.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.



a) Vista desde el editor principal de secciones transversales



b) Vista desde el editor de bordes

Figura 4.4.6 Sección transversal después de colocar los bordes.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS

Una vez se modificadas los bordes de las secciones transversales introduce los valores n de Manning para lo cual se puede seleccionar en la pestaña “Table” donde aparecen las secciones transversales e introducir los valores de 0.04 para el lecho y 0.05 para los laterales como se muestra en la siguiente figura.

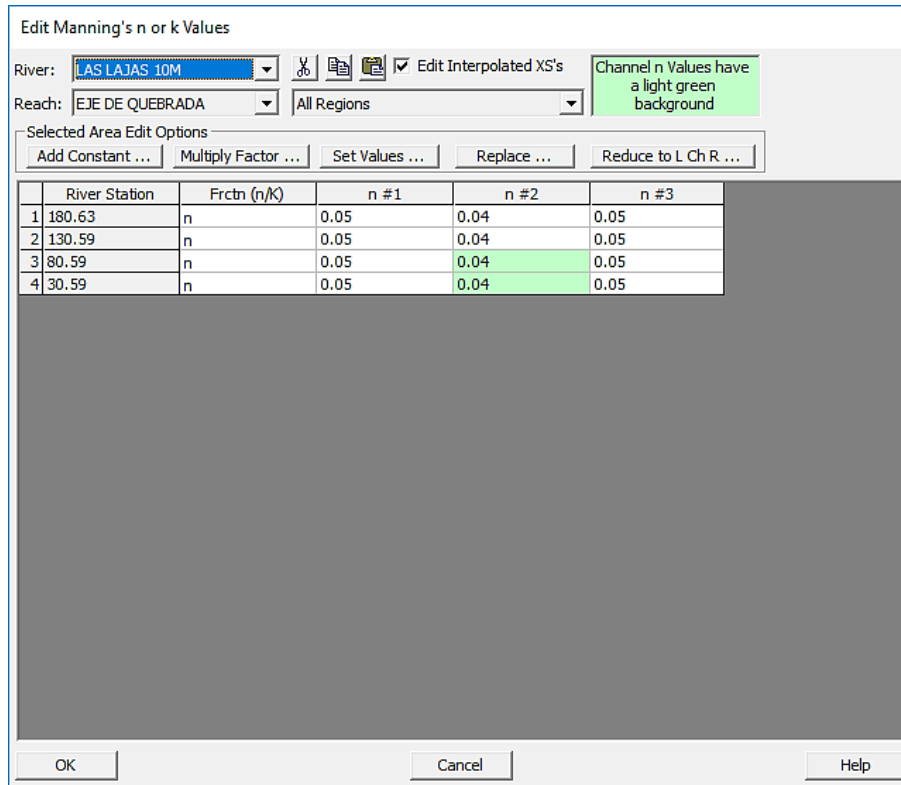


Figura 4.4.7 Ventana de introducción de valores n de Manning.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS

4.4.3 Creación del Archivo de sedimentos

Se selecciona la opción de sedimentos que abre la ventana del mismo y se crea el archivo de sedimento al seleccionar la opción “New Sediment Data” en la pestaña “File” de la ventana de sedimentos, se inicia introduciendo la granulometría con la que se trabajará en el proyecto.

Para este caso se seleccionó la muestra más cercana al área de análisis de la quebrada basados en la Figura 4.4.8 se selecciona la muestra N° 2, cuyos valores están en base a la norma ASTM D-655, ya que el programa tiene un sistema de

clasificación diferente se deben convertir los valores teniendo como resultado las siguientes tablas

Tabla 4.17: Granulometría ASTM	
Diámetro (mm)	% Pasante
50.000	100
38.1000	82
25	74
19.0000	68
9.5000	55
2.0000	42
1.1800	32
0.6000	17
0.3000	9
0.1500	6
0.0750	5



Tabla 4.18: Granulometría Unión Americana de Geofísica	
Diámetro (mm)	% Pasante
64.000	100
32.000	78.5
16.000	64.7
8.000	54.0
4.000	48.0
2.000	42.0
1.000	28.3
0.500	15.1
0.250	7.9
0.125	5.5

*Nota: Fuente Elaboración propia, Datos de 3.6.1 Granulometría en la quebrada “Las Lajas”



Figura 4.4.8 Ubicación de la muestra de suelo a utilizar

Fuente: Creación propia: Basada en imágenes de Google Earth.

Obtenida la granulometría se procede a introducir los datos, para lo cual se oprime el botón “Deine/Edit Bed Gradation” y se oprime el botón “New Bed Gradation Sample”, que abre una ventana para introducir el nombre del lecho.

Ver figura 4.4.9

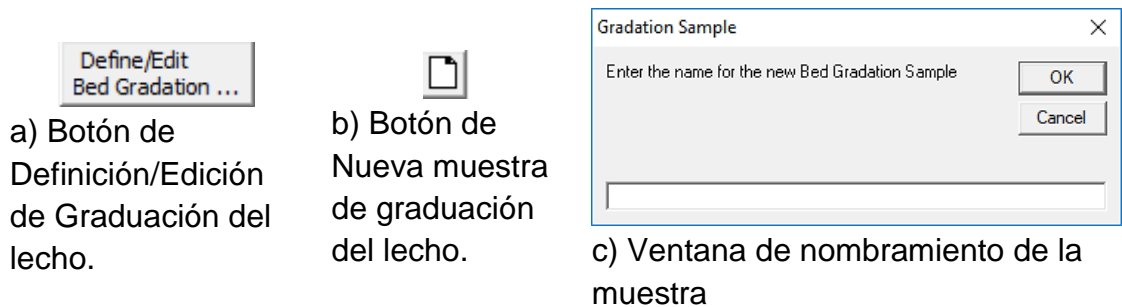


Figura 4.4.9 Imágenes de creación de archivo de granulometría

Fuente: Elaboración propia, Captura de imagen del programa HEC-RAS.

Después de introducir el nombre de la muestra se procede a introducir los datos como se muestra en la figura 4.4.10.

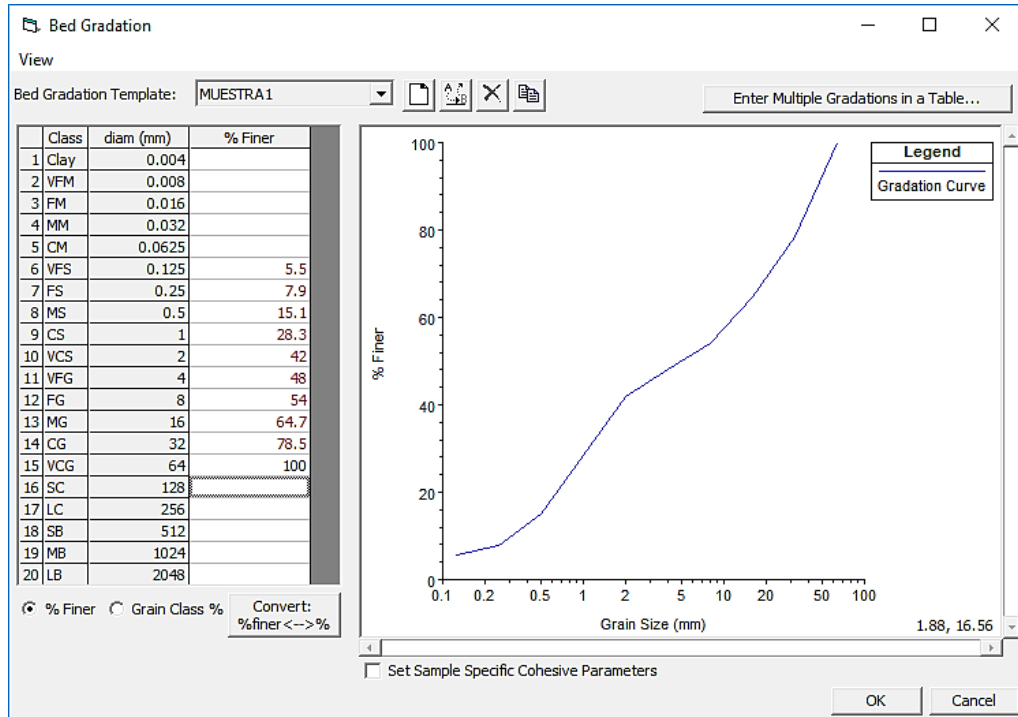


Figura 4.4.10 Editor de datos de granulometría.

Fuente: Elaboración propia, Captura de imagen del programa HEC-RAS.

Después de definir el material que constituye el lecho se procede a introducir los límites y seleccionar el material para cada sección, los límites laterales se determinaron bajo el criterio de la mitad de la altura del área hidráulica y para el límite inferior se seleccionó una distancia de 10.00 m de material erosionable, de las funciones disponibles se cumple con los requisitos para utilizar la función de transporte de Meyer Peter Muller, el método de clasificación de capa de Thomas

y la teoría de velocidad de caída de Toffeleti, tal como se muestra en la figura 4.4.11

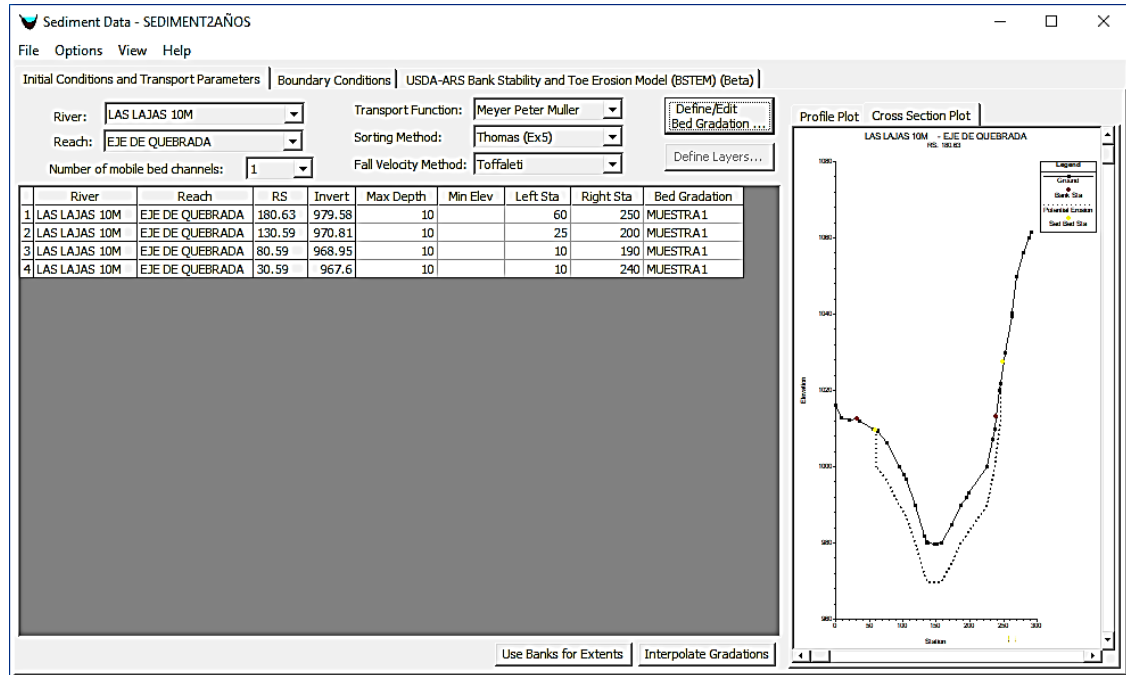


Figura 4.4.11 Ventana de Condiciones iniciales del archivo de sedimentos.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

Después de completar la ventana de condiciones iniciales se procede a introducir las condiciones de contorno, que para nuestro caso se utilizará la opción “Equilibrium Load” que como se ha explicado anteriormente indica que el lecho de sedimentos de la sección aguas arriba regresara a sus condiciones iniciales después de cada paso de tiempo.

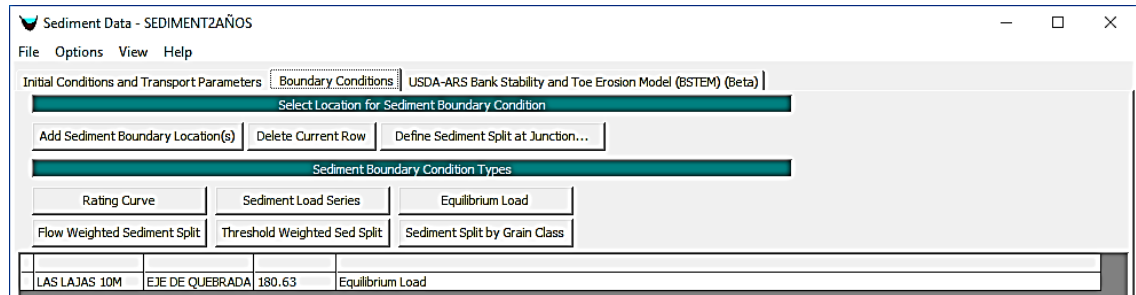


Figura 4.4.12 Ventana de condiciones de contorno del archivo de sedimentos

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

Estas condiciones aplican a los modelos que se realizaron con topografía de 10.00 m, 5.00 m, y GPS.

4.4.4 Creación de Archivo de Flujo

Se crea un archivo que contendrá el caudal de análisis para la quebrada, este proviene de un hidrograma con diferentes tormentas de diseño, para este trabajo se emplearon tormentas de 2, 5, 10, 20, 25, 50 y 100 años los cuales fueron proporcionados por la OPAMSS y dentro de los cuales se utilizaron los valores máximos para el archivo de flujo. A continuación se presentan los valores con los cuales se realizará la modelación.

Tabla 4.19: Valores máximos de caudal							
Tormenta de diseño (años)	2	5	10	20	25	50	100
Caudal (m ³ /s)	37.6	60.7	76.6	92.1	97.1	112.4	127.8

*Nota: Fuente Elaboración propia.

Dado que el análisis que se desea realizar es como los cambios en topografía afectan a las quebradas susceptibles a flujos de escombros, se deben realizar arreglos para la simulación de este tipo de evento, uno de los arreglos es que el análisis se debe realizar para un flujo constante, para este arreglo se optó por realizar una serie de flujo de 24 horas, debido a que solamente se puede realizar análisis de sedimentos con flujo no permanente y cuasi no permanente, al implicar el análisis de con flujo no permanente mayores complicaciones para conseguir estabilidad se decide utilizar un análisis cuasi permanente por lo que se crea un archivo cuasi permanente.

Para lo anterior se utiliza la opción “View/Edit Quasi Unsteady Flow Data” que abre la ventana en la Figura 4.4.13.

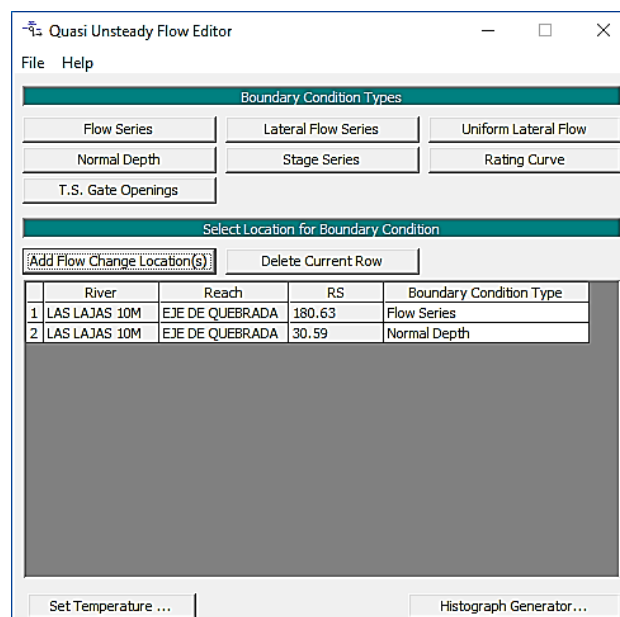


Figura 4.4.13 Editor de Condiciones de contorno de Flujo cuasi permanente

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

En dicha ventana se selecciona la opción “New Quasi Unsteady Flow File”, la ubicación en que se guardará y el nombre del archivo, en esta ventana se debe seleccionar las condiciones de flujo con las cuales contará por lo que se selecciona la opción serie de flujo para la sección aguas arriba y profundidad normal para la sección aguas abajo y se introduce el valor de temperatura que tendrá el agua.

Dentro de la ventana de “Flow Series” se introduce la duración del flujo, el incremento computacional y el caudal.

Flow Series for LAS LAJAS 10M EJE DE QUEBRADA 180.63

Select/Enter the Data's Starting Time Reference:

Use Simulation Time: Date: 01OCT2016 Time: 0:00

Fixed Start Time: Date: Time:

Hydrograph Data

No. Ordinates Interpolate Values Del Row Ins Row

No.	Simulation Time	Elapsed Time (hours)	Flow Duration (hours)	Computation Increment (hours)	Flow (m3/s)
1	01oct2016 0000	24	24	1	37.6
2	02oct2016 0000	25	1	1	37.6
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					

Compute computation increments based on flow

Plot ... OK Cancel

Figura 4.4.14 Ventana de introducción de datos de flujo cuasi permanente.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

En la opción profundidad normal se introduce la pendiente entre las ultimas secciones aguas abajo. Este proceso se repite para los diferentes archivos de geometría que se tengan, los valores calculados se muestran en la tabla 4.4.7.

$$Pendiente = \frac{Elevación\ del\ eje\ aguas\ arriba - Elevación\ del\ eje\ aguas\ abajo}{espaciamiento\ entre\ secciones} \quad \text{Ecuación 4.3}$$

$$Pendiente = \frac{968.95 - 967.8}{50} = 0.02$$

Tabla 4.20: Valores de pendiente para la sección aguas abajo			
Archivo de topografía	10 m	5 m	GPS
Profundidad normal (pendiente)	0.02	0.027	0.08

*Nota: Fuente Elaboración propia.

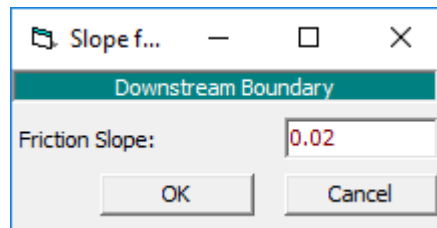


Figura 4.4.15 Ventana de introducción de datos de la condición profundidad normal.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

Para introducir el valor de temperatura que tendrá el agua se oprime el botón “Set Temperature”, el cual abre una venta en la que se debe introducir una serie de temperatura, esta serie tiene que contener el mismo tiempo que la serie de flujo, se decidió utilizar la temperatura de 27° centígrados ya que El Salvador cuenta con una variación en temperatura desde los 26° a los 30° centígrados a nivel del

mar, pero al ubicarse las quebradas en zonas boscosas y con mayor elevación se decidió que un valor de 27° sería aceptable para el análisis.

No. Ordinates	Simulation Time	Elapsed Time (hours)	Duration (hours)	Temp (C)
1	30sep2016 2400	24	24	27
2	01oct2016 2400	25	1	27
3	02oct2016 0100			
4	02oct2016 0100			
5	02oct2016 0100			
6	02oct2016 0100			

Figura 4.4.16 Ventana de introducción de datos de temperatura para flujo cuasi permanente.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

Una vez llenos los campos se procede a guardar los cambios realizados en el archivo y a crear un nuevo archivo de flujo.

4.4.5 Creación del archivo de resultados hidráulicos

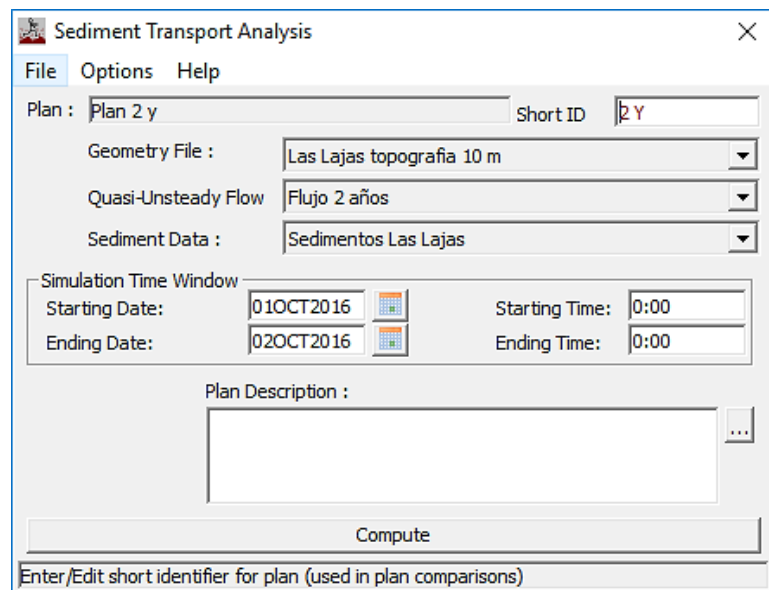
4.4.5.1 Creación del Archivo de análisis

Para crear el archivo de corrida del programa se selecciona la opción “Perform a Sediment Transportation Simulation” (Ver Figura 4.4.17), que abre una ventana secundaria en la cual se selecciona la opción “New Plan” de la pestaña “File” y se selecciona la ubicación y el nombre del archivo, una vez seleccionado se

deberá introducir un nombre corto para facilitar su identificación, se rellenan los datos con los archivos creados de geometría, flujo y sedimentos, además se especifica la fecha en la que ocurrirá la tormenta, la fecha seleccionada ha sido el día primero de octubre del 2016 a las 0:00 horas esta fecha se eligió debido a que el programa solamente es capaz de reconocer fechas a partir del primero de septiembre.



a) Botón Análisis de sedimentos



b) Ventana de Análisis de sedimentos

Figura 4.4.17 Inicio de plan de simulación de sedimentos.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

Debido a que el tipo de análisis que se realizará se deben modificar las opciones de salida del archivo, dentro de las cuales se selecciona la opción “Sediment output Option” donde se modifican la opción nivel de salida a 5 y se selecciona que el resultado se presente en volumen.

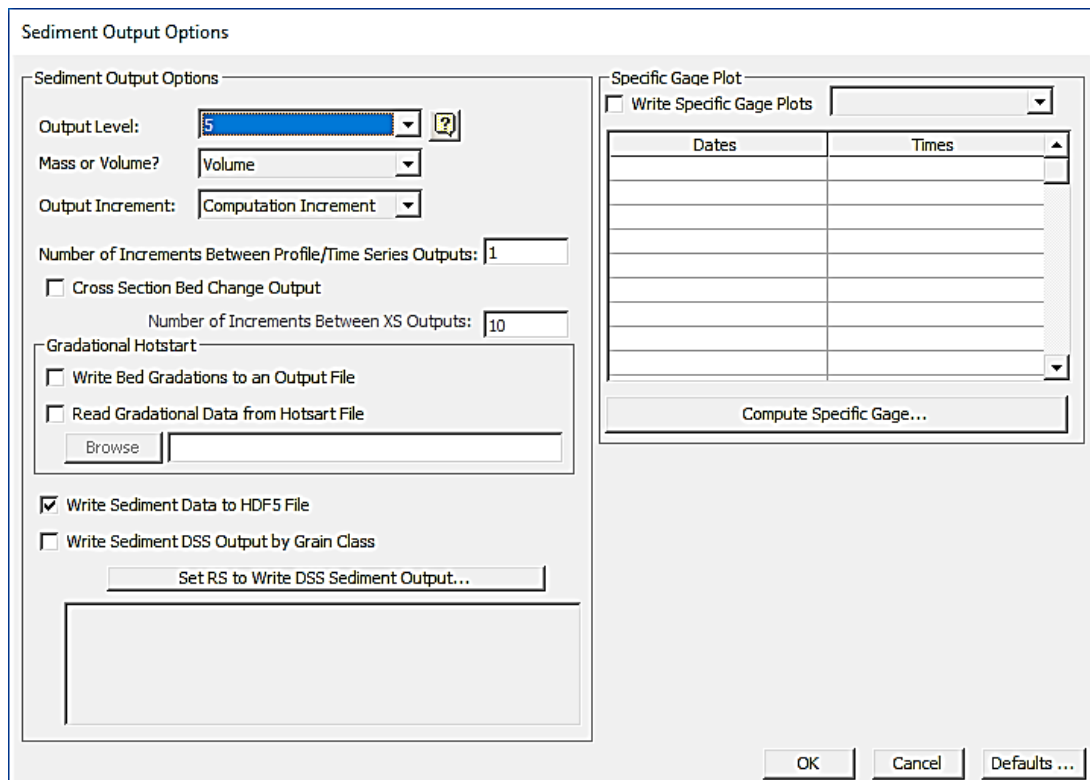


Figura 4.4.18 Ventana de opciones de salida de datos de simulación de sedimentos.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

4.4.5.2 Archivos de salida

Para visualizar los archivos de salida del análisis de sedimentos se necesita seleccionar la opción “Sediment output” de la pestaña “View” del menú principal, la cual abre una ventana secundaria donde se pueden seleccionar el tipo de datos que se desea visualizar, la sección en la cual se desea conocer el parámetro a visualizar y como visualizarlo.

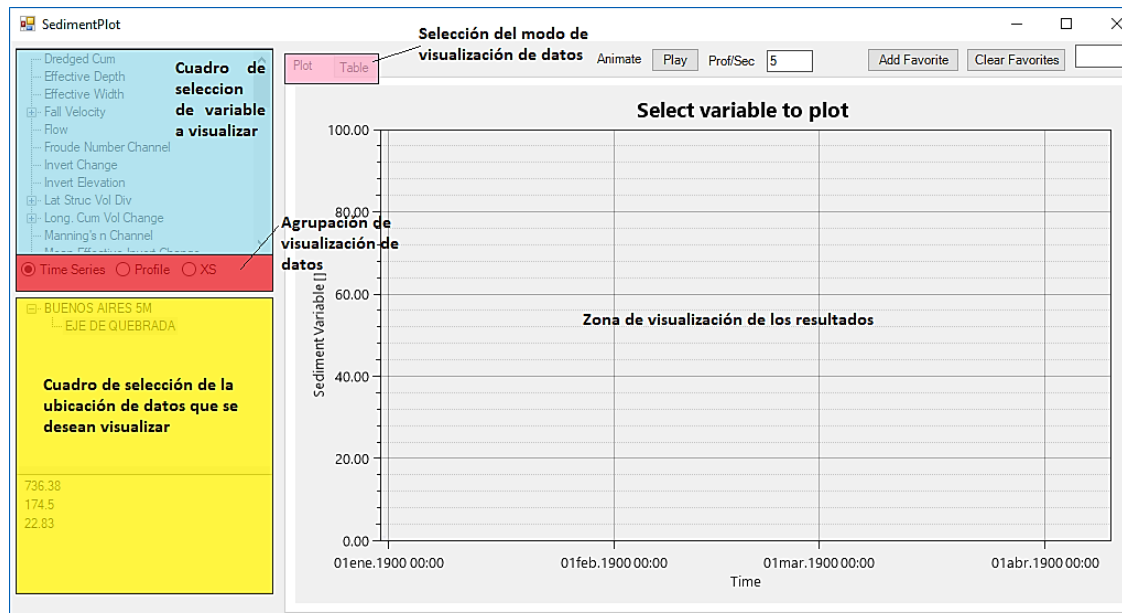


Figura 4.4.19 Ventana de visualización de datos de salida del análisis de sedimentos.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

A continuación se presentan algunos de los resultados del análisis de sedimentos.

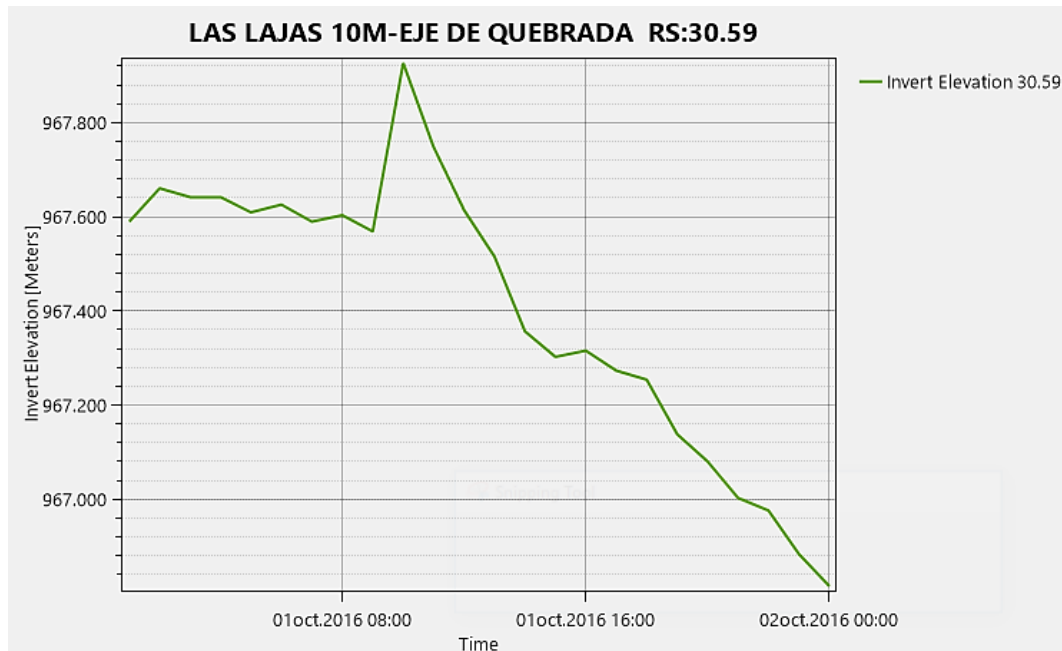


Figura 4.4.20 Gráfico de cambio de lecho contra tiempo de simulación de la sección 30.59 de la topografía de 5.00 m.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

Invert Elevation 30.59		
	Time	Invert Elevation
1	01oct.2016 01:0...	967.59
2	01oct.2016 02:0...	967.661
3	01oct.2016 03:0...	967.642
4	01oct.2016 04:0...	967.642
5	01oct.2016 05:0...	967.61
6	01oct.2016 06:0...	967.626
7	01oct.2016 07:0...	967.59
8	01oct.2016 08:0...	967.604
9	01oct.2016 09:0...	967.569
10	01oct.2016 10:0...	967.927
11	01oct.2016 11:0...	967.748
12	01oct.2016 12:0...	967.614
13	01oct.2016 13:0...	967.516
14	01oct.2016 14:0...	967.357
15	01oct.2016 15:0...	967.303
16	01oct.2016 16:0...	967.316

Figura 4.4.21 Tabla de datos de cambio en el lecho de la sección 30.59 de la topografía de 5.00 m

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

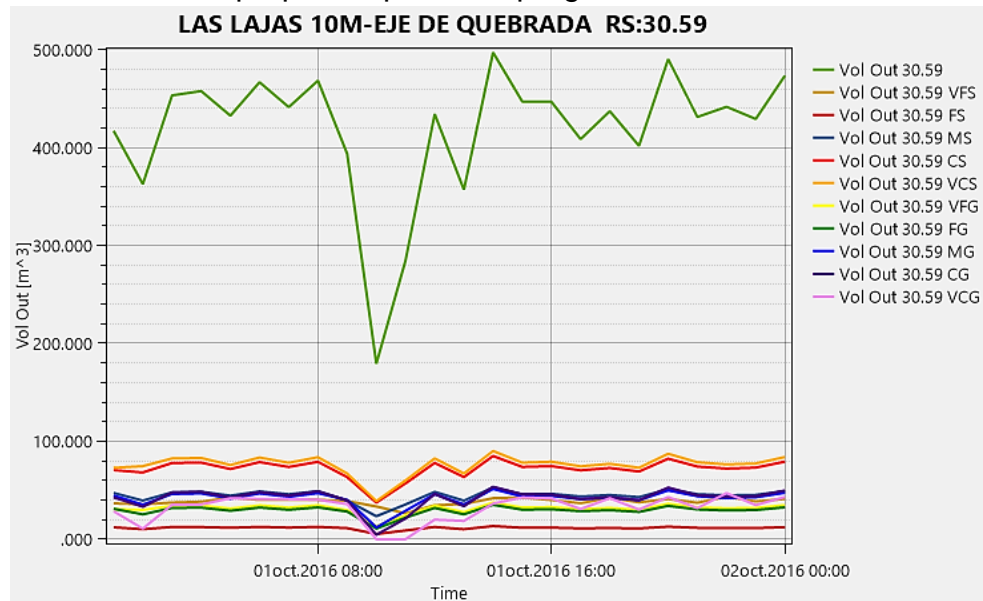


Figura 4.4.22 Gráfico de sedimentos transportados por tipo de grano contra tiempo de simulación de la topografía de 5.00 m.

Fuente: Elaboración propia, Captura de pantalla del programa HEC-RAS.

	Time	Vol Out 30.59
1	01oct.2016 01:0...	417.375
2	01oct.2016 02:0...	362.94
3	01oct.2016 03:0...	453.603
4	01oct.2016 04:0...	457.993
5	01oct.2016 05:0...	432.849
6	01oct.2016 06:0...	467.047
7	01oct.2016 07:0...	441.59
8	01oct.2016 08:0...	468.686
9	01oct.2016 09:0...	393.979
10	01oct.2016 10:0...	179.31
11	01oct.2016 11:0...	284.733
12	01oct.2016 12:0...	434.566
13	01oct.2016 13:0...	357.26
14	01oct.2016 14:0...	497.485
15	01oct.2016 15:0...	447.254
16	01oct.2016 16:0...	447.04

Figura 4.4.23 Tabla de datos de sedimentos transportados por tipo de grano de la topografía de 5.00 m

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

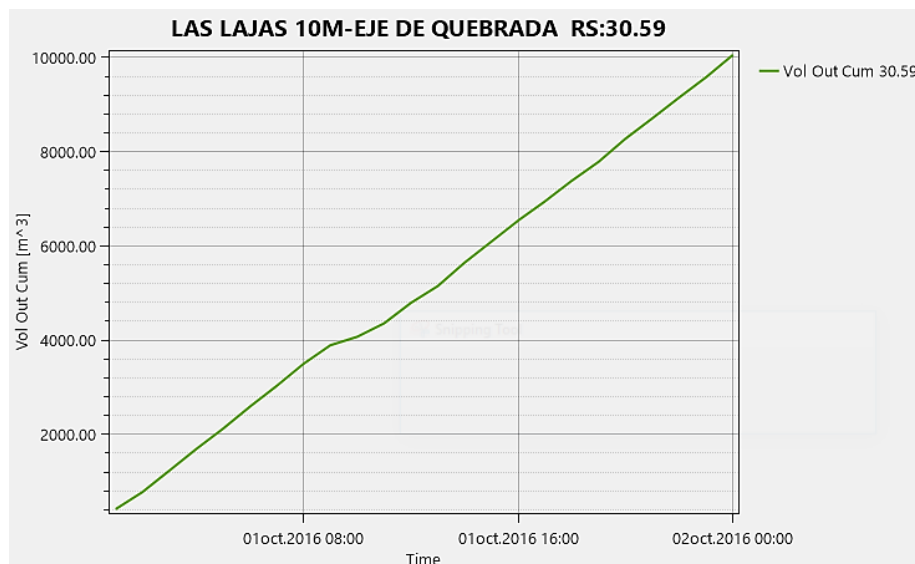


Figura 4.4.24 Gráfico de sedimentos transportados acumulado contra tiempo de simulación de la topografía de 5.00 m.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

Vol Out Cum 30.59		
	Time	Vol Out Cum
1	01oct.2016 01:0...	417.375
2	01oct.2016 02:0...	780.315
3	01oct.2016 03:0...	1233.918
4	01oct.2016 04:0...	1691.912
5	01oct.2016 05:0...	2124.761
6	01oct.2016 06:0...	2591.808
7	01oct.2016 07:0...	3033.398
8	01oct.2016 08:0...	3502.084
9	01oct.2016 09:0...	3896.063
10	01oct.2016 10:0...	4075.373
11	01oct.2016 11:0...	4360.106
12	01oct.2016 12:0...	4794.671
13	01oct.2016 13:0...	5151.931
14	01oct.2016 14:0...	5649.415
15	01oct.2016 15:0...	6096.67
16	01oct.2016 16:0...	6543.711

Figura 4.4.25 Tabla de datos de sedimentos transportados acumulados de la topografía de 5.00 m.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

En la pestaña de opciones también se puede encontrar la opción “Sediment Output (old)” que es otra función de salida de datos que ayuda a visualizar los cambios en el lecho de la sección transversal esta opción contiene un sub conjunto de opciones:

“Sediment XS Change”: permite visualizar los cambios en el lecho de la sección.

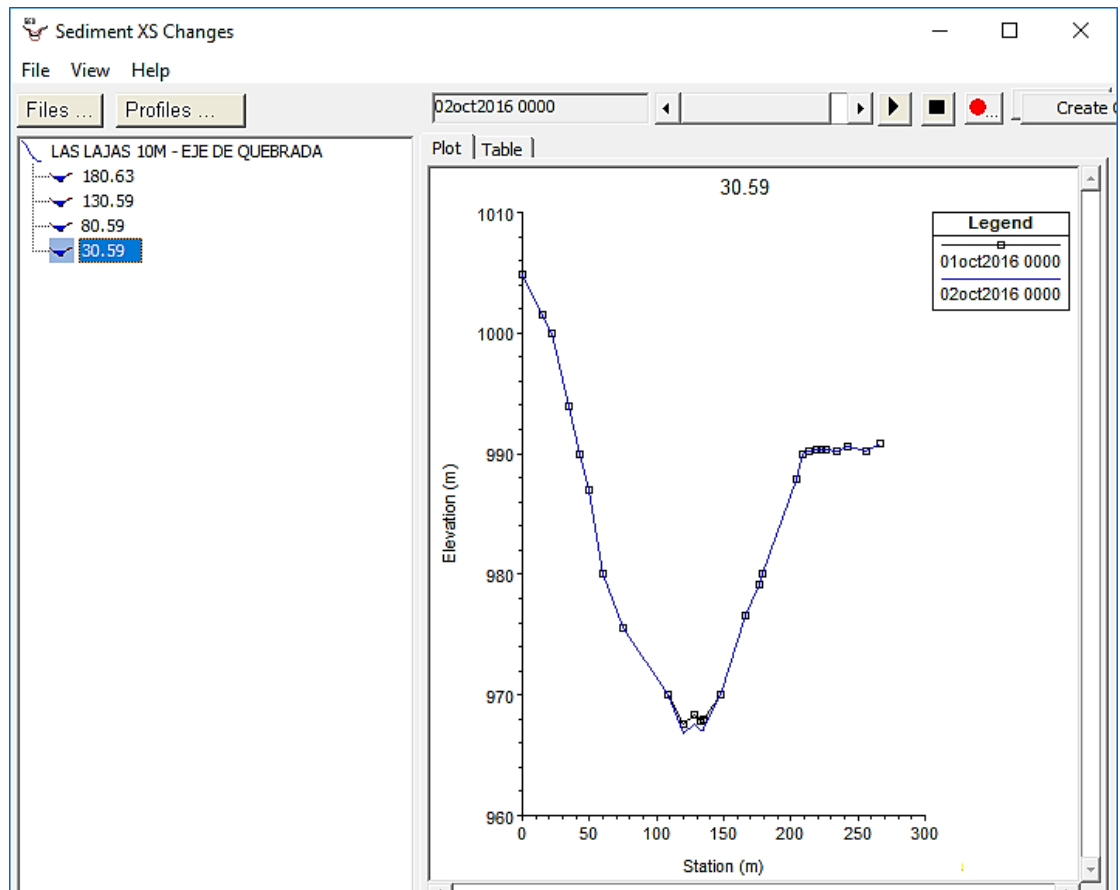


Figura 4.4.26 Cambios en la sección 30.59 de la topografía de 5.00 m debido al análisis en los sedimentos.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

“Sediment Spatial Plot” permite realizar gráficos de una variable seleccionada contra la distancia para un paso de tiempo determinado, esquemas de la geometría versus la variable y también permite la visualización de tablas de las secciones versus la variable.

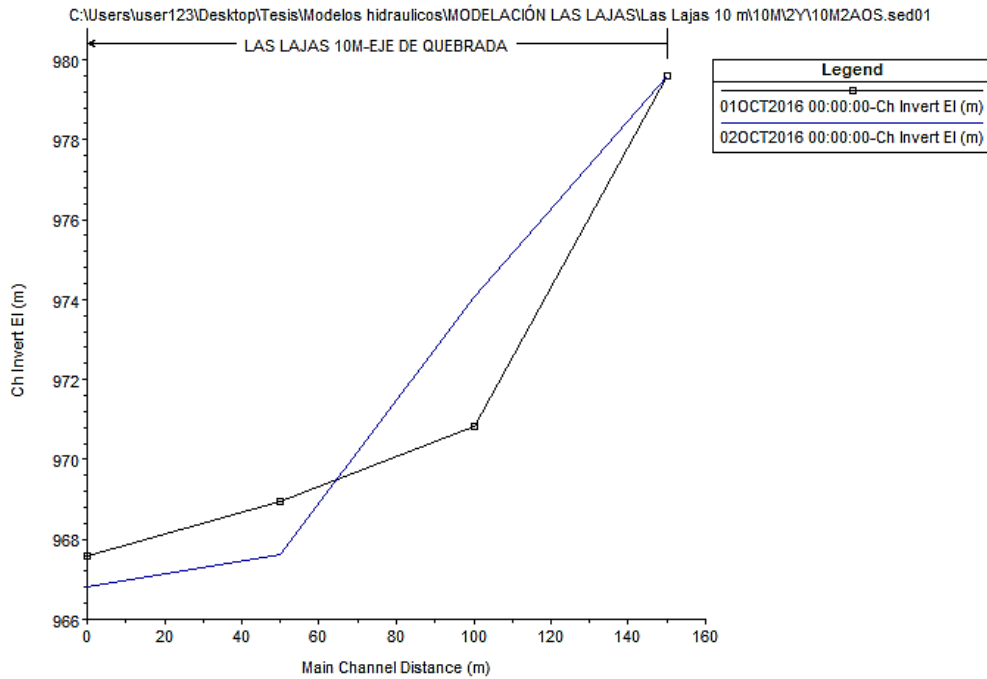


Figura 4.4.27 Gráfica de elevación del lecho de la topografía de 5.00 m debido al análisis en los sedimentos.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

Sediment Spatial Plot

File View Help

Files ... Reaches ... Profiles ... Variables ... Plot Observed Data Reload File

Profile Plot | Schematic Plot | Table |

	River	Reach	RS	1 (01OCT2016 00:00:00)-Ch Invert El (m)	25 (02OCT2016 00:00:00)-Ch Invert El (m)
1	LAS LAJAS 10M	EJE DE QUEBRADA	180.63	979.58	979.58
2	LAS LAJAS 10M	EJE DE QUEBRADA	130.59	970.8099	974.0542
3	LAS LAJAS 10M	EJE DE QUEBRADA	80.59	968.9501	967.6228
4	LAS LAJAS 10M	EJE DE QUEBRADA	30.59	967.6001	966.8158

Figura 4.4.28 Tabla de elevación del lecho del canal de la topografía de 5.00 m a partir del análisis en los sedimentos.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

“Sediment Time Series”: permite visualizar los cambios que tiene una variable con respecto al tiempo en una sección y crear tablas de variable contra tiempo de la sección seleccionada.

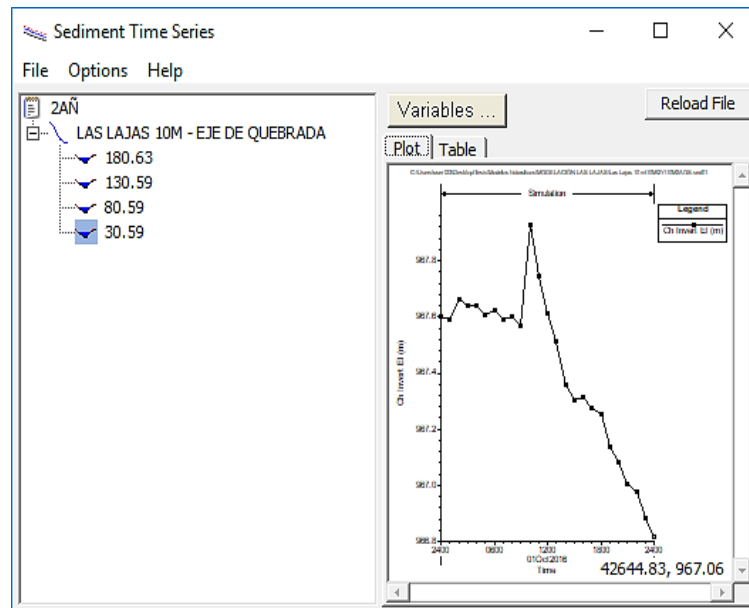


Figura 4.4.29 Salida de datos de forma gráfica de la topografía de 5.00 m en base al análisis en de sedimentos.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

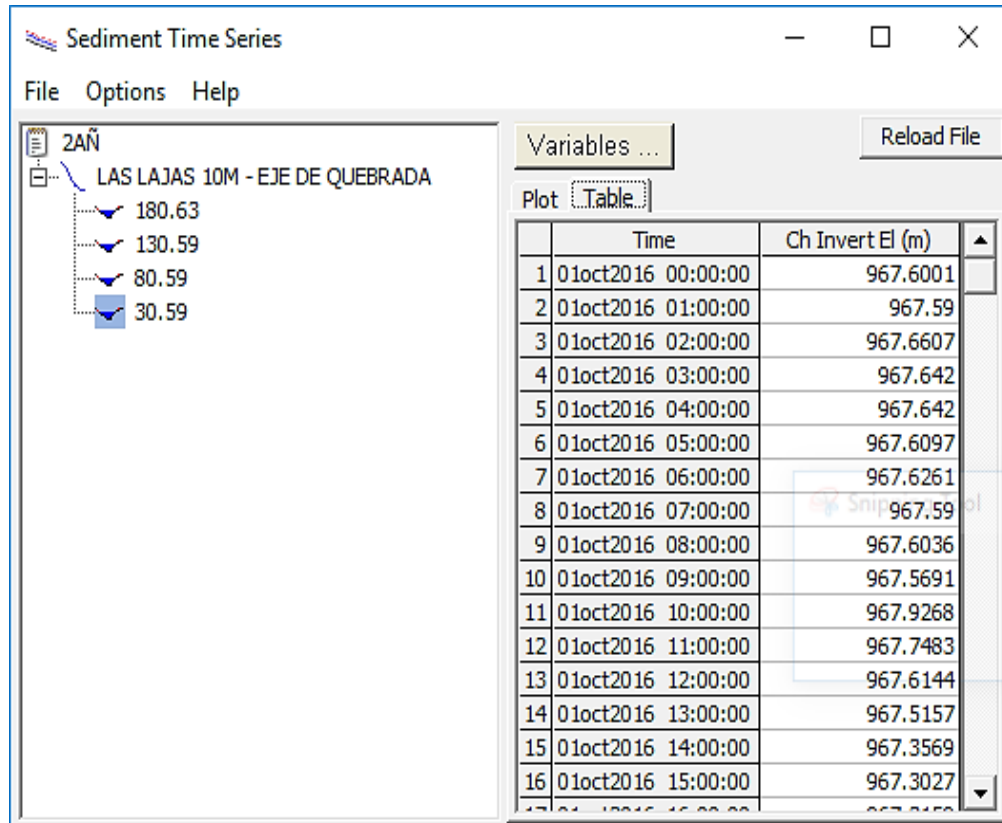


Figura 4.4.30 Salida de datos en forma tabular de la topografía de 5.00 m en base al análisis en de sedimentos.

Fuente: Elaboración propia, Captura del programa HEC-RAS.

CAPITULO 5 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Con el objeto una evaluación cronológica de las quebradas se analizó el volumen de sedimentos que saldría de la quebrada, la concentración del agua más sedimento para clasificar el tipo de flujo y luego verificar la cantidad de erosión que ha tomado lugar, para tormentas a 2, 5, 10, 20, 25, 50 y 100 años de periodo de retorno. Para cada quebrada se mostrará por completo el procedimiento de análisis para la tormenta de 2 años, y para las 5, 10, 20, 25, 50 y 100 años se representara en tabla resumen de resultados.

5.1 Evaluación cronológica de la quebrada “Buenos Aires, Santa Tecla”

Se presentan los cambios que se tienen en las secciones de un punto en común en la quebrada Buenos Aires con la topografía obtenida de las curvas a cada 10.00 m y a cada 5.00 m y la obtenida en campo mediante el uso de GPS y estación total. Para ello citamos una de las tablas obtenidas en HEC-RAS, la cual representa los cambios en elevación que sufre una sección de la quebrada mientras sucede el flujo hiperconcentrado modelado. La figura 5.2.1, 5.2.2 y 5.2.3 son comparaciones de la sección central de análisis en la quebrada con la topografía de las curvas a cada 10.00 m, 5.00 m y la obtenida en campo respectivamente. La figura 5.2.4, 5.2.5 y 5.2.6 muestran los resultados de la última sección aguas abajo en la quebrada con sus tres variantes de topografía. Cabe mencionar que la primera sección no presentará cambios pues es una condición de contorno que HEC-RAS necesita para realizar la modelación.

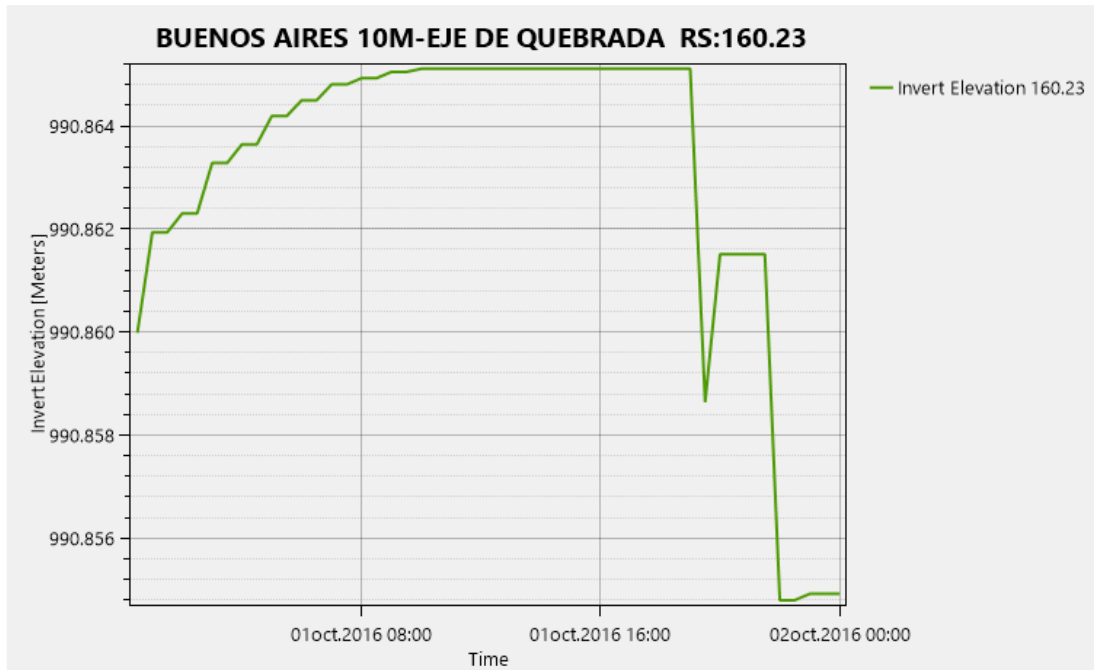


Figura 5.2.1 Gráfica que representa el cambio de elevación que sufre la sección en la estación 0+160.23 de la quebrada Buenos Aires.

Fuente: Elaboración propia, Capturar del programa HEC-RAS.

En la figura 5.2.1 se observa el cambio de elevación mientras ocurre un flujo de caudal con período de retorno de 2 años y sobre la topografía de las curvas a cada 10.00 m. Se puede observar que la sección inicia con una elevación de 990.86 m, luego se deposita material transportado desde la sección anterior y se alcanza una elevación de 990.864 m; finalmente el material es transportado y removido de la sección hasta llegar a una elevación de 990.855 m. Por lo tanto, esta sección se erosionó 0.003 metros.

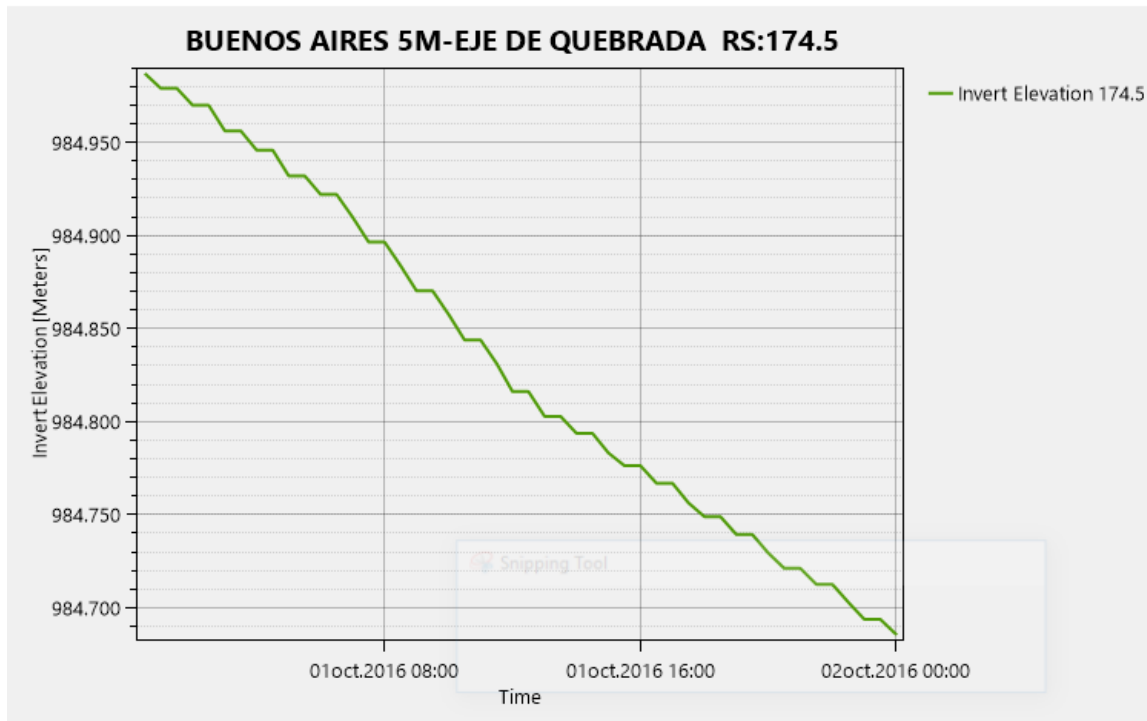


Figura 5.2.2 Gráfica que representa el cambio de elevación que sufre la sección en la estación 0+174.5 de la quebrada Buenos Aires.

Fuente: Elaboración propia, Capturar del programa HEC-RAS.

En la figura 5.2.2 se observa el cambio de elevación mientras ocurre el flujo del período de retorno de 2 años en la topografía de las curvas a cada 5.00 m. Se puede observar que la sección inicia con una elevación de 984.95 m, luego el material es transportado y removido de la sección hasta llegar a una elevación de 984.700 m. Por lo tanto, esta sección se erosionó 0.25 m

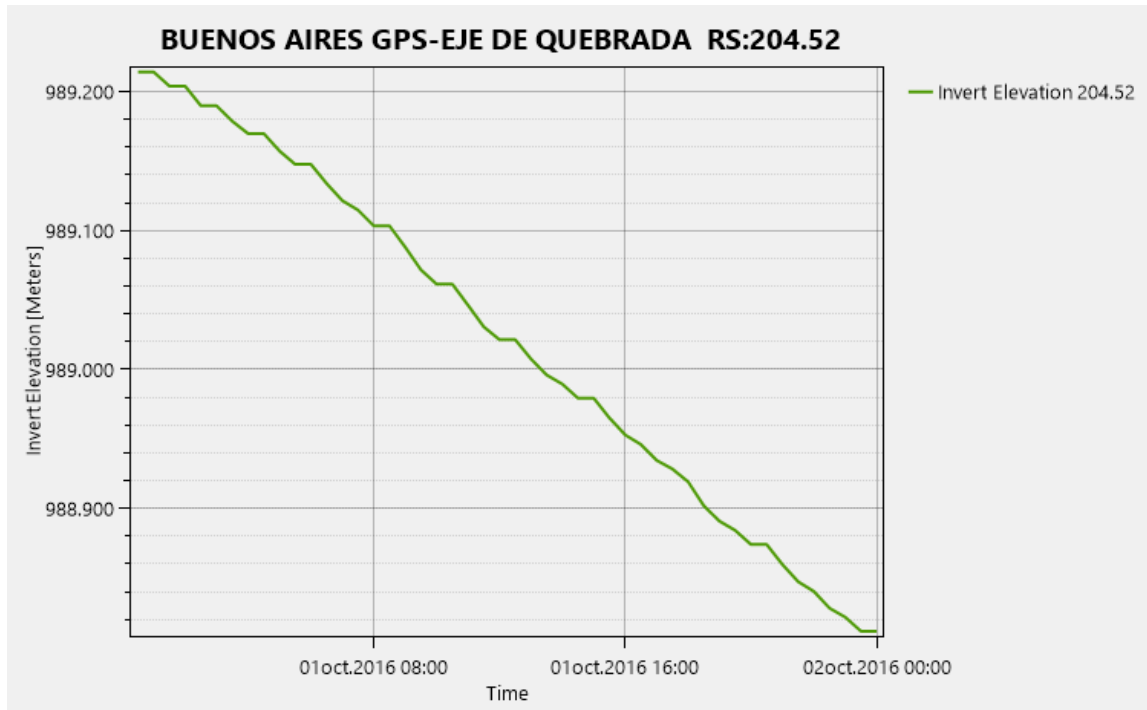


Figura 5.2.3 Gráfica que representa el cambio de elevación que sufre la sección en la estación 0+204.52 de la quebrada Buenos Aires. Por lo tanto, esta sección se erosionó 0.40 m.

Fuente: Elaboración propia. Capturar del programa HEC-RAS.

En la figura 5.2.3 se observa el cambio de elevación mientras ocurre el flujo del período de retorno de 2 años en la topografía de las curvas a cada 5 metros y obtenida con GPS. Se puede observar que la sección inicia con una elevación de 989.20 m, luego el material es transportado y removido de la sección hasta llegar a una elevación de 988.800 m

En la figura 5.2.4 se observa el cambio de elevación mientras ocurre el flujo del

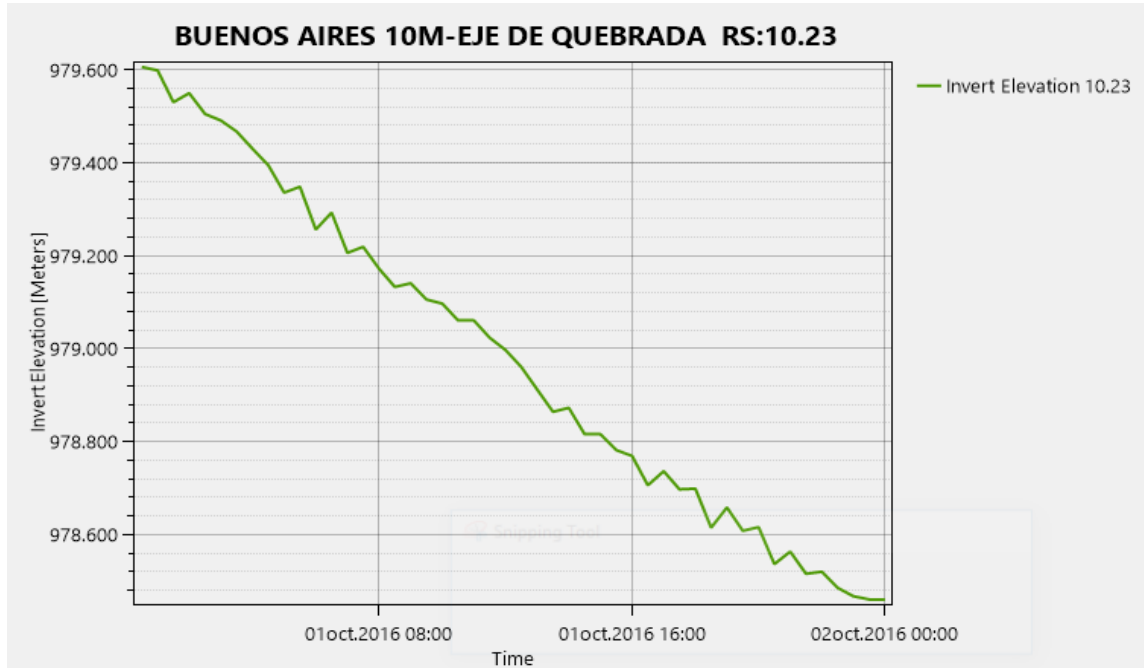


Figura 5.2.4 Gráfica que representa el cambio de elevación que sufre la sección en la estación 0+010.23 de la quebrada Buenos Aires.

Fuente: Elaboración propia, Capturar del programa HEC-RAS.

período de retorno de 2 años en la topografía de las curvas a cada 10.00 m. Se puede observar que la sección inicia con una elevación de 979.60 m, luego el material es transportado y removido de la sección hasta llegar a una elevación de 978.400 m. Por lo tanto, esta sección se erosionó 1.20 m.

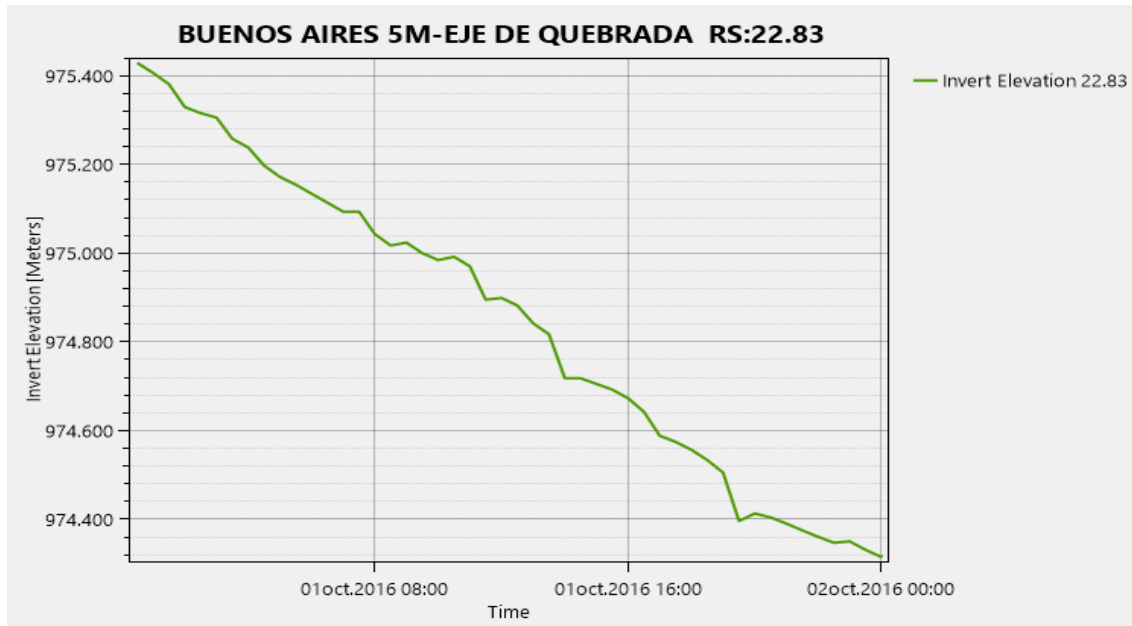


Figura 5.2.5 Gráfica que representa el cambio de elevación que sufre la sección en la estación 0+022.83 de la quebrada Buenos Aires.

Fuente: Elaboración propia, Capturar del programa HEC-RAS.

En la figura 5.2.5 se observa el cambio de elevación mientras ocurre el flujo del período de retorno de 2 años en la topografía de las curvas a cada 5.00 m. Se puede observar que la sección inicia con una elevación de 975.400 m, luego el material es transportado y removido de la sección hasta llegar a una elevación de 974.400 m. Por lo tanto, esta sección se erosionó 1.00 m.

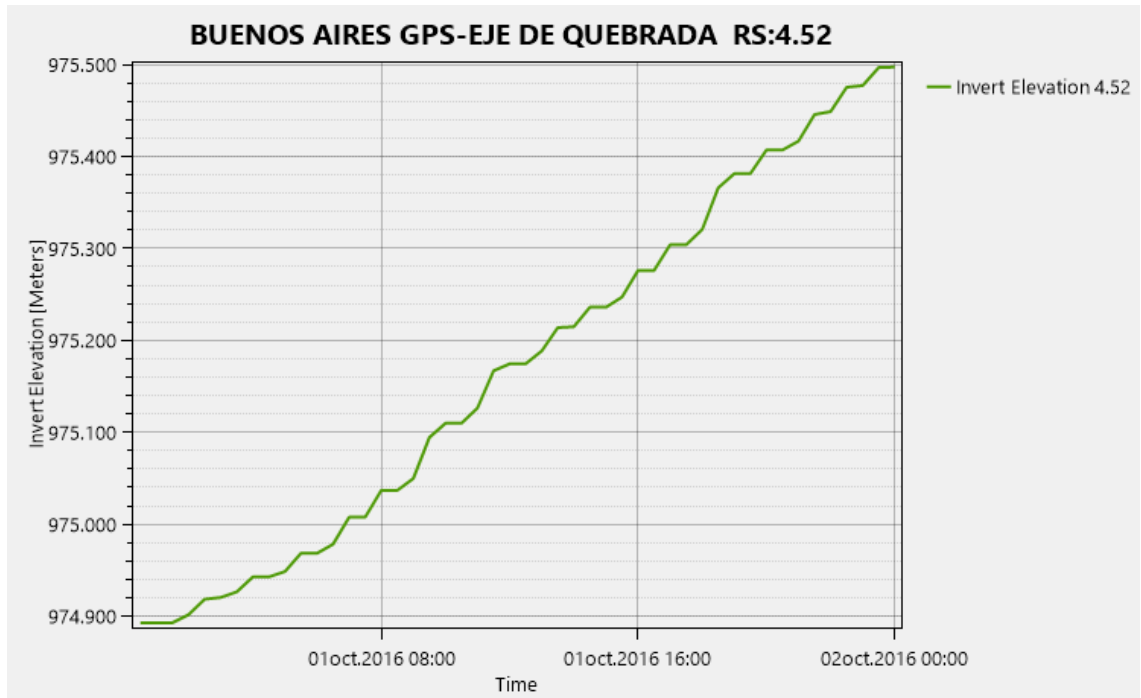


Figura 5.2.6 Gráfica que representa el cambio de elevación que sufre la sección en la estación 0+004.52 de la quebrada Buenos Aires.

Fuente: Elaboración propia, Capturar del programa HEC-RAS.

En la figura 5.2.6 se observa el cambio de elevación mientras ocurre el flujo del período de retorno de 2 años en la topografía de las curvas a cada 5 metros y la obtenida con GPS. Se puede observar que la sección inicia con una elevación de 974.900 m, luego el material transportado es depositado de la sección hasta llegar a una elevación de 975.500 m. Por lo tanto, en esta sección se depositó 0.60 m.

5.3 Evaluación cronológica de la quebrada “El Arenal, Mejicanos”

A continuación se presentan los cambios que se obtuvieron en las secciones de un punto en común en la quebrada El Arenal con la topografía obtenida de las curvas a cada 10.00 m y a cada 5.00 m. Para ello citamos una de las tablas obtenidas en HEC-RAS, la cual representa los cambios en elevación que sufre una sección de la quebrada mientras sucede el flujo hiperconcentrado modelado. La figura 5.3.1 y 5.3.2 son comparaciones de la sección central de análisis en la quebrada con la topografía de las curvas a cada 10.00 m y 5.00 m respectivamente. La figura 5.3.3 y 5.3.4 muestran los resultados de la última sección aguas abajo en la quebrada con sus dos variantes de topografía.

Cabe mencionar que la primera sección no presentará cambios pues es una condición de contorno que HEC-RAS necesita para realizar la modelación.

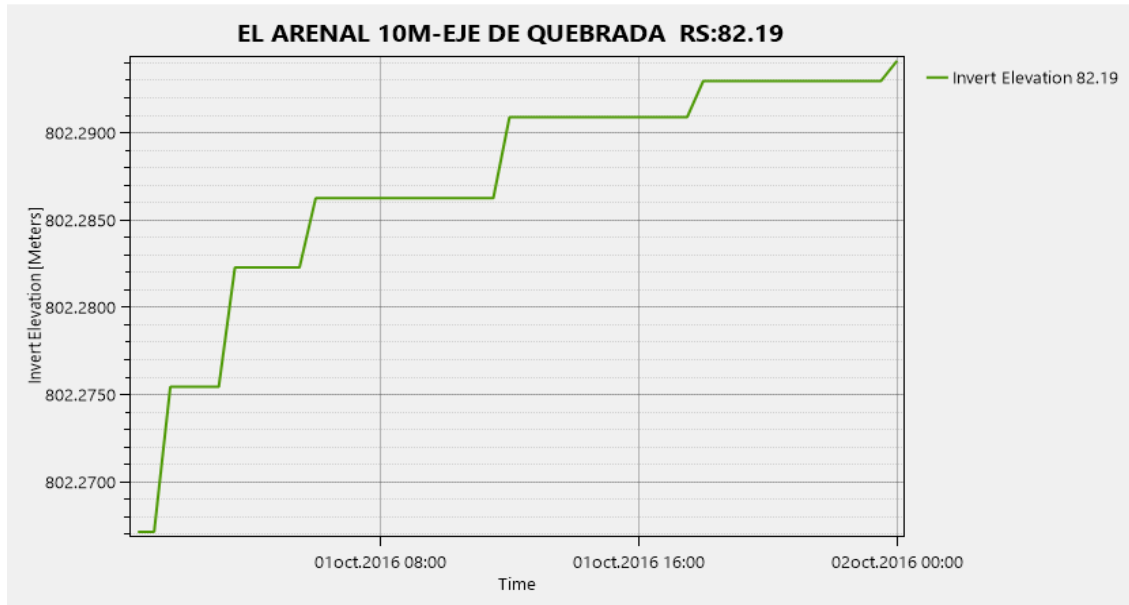


Figura 5.3.1 Gráfica que representa el cambio de elevación que sufre la sección 2 de la quebrada El Arenal de Mejicanos.

Fuente: Elaboración propia, Capturar del programa HEC-RAS.

En la figura 5.3.1 se observa el cambio de elevación mientras ocurre el flujo del período de retorno de 2 años en la topografía de las curvas a cada 10.00 m. Se puede observar que la sección inicia con una elevación de 802.265 m, luego el material transportado es depositado en la sección hasta llegar a una elevación de 802.295 m. Por lo tanto, en esta sección se depositó 0.03 m.



Figura 5.3.2 Gráfica que representa el cambio de elevación que sufre la sección 2 de la quebrada El Arenal de Mejicanos.

Fuente: Elaboración propia, Capturar del programa HEC-RAS.

En la figura 5.3.2 se observa el cambio de elevación mientras ocurre el flujo del período de retorno de 2 años en la topografía de las curvas a cada 5.00 m. Se puede observar que la sección inicia con una elevación de 799.708 m, luego el material transportado es depositado en la sección hasta llegar a una elevación de 799.717 m. Por lo tanto, esta sección se depositó 0.008 metros.

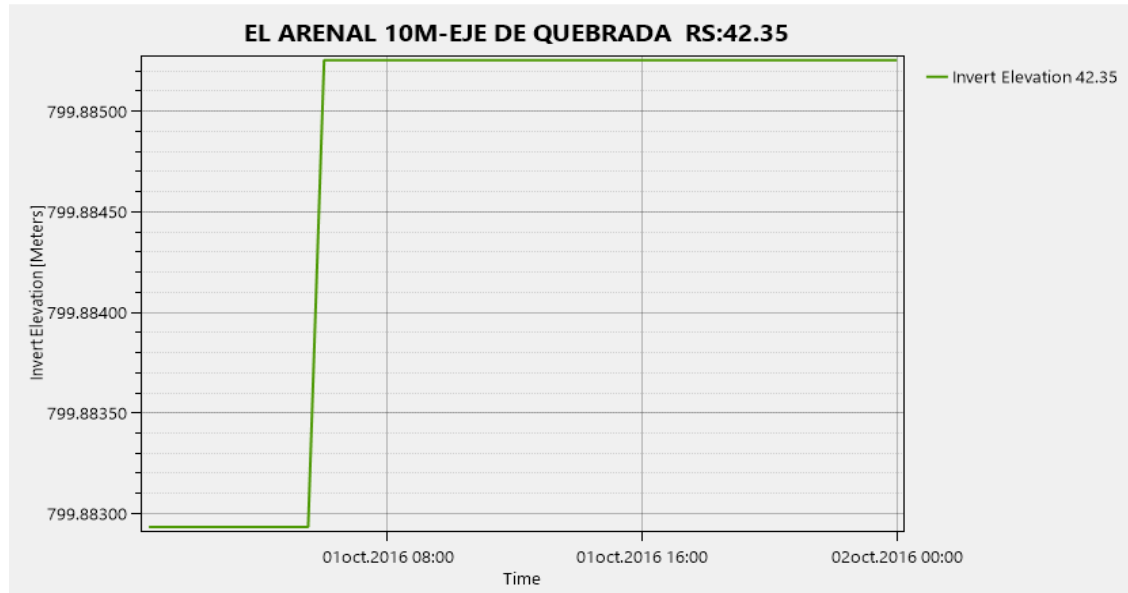


Figura 5.3.3 Gráfica que representa el cambio de elevación que sufre la sección 3 de la quebrada El Arenal de Mejicanos.

Fuente: Elaboración propia, Capturar del programa HEC-RAS.

En la figura 5.3.3 se observa el cambio de elevación mientras ocurre el flujo del período de retorno de 2 años en la topografía de las curvas a cada 10.00 m. Se puede observar que la sección inicia con una elevación de 799.883 m, luego el material transportado es depositado en la sección hasta llegar a una elevación de 799.885 m. Por lo tanto, esta sección se depositó 0.002 milímetros.

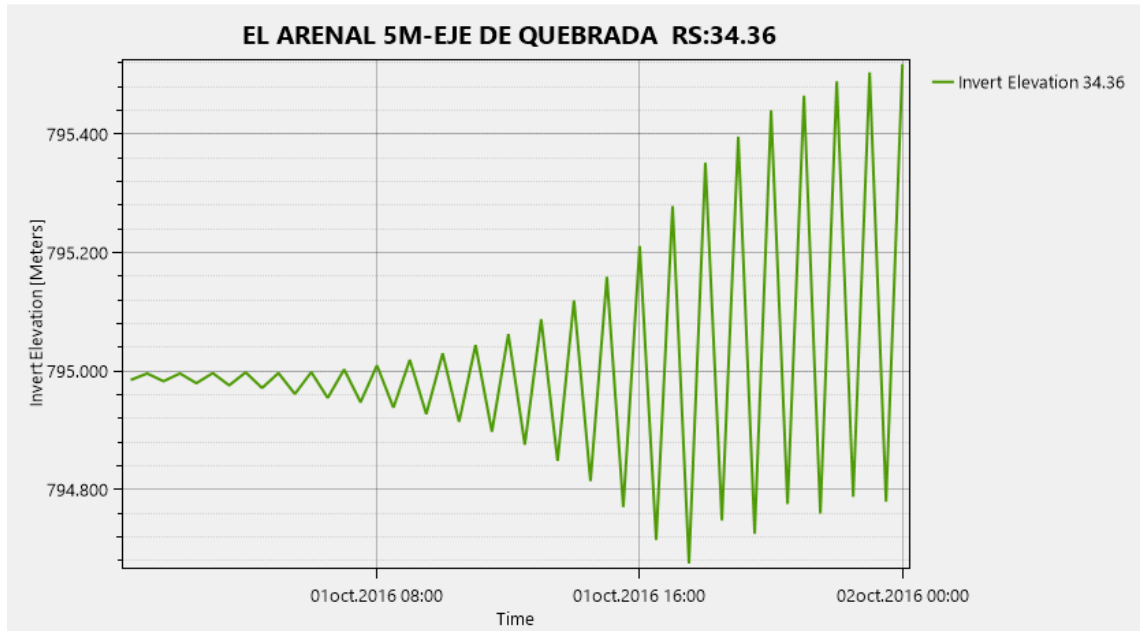


Figura 5.3.4 Gráfica que representa el cambio de elevación que sufre la sección 3 de la quebrada El Arenal de Mejicanos.

Fuente: Elaboración propia, Capturar del programa HEC-RAS.

En la figura 5.3.4 se observa el cambio de elevación mientras ocurre el flujo del período de retorno de 2 años en la topografía de las curvas a cada 10 metros. Se puede observar que la sección inicia con una elevación de 795.000 m, luego el material transportado es depositado en la sección hasta llegar a una elevación de 795.600 m. Por lo tanto, esta sección se depositó 0.60 m. En la gráfica se observa que las partículas son afectadas por una velocidad de caída muy cercana a la velocidad de la suspensión de las partículas, por lo que sufre conflicto entre la caída de las partículas y su suspensión.

5.4 Evaluación cronológica de la quebrada “Las Lajas, La Escalón”

A continuación se presentan los cambios que se obtienen en las secciones de un punto en común en la quebrada Las Lajas con la topografía obtenida de las curvas a cada 10.00 m y a cada 5.00 m. Para ello citamos una de las tablas obtenidas en HEC-RAS, la cual representa los cambios en elevación que sufre una sección de la quebrada mientras sucede el flujo hiperconcentrado modelado. La figura 5.4.1 y 5.4.2 son comparaciones de la sección central de análisis en la quebrada con la topografía de las curvas a cada 10.00 m y 5.00 m respectivamente. La figura 5.4.3 y 5.4.4 muestran los resultados de la última sección aguas abajo en la quebrada con sus dos variantes de topografía.

Cabe mencionar que la primera sección no presentará cambios pues es una condición de contorno que HEC-RAS necesita para realizar la modelación.

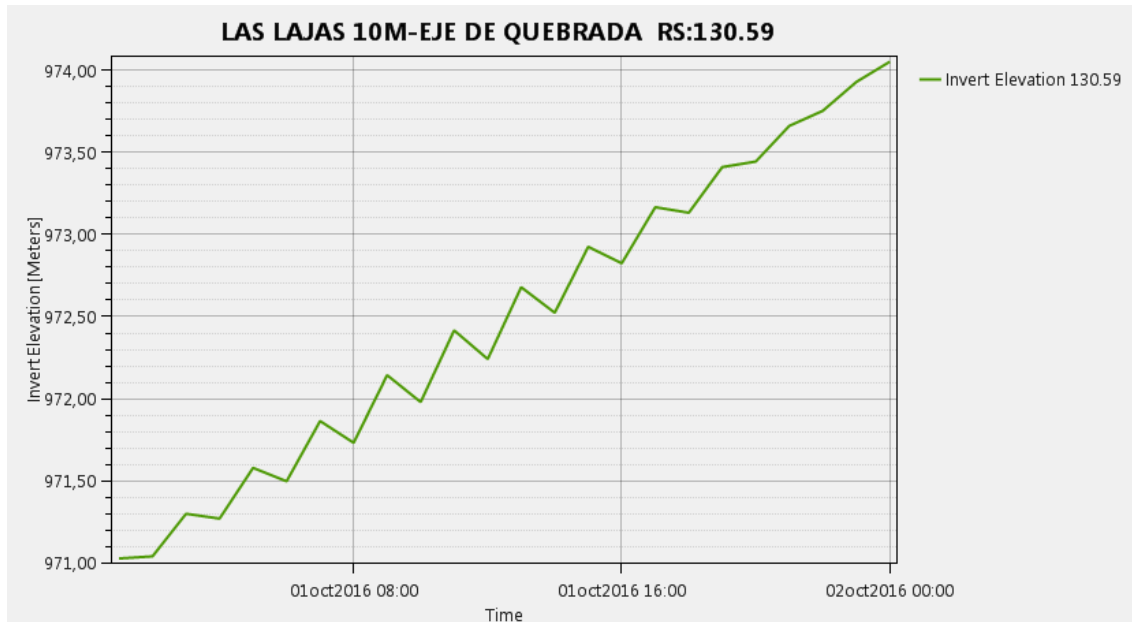


Figura 5.4.1 Gráfica que representa el cambio de elevación que sufre la sección 2 0+130.59 de la quebrada Las Lajas de La Escalón.

Fuente: Elaboración propia, Capturar del programa HEC-RAS.

En la figura 5.4.1 se observa el cambio de elevación mientras ocurre el flujo del período de retorno de 2 años en la topografía de las curvas a cada 10.00 m. Se puede observar que la sección inicia con una elevación de 971.00 m, luego el material transportado es depositado en la sección hasta llegar a una elevación de 974.00 m. Por lo tanto, en esta sección se depositaron 3.00 m de sedimentos.

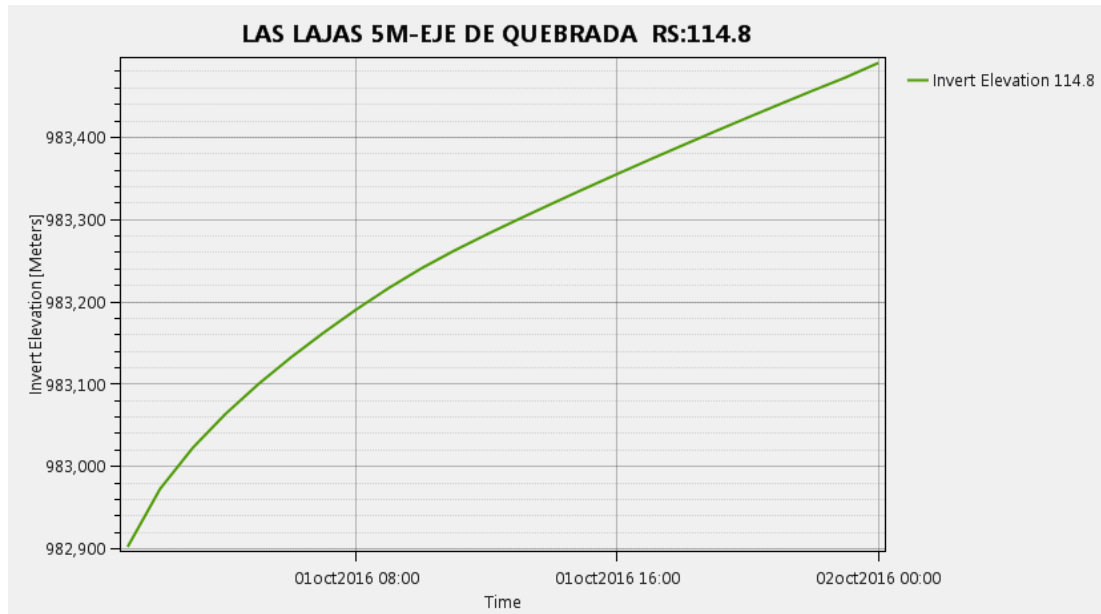


Figura 5.4.2 Gráfica que representa el cambio de elevación que sufre la sección 2 de la quebrada Las Lajas de Le Escalón.

Fuente: Elaboración propia, Capturar del programa HEC-RAS.

En la figura 5.4.2 se observa el cambio de elevación mientras ocurre el flujo del período de retorno de 2 años en la topografía de las curvas a cada 5.00 m. Se puede observar que la sección inicia con una elevación de 982.900 m, luego el material transportado es depositado en la sección hasta llegar a una elevación de 983.600 m. Por lo tanto, en esta sección se depositaron 0.70 m de sedimentos.

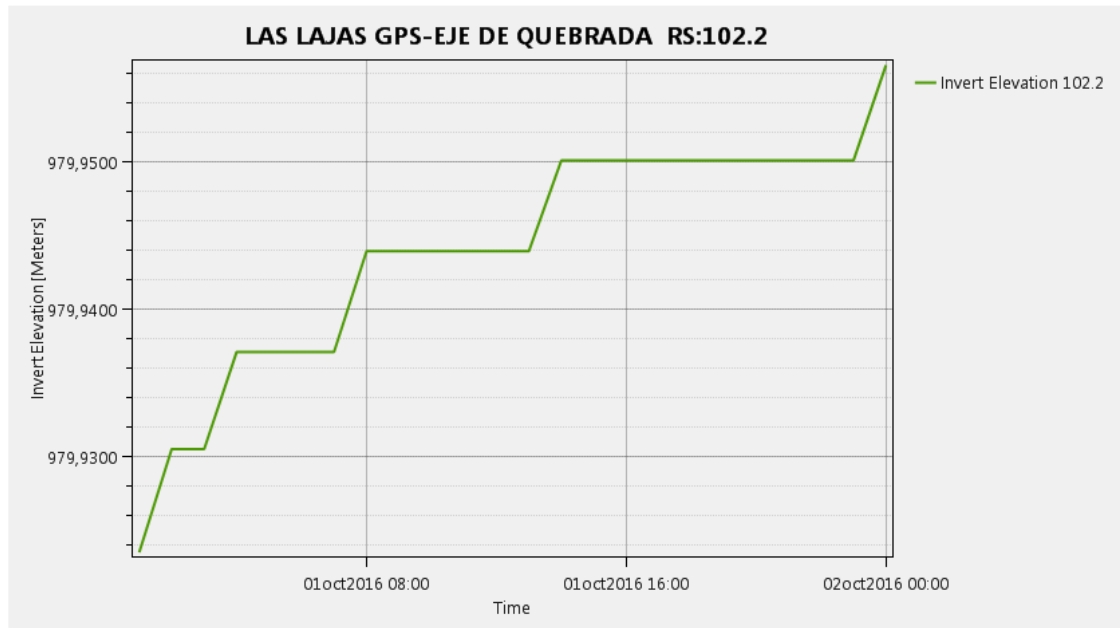


Figura 5.4.3 Gráfica que representa el cambio de elevación que sufre la sección 2 de la quebrada Las Lajas de Escalón.

Fuente: Elaboración propia, Capturar del programa HEC-RAS.

En la figura 5.4.3 se observa el cambio de elevación mientras ocurre el flujo del período de retorno de 2 años en la topografía a cada 5.00 m y la obtenida con GPS. Se puede observar que la sección inicia con una elevación de 979.930 m, luego el material transportado es depositado en la sección hasta llegar a una elevación de 979.960 m. Por lo tanto, en esta sección se depositaron 0.03 m de sedimentos.

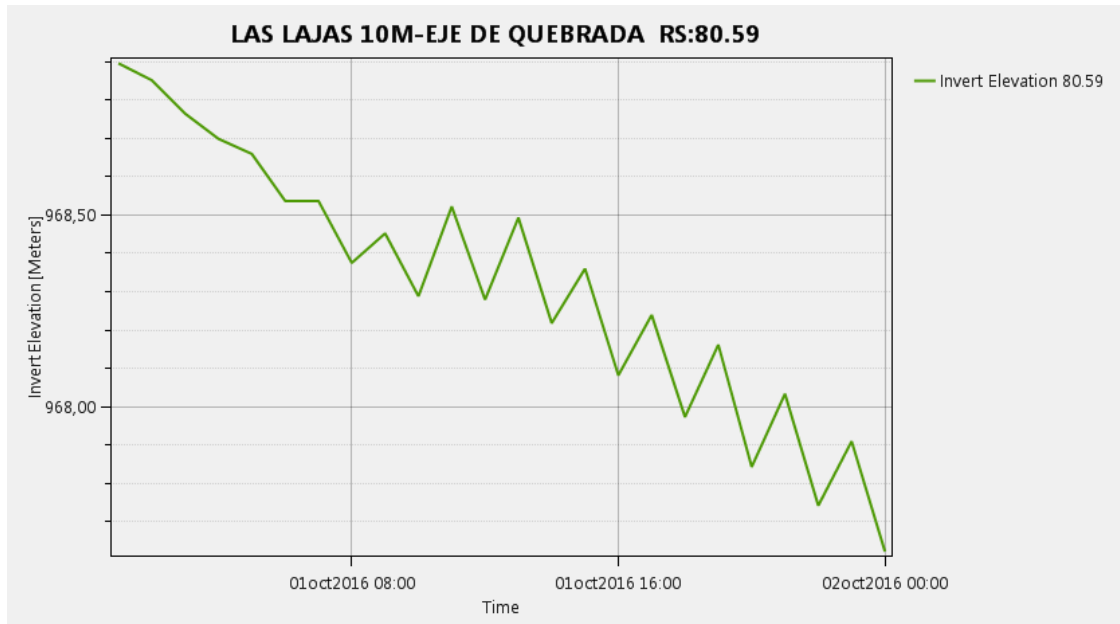


Figura 5.4.4 Gráfica que representa el cambio de elevación que sufre la sección 3 de la quebrada La Lajas en La Escalón.

Fuente: Elaboración propia, Capturar del programa HEC-RAS.

En la figura 5.4.4 se observa el cambio de elevación mientras ocurre el flujo del período de retorno de 2 años en la topografía de las curvas a cada 10.00 m. Se puede observar que la sección inicia con una elevación de 969.000 m, luego el material transportado es depositado en la sección hasta llegar a una elevación de 967.500 m. Por lo tanto, esta sección se erosionó 1.50 m de sedimentos.

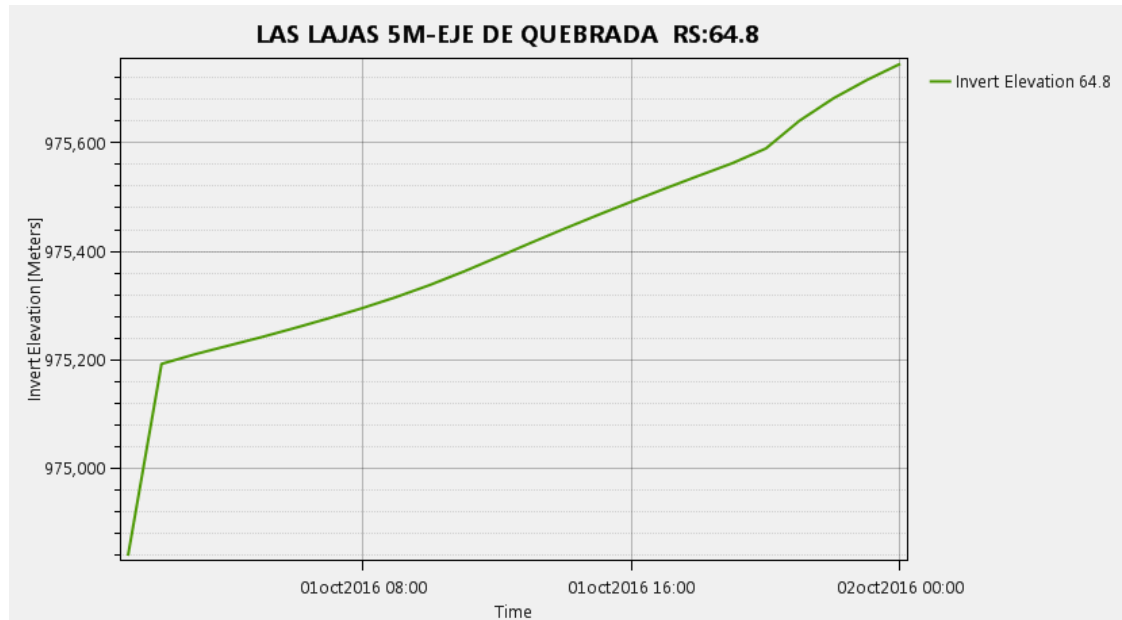


Figura 5.4.5 Gráfica que representa el cambio de elevación que sufre la sección 3 de la quebrada La Lajas en La Escalón.

Fuente: Elaboración propia, Capturar del programa HEC-RAS.

En la figura 5.4.5 se observa el cambio de elevación mientras ocurre el flujo del período de retorno de 2 años en la topografía de las curvas a cada 5.00 m. Se puede observar que la sección inicia con una elevación de 974.800 m, luego el material transportado es depositado en la sección hasta llegar a una elevación de 975.800 m. Por lo tanto, en esta sección se depositaron 1.00 m de sedimentos.

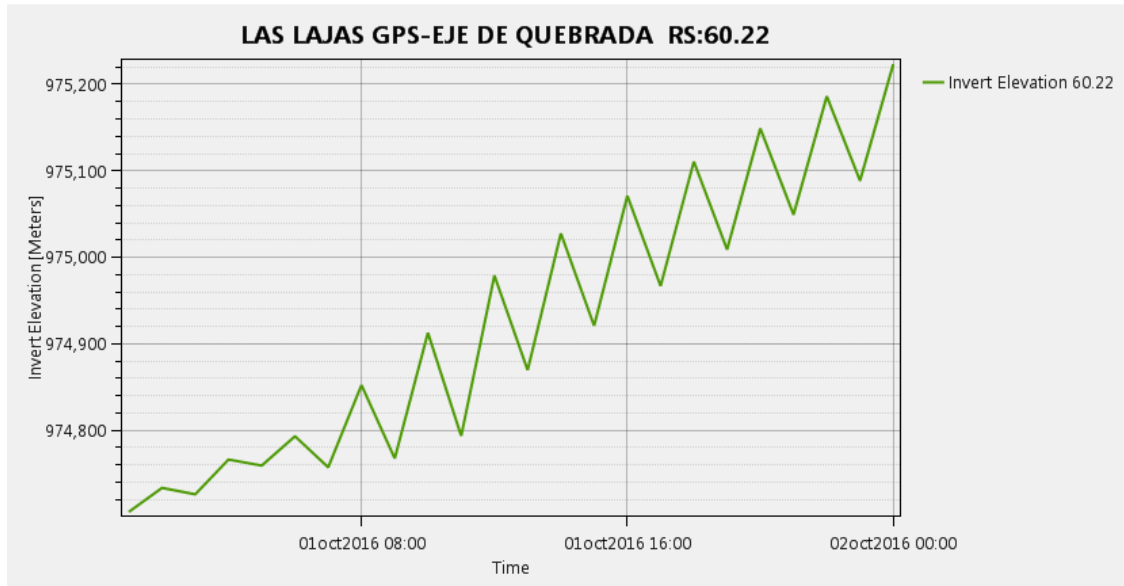


Figura 5.4.6 Gráfica que representa el cambio de elevación que sufre la sección 3 de la quebrada La Lajas en La Escalón.

Fuente: Elaboración propia, Capturar del programa HEC-RAS.

En la figura 5.4.6 se observa el cambio de elevación mientras ocurre el flujo del período de retorno de 2 años en la topografía de las curvas a cada 5 metros y la obtenida con GPS. Se puede observar que la sección inicia con una elevación de 974.700 m, luego el material transportado es depositado en la sección hasta llegar a una elevación de 975.220 m. Por lo tanto, en esta sección se depositaron 0.52 m de sedimentos.

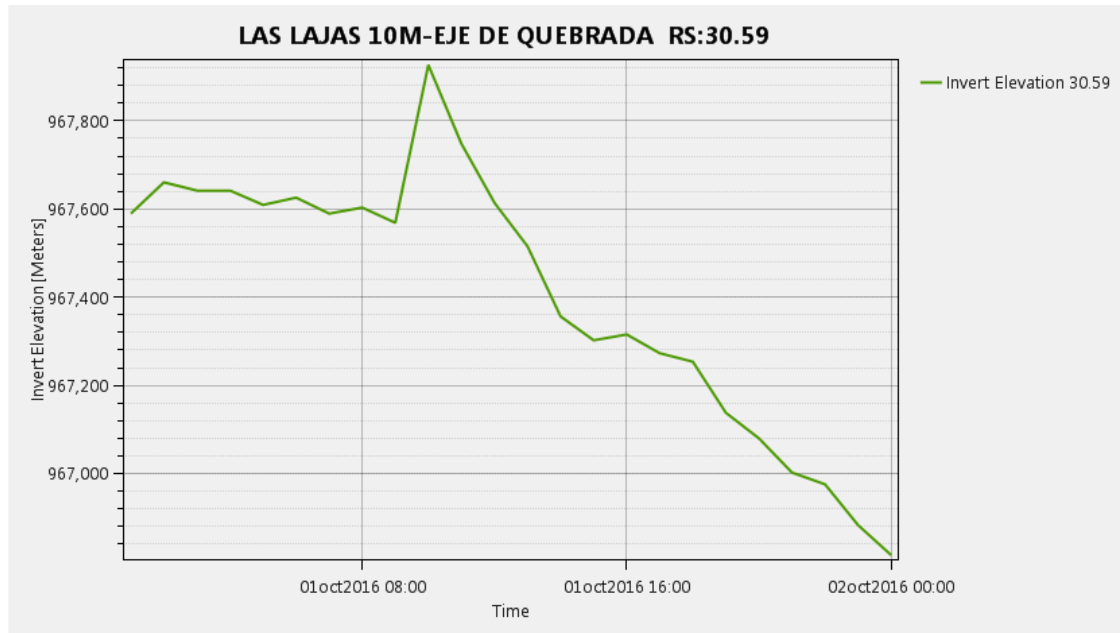


Figura 5.4.7 Gráfica que representa el cambio de elevación que sufre la sección 4 de la quebrada La Lajas en La Escalón.

Fuente: Elaboración propia, Capturar del programa HEC-RAS.

En la figura 5.4.7 se observa el cambio de elevación mientras ocurre el flujo del período de retorno de 2 años en la topografía de las curvas a cada 10 metros. Se puede observar que la sección inicia con una elevación de 967.600 m, luego el material transportado es depositado en la sección hasta llegar a una elevación de 966.800 m. Por lo tanto, esta sección se erosionó 0.80 m de sedimentos.

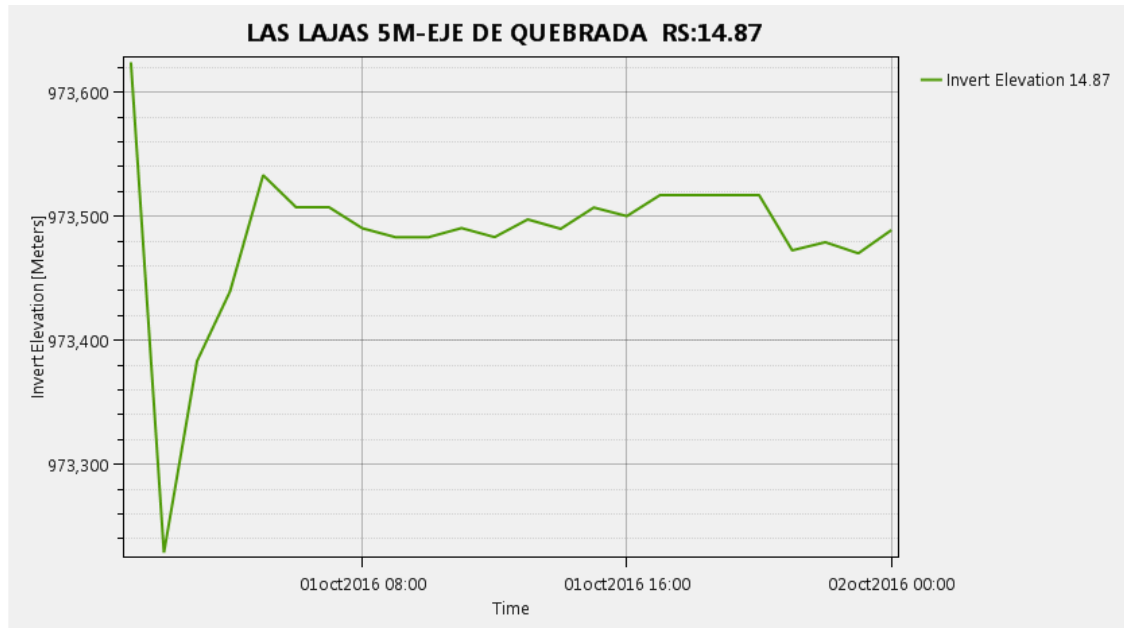


Figura 5.4.8 Gráfica que representa el cambio de elevación que sufre la sección 4 de la quebrada La Lajas en La Escalón.

Fuente: Elaboración propia, Capturar del programa HEC-RAS.

En la figura 5.4.8 se observa el cambio de elevación mientras ocurre el flujo del período de retorno de 2 años en la topografía de las curvas a cada 5 metros. Se puede observar que la sección inicia con una elevación de 973.600 m, luego el material transportado es depositado en la sección hasta llegar a una elevación de 973.500 m. Por lo tanto, esta sección se erosionó 0.10 m de sedimentos.

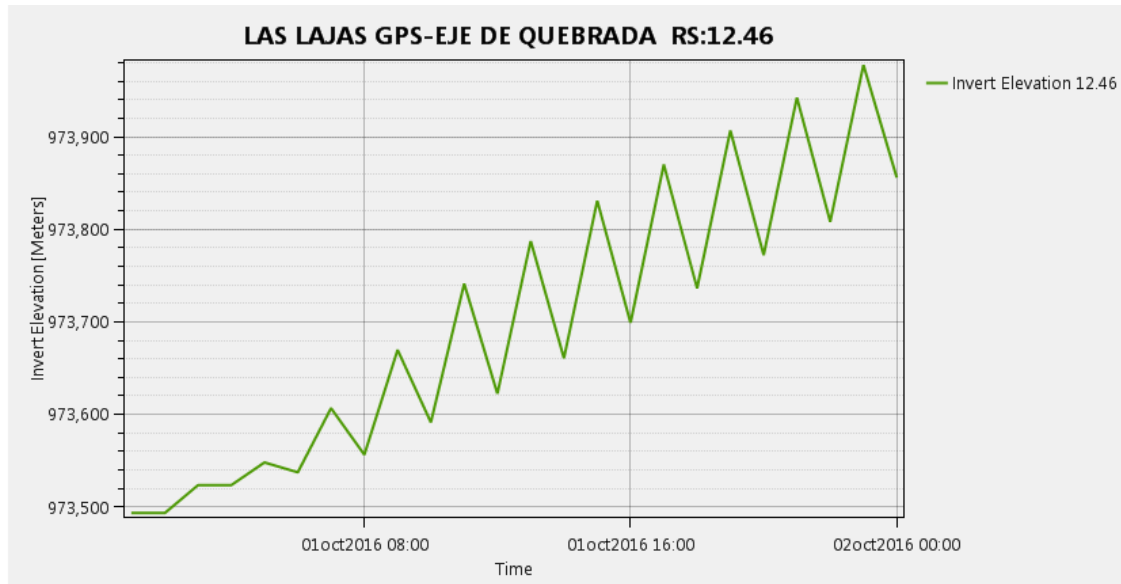


Figura 5.4.9 Gráfica que representa el cambio de elevación que sufre la sección 4 de la quebrada La Lajas en La Escalón.

Fuente: Elaboración propia, Capturar del programa HEC-RAS.

En la figura 5.4.9 se observa el cambio de elevación mientras ocurre el flujo del período de retorno de 2 años en la topografía de las curvas a cada 5 metros y la obtenida con GPS. Se puede observar que la sección inicia con una elevación de 973.500 m, luego el material transportado es depositado en la sección hasta llegar a una elevación de 973.900 m. Por lo tanto, en esta sección se depositaron 0.40 m de sedimentos.

A continuación se muestra las concentraciones obtenidas en las modelaciones hidráulicas con transporte de sedimentos en las tablas 5.4.1, 5.4.2 y 5.4.3. Cabe mencionar que se confrontan los resultados obtenidos de las modelaciones hidráulicas versus el criterio obtenido mediante la recopilación de antecedentes, definiciones y entrevistas con residentes de las zonas de interés.

Tabla 5.1: Resultados: Concentración en volumen de sedimentos de la quebrada Las Lajas obtenidos de HEC-RAS.					
Períodos de Retorno	Concentraciones en Volumen (%)			Tipo de Flujo obtenido	Flujo real
	Curvas a 10.00 m	Curvas 5.00 m	GPS y 5.00 m		
2 Años	0.309	0.263	0.237	Inundación (<5%)	Basados en las investigaciones de antecedentes, entrevistas con residentes de la zona y la experiencia de las visitas de campo, donde se encontró mucha evidencia de la ocurrencia de flujos de
5 Años	0.493	0.250	0.233	Inundación (<5%)	
10 Años	0.274	0.248	0.240	Inundación (<5%)	

20 Años	0.258	0.234	0.308	Inundación (<5%)	<p>escombros, y de la existencia de granos de suelo con diámetros arriba del permitido en HEC-RAS podemos afirmar que el flujo real en cada período de retorno en condiciones reales y con los caudales máximos considerados en las modelaciones sería un flujo de escombros.</p>
25 Años	0.240	0.241	0.403	Inundación (<5%)	
50 Años	0.208	0.233	0.048	Inundación (<5%)	
100 Años	0.264	0.219	0.178	Inundación (<5%)	

Nota: Elaboración propia.

Tabla 5.2: Resultados: Concentración en volumen de sedimentos de la quebrada **Buenos Aires**, obtenidos de HEC-RAS.

Períodos de Retorno	Concentraciones en Volumen (%)			Tipo de Flujo	Flujo Real
	Curvas a 10 m	Curvas 5m	GPS y 5m		
2 Años	0.376	0.242	0.274	Inundación (<5%)	Basados en las investigaciones de antecedentes, entrevistas con residentes de la zona y la experiencia de las visitas de campo, dónde se encontró mucha evidencia de la ocurrencia de flujos de escombros, y de la existencia de granos de suelo con diámetros arriba del permitido en HEC-RAS podemos afirmar que el flujo real en
5 Años	0.300	0.207	0.241	Inundación (<5%)	
10 Años	0.249	0.202	0.228	Inundación (<5%)	
20 Años	0.249	0.199	0.218	Inundación (<5%)	
25 Años	0.244	0.194	0.153	Inundación (<5%)	

50 Años	0.233	0.188	0.209	Inundación (<5%)	cada período de retorno en condiciones reales y con los caudales máximos considerados en las modelaciones sería un flujo de escombros.
100 Años	0.221	0.180	0.203	Inundación (<5%)	

Nota: Elaboración propia.

Tabla 5.3: Resultados: Concentración en volumen de sedimentos de la quebrada El Arenal de Mejicanos obtenidos de HEC-RAS.				
Períodos de Retorno	Concentraciones en Volumen (%)		Tipo de Flujo	Flujo real
	Curvas a 10.00 m	Curvas a 5.00 m		
2 Años	0.098	0.094%	Inundación (<5%)	Basados en las investigaciones de antecedentes, entrevistas con residentes de la zona y la experiencia de las visitas de campo, dónde se encontró mucha evidencia de la ocurrencia de flujos de
5 Años	0.080	0.085%	Inundación (<5%)	
10 Años	0.077	0.078%	Inundación (<5%)	

20 Años	0.073	0.074%	Inundación (<5%)	<p>escombros, y de la existencia de granos de suelo con diámetros arriba del permitido en HEC-RAS podemos afirmar que el flujo real en cada período de retorno en condiciones reales y con los caudales máximos considerados en las modelaciones sería un flujo de escombros.</p>
25 Años	0.085	0.074%	Inundación (<5%)	
50 Años	0.069	0.071%	Inundación (<5%)	
100 Años	0.066	0.069%	Inundación (<5%)	

Nota: Elaboración propia.

CAPTITULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Basado en los objetivos planteados en la presente investigación y los resultados obtenidos de la actualización topográfica y la modelación hidráulica:

- ❖ El uso de GPS de Doble Frecuencia es adecuado para SIG (Sistema de Información Geográfica), mapeo, topografía y construcción; en superficies despejadas, donde no exista vegetación muy densa o sea ligera; debido a que la recepción de señal del satélite se ve altamente afectada en precisión.
- ❖ En las visitas de campo para la obtención de la granulometría y topografía de las quebradas, comprobamos: la presencia de sedimentos de agregado fino en las quebradas posterior a una precipitación, y en los laterales de la quebrada se pudo evidenciar las capas de flujos de escombros; además las actividades antropogénicas han modificado la morfología de las cuencas hidrográficas de las quebradas, aunque en menor medida por ser la cuenca alta y no tan densamente poblada.
- ❖ Los resultados obtenidos para la Quebrada Buenos Aires en Santa Tecla son, respecto a la topografía: el lecho de la quebrada ha descendido y los laterales de la quebrada se han ensanchando comparando la topografía del año 1980 con curvas de nivel a 5.00 m versus la obtenida en el año 2017 por la presente investigación. En el análisis hidráulico para el transporte de sedimentos. Al comparar los resultados de concentración de

sedimentos cuyo valor nos indica la cantidad de sedimentos que pasa por la sección observamos diferencias que indican cuales datos topográficos tienen la mayor facilidad de transporte, al comparar los resultados se observa que la topografía de 10.00 m tiene la mayor facilidad de transporte, en segundo lugar se tiene la combinación entre curvas de 5.00 m y la topografía obtenida del levantamiento y finalmente en tercer lugar las curvas a cada 5.00 m; esto indica que la topografía obtenida del levantamiento combinada con las curvas a cada 5.00 m no es tan propensa al transporte de sedimentos como las curvas a cada 5.00 m, esto se puede traducir a que en el caso de haber un evento de flujo habrá mayor material retenido en este tramo. Ver tabla 6.1.

Tabla 6.1: Resultados: Concentración en volumen de sedimentos de quebrada Buenos Aires obtenidos de HEC-RAS.			
Tormenta con periodo de Retorno	Concentraciones en Volumen (%)		
	Curvas a 10.00 m	Curvas 5.00 m	GPS y 5.00 m
2 Años	0.376	0.242	0.274
5 Años	0.300	0.207	0.241
10 Años	0.249	0.202	0.228
20 Años	0.249	0.199	0.218
25 Años	0.244	0.194	0.153

50 Años	0.233	0.188	0.209
100 Años	0.221	0.180	0.203

Nota: Fuente: Elaboración propia.

- ❖ Los resultados obtenidos para la Quebrada El Arenal en Mejicanos son:
 En el análisis hidráulico para el transporte de sedimentos; Al comparar los resultados de concentración de sedimentos cuyo valor nos indica la cantidad de sedimentos que pasa por la sección, observamos diferencias que indican cuales datos topográficos tienen la mayor facilidad de transporte, al comparar los resultados se observa que la topografía de 10.00 m tiene la mayor facilidad de transporte ya que estas son ligeramente mayores que los valores de las curvas a cada 5.00 m; esto indica que la topografía de las curvas a cada 5.00 m es menos propensa a transportar sedimentos, esto se puede traducir a que en el caso de haber un evento de flujo habrá mayor material retenido en este tramo. Ver tabla 6.2.

Tabla 6.2: Resultados: Concentración en volumen de sedimentos de la quebrada El Arenal obtenidos de HEC-RAS.		
Tormenta con periodo de Retorno	Concentraciones en Volumen (%)	
	Curvas a 10.00 m	Curvas 5.00 m
2 Años	0.098	0.09
5 Años	0.080	0.09

10 Años	0.077	0.08
20 Años	0.073	0.07
25 Años	0.085	0.07
50 Años	0.069	0.07
100 Años	0.066	0.07

Nota: Fuente: Elaboración propia.

- ❖ Los resultados obtenidos para la Quebrada Las Lajas en la colonia Escalón son, respecto a la topografía: el lecho de la quebrada ha presentado cambios, comparando la topografía del año 1980 con curvas de nivel a 5.00 m versus la obtenida en el año 2017 por la presente investigación. En el análisis hidráulico para el transporte de sedimentos; Al comparar los resultados de concentración de sedimentos cuyo valor nos indica la cantidad de sedimentos que pasa por la sección observamos diferencias que indican cuales datos topográficos tienen la mayor facilidad de transporte, al comparar los resultados se observa que la topografía de 10.00 m tiene la mayor facilidad de transporte, en segundo lugar se tiene la combinación entre curvas de 5.00 m y finalmente en tercer lugar la topografía obtenida del levantamiento combinada con las curvas a cada 5.00 m; esto indica que la topografía obtenida del levantamiento combinada con las curvas a cada 5.00 m es la más propensa al transporte de sedimentos, esto se puede traducir a que en el caso de haber un evento de flujo habrá mayor material retenido en este tramo. Ver tabla 6.3.

Tabla 6.3: Resultados: Concentración en volumen de sedimentos de la quebrada Las Lajas obtenidos de HEC-RAS.			
Tormenta con periodo de Retorno	Concentraciones en Volumen (%)		
	Curvas a 10 m	Curvas 5m	GPS y 5m
2 Años	0.309	0.263	0.237
5 Años	0.493	0.25	0.233
10 Años	0.274	0.248	0.240
20 Años	0.258	0.234	0.308
25 Años	0.240	0.241	0.403
50 Años	0.208	0.233	0.048
100 Años	0.264	0.219	0.178

Nota: Elaboración propia.

6.2 Recomendaciones

- Es recomendable que se utilicen equipos complementarios al GPS para realizar levantamientos en zonas con alta vegetación (Estación total teodolitos, prismas, etc.) pues la recepción de la señal se ve afectada en zonas vegetadas.
- Para el análisis de flujos de escombros en quebradas este se lleve a cabo tomando en cuenta las limitaciones de las teorías que esta aplica como lo es la granulometría, los rangos de temperatura, la gravedad específica del material, etc.
- Para los casos en que un proyecto se trabaje en diferentes computadoras estas tengan la misma versión del programa, ya que en ocasiones el uso de diferentes versiones puede desenlazar archivos de un proyecto e impedir la modificación de archivos.
- El uso de RASflipper como un software de comunicación entre Civil 3D y HEC-RAS para la obtención de los archivos geo procesados en Civil 3D versión estudiantil y que son importados en HEC-RAS.
- Para hacer una modelación hidráulica de flujos hiperconcentrados o transporte de sedimentos en HEC-RAS se requiere obtener los siguientes datos de campo: granulometría, topografía, profundidad de la capa de sedimentos susceptible a erosión, datos históricos de inundaciones y flujos de escombros, y evaluación de laterales en quebrada o taludes que den indicios de zonas de depósito o volúmenes de escombros.

- Realizar monitoreos constantes dentro de las quebradas estudiadas en el presente trabajo de graduación, las cuales presentan susceptibilidad a inundaciones y por tanto representan un peligro para los habitantes de las zonas aguas abajo, sobre todo por tratarse de un volcán.
- Utilizar los datos de topografía derivados de LIDAR, ya que no se nos proporcionó para esta investigación, y será de mucha utilidad para un mejor análisis.
- Realizar este análisis en cuencas con erosiones más intensas (Rio Las Cañas en Ilopango y/o Jiboa en Cuscatlán) y no en cuencas susceptibles a flujo de escombros.

BIBLIOGRAFÍA

Ana Deisy López Ramos, *GESTIÓN DE RIESGOS URBANOS, INUNDACIONES URBANAS EN EL SALVADOR*, El Salvador, Servicio Hidrológico Nacional, Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET).

ANA PATRICIA NIETO RODRÍGUEZ, PAUL EDUARDO RIVAS ROMERO, NANCY MARIANA DEL CARMEN ZACARÍAS CALLEJAS, “METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN REGIONES PROPENSAS A DESLIZAMIENTO EN EL SALVADOR”, Ingeniero Civil, El Salvador, Universidad de El Salvador, Agosto 2007.

“ANÁLISIS DE RIESGO POR INUNDACIONES Y DESLIZAMIENTO DE TIERRA EN LA MICROCUENCA DEL ARENAL DE MONTSERRAT”, El Salvador, San Salvador, Noviembre 2013

Arismar Marcano Montilla, Scarlet Cartaya Ríos, *LA GESTIÓN DE RIESGOS DE DESASTRES Y EL USO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG): ALGUNAS CONSIDERACIONES*, CONHISREMI, Revista Universitaria Arbitrada de Investigación y Diálogo Académico, Vol. 6, No. 3, 2010.

Banco Interamericano de Desarrollo, División de Medio Ambiente, Desarrollo Rural y Gestión del Riesgos por Desastres, *PERFIL DE RIESGOS DE*

DESASTRES POR INUNDACIONES PARA EL SALVADOR Nota Técnica N°
IDB-TN-877, Marzo 2016.

Brent Travis, Martin Teal, Jake Gusman, *Best methods and inherent limitations of bulked flow modeling with HEC-RAS*, <https://www.researchgate.net/publication/268588612>, Consultado: Diciembre 2017.

Carlos Fernando Varela, *Sistemas de Posicionamiento y de Navegación Satelital*, Revista de Tecnología, http://m.uelbosque.edu.co/sites/default/files/publicaciones/revistas/revista_tecnologia/volumen2_numero2/sistemas_posicionamiento2-2.pdf, Consultado: Mayo 2017

Abreviado: *Sistemas de Posicionamiento Global*

Carlson MINI2, CRALSON BREACK NEW GROUND, <http://www.carlsonsw.com/products/hardware/mini/>, Consultado: Abril de 2017.

Coordinado por Belén Benito y los Participantes: M.J. García, J. Fábrega, M.E. Jiménez, A.Ma. Domingo, J.A. Pastor, R.Ma. García, P. Barrera, A. Díez, J. Aguirre, *RIESGO SÍSMICO Y PELIGRO DE DESLIZAMIENTO DE LADERAS EN*

EL SALVADOR III, Proyecto con América Latina, España, Madrid, Universidad Politécnica de Madrid, 2007.

Cruz Roja Española, Informe de situación: Terremotos en El Salvador 2001, <http://reliefweb.int/report/el-salvador/informe-de-situaci%C3%B3n-terremotos-en-el-salvador-2001>, Consultado: Abril de 2017.

Cruz Roja Salvadoreña, Tristeza, Desesperación y necesidades provocó la erupción del volcán Ilamatepec de Santa Ana, en El Salvador, <http://reliefweb.int/report/el-salvador/tristeza-desesperaci%C3%B3n-y-necesidades-provoc%C3%B3-la-erupci%C3%B3n-del-volc%C3%A1n-ilamatepec-de>, Consultado: Abril de 2017.

David Abelardo García Álvarez, Sistema GNSS (Global Navigation Satellite System), PROYECTO FIN DE CARRERA, España, Madrid, Universidad Autónoma de Madrid, Enero 2008, <http://arantxa.ii.uam.es/~jms/pfcsteleco/lecturas/20080125DavidGarcia.pdf>,

Consultado: Abril de 2017, 6-7, 7-8, 8-9.

Abreviado: Sistema GNSS (Global Navigation Satellite System)

“Deslave en Colonia Escalón, por desborde quebrada Las Lajas”, *El Salvador Noticias.net*, 3 noviembre 2015,

<http://www.elsalvadornoticias.net/2015/11/03/deslave-en-colonia-escalon-por-desborde-quebrada-las-lajas/>, Consultado Febrero 2017.

“*Dos poblados de Guatemala desaparecen enterrados*”, 20 minutos, 8 de octubre 2005, <http://www.20minutos.es/noticia/54681/0/terremoto/salvador/seismo/>, Consultado: Abril de 2017.

Emilio Lacho Ramos, Juan Carlos Rodríguez Mendoza, *MODELAMIENTO DE FLUJOS DE DETRITOS EN LA QUEBRADA SAN ANTONIO DE PEDREGAL USANDO FLO – 2D*, PERÚ, XXVII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA LIMA DEL 28 AL 30 DE SETIEMBRE DE 2016.

Hydrologic Engineer Center, *HEC-RAS River Analysis System Applications Guide*, Versión 5.0, US Army Corp Engineers, February 2016

Hydrologic Engineer Center, *HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual*, Versión 5.0, US Army Corp Engineers, February 2016

Abreviado: Manual de referencias

Hydrologic Engineer Center, *HEC-RAS River Analysis System User Manual*, Versión 5.0, US Army Corp Engineers, February 2016

Ing. Jaime Suarez, *DESLIZAMIENTO: ANÁLISIS GEOTÉCNICO*, Tomo 1,
<http://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-i-analisis-geotecnico.html>,

Consultado: Febrero 2017.

Ing. Wilfredo Amaya Zelaya, “Sistema geodésico mundial WGS 1984”,
Corporación Centroamericana de Servicios de Navegación Aérea, Instituto
Centro Americano de Capacitación Aeronáutica (ICCAE)

Abreviado: Sistema geodésico mundial WGS-1984

Ing. Wilfredo Amaya Zelaya, “Reseña Historica de la Geodesia en El Salvador”,
El Salvador, CENTRO NACIONAL DE REGISTROS, INSTITUTO GEOGRÁFICO
Y DEL CATASTRO NACIONAL,
http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Bol09/09_Amaya_ElSalvador.pdf,

Consultado: Abril de 2017.

Abreviado: Reseña Historica de la Geodesia en El Salvador

Ingrid Altagracia Alfaro López, “Debris flow Characteristic along the Main Channel
with Structures in the Arenal de Mejicanos, San Salvador, El Salvador” Tesis de
maestría, Notional Graduate Institute for Policy Studies (GRIPS), Tokyo, Japan,
Agosto 2014

Javier Sanchez San Roman, *Manual Introductorio a HEC-RAS*, Departamento de Geología, España, Salamanca, Universidad de Salamanca.

Jefe de P. Cesar Elias, Jiri Sebesta, Walter Hernández, José Alexander Chávez, *ESTUDIOS ESPECIALES DE RECONOCIMIENTO DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA LA REDUCCIÓN DE LOS RIESGOS NATURALES EN EL ÁREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR, EL SALVADOR, CARTOGRAFÍA Y EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS EROSIVOS EN EL ÁREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR* PROYECTO DE COOPERACIÓN TÉCNICA ENTRE LA EMBAJADA DE LA REPÚBLICA CHECA Y LA OFICINA DE PLANIFICACIÓN DE ÁREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR, EL SALVADOR, El Salvador, San Salvador 2010.

Jefe de P. Petr Hradecký, Jefe de P. El Salvador Jiri Sebesta, Editor Veronika Kopackoyá, *ESTUDIOS ESPECIALES DE RECONOCIMIENTO DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA LA REDUCCIÓN DE LOS RIESGOS NATURALES EN EL ÁREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR, EL SALVADOR, ANÁLISIS DEL MODELO DIGITAL DEL RELIEVE (MDR), ESTUDIOS GEOLÓGICOS REGIONALES PARA RECONOCIMIENTO DE PELIGROS NATURALES EN PARTE CENTRAL DE CENTROAMÉRICA - EL SALVADOR*, Praga 2009.

Jiri Sebesta, "GEOMORFOLOGÍA DEL AMSS Y SU RELACIÓN CON LOS MOVIMIENTOS DE LADERA" El Salvador, San Salvador, Septiembre 2007

Abreviado: "Geomorfología del AMSS y su relación con los movimientos de ladera"

J.J. Mayor, S.P. Schilling, D.J. Sofield, C.D. Escobar y C.R. Pullinger, *RIESGOS VOLCÁNICOS EN LA REGIÓN DE SAN SALVADOR, EL SALVADOR*, Investigación Geológica de los Estados Unidos, Reporte archivo abierto 01-366, Vancouver, Washington U.S.A., 2001.

Abreviado: Riesgos volcánicos

Johnny Alexander Vega Gutierrez, "ESTIMACIÓN DEL RIESGO POR DESLIZAMIENTO DE LADERAS GENERADOS POR EVENTOS SÍSMICOS EN LA CIUDAD DE MEDELLÍN USANDO HERRAMIENTAS DE LA GEOMÁTICA: CASO APLICADO A EDIFICACIONES URBANAS" Tesis de maestría, Argentina, Universidad Nacional de La Plata, La Plata 2013.

Jordi Oliveras, *10 consejos para facilitarte el trabajo en HEC-RAS*

JORGE LUIS CHICAS CIENFUEGOS, NAZIRA ESPERANZA MARTINEZ ZARABIA, "PROPUESTAS DE SOLUCIONES TEMPRANAS CON OBRAS DE INGENIERÍA DE BAJO COSTO; PARA MITIGACIÓN DE RIESGOS Y

CONTROL DE VULNERABILIDAD, EN ZONAS DE DESLIZAMIENTOS EN LADERAS DE MONTAÑAS Y VOLCANES EN EL SALVADOR”, Ingeniero Civil, El Salvador, Universidad de El Salvador, Agosto 2012

“La tormenta Stan deja en El Salvador 23 muertos y miles de evacuados”, 20 minutos, 4 de octubre 2005, <http://www.20minutos.es/noticia/53026/0/stan/tormenta/huracan/>, Consultado: Abril de 2017.

Leonardo S. Nanía, Emilio Molero, *Manual Básico de HEC-RAS 3.1.3 y HEC-GeoRAS 3.1.1*, Nicaragua, Universidad de Granada, Febrero de 2007.

LILIANA MARÍA BENÍTEZ MARTÍNEZ, “INSUMOS TÉCNICOS PARA LA MODELACIÓN PROBABILÍSTICA DE RIESGO DE INUNDACIONES EN LA CUENCA DEL RÍO SUCIO UTILIZANDO EL MODELO CAPRA” Ingeniera Civil, El Salvador, Universidad de El Salvador, Junio 2016.

Lorena Bieres, “Alud de piedras obstruye calles principales de las colonias La Sabana”, El Salvador, *La página*, 30 mayo del 2010, <http://www.lapagina.com.sv/nacionales/33051/Alud-de-piedras-obstruye-calles-principales-de-las-colonias-La-Sabana>, Consultado: Enero 2017.

Manuel Orellana, "Polideportivo Merliot dañado por avalancha", El Salvador, *El Diario de Hoy*, 4 Octubre 2005, <http://archivo.elsalvador.com/noticias/2005/10/04/deportes/dep1.asp>,

Consultado: Enero 2017.

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), A ocho años de la Erupción del Ilamatepec, <http://www.marn.gob.sv/a-ocho-anos-de-la-erupcion-del-ilamatepec/>, Consultado: Abril de 2017.

NELSON ANTONIO ESCALANTE MIJANGO, GLENDA MARGARITA MAGAÑA RETANA, HORTENSIA DEL CARMEN MIRANDA SANTOS, "EVALUACIÓN DEL MODELO DE HUMEDAD DEL SUELO DEL SISTEMA GUIA DE INUNDACIONES PRODUCIDAS POR CRECIDAS REPENTINAS", Ingeniero Civil, El Salvador, Universidad de El Salvador, Septiembre 2015.

Néstor Ricardo Suárez Zambrano, Javier Alfonso Suárez Sánchez, "CARACTERIZACIÓN, ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DE LOS FLUJOS DE LODOS Y DETRITOS EN LA CUENCA DE LA QUEBRADA ANGULITO EN GIRÓN, SANTANDER", Ingeniero Civil, Colombia, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga 2006.

OPAMSS, "Expansión Urbana y Uso de Suelos," El Salvador, http://www.opamss.org.sv/index.php?option=com_content&view=article&id=129:expansion-urbana-consumo-de-suelo-en-el-amss&catid=22&Itemid=167,

Consultado Noviembre 2016,

OPAMSS, "HISTORIA", El Salvador, <http://opamss.org.sv/images/HISTORIA.pdf>,

Consultado: Noviembre 2016.

Abreviado: Historia OPAMSS

Roberto Vásconez, Minard Hall, Patricia Mothes, *DEVASTADORES FLUJOS DE LODO DISPARADOS EN EL VOLCÁN CARIHUAYRAZO POR EL TERREMOTO DEL 20 DE JUNIO DE 1698*, Ecuador, Quito, Escuela Politécnica Nacional, Quito 2009.

S320 GNSS Survey Receiver User Guide, [https://hemispheregnss.com/Portals/0/TechnicalDocumentation/875-0281-000_C1%20\(MNL,USER,S320\)%20web.pdf](https://hemispheregnss.com/Portals/0/TechnicalDocumentation/875-0281-000_C1%20(MNL,USER,S320)%20web.pdf), Consultado: Abril de 2017.

Servicio Hidrológico Nacional, *UMBRALES DE INTENSIDAD DE LLUVIA PARA LA GENERACIÓN DE UN SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA EN EL ÁREA METROPOLITANA DE SAN SALVADOR*, El Salvador, Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET).

Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET), "*LEVANTAMIENTO DE DESLIZAMIENTOS DE TIERRA EN EL VOLCÁN DE SAN SALVADOR*", El Salvador,

<http://www.snet.gob.sv/Geologia/Deslizamientos/Documentos/levantamiento-deslizamientos-vss/informe%20final.pdf>, Consultado: noviembre 2016.

Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET), *LEVANTAMIENTO DE DESLIZAMIENTOS DE TIERRA EN EL VOLCÁN DE SAN SALVADOR*, El Salvador,

<http://www.snet.gob.sv/Geologia/Deslizamientos/Documentos/levantamiento-deslizamientos-vss/informe%20final.pdf>, Consultado: Abril 2017.

Abreviado: LEVANTAMIENTO DE DESLIZAMIENTOS DE S.S.

Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET), Material de apoyo del proyecto "MITIGACIÓN DE LOS EFECTOS MULTIAMENAZA DEL VOLCÁN DE SAN SALVADOR", El Salvador, Marzo 2012

Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET), Sin título, El Salvador, <http://portafolio.snet.gob.sv/digitalizacion/pdf/spa/doc00200/doc00200-contenido.pdf>, Consultado: Abril de 2017.

Takahashi y Tokutsuma, *Dreiss Flow* 2 edición, CRC Press Taylor & Francis Group

Ven Te Chow, *HIDRÁULICA DE CANALES ABIERTOS*, McGraw Hill, 1994.

VICTOR ALFONSO MARTINEZ SERRANO, JOSE MARIO MENA, JACQUELINE YAMILETH RIVERA AYALA “EVALUACIÓN DEL SISTEMA GUÍA PARA INUNDACIONES PRODUCIDAS POR CRECIDAS REPENTINAS EN AMÉRICA CENTRAL, CAFFG, PARA EVENTOS EXTREMOS EN EL SALVADOR”, Ingeniero Civil, Universidad de El Salvador, Septiembre 2012.

Víctor Javier Niño Piña, Carlos Eduardo Cubillos Peña, *COMPARACIÓN DE CRITERIOS DE ENGROSAMIENTO DEL FLUJO PARA LA SIMULACIÓN DE AVALANCHAS EN CASOS COLOMBIANOS DE ESTUDIO*, PERÚ, XXVII CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA LIMA, 28 AL 30 DE SETIEMBRE DE 2016.

Glosario:

1. **Canal:** Los canales son conductos abiertos o cerrados en los cuales el agua circula debido a la acción de la gravedad y sin ninguna presión, pues la superficie libre del líquido está en contacto con la atmósfera; esto quiere decir que el agua fluye impulsada por la presión atmosférica y de su propio peso.
2. **Coeficientes de Rugosidad:** Es un parámetro que determina el grado de resistencia, que ofrecen las paredes y fondo del canal al flujo del fluido. Mientras más áspera o rugosa sean las paredes y fondo del canal, más dificultad tendrá el agua para desplazarse.
3. **Condiciones hidrometeorológicas:** Condiciones estrechamente ligada a la meteorología, la hidrología, la climatología; evaporación, condensación, precipitación, infiltración y derramamiento superficial.
4. **Cuenca Hidrográfica:** Se denomina cuenca hidrográfica a una zona cuyas aguas se drenan a través de un solo sistema natural de drenaje a través de un río. Una cuenca se puede dividir en tres zonas: cuenca alta, cuenca media y cuenca baja.
5. **Curvas de nivel:** Una curva de nivel es aquella línea que une todos los puntos que tienen igualdad elevación.

6. **Deformación:** La deformación es el cambio en el tamaño o forma de un cuerpo o partícula debido a esfuerzos internos producidos por una o más fuerzas aplicadas.
7. **Erosión fluvial:** Es la acción de desgaste ocasionado por las aguas de ríos, los ríos se caracterizan por erosionar verticalmente el terreno.
8. **Escorrentía:** La escorrentía hace referencia a la lámina de agua que circula sobre la superficie en una cuenca de drenaje, es decir, la altura en milímetros del agua de lluvia escurrida y extendida.
9. **Fuerza de Cohesión:** Son las fuerzas que atraen y mantienen unidas las partículas en el flujo. Es la acción o la propiedad de las partículas, de cómo se pegan entre sí, por fuerzas de carácter atractivo.
10. **Flujo de Agua Subterránea:** El sistema de agua subterránea se recarga debido a la precipitación pluvial y el agua fluye hacia los arroyos a través de este sistema.
11. **Flujos de Escombros:** Son una mezcla de sedimentos pobremente clasificados, que se mueven pendiente abajo, bajo los efectos de la gravedad y se presentan en diversos ambientes.
12. **Flujos de Lodos:** Los flujos de lodo consisten en altas concentraciones de partículas finas (limos y arcillas).
13. **Flujo no permanente:** En este tipo de flujo en general las propiedades de un fluido y las características mecánicas del mismo serán diferentes de un

punto a otro dentro de su campo, además si las características en un punto determinado varían de un instante a otro.

14. **Flujo permanente:** Este tipo de flujo se caracteriza porque las condiciones de velocidad de escurrimiento en cualquier punto no cambian con el tiempo, o bien, si las variaciones en ellas son tan pequeñas con respecto a los valores medios.
15. **Geodesia:** Trata del levantamiento y de la representación de la forma y de la superficie de la Tierra, global y parcial, con sus formas naturales y artificiales.
16. **Granulometría:** Es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado, tal como se determina por análisis de tamices de una formación sedimentaria y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica.
17. **Gravedad Específica:** Es la relación entre la masa de un cierto volumen de sólidos a una temperatura dada y la masa del mismo volumen de agua destilada y libre de gas, a la misma temperatura.
18. **Hidrología:** Hidrología es la ciencia natural que estudia al agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos.

19. **Impermeable:** Terreno formado de grano fino con poros demasiado pequeños para permitir el paso del agua, a excepción del paso lento por capilaridad.
20. **Inundaciones:** Una inundación se define como una descarga de agua extraordinaria con concentración de sedimentos de menos del 5% en volumen.
21. **Ladera:** Pendiente de una montaña o elevación del terreno por cualquiera de sus lados.
22. **Lahar:** Son fluidos compuesto de sedimentos volcánicos con una gran cantidad de agua. Estos flujos se pueden provocar por la saturación de agua en los macizos volcánicos provocando el arrastre de material, ya sea por intensas lluvias o deshielo.
23. **Licuefacción:** La licuación ocurre cuando un material no consolidado (generalmente arenas) pierde su resistencia al esfuerzo cortante a causa de una vibración intensa y rápida (sismos), que rompe su estructura granular al reducir su presión inter-granular.
24. **Magma:** El magma es una roca fundida en forma líquida se encuentra sólo por debajo de la superficie de la tierra.
25. **Perfil:** Es una representación del relieve del terreno que se obtiene cortando transversalmente las líneas de un mapa de curvas de nivel, o mapa topográfico.

26. **Placas Tectónica:** Son aquellas porciones de litósfera que se ubican debajo de la superficie o de la corteza terrestre del planeta. Son de material rígido y se ubican sobre la astenósfera.
27. **Precipitación:** Es cualquier forma de hidrometeoro que cae de la atmósfera y llega a la superficie terrestre. Este fenómeno incluye lluvia, llovizna, nieve, aguanieve, granizo, en nuestro país la forma más común de precipitación es lluvia.
28. **Presión de poros:** Se refiere a la presión que ejerce el agua subterránea atrapada en el suelo o en la roca, en huecos situados entre el agregado llamados poros.
29. **Productos Caldericos:** Materiales provenientes de una erupción volcánica que se depositan dependiendo de su peso en las zonas próximas o lejanas a la erupción.
30. **Quebrada:** Paso estrecho encajonado por montañas cuyas laderas "caen" abruptamente con pendientes muy inclinadas. Línea divisoria entre montañas que drena aguas lluvias.
31. **Reología:** Es la parte de la física que estudia la relación entre el esfuerzo y la deformación en los materiales que son capaces de fluir.
32. **Salto Hidráulico:** Se presenta en el flujo rápidamente variado, el cual va acompañado por un aumento súbito del tirante y una pérdida de energía bastante considerable.

33. **Secciones Transversales:** Representación de forma gráfica de alineamientos perpendiculares al eje del río.
34. **Tierra Blanca:** Compuesta por diferentes depósitos de caída, flujo y oleadas piroclásticas, lapilli acrecional, líticos andesíticos, se encuentra clasificada en nueve unidades estratigráficas de la A hasta G incluyendo ignimbrita alfa y beta.
35. **Topografía:** Conjunto de características que presenta la superficie o el relieve de un terreno. La topografía es una ciencia geométrica aplicada a la descripción de la realidad física inmóvil circundante.
36. **Viscosidad:** Es una medida de su resistencia a las deformaciones graduales producidas por tensiones cortantes o tensiones de tracción.

Anexo A

Introducción al programa hidráulico HEC-RAS versión 5.0.3

Como se mencionó en capítulo 2, el programa que utilizamos para realizar las modelaciones hidráulicas: HEC-RAS requiere que los datos sean introducidos de manera correcta ya que este, al igual que cualquier software o programa, es muy sensible a las características que estos datos puedan tener, por lo cual siempre es recomendado que estos análisis los realicen personas con criterios o experiencia. A continuación se explica paso a paso la forma de introducir los datos y las opciones que nos proporciona la versión 5.0.3 de HEC-RAS para su análisis. Para realizar un análisis hidráulico en HEC-RAS es necesario crear un proyecto, el cual contiene todos los archivos necesarios para la realización del análisis hidráulico de canales o quebradas, como se mencionó anteriormente los proyectos constan de archivos principales que componen la geometría y el flujo, para complementar algunos tipos de análisis se utilizan archivos de sedimentos y archivos de calidad del agua, todas estas opciones se encuentran en el menú principal HEC-RAS, Figura A.1

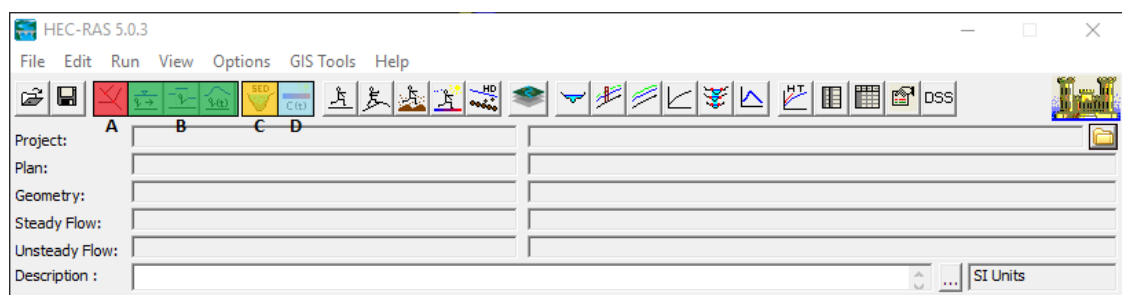


Figura A.1 Menú principal de HEC-RAS. Fuente: Elaboración propia.

Donde:

A: Editor de geometría

B: Editor de Flujo (Flujo permanente, Flujo Cuasi-no permanente, Flujo no permanente)

C: Editor de datos de sedimentos

D: Editor de calidad de agua

Introducción de datos de geometría:

Para ingresar al editor de geometría se oprime el botón del editor de geometría o se puede ingresar desde el menú “Edit” y seleccionar la opción datos de geometría (Geometric Data), abriendo así la ventana de este, la cual cuenta con varias opciones como se ha mencionado anteriormente. Figura A.2

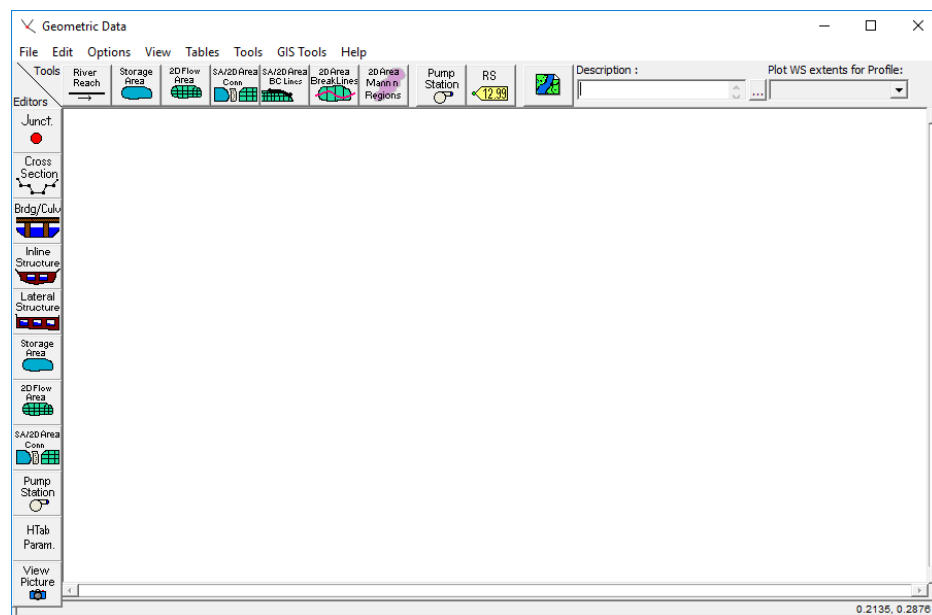


Figura A.2 Ventana de datos geométricos del programa HEC-RAS.

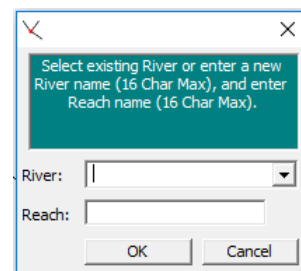
Fuente: Elaboración propia, captura de pantalla del programa HEC RAS

Para ingresar los datos geométricos se tienen dos opciones, la primera manualmente dibujando el eje de la quebrada y colocando las secciones transversales o importando los datos.

El ingreso manual de los datos se realiza dibujando el eje con la opción “River Reach”, para iniciar un tramo oprime el botón izquierdo del ratón en el área de trabajo posteriormente se orienta la línea en dirección del flujo hasta llegar un cambio de dirección o hasta finalizar el dibujo, para realizar un cambio de dirección solamente se debe oprimir otra vez el botón izquierdo del ratón y en el caso de haber terminado el dibujo se oprime dos veces el botón izquierdo finalizando el tramo del río que se desea analizar, esta acción abrirá una ventana donde se deberá colocar el nombre del río y del tramo que se acaba de dibujar.



a) Botón de dibujo de tramo de río



b) Ventana de indentificación del tramo de río

Figura A.3 Introducción de datos geométricos manualmente.

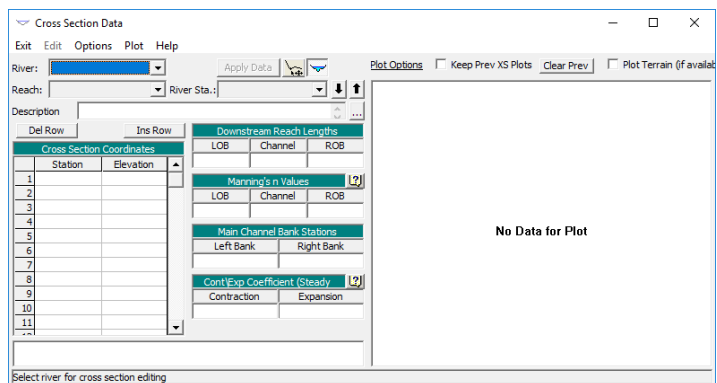
Fuente: Elaboración propia, captura de pantalla del programa HEC RAS

Después de introducir el eje del río a analizar se procede a introducir las secciones transversales y cualquier estructura que se encuentre dentro del área, para introducir las secciones transversales se debe presionar el botón “Cross

Section”, esta abre la ventana de datos de secciones transversales (Cross Section Data) en la cual se debe seleccionar en el menú “Option” la opción añadir nueva sección (Add New Section) la cual abrirá otra ventana donde se debe introducir el nombre de la sección transversal, estos nombre solamente pueden ser números aceptando decimales con un máximo de ocho caracteres, la numeración de estos debe ser en orden ascendente desde la sección aguas abajo hacia aguas arriba; es importante el orden ya que afecta las condiciones de contorno que se establecerán más adelante. Posteriormente se procede a rellenar los diferentes campos que tiene la ventana estos cambios se guardan automáticamente, repitiendo este proceso hasta que se tengan todas las secciones transversales que se desean analizar.



a) Icono de Editor de las secciones transversales



b) Ventana de edición de secciones transversales

Figura A.4 Opciones de Edición de secciones transversales.

Fuente: Elaboración propia, captura de pantalla del programa HEC RAS.

La opción de introducir los datos exportándolos se encuentra en la pestaña “File” en la opción “Import Geometry Data”, la cual despliega los diferentes formatos con los que soporta el programa, una vez seleccionado el tipo de archivo busca la ubicación del archivo que se desea exportar, se selecciona y se oprime el botón aceptar y se abre una ventada en la cual se selecciona el sistema de unidades en que se encuentra el archivo, la cantidad de tramos que hay, las secciones transversales y las estructuras que se encuentren el archivo.

Una vez ingresados los datos en se debe guardar el archivo y revisar que los campos necesarios estén llenos con los datos correctos, en caso de hacer falta algún campo se pueden rellenar de manera individual o con el uso de tablas, estas tablas se encuentran en la pestaña “Table” de la ventana, y se encuentran varias opciones dependiendo del campo que se desee rellenar.

Introducción de datos del flujo:

Luego de ingresar los datos geométricos se procede a introducir los datos de flujo, los cuales dependen del tipo de análisis que se desea realizar o del tipo de datos con los que se cuenta, también pueden utilizarse los tres tipos de flujo para un mismo proyecto.

Para introducir el flujo primero se oprime la opción de flujo que se desea introducir, esto abrirá una ventana secundaria que varía dependiendo de la opción seleccionada.

Introducción de flujo permanente.

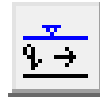


Figura A.5 Icono de entrada de datos de flujo permanente.

Fuente: Elaboración propia, captura de pantalla del programa HEC RAS.

Al oprimir la opción de flujo permanente se abre la ventana del mismo, en la cual se selecciona una sección transversal de los datos geométricos y se le asigna un caudal, para realizar esta acción primero se debe seleccionar el río y el tramo del cual es parte la sección y se debe buscar la sección deseada, en esta ventana por defecto está seleccionada la sección que se encuentra aguas arriba del tramo a analizar.

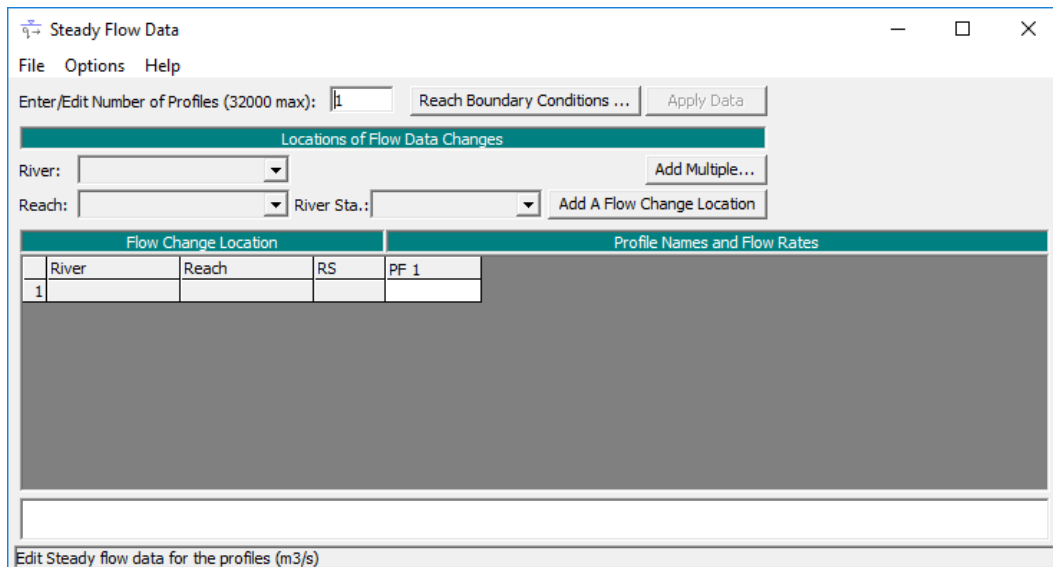


Figura A.6 Ventana de flujo permanente.

Fuente: Elaboración propia, captura de pantalla del programa HEC RAS.

Una vez seleccionada la sección o secciones se indica el número de perfiles de flujo que se usan para el análisis esta opción por defecto selecciona una pero se puede aumentar dependiendo de los valores que se necesiten probar, también se les asigna condiciones de frontera las cuales se abren al oprimir el botón “Reach Boundary Conditions” donde se seleccionan una para aguas arriba y otra para aguas abajo, se pueden seleccionar que las condiciones se aplican a todos los perfiles o se puede asignar a cada perfil su propia condición de frontera, esto se realiza seleccionando la opción de “Set boundary to all profile” o “Set boundary for one profile at a time”.

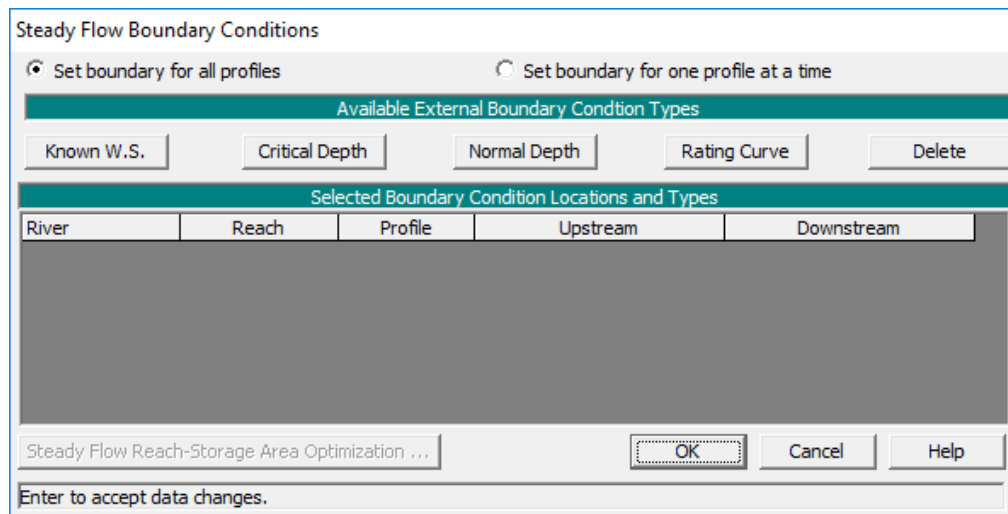


Figura A.7 Ventana de condiciones de frontera.

Fuente: Elaboración propia, captura de pantalla del programa HEC RAS.

Llenados todos los campos con los valores deseados se procede a guardar el archivo de flujo, esto se realiza en la pestaña “File” de la ventana donde se selecciona la opción “Save Flow Data as”, esto abrirá una ventana donde se

selecciona la ubicación en que se quiere guardar el archivo, por defecto estos se guardarán en la carpeta donde se detalló guardar el proyecto, y en caso de necesitar otra serie de flujos se pueden realizar nuevos archivos al seleccionar la opción “New Flow Data” en la pestaña file y se escribe el nombre con el que se asignará el documento.

Introducción de datos de flujo no permanente.



Figura A.8 Icono de introducción de flujo no permanente.

Fuente: Elaboración propia, captura de pantalla del programa HEC RAS.

Al oprimir la opción de flujo no permanente se abre una ventana secundaria en la cual se definen las condiciones de frontera, estas son las que definen el comportamiento del fluido en el tramo de estudio por medio de las diferentes opciones con las que se cuenta para introducir las condiciones de frontera, esté por defecto tiene dos condiciones asignadas una aguas arriba y otra aguas abajo, también se pueden asignar condiciones intermedias y otras condiciones dependiendo del tipo de estructura que se tenga o la introducción de agua por otros orígenes (tuberías, agua subterránea, etc.).

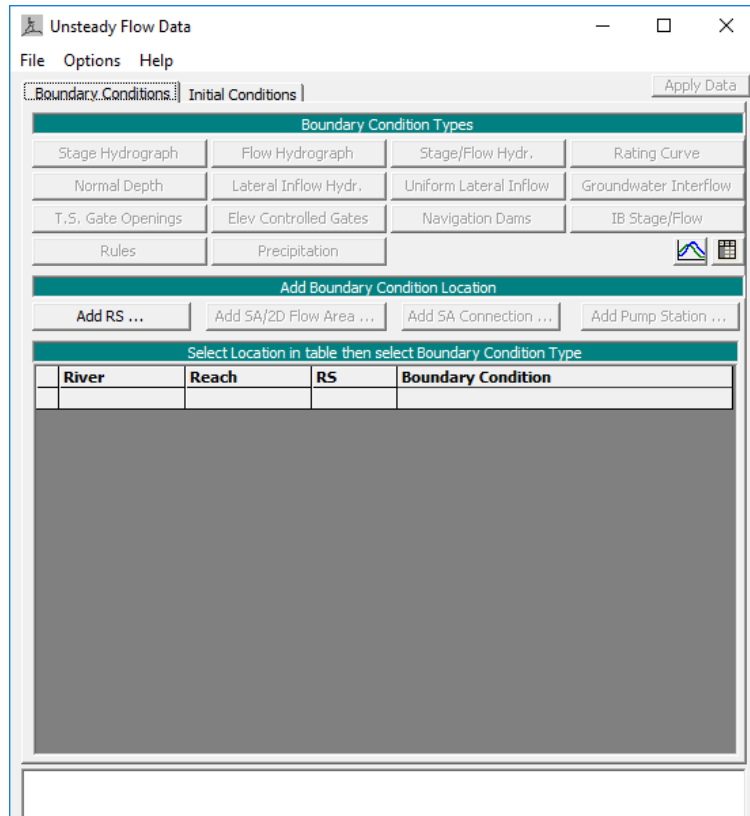


Figura A.9 Ventana de flujo no permanente.

Fuente: Elaboración propia, captura de pantalla del programa HEC RAS.

En las condiciones aguas arriba se tienen las siguientes opciones:

- “Stage Hydrograph” esta opción limita la altura del agua hasta que termine la etapa
- “Flow Hydrograph” esta opción introduce un caudal a la sección el cual recorrerá el tramo.
- “Stage/Flow Hydrograph” esta opción es la combinación de las opciones anteriores, dominando la mayor

Estas opciones pueden ser condicionadas para que el inicio de la simulación y el inicio de los hidrogramas sea el mismo seleccionando la casilla de “Use Simulation Time”, en el caso que se desee colocar la hora y fecha en que inicia el hidrograma se puede seleccionar la casilla “Fixed Star Time” en este caso hay que tomar en cuenta que la hora y fecha que tenga la simulación no puede salirse del rango de tiempo que tenga el hidrograma, estos también cuentan con una opción que permite disminuir el incremento computacional siempre que este cumpla con una condición límite.

En las condiciones de frontera aguas abajo se cuenta con las siguientes opciones:

- “Stage Hydrograph” esta opción obliga a mantener el nivel de agua a una altura hasta que termine la etapa
- “Flow Hydrograph” esta opción introduce un caudal a la sección el cual recorrerá el tramo.
- “Stage/Flow Hydrograph” esta opción es la combinación de las opciones anteriores, dominando la mayor

Estas opciones pueden ser condicionadas para que el inicio de la simulación y el inicio de los hidrogramas sea el mismo seleccionando la casilla de “Use Simulation Time”, en el caso que se desee colocar la hora y fecha en que inicia el hidrograma se puede seleccionar la casilla “Fixed Star Time” en este caso hay que tomar en cuenta que la hora y fecha que tenga la simulación no puede salirse del rango de tiempo que tenga el hidrograma, estos también cuentan con una

opción que permite disminuir el incremento computacional siempre que este cumpla con una condición límite.

Además de tener las mismas opciones que aguas arriba esta cuenta con las opciones:

- “Rating Curve” esta opción es una relación entre el caudal y la profundidad del agua en la sección.
- “Normal Depth” en esta opción se pide introducir la pendiente de fricción del canal, pero en caso de no conocerla se puede introducir la pendiente que tendrá el flujo o en su defecto la pendiente que tiene el canal.

En las condiciones intermedias se presentan las siguientes opciones:

- “Lateral Inflow Hydr.” Esta opción permite añadir un hidrograma a la sección intermedia, pudiendo representar salidas de agua de tuberías y otras salidas de agua siempre que se cuente con el dato de la descarga y la salida en si no intervenga en la geometría del tramo a analizar.
- “Uniform Lateral Inflow” En esta opción se puede introducir un hidrograma que se repetirá a lo largo de las secciones transversales seleccionadas, el hidrograma se debe introducir en la sección que se encuentra aguas arriba del grupo, esta puede representar el desagüe de zonas con grandes urbanizaciones, zonas de fábrica, etc. que se extienden a lo largo del tramo de estudio.

- “Groundwater Interflow” esta opción permite la introducción de flujos de agua subterránea, o infiltraciones que lleguen al tramo que se desea analizar.
- “IB Stage/Flow” esta opción permite introducir un hidrograma con caudales o profundidades de agua en secciones que se encuentren antes de una estructura interna.

Una vez llenados todos los campos con los valores deseados se procede a guardar el archivo de flujo, esto se realiza en la pestaña “File” de la ventana donde se selecciona la opción “Save Flow Data as”, esto abrirá una ventana donde se selecciona la ubicación en que se quiere guardar el archivo, por defecto estos se guardarán en la carpeta donde se guardó el proyecto, y en caso de necesitar otras condiciones de frontera para las mismas secciones o si se desea realizar otra configuración se pueden realizar nuevos archivos al seleccionar la opción “New Flow Data” en la pestaña file y se escribe el nombre con el que se asignará el documento.

Introducción de datos de flujo cuasi no permanente



Figura A.10 Ícono de datos de flujo cuasi no permanente.

Fuente: Elaboración propia, captura de pantalla del programa HEC RAS.

Al oprimir la opción de flujo cuasi no permanente se abre una ventana secundaria en la cual se definen las condiciones de frontera, esta opción de flujo es similar al sistema con flujo no permanente cuya diferencia es que cuenta con una menor cantidad de condiciones de frontera, al igual que con el flujo no permanente cuenta por defecto con una condición aguas arriba y otra aguas abajo que deben ser rellenadas para realizar el análisis, también se pueden añadir condiciones intermedias cuando se crea conveniente, el flujo se introduce como una serie flujos constantes, es decir que el flujo tiene la misma magnitud durante un periodo pero cambia a durante el evento que se desea analizar.

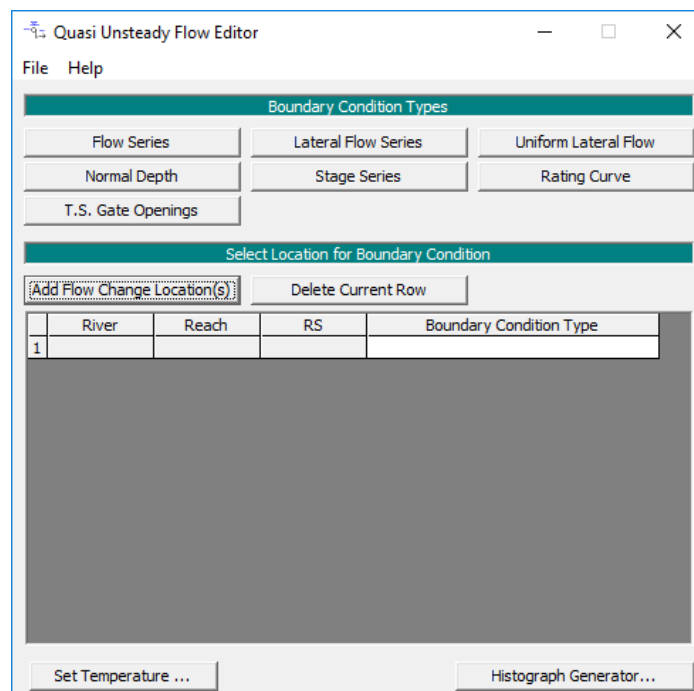


Figura A.11 Ventana de datos de flujo cuasi no permanente.

Fuente: Elaboración propia, captura de pantalla del programa HEC RAS.

Las condiciones de frontera aguas arriba se cuenta solamente con una opción que es “Flow Hydrograph” en la cual se introducirá el hidrograma, junto al incremento computacional que la frecuencia con la que se desea se realicen los cálculos.

Las condiciones de frontera aguas abajo cuentan con una mayor variedad de opciones siendo estas las siguientes:

- “Normal depth” En esta opción al igual que en el flujo no permanente se debe introducir la pendiente de fricción o la pendiente del flujo y en el caso de no contar con alguna de las anteriores la pendiente del canal.
- “Stage Series” En esta opción se introduce la profundidad del agua en la sección o profundidad de calado y el momento en el que inicia a tener esa profundidad.
- “Rating Curve” En esta opción se introduce la profundidad del agua en la sección o el caudal de descarga.

Las condiciones de frontera para las secciones intermedias se utilizan cuando existe cambio en el flujo, siendo las opciones las siguientes:

- “Lateral Flow Series” para esta opción se introduce un hidrograma del comportamiento en la sección con su correspondiente incremento computacional.
- “Uniform Lateral Series” En esta opción se introduce un nuevo hidrograma y se distribuye entre las secciones transversales que se seleccionan.

Es necesario introducir una serie de datos de temperatura la cual debe tener una duración mínima igual al flujo que se desee utilizar esto se realiza en la opción “Set Temperature”.

No. Ordinates	Simulation Time	Elapsed Time	Duration	Temp
	(hours)	(hours)	(hours)	(C)
1				
2				
3				
4				
5				
6				

Figura A.12 Ventana de introducción de datos de temperatura.

Fuente: Elaboración propia, captura de pantalla del programa HEC RAS.

Una vez llenados todos los campos con los valores deseados se procede a guardar el archivo de flujo, esto se realiza en la pestaña “File” de la ventana donde se selecciona la opción “Save Flow Data as”, esto abrirá una ventana donde se selecciona la ubicación en que se quiere guardar el archivo, por defecto estos se guardaran en la carpeta donde está ubicado el proyecto, y en caso de necesitar otras condiciones de frontera se pueden realizar nuevos archivos al

seleccionar la opción “New Flow Data” en la pestaña file y se escribe el nombre con el que se asignará el documento.

Introducción de los datos de Sedimentos

Al oprimir el botón de la opción de sedimentos se abre una ventana secundaria en la cual se encuentran todas las secciones transversales del proyecto, también se seleccionan las teorías que se implementaran en el análisis.



Figura A.13 Icono de introducción de archivos de sedimentos.

Fuente: Elaboración propia, captura de pantalla del programa HEC RAS.

Condiciones iniciales

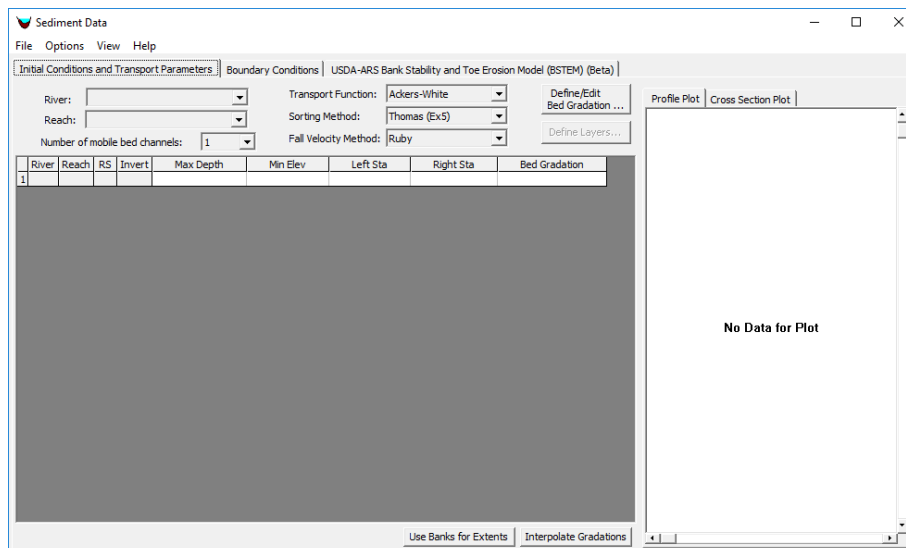


Figura A.14 Ventana de condiciones iniciales de sedimentos.

Fuente: Elaboración propia, captura de pantalla del programa HEC RAS.

Para ingresar los datos de la granulometría de los sedimentos se debe oprimir el botón “Define/Edit Bed Gradation” Esta opción abre otra ventana donde se introducen la granulometría, para esto primero se debe crear un archivo de granulometría, esto se realiza al oprimir el botón “New Gradation Table”, el cual abre una ventana donde se debe introducir el nombre de la muestra posteriormente se procede a introducir los datos de granulometría en el caso de tener más datos de una granulometría en un punto se puede introducir mediante la opción “Enter Multiple Gradation Sample” una vez que se oprime el botón se abre una ventana donde se selecciona el número de muestras que se desean introducir y se procede rellenar los campos de los datos.

Después de definir las muestras, se asignan a las secciones transversales, para esto se busca la sección del grupo que aparece en la tabla y se seleccionan los límites del área que contiene los sedimentos, esto se realiza colocando la distancia desde el origen de la sección en las columnas “Left Sta” estación izquierda que es el punto a partir del cual se encuentran los sedimentos con la granulometría de la muestra seleccionada y “Right Sta” estación derecha que es el punto donde terminan los sedimentos de la muestra seleccionada.

Después de seleccionar los límites horizontales de la muestra de sedimentos se procede a seleccionar el límite vertical para el cual se debe rellenar una de las casillas de “Max Depth” o “Min Elev”, dependiendo de cómo es el lecho en campo, ya que si el lecho es sólido se selecciona rellenar la casilla de “Min Elev” y si es

erosionable se selecciona la opción “Max Depth” la cual considera que el lecho es completamente erosionable pero en el análisis solamente se tomará hasta ese punto.

Una vez realizados todos los límites se procede a seleccionar las teorías a aplicar para el análisis de los sedimentos como se mencionó anteriormente se cuenta con:

Teorías de función de transporte:⁵²

Ackers-White: Esta teoría se basa en que los sedimentos finos están más relacionados a la turbulencia de la columna de agua y que los sedimentos más gruesos se relacionan a la una superficie de corte con la velocidad como la variable que los representa. Esta función se representa en términos del tamaño de las partículas, la movilidad y el transporte.

$$X = \frac{G_{gr} s d_s}{D \left(\frac{u_*}{V} \right)^n} \quad \text{Ecuación A.1}$$

$$G_{gr} = C \left(\frac{F_{gr}}{A} - 1 \right) \quad \text{Ecuación A.2}$$

Dónde:

X= Concentración de sedimentos, en partes por pieza

G_{gr}= Parámetro de transporte de sedimentos

s= Gravedad específica del sedimento

⁵² Hydrologic Engineer Center, *HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual*, Versión 5.0, US Army Corp Engineers, February 2016

d_s = Diámetro medio de la partícula

D = Profundidad efectiva

u^* = Velocidad de corte

V = Velocidad promedio en el canal

n = Exponente de transición, depende del tamaño del sedimento

C = Coeficiente

F_{gr} = Parámetro de movilidad del sedimento

A = Parámetro de movilidad crítico del sedimento

Se utilizan parámetros de tamaño adimensionales para distinguir entre sedimentos finos, transitorios y grandes, los sedimentos de tamaño fino comprenden partículas menores a 0.04 mm, los sedimentos gruesos comprenden un tamaño mayor a 2.5 mm, esta teoría solamente se aplica sedimentos gruesos y en transición, mayores a 0.04 mm.

Esta teoría es satisfactoria cuando la profundidad es de 0.4 m y con números de Froude menores a 0.8

Engelund-Hasen: Esta función da resultados adecuados si el tamaño de los granos del sedimento se encuentra entre 0.19 mm y 0.93 mm. Esta se representa con la siguiente ecuación.

$$g_s = 0.05\gamma_s V^2 \sqrt{\frac{d_{50}}{g \left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1\right)}} \left(\frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma)d_{50}}\right)^{2/3}$$

Ecuación A.3

Donde:

g_s : Unidad de transporte de sedimentos

γ : Peso unitario del agua

γ_s : Peso unitario de los solidos

V: Velocidad promedio del canal

τ_0 : Esfuerzo cortante a nivel del lecho

d_{50} : Tamaño de la partícula menor al 50%

Laursen: Esta teoría es el resultado de análisis cualitativos, experimentos y datos suplementarios. El transporte de sedimentos se basa primordialmente en las características hidráulicas del canal velocidad, profundidad de calado, gradiente de energía y de las características de los sedimentos granulometría y velocidad de caída.

A continuación se presenta la ecuación:

$$C_m = 0.01\gamma \left(\frac{d_s}{D}\right)^{7/6} \left(\frac{\tau'_0}{\tau_c} - 1\right) f\left(\frac{u_*}{\omega}\right) \quad \text{Ecuación A.4}$$

Dónde:

C_m : Concentración de descarga de sedimentos, en unidades de peso/volumen

γ : Peso unitario del agua

d_s : Diámetro medio de la partícula

D: Profundidad de calado

τ'_0 : Esfuerzo cortante del lecho debido a la resistencia de los granos

τ_c : Esfuerzo cortante crítico del lecho

$f\left(\frac{u_*'}{\omega}\right)$: Función de razón entre la velocidad de corte y la velocidad de caída.

El rango de aplicación de esta teoría es para granos entre 0.11 mm a 29 mm.

Meyer Peter-Müller: Esta teoría se basa en datos experimentales y ha sido probada numerosas veces con sedimentos relativamente gruesos, la tasa de transporte es proporcional a la diferencia entre el esfuerzo cortante actuante en los granos y el esfuerzo cortante crítico.

El rango de sedimentos en los que se usa es de 0.4 mm hasta 29 mm con gravedades específicas desde 1.25 hasta 4.0, el método puede ser usado en sedimentos bien graduados y en condiciones de flujo que producen diferentes lechos.

A continuación se presenta la ecuación desarrollada por Meyer Peter-Müller

$$\left(\frac{k_r}{k'_r}\right)^{3/2} \gamma R S = 0.047(\gamma_s - \gamma) d_m + 0.25 \left(\frac{\gamma}{g}\right)^{1/3} \left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma_s}\right)^{2/3} g_s^{2/3} \quad \text{Ecuación A.5}$$

Donde:

g_s : Unidad de velocidad de transporte de sedimentos (Peso/tiempo/Ancho unitario)

k_r : Coeficiente de rugosidad

k'_r : Coeficiente de rugosidad baso en los granos

γ : Peso unitario del agua

γ_s : Peso unitario del sedimento

g : Aceleración de la gravedad

R : Radio hidráulico

S : Gradiente de energía

Toffaletti: Este modelo divide la carga suspendida en zonas verticales, replicando un movimiento de los sedimentos en 2 dimensiones. Estas zonas se dividen en cuatro que la zona superior, la zona media, la zona inferior y la zona del lecho. Cada zona se calcula por separado y la suma de estos es el resultado del sedimento transportado.

Este modelo fue desarrollado utilizando datos de canales artificial y datos de campo, de los cuales en los canales artificiales se utilizó un diámetro de partículas entre 0.3 mm a 0.93 mm. Sin embargo de acuerdo a aplicaciones exitosas del método sugieren que se puede llegar a utilizar partículas tan pequeñas como 0.095 mm, este método presento problemas con partículas del tamaño de las gravas, por lo que actualmente se ha incluido en HEC-RAS una función capaz de trabajar con estos tamaños el cual es nombrado MPM-Toffaletti.

A continuación se presentan las ecuaciones que componen el modelo

$$g_{SSL} = M \frac{\left(\frac{R}{11.24}\right)^{1+n_v-0.756z} - (-2d_m)^{1+n_v-0.756z}}{1 + n_v - 0.756z}$$

Ecuación A.6

(Zona Inferior)

$$g_{ssM} = M \frac{\left(\frac{R}{11.24}\right)^{0.244z} \left[\left(\frac{R}{2.5}\right)^{1+n_v-z} - \left(\frac{R}{11.24}\right)^{1+n_v-z} \right]}{1 + n_v - z}$$

Ecuación A.7

(Zona Media)

$$g_{ssM} = M \frac{\left(\frac{R}{11.24}\right)^{0.244z} \left(\frac{R}{2.5}\right)^{0.5z} \left[R^{1+n_v-1.5z} - \left(\frac{R}{2.5}\right)^{1+n_v-1.5z} \right]}{1 + n_v - 1.5z}$$

Ecuación A.8

(Zona Superior)

$$g_{sb} = M(2d_m)^{1+n_v-0.756z}$$

Ecuación A.9

(Zona del lecho)

$$M = 43.2C_L(1 + n_v)VR^{0.756z-n_v}$$

Ecuación A.10

$$g_s = g_{ssL} + g_{ssM} + g_{ssU} + g_{sb}$$

Ecuación A.11

Donde:

g_{ssL} : Sedimentos suspendidos transportados en la zona inferior, en ton/día/pie

g_{ssM} : Sedimentos suspendidos transportados en la zona media, en ton/día/pie

g_{ssU} : Sedimentos suspendidos transportados en la zona superior, en ton/día/pie

g_{sb} : Sedimentos transportados en el lecho, en ton/día/pie

M: Parámetro de concentración de sedimentos

C_L : Concentración de sedimentos en la zona inferior

R: Radio hidráulico

dm: Diámetro medio de las partículas

z: Exponente que describe la relación entre el sedimento y las características hidráulicas del canal

n_v: Exponente de la temperatura

Yang: Este modelo se desarrolló bajo la premisa que la potencia del flujo unitario es el factor dominante en la determinación de la concentración de sedimento total. Esta teoría se desarrolló con el soporte de varios experimentos en canales artificiales y con datos de campo, bajo un amplio rango de condiciones para canales aluviales. El rango de sedimentos es de 0.062 mm a 7.00 mm con una concentración de sedimentos que se encuentre en un rango de 10 ppm a 585,000 ppm. El ancho de los canales en un rango de 0.44 pies a 1746 pies, profundidades desde 0.37 pies a 49.4 pies, temperatura del agua entre 0° a 34.4° Celsius, una velocidad promedio del canal entre 0.75 a 6.45 pies por segundo y pendientes entre 0.000043 y 0.029.

Yang extendió la aplicabilidad de su función para incluir gravas, a continuación se presentan las ecuaciones para el transporte un solo tamaño de grano

$$\begin{aligned} \log C_t = & 5.435 - 0.286 \log \frac{\omega d_m}{\nu} - 0.457 \log \frac{u_*}{\omega} \\ & + \left(1.799 + 0.409 \log \frac{\omega d_m}{\nu} \right. \\ & \left. - 0.314 \log \frac{u_*}{\omega} \right) \log \left(\frac{VS}{\omega} - \frac{V_{cr}S}{\omega} \right) \end{aligned}$$

Ecuación A.12

para arenas $d_m < 2\text{mm}$

$$\log C_t = 6.681 - 0.633 \log \frac{\omega d_m}{\nu} - 4.186 \log \frac{u_*}{\omega} + \left(2.784 + 0.350 \log \frac{\omega d_m}{\nu} - 0.282 \log \frac{u_*}{\omega} \right) \log \left(\frac{VS}{\omega} - \frac{V_{cr}S}{\omega} \right)$$

Ecuación A.13

para gravas $d_m \geq 2\text{mm}$

Donde:

C_t : Concentración total de sedimentos

ω : Velocidad de caída de las partículas

d_m : Diámetro medio de la partícula

ν : Viscosidad cinemática

u_* : Velocidad de corte

V : Velocidad media del canal

S : Gradiente de energía

Wilcock y Crowe: Esta es un método de carga de lecho diseñado para graduaciones combinadas de arena y grava, es un método de transporte superficial basado en la teoría de que el transporte depende principalmente del material que está en contacto con el flujo, este método se utiliza con la función de capa activa además se debe definir una graduación independiente de las capas.

Este incluye características que le permiten analizar cada tipo de grano independientemente, el programa asume que el comportamiento de los granos es independiente del comportamiento de los demás granos, Wilcock y Crowe tienen dos opciones para que cuantificar la cantidad de grava y arena que se transporta, los cuales son:

Hiding (ocultación): Esta función calcula la influencia que tiene la grava y los guijarros sobre la arena, esto se logra disminuyendo el transporte potencial de las partículas pequeñas, porque la arena anida entre grandes clastos de grava que reduce el cortante que el lecho experimenta.

Transporte de grava dependiente de la arena: Mientras que los clastos reducen el cortante y el transporte de los materiales finos, el transporte de las gravas aumenta con el contenido de arena, ya que esta actúa como lubricante, disminuyendo la integridad estructural, depositándose entre uniones de contacto entre rocas. La arena también permite clastos de grava más propensos, permitiendo el cortante del lecho en más superficie de la grava, particularmente en zonas donde la grava ha sido desalojada, siendo transportada sobre una cinta de arena.

Se realiza un cálculo adimensional para obtener un valor de referencia de corte para el sub estrato que está en función de la cantidad de arena contenida en el suministro del lecho:

$$\tau_{rm}^* = 0.021 + 0.015e^{-20 \cdot FS}$$

Ecuación A.14

Donde:

τ_{rm}^* = Referencia de esfuerzo cortante

FS = Contenido de arena en el lecho en porcentaje

Al aumentar el contenido de agua el valor de referencia aumenta, incrementando el cortante del lecho en exceso, y el total transportado. El cálculo de Wilcock y Crowe es muy sensitivo al contenido de arena. Tiende ser más apropiado para sistemas bimodales con contenido significativo de gravas y arenas.

En el manual de referencias del programa también se puede encontrar una tabla que describe brevemente cuales son las condiciones más idóneas para que la elección de la teoría que se emplee para el transporte de sedimentos, a continuación se muestra la tabla para su posterior comparación en la elección de la teoría a utilizar.

Tabla A.1 Rango de valores de entrada para la selección de la función para el transporte de sedimentos.								
Función	D	dm	S	V	D	S	W	T
Ackers-White (Canales artificiales)	0.04-7.0	N.A	1.0-2.7	0.07-7.1	0.01-1.4	0.00006-0.037	0.23-4.0	46-89
Englund-Hansen (Canales artificiales)	N.A	0.19-0.93	N.A	0.65-6.34	0.19-1.33	0.000055-0.019	N.A	45-93
Laursen (Campo)	N.A	0.08-0.7	N.A	0.068-7.8	0.67-54	0.0000021-0.0018	63-3640	32-93

Larusen (Canales artificiales)	N.A	0.011- 29	N.A	0.7- 9.4	0.3- 3.6	0.00025- 0.025	0.25- 6.6	46- 83
Meyer- Peter Muller (Canales Artificiales)	0.4-29	N.A	1.25- 4.0	1.2- 9.4	0.3- 3.9	0.0004- 0.02	0.5- 6.6	N.A
Tofaletti (Campo)	0.062- 4.0	0.095- 0.76	N.A	0.7- 7.8	0.07- 56.7 (R)	0.000002- 0.0011	63- 3640	32- 93
Tofaletti (Canales Artificiales)	0.062- 4.0	0.045- 0.91	N.A	0.7- 6.3	0.07- 1.1 (R)	0.00014- 0.019	0.8-8	40- 93
Yang (Campo- Arenas)	0.15- 1.7	N.A	N.A	0.8- 6.4	0.04- 50	0.000043- 0.28	0.44- 1750	32- 94
Yang (Campo- Gravas)	2.5- 7.0	N.A	N.A	1.4- 5.1	0.08- 0.72	0.0012- 0.029	0.44- 1750	32- 94

*Nota: Fuente: HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference

Manual

Selección del método de clasificación de capa:⁵³

Una vez que se ha escogido la teoría de transporte se debe seleccionar el método de clasificación de las capas, estas capas dividen los sedimentos de acuerdo al tamaño del grano de manera que el transporte se realice en base a las capas y no se mueva la masa de sedimentos completa, generalmente se divide en una capa activa que es la que contiene el material que puede transportarse y una capa inactiva que contiene la parte de los sedimentos que no puede moverse con el flujo de análisis esta división depende de la teoría que se emplee, como ya se ha mencionado el programa cuenta con tres métodos los cuales son:

⁵³ Manual de referencia de HEC RAS

Método de capa activa (Método de dos capas)

Este enfoque divide el sub estrato en una capa activa (mezcla o superficie), capaz de moverse, y una capa inactiva que no tiene ningún efecto en los cálculos durante el paso de tiempo que se analiza.

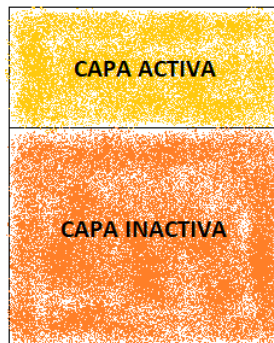


Figura A.15 Capas del modelo de capa activa.

Fuente: Adaptación de HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual.

Al agrandarse y degradarse el lecho, los sedimentos que pasan entre las capa activa tiene y reinician la capa a un espesor específico, si la capa se erosiona, el intercambio se incrementa, la capa inactiva envía sedimentos a la capa activa hasta restaurarla, estos sedimentos están compuestos por la granulometría de la capa inactiva, si el material se deposita la capa activa recalcula el tamaño y envía el incremento del intercambio a la capa inactiva.

La granulometría de las zonas de depósito son resultados complicados por lo que la mezcla se divide en tres diferentes casos, los cuales son:

Mezclar la capa activa/graduación de deposición: Añade el material a la capa activa y luego las mezcla, enviando el incremento en el intercambio completamente mezclado a la capa inactiva, este método asume que el material depositado y la capa activa se mezclan completamente en pequeñas escalas de tiempo.

Ambientar la graduación de la capa activa: Este método remueve el incremento en el intercambio y lo envía a la capa inactiva, después envía el material depositado a la capa activa y lo mezcla, este método asume una estratigrafía estática en el material más profundo, que contiene la graduación de la capa activa.

Graduación de material depositado: El trabajo temprano en blindaje dinámico reconoce que el transporte activo en canales mantiene las capas iguales en ambientes de depósito, pero los métodos anteriores causarían que los lechos de depósito se vuelvan muy finas, enterrando la capa de cobertura. Por lo que este método envía el material depositado directamente a la capa inactiva, esto mantiene una capa gruesa de cobertura pero no permite la evolución de la granulometría de la capa activa.

Para la mezcla el programa opta por realizarla en una proporción de 30% para la capa activa y 70% a la capa inactiva.

Métodos multicapas:

Método de mezcla Thomas (Exner (5)): Este método utiliza tres capas, la capa activa se divide en dos sub capas, una capa de cobertura o cubierta y una capa

sub-superficial esto permite que en casos donde el material más fino se transporta primero se utilizara el material de la capa de cubierta dado que esta teoría intenta mantener el equilibrio el material en la capa inferior empieza a ser transferido a la capa superior hasta que se transporte todo el material del tamaño que esté siendo afectado, también permite contar con una capa más rugosa y el control de erosiones además de mantener una capa activada graduada más general.

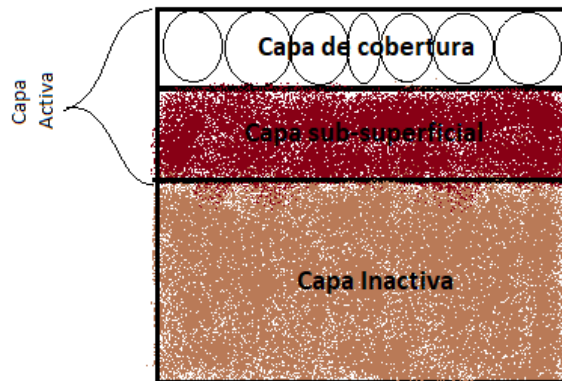


Figura A.16 Capas del método de Thomas.

Fuente: Adaptación de HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual.

El método de mezcla de Thomas trabaja principalmente con un parámetro llamado profundidad de equilibrio (Equilibrium Depth, D_{eq}), este es el valor mínimo de profundidad para el cual las partículas de sedimento no se mueven, es decir que las fuerzas hidráulicas no son suficientes para iniciar el movimiento,

también se puede considerar como la mayor profundidad antes de empezar a derrumbarse.

La profundidad de equilibrio se obtiene de la relación de entre la energía hidráulica, la rugosidad del lecho y la intensidad del transporte de sedimentos, estas se calculan de manera independiente utilizando las siguientes ecuaciones:

Ecuación de velocidad de Manning:

$$V = \frac{1.49}{n} R^{2/3} S_f^{1/2} \quad \text{Ecuación A.15}$$

Dónde:

V: Velocidad

R: Radio hidráulico

S_f: Pendiente de fricción

n: Valor n de Manning

Ecuación de rugosidad de Strickler:

$$n = \frac{d_s^{1/6}}{29.3} \quad \text{Ecuación A.16}$$

Dónde:

n: Valor n de Manning

d: Tamaño de la partícula representativo

Ecuación de intensidad de transporte de Einstein:

$$\Psi = \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \frac{d}{D \cdot S_f}$$

Ecuación A.17

Dónde:

d: Tamaño de la partícula representativo

ρ_s : Densidad de los solidos

ρ_w : Densidad del agua

D: Profundidad

La ecuación de Einstein asume que las partículas se transportan cuando el valor de la intensidad de transporte es mayor a 30 ($\Psi=30$). Bajo la condición de transporte y que la densidad especifica sumergida de las partículas tenga un valor de 1.65 ($(\rho_s-\rho_w)/\rho_w = 1.65$) la ecuación de Einstein se puede reducir al siguiente termino.

$$S_f = \frac{d}{18.18D}$$

Ecuación A.18

El resultado de la relación entre las ecuaciones antes mencionadas es la siguiente:

$$D_{eq} = \left(\frac{q}{10.21 d_i^{\frac{1}{3}}} \right)^{\frac{6}{7}}$$

Ecuación A.19

Dónde:

D_{eq} : Profundidad de equilibrio para la partícula del diámetro de análisis

q : Caudal de descarga en pies cúbicos por segundo para un pie de ancho de la sección

d_i : Diámetro de la partícula a analizar

El resultado de estas ecuaciones puede llevar a los casos mostrados en la figura A.17, donde el programa recalcula el nuevo espesor de la capa activa, la inactiva y sus sub divisiones.

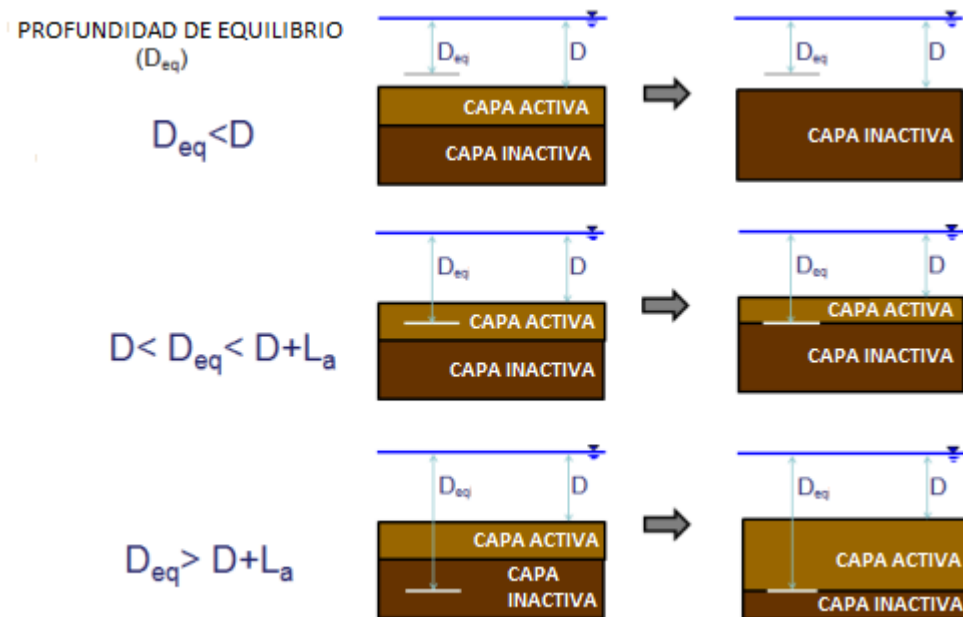


Figura A.17 Profundidad de Equilibrio.

Fuente: Adaptación de HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual.

Para el cálculo del nuevo espesor de la capa de cobertura el programa hace uso de un principio llamado diámetro equivalente de partícula (d_{ep}), este principio transforma la masa de un tamaño de partícula en un espesor equivalente generando estratos por peso que se distribuyen de manera equivalente en el volumen de control en la capa de cobertura.

El diámetro equivalente se utiliza para la realización del cálculo de la relación de armadura, la cual determina si el modelo erosionara la capa su superficial esto se aplica en casos donde el sedimento incluye suficiente materiales gruesos, este se determina como un coeficiente de 0 o 1, donde cero es el valor que se da cuando la capa contiene el material necesario para evitar la erosión y el valor de uno deja expuesta la sub superficie permitiendo que esta se erosiones.

Una vez realizados los cálculos de transporte se debe considerar que la capa de cobertura está en constante cambio, volviéndose más gruesa o más fina en algunos casos esto lleva a el reinicio de la capa, este reinicio introduce una graduación no lineal y se da bajo dos condiciones las cuales son:

Destrucción de la capa de cobertura: Esta se da cuando la capa de cobertura es demasiado fina para ajustar el lecho por lo que esta se reinicia y se mezcla con el material remanente de la capa activa creando una nueva capa de cobertura. Si los estratos por peso no contienen un valor de 0.5 veces el total acumulado del diámetro equivalente la capa se destruye.

Entierro de la capa de cobertura: Esto se da cuando el material transportado alcanza un espesor de dos pies. La capa de cobertura se elimina y

se mezcla con él materia dejando como resultado una nueva graduación, esta nueva graduación puede ser graduaciones no lineales.

Este método se realiza bajo los siguientes pasos:

Calculo de déficit de sedimentos por clase de grano: El programa realiza cálculos sobre la cantidad que se transporta de cada grano y lo compara con la cantidad que contiene para suministrar, en el caso de que se supere la cantidad que contiene suministro se da el efecto de erosión, he intenta extraer déficits de dicho material de la capa inactiva.

Remoción de una clase de grano de la capa: Si la demanda de una clase de grano es satisfecha en el suministro de la capa de cobertura esta es completamente removida, de caso contrario se erosiona y se utiliza el grano de la siguiente capa.

Suma de todos los diámetros equivalentes de granos gruesos en la capa de cobertura: Antes de realizar el transporte de sedimentos el programa realiza un cálculo de todas las partículas gruesas a un diámetro equivalente y los suma

Cálculo de la relación de armadura: El método de Thomas calcula una relación de armadura a partir del diámetro equivalente de las partículas gruesas basado en una relación que se muestra en la figura A. 18. Esta valor se interpola entre el límite inferior que determina el inicio de la erosión esto se debe a que el momento en que espesor acumulado de diámetro equivalente es menor a uno ya no es capaz de cubrir la extensión completa en el volumen de control y al tener un valor menor a 0.8 se considera que tiene demasiados agujeros y no protege la capa

sub superficial, el límite superior que indica previene completamente la erosión de las sub superficie se considera que con un valor del doble de espesor del diámetro equivalente acumulado se cumple con esta condición.

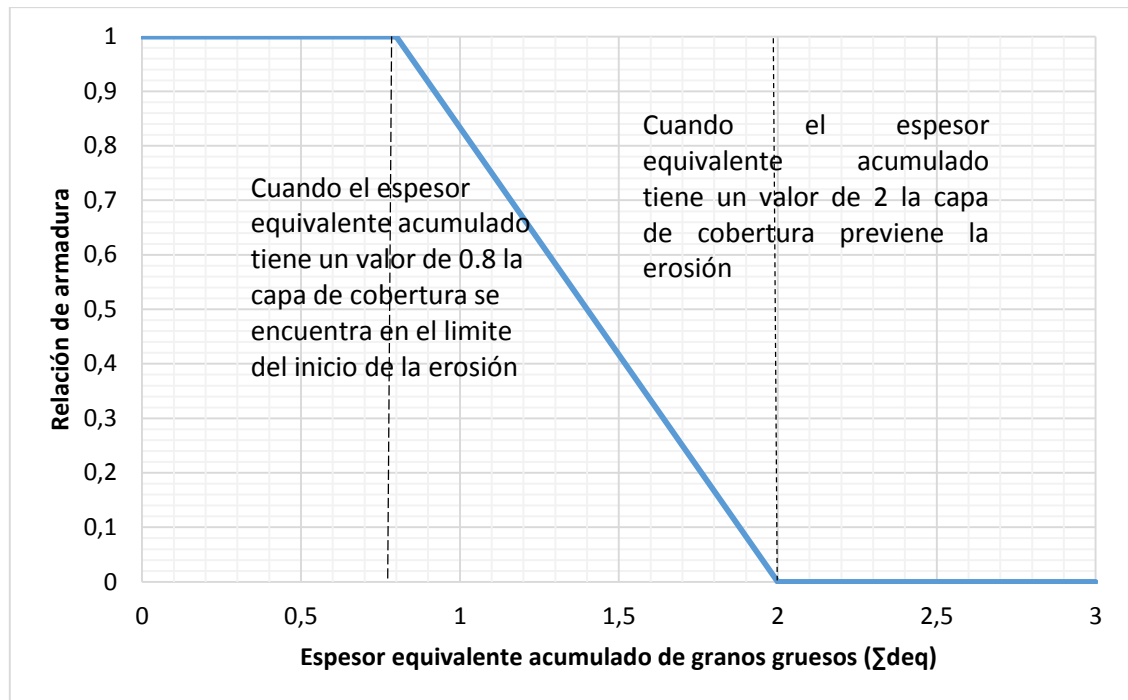


Figura A.18 Gráfico de relación de armadura de Thomas.

Fuente: Adaptación de HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual

Erosión de una clase de grano de la capa su superficial, reduciendo el déficit de la relación de armadura: La erosión por tipo grano se obtiene al multiplica el valor del déficit por la relación de armadura como se muestra a continuación.

$$Erosión_i = Relación\ de\ armadura_i \times Déficit_i \quad \text{Ecuación A.20}$$

Método de Copeland (Exner 7)

Este método sigue el mismo enfoque y concepto que el método de Thomas, este cuenta con una división en la capa activa similar al igual que el método de Thomas, pero cuenta con una capa más la cual se encuentra debajo de la capa inactiva y esta se llama “fuente del lecho” que es el material de cual es originario el material del lecho y de darse el caso está también puede ser erosionada, debido a las diferencias que tiene con el método de Thomas este método es más popular con ríos arenosos, la razón de esto es que el método que se utiliza para calcular la razón de armadura es diferente permitiendo un lavado más eficaz.

A continuación se presentan las principales diferencias con el método de Thomas:

El método de Copeland no hace uso del concepto de profundidad de equilibrio en lugar de eso este inicia con la altura máxima o con una altura de dos veces el diámetro del noventa por ciento ($2d_{90}$) o un quince por ciento de la profundidad del agua ($0.15D$). Figura A.19.

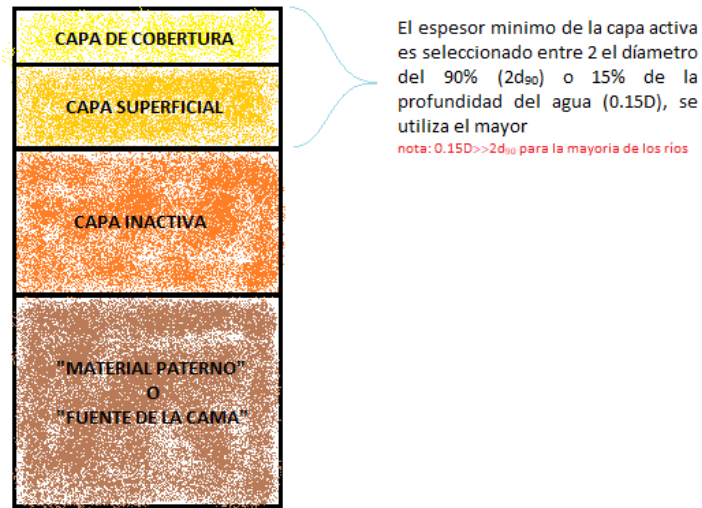


Figura A.19 Capas del Método de Copeland.

Fuente: Adaptación de HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual.

Este método reemplaza la interpolación lineal entre $0.8 < \sum d_{90} < 2$, por una ecuación polinómica

$$AR = -0.026(\sum d_{eq})^3 + 0.28(\sum d_{eq})^2 - 1.07(\sum d_{eq}) + 1.40 \quad \text{Ecuación A.21}$$

La relación es similar al método de Thomas, sin embargo esta relación de armadura empieza desde un valor de diámetro equivalente acumulado de 0.4 ($0.4 \sum d_{eq}$) aunque este no previene completamente la erosión hasta llegar a un valor de 4 el diámetro equivalente acumulado ($4 \sum d_{eq}$)

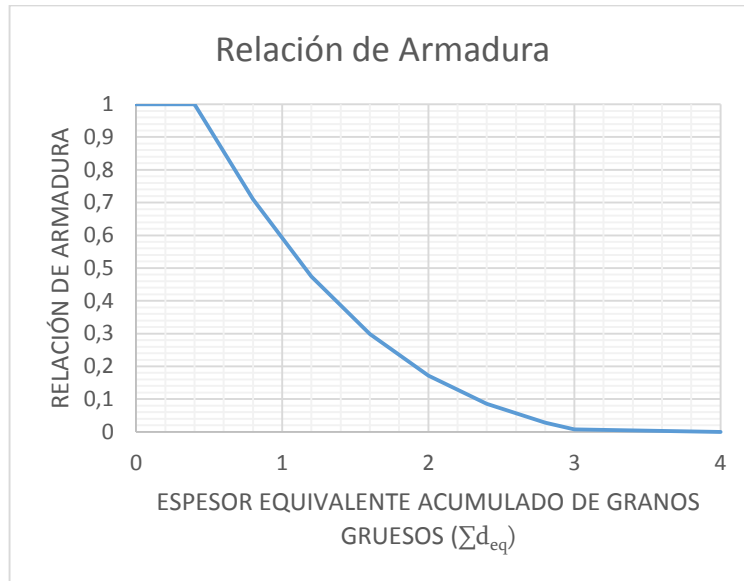


Figura A.20 Gráfico de relación de armadura del método de Copeland.

Fuente: Adaptación de HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual.

El espesor máximo está limitado a un valor de tres veces el diámetro equivalente acumulado ($4\sum d_{eq}$), el entierro no reinicia la capa.

Selección del método de velocidad de caída:⁵⁴

Una vez seleccionado el método de armadura del lecho se procede a seleccionar el método de velocidad de caída, esta se utiliza para determinar el límite en el cual las partículas empiezan a suspenderse, esta suspensión se da cuando el valor de la velocidad de corte de la partícula alcanza el valor de la velocidad de

⁵⁴ Manual de referencia de HEC RAS

caída, la partícula se mantendrá en suspensión mientras el valor de la velocidad de corte de mantenga mayor que la velocidad de caída.

La mayoría de los métodos de velocidad de caída se derivan del principio de equilibrio Figura A.21.

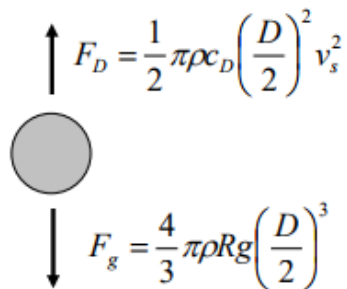


Figura A.21 Diagrama de cuerpo libre para el cálculo de velocidad de caída de una partícula. Fuente: Adaptación de HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual.

Donde:

F_D : Fuerza de turbulencia

ρ : densidad del agua

c_D : Coeficiente de dragado

D : Diámetro de la partícula

v_s : Velocidad de corte

F_g : Fuerza de gravedad

$$R = \frac{\omega D}{\nu}$$

Ecuación A.22

R : Numero de Reynolds

ω : Velocidad de caída

u : Viscosidad cinemática

El programa permite seleccionar entre las opciones de velocidad de caída, se recomienda utilizar el método por defecto a menos que se cuente con información más detallada de las propiedades del sedimento y las propiedades hidráulicas, una de estas propiedades es el factor de forma el cual se obtiene de la siguiente manera:

$$sf = \frac{c}{\sqrt{ab}} \quad \text{Ecuación A.23}$$

Donde:

sf: Factor de forma

a: Longitud de la partícula a lo largo del eje perpendicular a los otros dos ejes

b: Longitud de la partícula a lo largo del eje perpendicular a los otros dos ejes

c: Longitud de la partícula a lo largo del eje perpendicular a los otros dos ejes

A continuación se presentan una breve explicación de las diferentes opciones con las que cuenta el programa:

Toffaletti: Presenta una tabla de velocidad de caída, con un factor de forma de 0.9 y una gravedad específica de 2.65, Figura A.22, esta tabla presenta diferentes velocidades de caída para rangos de temperatura y tipo de grano, el tamaño de

grano se clasifica en base a la Unión Americana de Geofísica (American Geophysical Union) cuyos estándares van desde Arenas muy finas (Very fine sand, VFS) hasta Gravas medias (Mediun Gravel, MG).

Sand Grain Settling Velocity Versus Temperature, SP.G. P.65, Shape Factor 0.9																	
TEMP °F	SETTLING VELOCITY IN FT./SEC								TEMP °C	SETTLING VELOCITY IN FT./SEC							
	VFS	FS	MS	CS	VCS	VFG	FG	MG		VFS	FS	MS	CS	VCS	VFG	FG	MG
35	.013	.045	.130	.305	.590	1.00	1.41	1.95	85	.021	.065	.155	.354	.640	1.00	1.41	1.95
36	.013	.045	.131	.307	.592	1.00	1.41	1.95	86	.021	.066	.156	.356	.641	1.00	1.41	1.95
37	.013	.046	.132	.310	.594	1.00	1.41	1.95	87	.021	.067	.157	.357	.643	1.00	1.41	1.95
38	.014	.047	.133	.312	.595	1.00	1.41	1.95	88	.022	.067	.158	.358	.644	1.00	1.41	1.95
39	.014	.047	.135	.314	.598	1.00	1.41	1.95	89	.022	.068	.170	.360	.646	1.00	1.41	1.95
40	.014	.048	.136	.316	.600	1.00	1.41	1.95	90	.022	.069	.171	.361	.647	1.00	1.41	1.95
41	.015	.049	.137	.318	.602	1.00	1.41	1.95	91	.022	.070	.172	.362	.649	1.00	1.41	1.95
42	.015	.050	.138	.320	.604	1.00	1.41	1.95	92	.023	.071	.173	.363	.650	1.00	1.41	1.95
43	.015	.051	.140	.321	.606	1.00	1.41	1.95	93	.023	.071	.175	.364	.652	1.00	1.41	1.95
44	.016	.051	.141	.322	.608	1.00	1.41	1.95	94	.023	.072	.176	.365	.653	1.00	1.41	1.95
45	.016	.052	.142	.323	.609	1.00	1.41	1.95	95	.024	.072	.177	.366	.655	1.00	1.41	1.95
46	.016	.053	.143	.325	.610	1.00	1.41	1.95	96	.024	.073	.178	.367	.656	1.00	1.41	1.95
47	.016	.053	.144	.326	.612	1.00	1.41	1.95	97	.024	.073	.180	.368	.657	1.00	1.41	1.95
48	.017	.054	.145	.328	.614	1.00	1.41	1.95	98	.024	.074	.181	.370	.658	1.00	1.41	1.95
49	.017	.055	.146	.330	.616	1.00	1.41	1.95	99	.025	.074	.182	.371	.659	1.00	1.41	1.95
50	.017	.055	.147	.331	.618	1.00	1.41	1.95	80	.025	.075	.183	.373	.660	1.00	1.41	1.95
51	.018	.056	.148	.333	.620	1.00	1.41	1.95	81	.025	.075	.184	.375	.661	1.00	1.41	1.95
52	.018	.057	.150	.334	.621	1.00	1.41	1.95	82	.025	.076	.185	.376	.662	1.00	1.41	1.95
53	.018	.057	.151	.336	.623	1.00	1.41	1.95	83	.025	.077	.186	.378	.663	1.00	1.41	1.95
54	.018	.058	.152	.338	.624	1.00	1.41	1.95	84	.026	.077	.187	.380	.664	1.00	1.41	1.95
55	.018	.059	.153	.340	.626	1.00	1.41	1.95	85	.026	.078	.188	.381	.665	1.00	1.41	1.95
56	.019	.059	.154	.341	.627	1.00	1.41	1.95	86	.026	.078	.190	.383	.666	1.00	1.41	1.95
57	.019	.060	.155	.343	.629	1.00	1.41	1.95	87	.026	.079	.192	.385	.667	1.00	1.41	1.95
58	.019	.061	.156	.344	.630	1.00	1.41	1.95	88	.027	.079	.194	.386	.668	1.00	1.41	1.95
59	.019	.061	.157	.346	.632	1.00	1.41	1.95	89	.027	.080	.195	.388	.669	1.00	1.41	1.95
60	.020	.062	.158	.347	.633	1.00	1.41	1.95	90	.027	.080	.196	.390	.670	1.00	1.41	1.95
61	.020	.063	.160	.349	.635	1.00	1.41	1.95	91	.028	.081	.197	.391	.671	1.00	1.41	1.95
62	.020	.063	.161	.350	.636	1.00	1.41	1.95	92	.028	.081	.198	.392	.672	1.00	1.41	1.95
63	.020	.064	.162	.351	.636	1.00	1.41	1.95	93	.028	.082	.199	.393	.673	1.00	1.41	1.95
64	.021	.065	.163	.353	.638	1.00	1.41	1.95	94	.028	.082	.200	.394	.674	1.00	1.41	1.95

Figura A.22 Tablas de velocidad de caída de Toffaleti.

Fuente: HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual.

Van Rijn: Aproxima las curvas de velocidad de US inter-agency Committee of Water Resourse (IACWR) usando partículas no esféricas con un factor de forma de 0.7 en agua a temperatura de 20° Celsius. Se utilizan tres ecuaciones que dependen del tamaño de la partícula.

$$\omega = \frac{(s - 1)gd}{18v}; \quad 0.001 < d \leq 1 \text{ mm} \quad \text{Ecuación A.24}$$

$$\omega = \frac{10v}{d} \left[\left(1 + \frac{0.01(s-1)gd^3}{v^2} \right)^{0.5} - 1 \right]; \quad 0.1 < d < 1 \text{ mm} \quad \text{Ecuación A.25}$$

$$\omega = 1.1[(s-1)gd]^{0.5}; \quad d \geq 1 \text{ mm} \quad \text{Ecuación A.26}$$

Donde:

ω : Velocidad de caída

s : gravedad específica del material

g : Fuerza de gravedad

d : diámetro de la partícula

v : Viscosidad cinemática

Rubey: es una relación analítica entre el fluido, las propiedades del sedimento y la velocidad de caída basada en la ley de Stoke (para partículas finas sujetas solamente a la resistencia viscosa) y una fórmula de impacto (para partículas grandes fuera de la ley de Stoke). Esta ecuación ha sido adecuada para materiales limosos, arenoso y grava. Rubey sugiere que las partículas con forma de cuarzo roto, con una gravedad específica alrededor de 2.65, son los mejores a los que se les aplica esta ecuación. Algunas de las pruebas en partículas más cúbicas o figuras uniformes, tienden a caer más rápido de lo estimado por la ecuación, las pruebas fueron realizadas en agua a una temperatura de 16° Celsius.

$$\omega = F_1 \sqrt{(s-1)d_s} \quad \text{Ecuación A.27}$$

$$F_1 = \sqrt{\frac{2}{3} + \frac{36v^2}{gd^3(s-1)}} - \sqrt{\frac{36v^2}{gd^3(s-1)}}$$

Ecuación A.28

Dietrich: Es un método empírico que toma en cuenta el tamaño de la partícula, densidad, forma y la redondez al momento de calcular la velocidad de natural de asentamiento de los sedimentos. El análisis se hace en base a cuatro parámetros adimensionales, el diámetro nominal adimensional, la velocidad de asentamiento adimensional, el factor de forma de Corey y el factor redondez de Power. Para diámetros nominales altos el factor de forma y la redondez tienen un efecto similar en la velocidad de asentamiento. La redondez varía mucho menos para naturales, sin embargo, desde que es menos importante el control que la forma. Para típicas arenas gruesas con un factor de redondez de Power de 3.5 y un factor de forma de Corey de 0.7 se consigue una velocidad de asentamiento de es mayor en 0.68 que el valor de una con forma esférica, como la forma y la redondez contribuyen equitativamente a la reducción de la velocidad de asentamiento, con diámetros menores la contribución de la forma y redondez son mucho menores, sin embargo, en diámetros pequeños la redondez parece contribuir mucho más que el factor menores a la velocidad de asentamiento.

Condiciones de frontera

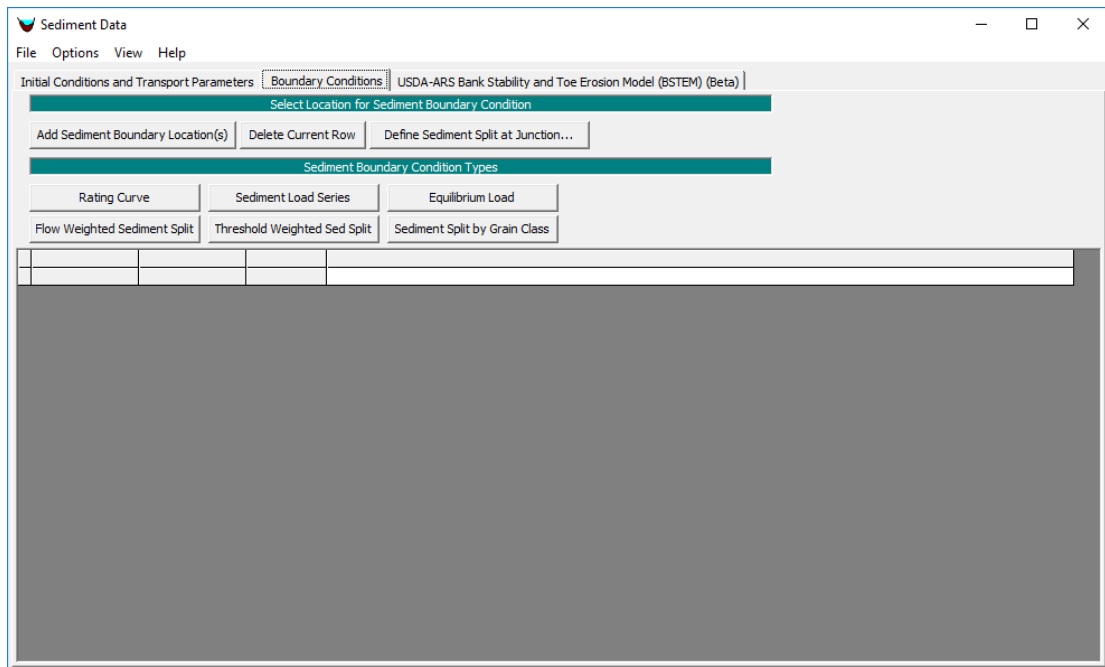


Figura A.23 Ventana de condiciones de frontera para sedimentos.

Fuente: Elaboración propia, captura del programa HEC RAS.

Se procede a seleccionar las condiciones de frontera, que al igual que en los archivos de flujo consta de diferentes opciones para la sección aguas arriba, secciones intermedias, ramificaciones y estructuras, las cuales se presentan a continuación:

- Curva de calificación (Rating curve): En esta opción se debe introducir un flujo el cual se relaciona al transporte de una serie de sedimentos, de los cuales se puede introducir su granulometría y la cantidad de sedimento que pasa por día. Esta opción permite la introducción de varias series de datos, una vez introducido esta serie de datos al realizar la simulación el

programa introducirá esta serie de sedimentos al alcanzar el valor de flujo establecido, en el caso de no alcanzar estos valores el programa utilizará el valor del mayor flujo asignado, en el caso de no alcanzarse los valores que se han asignado se extrapolará desde el valor de cero hasta los valores asignados.

- Serie de tiempo de sedimentos (Sediment time series): Al utilizar esta opción se abre o despliega una ventana donde se introduce una serie de tiempo en la cual se asocia a datos de carga de sedimentos, estos datos de carga de sedimentos deben contener una granulometría asignada la cual se introduce en la misma ventana, además, se pueden llegar a tener múltiples granulometrías y cuyos valores se asignan a un valor de carga diario de sedimentos. Esta opción es seleccionada para secciones intermedias.
- Carga de equilibrio (Equilibrium load): Esta opción no requiere la introducción de ningún dato con excepción de las condiciones iniciales de la sección aguas arriba, donde se aplicarán todas las teorías seleccionadas y la masa que ésta pierda se moverá a la siguiente sección, pero no permite que el lecho se erosione o aumente.

Debido a la variedad de valores que el sedimento puede tener se da la opción de cambiar las propiedades de estos en la pestaña de opción, así como también cambiar algunas de las consideraciones y constantes que pueden tener las

ecuaciones que tengan las opciones seleccionadas para representar los sedimentos.

Establecer propiedades de sedimentos (Set sediment properties): Al seleccionar esta opción se abre una ventana donde se puede cambiar la gravedad específica de los sedimentos y de los materiales que lo componen como arena, limo y arcilla, además del factor de forma de los granos.

Establecer opciones de cohesión (Set Cohesive Option): Al seleccionar esta opción se puede seleccionar el método con el cual se evalúa la erosión, en esta ventana por defecto esta seleccionada la opción que indica que la erosión se dispondrá en base a la teoría seleccionada, pero se puede seleccionar otra de las opciones y establecer cuál es el valor de esfuerzo cortante con para el cual se iniciara la erosión así como el valor de la pendiente de la curva de la tasa de erosión, también, se puede seleccionar el valor de esfuerzo cortante al cual se inicia una erosión masiva y el valor de la pendiente de la curva de erosión masiva.

Opciones de cambio del lecho (Bed Change Option): Esta se divide en dos secciones de las cuales la primera es para la deposición del sedimento, la cual consta de tres opciones que delimitan la ubicación en que se depositara el materia, la segunda sección comprende lo referente a la erosión donde se debe llenar una tabla que contiene las secciones transversales del tramo y las opciones de erosión, para la columna de máximo ancho (Max Whidth) indica cual es un valor que se introduce cuando se alcanza el la profundidad máxima que se ha establecido, ya que el programa erosiona la zona manteniendo la forma

especificada con los límites laterales del lecho, esta opción permite que la parte inferior se ensanche hasta el límite establecido en esta casilla respetando la profundidad máxima; La opción pendiente lateral (Side Slope) define la pendiente que puede llegar a tener los laterales del lecho sin que este se derrumbe, para este valor se puede utilizar el ángulo de reposo del material; La columna de Centro de estación (Center Station) se utiliza para definir el centro de la sección transversal, esto se utiliza en los casos en los que el flujo y la geometría puedan llegar a formar cambios en la sección.

Definición del usuario de la clase de grano (User Defined Grain Classes): Esta opción permite al usuario definir los intervalos de tamaño para los diferentes tipos de granos.

Selección del método de enrutamiento (Select Routing Method): Esta opción permite seleccionar la velocidad en la que se transportan los sedimentos; Al seleccionar la opción de continuidad la velocidad puede llegar a superar en algunos casos la velocidad del agua; Al seleccionar limitar a la velocidad del agua la velocidad de movimiento de las partículas se limita a la velocidad del agua.

Calibración de las funciones de transporte (Calibrate Transport Function): Esta opción se utiliza para calibrar el modelo mediante la modificación de las constantes que estas contiene.

Opciones de mezcla del lecho (bed Mixing Option): Esta opción solo se activa al seleccionar el método de capa activa y se utiliza para seleccionar la el diámetro del material que compone las diferentes capas.

Establecer el paso a través de nodos (Set Pass Through Nodes): Esta opción permite seleccionar estaciones las cuales sirven para determinar la cantidad de material que pasa por ellas, cuando se seleccionan no pueden sufrir efectos de erosión ni deposición.

Datos Observados (Observed Data): Esta opción permite introducir los datos observados en campo para compararlos en la venta de resultados.

Una vez que se han introducido los datos se deben realizar una corrida del programa para lo cual se crea un archivo de corrida o plan, el cual contiene los resultados de la simulación, estos resultados se deben revisar para rectificar que sean lógicos, se cuenta con diferentes tipos de análisis, los cuales se seleccionan dependiendo del flujo que se utilice, los cuales se muestran a continuación:

Realizando simulación de flujo permanente “Performing Steady Flow Simulation”:⁵⁵



Figura A.24 Icono de Análisis de Flujo Permanente.

Fuente: Elaboración propia, captura del programa HEC RAS.

Esta aplicación del programa es capaz de realizar cálculos de perfiles a lo largo del canal introduciendo varios caudales y definiendo diferentes condiciones de contorno. También permite conocer el régimen que presenta el flujo en el canal, es decir si este es supercrítico, subcrítico y mixto, ya que una vez que se han

⁵⁵ Manual de referencia de HEC RAS

realizado los cálculos se puede revisar el valor de Froude para determinar el rango en que se encuentra.

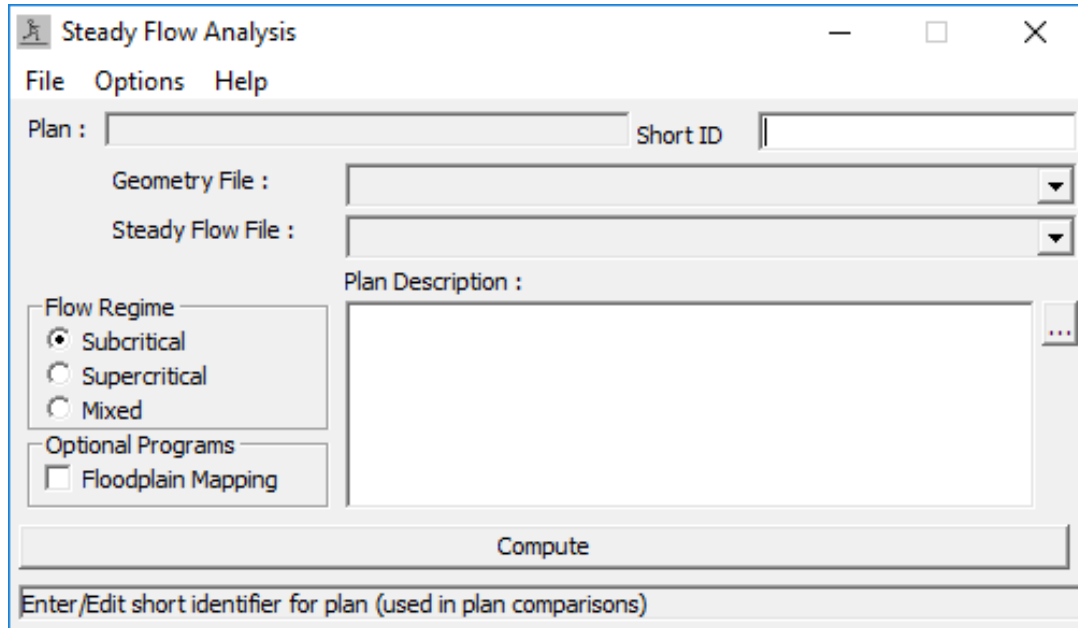


Figura A.25 Ventana de análisis de flujo permanente.

Fuente: Elaboración propia, captura del programa HEC RAS.

Esta aplicación tiene la facilidad de cambiar los parámetros de las ecuaciones, además de otras funciones, estas se encuentran en la pestaña de opciones de la ventana de flujo análisis de flujo permanente dentro de las cuales tenemos:

$$Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha V_1^2}{2g} + h_e \quad \text{Ecuación A.29}$$

Dónde:

Z_1, Z_2 : Elevación del canal

Y_1, Y_2 : Profundidad del agua en la sección transversal

V_1, V_2 : Velocidad promedio (Caudal de descarga/Área total de flujo)

g : Factor gravitacional

h_e : Pérdida de energía

La pérdida de energía se calcula de la siguiente manera:

$$h_e = LS_f + C \left| \frac{\alpha V_2^2}{2g} - \frac{\alpha V_1^2}{2g} \right| \quad \text{Ecuación A.30}$$

Dónde:

S_f : Valor de la pendiente de energía

L : Distancia equivalente de la sección transversal ponderada

C : Coeficiente de contracción o expansión

El valor de la distancia equivalente se obtiene de la siguiente ecuación:

$$L = \frac{L_{izq} \overline{Q_{izq}} + L_{cent} \overline{Q_{cent}} + L_{der} \overline{Q_{der}}}{\overline{Q_{izq}} + \overline{Q_{cent}} + \overline{Q_{der}}} \quad \text{Ecuación A.31}$$

Donde:

$L_{izq}, L_{cen}, L_{der}$: Extensión de la sección transversal específica para el flujo del lado izquierdo, el centro del canal y el lado derecho de los bancos respectivamente.

$\overline{Q_{izq}}$, $\overline{Q_{cent}}$, $\overline{Q_{der}}$: Caudales promedios de entre las secciones para del lado izquierdo, el centro del canal y el lado derecho de los bancos respectivamente

Para la pendiente de fricción se utiliza el método de Manning, a continuación se presenta la ecuación:

$$S_f = \left(\frac{Q}{K}\right)^2 \quad \text{Ecuación A.32}$$

Donde:

Q: es el caudal de la sección

K: Es la transferencia entre la sección

La transferencia de la sección se calcula como se muestra a continuación:

$$K = \frac{1.486}{n} AR^{2/3} \quad \text{Ecuación A.33}$$

Donde:

n: Valor n de Manning

A: Área hidráulica

R: Radio hidráulico (Área hidráulica/ Perímetro mojado)

Esta función cuenta con la opción de cambiar las condiciones para el cálculo, encontrándose están en la pestaña opciones de esta ventana, a continuación se presenta una breve descripción de algunas de estas opciones:

Método de pendiente de fricción “Friction slope method”: Esta opción permite cambiar el método por el cual se calcula la pendiente de fricción, dentro de las cuales tenemos:

Ecuación promedio de transferencia:

$$\bar{S}_f = \left(\frac{Q_1}{K_1} + \frac{Q_2}{K_2} \right)^2 \quad \text{Ecuación A.34}$$

Ecuación de pendiente de fricción promedio:

$$\bar{S}_f = \frac{S_{f1} + S_{f1}}{2} \quad \text{Ecuación A.35}$$

Ecuación de pendiente de fricción media geométrica:

$$\bar{S}_f = \sqrt{S_{f1} \times S_{f2}} \quad \text{Ecuación A.36}$$

Ecuación de pendiente de fricción media armónica:

$$\bar{S}_f = \frac{2(S_{f1} \times S_{f2})}{S_{f1} + S_{f1}} \quad \text{Ecuación A.37}$$

Establecer tolerancias de cálculo “Set Calculation Tolerance”: Esta opción permite modificar las opciones de cálculo como las tolerancias para la comprobación de las ecuaciones y la cantidad de iteraciones que se realizan para obtener los resultados.

Opción de salida de profundidad crítica “Critical Depth Output Option”: Esta opción habilita el cálculo de profundidad crítica para todas las secciones.

Método de cálculo de la profundidad crítica “Critical Depth Computation Method”: Está opción permite cambiar entre las diferentes teorías con las que cuenta el programa para el cálculo de la profundidad crítica.

$$H = WS + \frac{\alpha V^2}{2g} \quad \text{Ecuación A.38}$$

Donde:

H: Pérdida de energía

WS: Nivel de la superficie del agua

Los métodos de cálculo para obtener la profundidad crítica son:

El método parabólico: Este consiste en utilizar un valor de H para tres niveles de superficie que son espaciados a intervalos de superficie equidistantes. La superficie correspondiente al mínimo valor de H, se define como el valor que pasa a través de los tres puntos en un plano H vs WS, este se utiliza para la siguiente asunción cuya finalidad es obtener el verdadero valor de H, este valor se alcanza cuando la pérdida de energía varía en una magnitud menor de 0.03 m.

El método secante se basa en la creación de una tabla de superficie de agua contra energía cortando la sección en 30 intervalos, después el programa busca un punto mínimo local el cual cumpla con la condición de que la energía sea menor que la de los puntos adyacente para una superficie del agua. Una vez que

el programa haya encontrado un mínimo local procederá a buscar otro hasta encontrar un máximo de tres para después seleccionar el que tenga la menor altura.

Establecer nivel de salida del archivo de registro: Esta opción permite que establecer el tipo de datos que se desea visualizar al terminar de correr el programa, además la opción de flujo permanente permite ajustar el nivel de salida para cada sección transversal.

Realizando simulación de flujo no permanente “Performing Unsteady Flow Simulation”:



Figura A.26 Icono de análisis de flujo no permanente.

Fuente: Elaboración propia, captura del programa HEC RAS.

Esta función permite realizar el análisis con flujos que varían a intervalos regulares con el tiempo, al seleccionar esta función se abre una ventana secundaria en la cual se seleccionan los archivos que se desean usar para la simulación, los programas a correr, la fecha y hora en que inicia y termina la simulación, el intervalo de tiempo en el cual se desean realizar los cálculos y el intervalo de tiempo para el cual se desean visualizar los resultados.

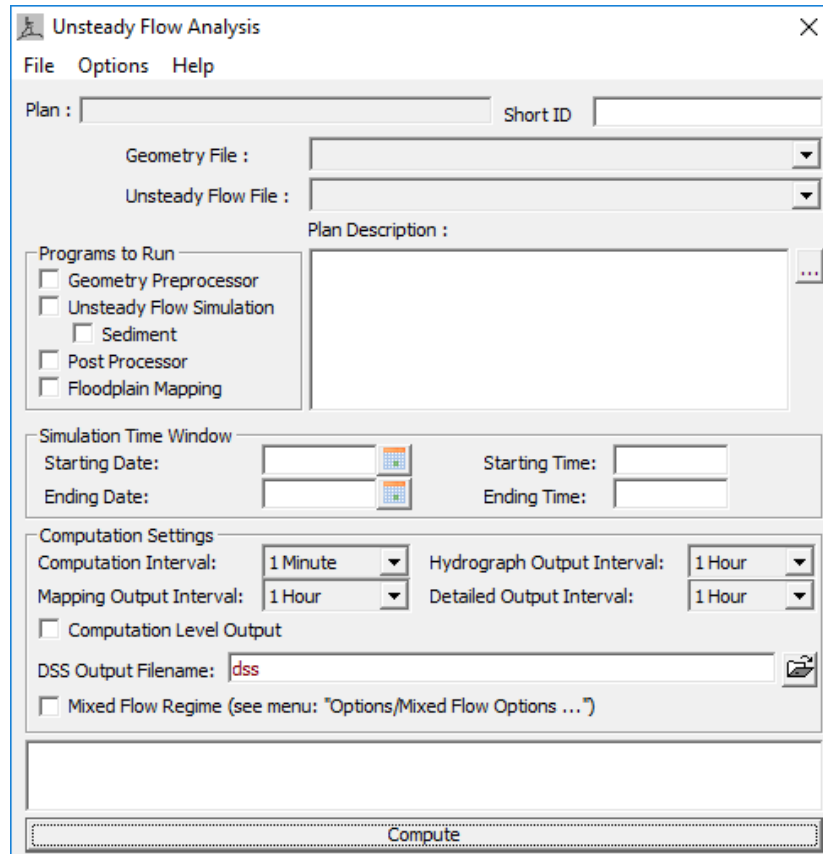


Figura A.27 Ventana de análisis de flujo no permanente.

Fuente: Elaboración propia, captura de pantalla del programa HEC RAS.

Dentro de los programas a correr se tienen cuatro casillas las cuales se seleccionan en base al tipo de análisis que se desea realizar, a continuación se presenta una breve explicación de estas opciones:

Procesador de geometría “Geometry Preprocessor”: Este procesa los datos de geometría y los introduce a una tabla de propiedades hidráulicas la cual se utiliza para disminuir el tiempo que se tarda en realizar la simulación de flujo no permanente, ya que este no tendrá que calcular las propiedades hidráulicas para

cada paso de tiempo de la simulación, esta tabla de propiedades hidráulicas es usada para interpolar entre sus valores y así utilizar los valores necesarios para el análisis.

Simulación de Flujo no permanente “Unsteady Flow Simulation”: Para procesar la simulación de flujo el programa utiliza las mismas ecuaciones que se utilizan para el flujo permanente, con la diferencia que se utiliza una matriz Skiline que genera una única solución, es método fue desarrollada por el Dr. Robert Barkau para su programa UNET (Modelo de red inestable). Este proceso se desarrolla en tres fases, la primera lee los datos de un archivo HEC-DSS, en caso de haberlos, y procede a convertirlos en datos de con un intervalo especificado por el usuario, para la segunda fase se corre un programa nombrado Inestable.exe el cual lee la información de las tablas hidráulicas obtenidas del pre-procesador, los archivos de flujo no permanente y las condiciones de contorno que estas contiene y procede a realizar los cálculos necesarios, la tercera y última fase corre el programa llamado DSSWriter.exe que escribe los resultados de la fase anterior en un archivo HEC-DSS.

Sedimentos “Sediment”: Al seleccionar esta casilla permite que se lleve a cabo el análisis de sedimentos con flujo no permanente, pero introduce inestabilidad al modelo

Post-procesador “Post-Processor”: Esta opción se usa para el cálculo detallado de información hidráulica la cual se puede visualizar en gráficos y tablas, el post-procesador se debe utilizar siempre que se desee esta información ya que la

opción de simulación de flujo no permanente solamente calcula el estado y flujo en los nodos y el histograma de estado y flujo en zonas especificadas.

Mapeo de llanura de inundación “Floodplain Mapping”: Al seleccionar esta casilla el programa realizará los el dibujo de las llanuras de inundación y los cálculos de los parámetros hidráulicos individuales de esta zona.

Algunas de las opciones más importantes para realizar este tipo de análisis se describen a continuación:

Opciones de Flujo Mixto “Mixed flow Option”: Esta opción permite cambiar las constantes para identificar el cambio de flujo supercrítico a subcrítico y viceversa, en esta opción se selecciona la constante m que ha explicado en el capítulo 2 y el valor de Froud a partir del cual cambia la aceleración.

Opciones de cálculo y tolerancia “Computation Option and Tolerance”: Esta opción cambia las teoría con la cual se resuelve el modelo hidráulico para 1 D y 2 D.

Las opciones para modelación 1D: cuenta con la opción de Skilene y Pardiso para la resolución del modelo hidráulico; además de las condiciones para aumentar la estabilidad del flujo lo cual se logra al modificar el número de iteraciones de cálculo e iteraciones de calentamiento que el programa debe realizar, esta opción afecta el tiempo de cálculo del modelo, además del factor de peso el cual permite obtener un modelo más realista, también, cuenta con otras condiciones para las zonas de almacenamiento y para considerar el nivel de error con que se realizan los cálculos.

Las opciones para modelación 2D: Esta opción al igual que las opciones de modelación 1D permite cambiar el número de iteraciones para la resolución del modelo, el factor de peso, activar el efecto coreolis (Solamente viable si se cuenta con archivos geo referenciados), además de cambiar el método por el cual se resuelve el modelo 2D para lo que se cuenta con la opción “Full momentun” y “Difusion Wave” los cuales se utilizan de acuerdo a la geomorfología de la zona y a las condiciones de flujo entre otras opciones.

1D/2D opciones “1D/2D Option”: Esta opción se utiliza para mejorar el cambio entre análisis 2D y 1D

Métodos de pendiente de fricción para secciones transversales “Friction Slope Method for Cross Section”: Esta opción al igual que en el análisis de flujo permanente permite seleccionar entre los diferentes métodos presentados anteriormente.

Realizando Análisis de Transporte de Sedimentos “Perform a Sediment Transport Analysis”:



Figura A.28 Icono de Análisis de Transporte de Sedimentos.

Fuente: Elaboración propia, captura de pantalla del programa HEC RAS.

Esta función permite realizar un análisis de transporte de sedimento para lo cual requiere de datos de flujo cuasi permanente y datos de sedimentos, en esta

ventana se seleccionan los archivos respectivos para este análisis, además de especificar el periodo de tiempo durante el cual se realizará el análisis.

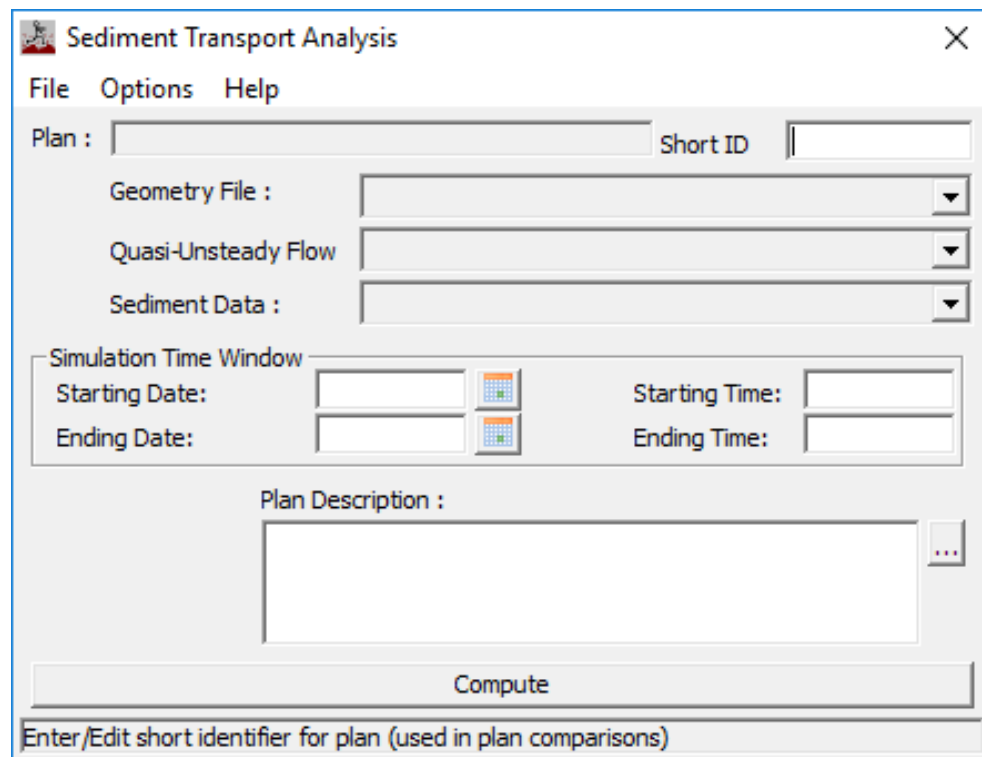


Figura A.29 Ventana de Análisis de transporte de sedimentos

Fuente: Elaboración propia, captura de pantalla del programa HEC RAS.

Esta función cuenta con opciones similares a las opciones de flujo no permanente y permanente destacando la siguiente opción:

Salida de sedimentos “Sediment Output”: Esta opción permite controlar el nivel de detalle que se desea en el análisis de transporte de sedimentos, las variables

que se desean visualizar y se pueden especificar secciones donde detallar el análisis.

Anexo B

Se presentan las fotografías del trabajo realizado en la Quebrada El Arenal en Mejicanos:





Se presentan las fotografías del trabajo realizado en la Quebrada Buenos Aires en Santa Tecla:





Se presentan las fotografías del trabajo realizado en la Quebrada Buenos Aires en Santa Tecla:





Anexo C

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

HOJA DE RESULTADOS PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS GRUESOS Y FINOS

PROYECTO: Trabajo de graduación	UBICACIÓN: Quebrada Las Lajas	FECHA DE ENSAYO: 14/3/2017
MUESTRA: Muestra N° 1	LABORATORISTA: Grupo de tesis	ELABORO: Grupo de tesis

DATOS GENERALES DE LA MUESTRA:

Fracción	Masa antes de lavar (g)	Humedad higroscópica (%)	Masa seca después de lavar (g)	Perdida por lavado de material retenido No 10 (g)	Tolerancia Permitida (%)
Retenida malla No 10	2595	7.36	2290	305	1
Pasa malla No 10	4929		0.5		
Suma	7524				

CUADRO CORREGIDO (MASAS SECAS)

Fracción	Masa (g)	Humedad higroscópica (%)	Masa seca (g)	Porcentaje de Fracción (%)
Retenida malla No 10	-	7.36	2,290.0	32
Pasa malla No 10	5,234.0		4,875.2	68
Suma			7165.2	100

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN RETENIDA EN LA MALLA N° 10:

Tamizado de la fracción retenida en la malla N° 10						
Malla No	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida (g) (Compensada)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
1 ½"	37.50		0.0	0	0	100
1"	25.00	66.1	66.1	0.9	0.9	99.1
¾"	19.00	158.5	158.5	2.2	3.1	96.9
½"	12.50	388.0	388.0	5.4	8.5	91.5
3/8"	9.50	227.8	227.8	3.2	11.7	88.3
N°4	4.75	574.1	576.6	8.0	19.8	80.2
N°10	2.00	871.0	871.0	12.2	31.9	68.1
Pasa la N°10	2.00	4877	4877	68.1	100.0	
SUMA		7162.7	7165.2	100		

Error calculado: 0.03

Valor de compensación: 2.5

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN PASANTE DE LA MALLA N° 10:

Datos iniciales:

Masa humedad: 300.00 g

Masa seca al horno: 270.00 g

Masa corregida por humedad: 279.43 g

Humedad higroscópica (ω): 7.36 %

Perdida por lavado 9.43 g

Tamizado de la fracción pasante de la malla N° 10								
Malla No	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida (g) (Ajustado lo que pasa la No 200)	Masa retenida (g) (Compensada)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje que pasa ref. muestra total (%)
No 10	2.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	68.1
No 16	1.18	25.10	25.10	25.10	9.0	9.0	91.0	62.0
No 30	0.60	52.20	52.20	52.20	18.7	27.7	72.3	49.2
No 50	0.30	76.50	76.50	76.90	27.5	55.2	44.8	30.5
No 100	0.15	58.80	58.80	58.80	21.0	76.2	23.8	16.2
No 200	0.08	30.00	30.00	30.00	10.7	87.0	13.0	8.9
Pasa No 200		27.00	36.43	36.43	13.0	100.0		
Suma		269.60	279.03	279.43				

Error calculado: 0.14

Valor de compensación: 0.40

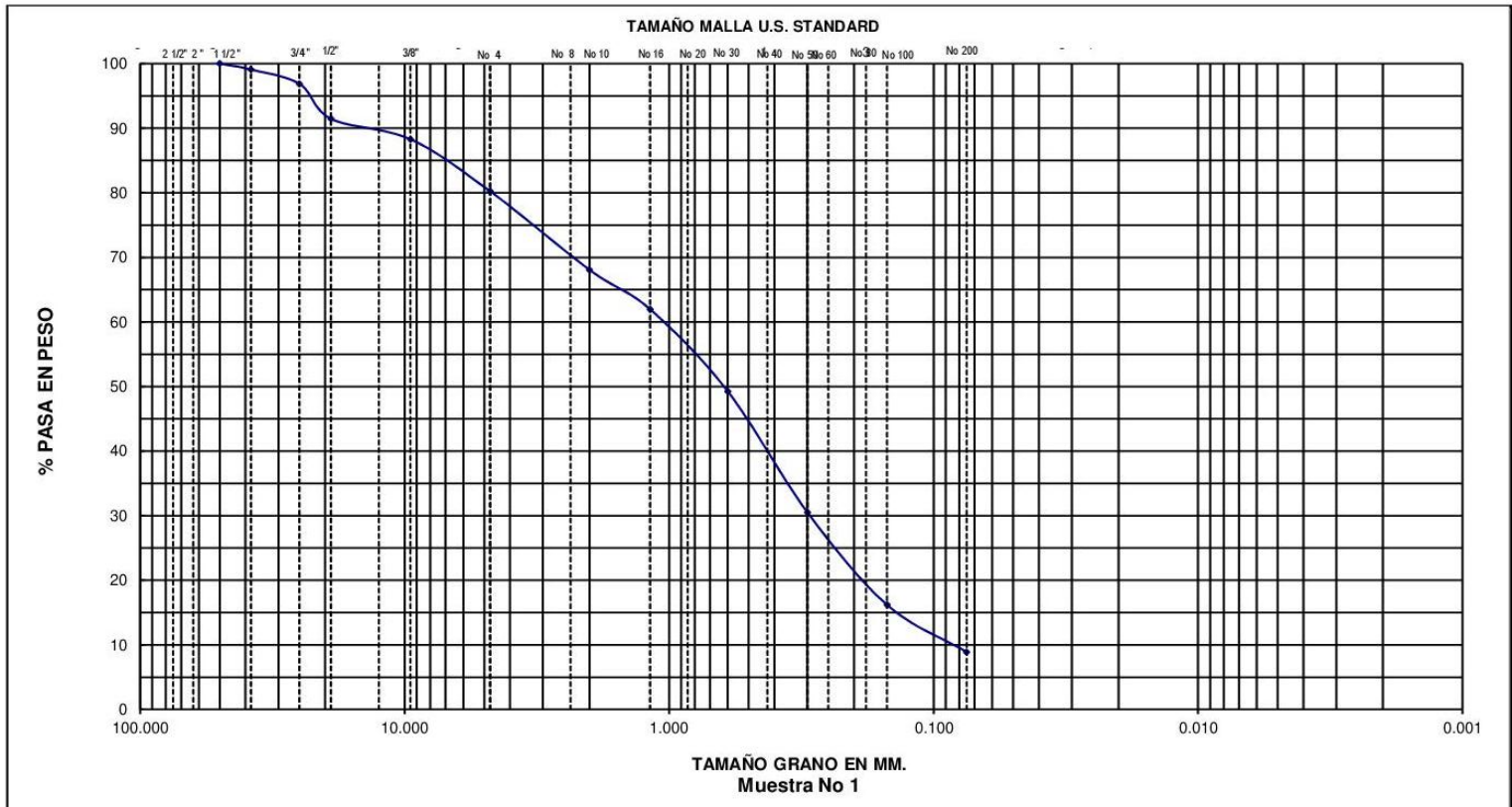
D₆₀: 1.9 c_u: 21.1

D₃₀: 0.29 c_c: 0.5

D₁₀: 0.09

Observaciones: No se realizó hidrometría para esta muestra. La muestra se clasifica como: Arena mal graduada con grava





GUIJARRO	GRAVA	ARENA	LIMO O ARCILLA
	GRUESA FINA	GRUESA MEDIA FINA	

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO A. GUZMAN URBINA"</p>	CURVA GRANULOMETRICA
	PROYECTO: Trabajo de graduación TRABAJO No _____ UBICACION: Quebrada Las Lajas SOLICITA: Grupo de tesis Banco: - MUESTRA No Muestra 1 FECHA: 14/3/2017 LABORATORISTA: Grupo de tesis CALCULO: Grupo de tesis REVISO: Grupo de tesis

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

HOJA DE RESULTADOS PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS GRUESOS Y FINOS

PROYECTO: Trabajo de graduación	UBICACIÓN: Quebrada Buenos Aires	FECHA DE ENSAYO: 15/3/2017
MUESTRA: Muestra N° 2	LABORATORISTA: Grupo de tesis	ELABORO: Grupo de tesis

DATOS GENERALES DE LA MUESTRA:

Fracción	Masa antes de lavar (g)	Humedad higroscópica (%)	Masa seca después de lavar (g)	Perdida por lavado de material retenido No 10 (g)	Tolerancia Permitida (%)
Retenida malla No 10	2,600	6.00	2578.8	21.2	1
Pasa malla No 10	7,162				0.5
Suma	9762				

CUADRO CORREGIDO (MASAS SECAS)

Fracción	Masa (g)	Humedad higroscópica (%)	Masa seca (g)	Porcentaje de Fracción (%)
Retenida malla No 10	-	6.00	2,578.8	28
Pasa malla No 10	7,183.2		6,776.7	72
Suma			9355.5	100

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN RETENIDA EN LA MALLA N° 10:

Tamizado de la fracción retenida en la malla N° 10						
Malla No	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida (g) (Compensada)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
2"	50.00	0.0	0.0	0	0	100
1"	25.00	95.8	95.8	1.0	1.0	99.0
3/4	19.00	168.0	168.0	1.8	2.8	97.2
1/2	12.50	421.9	421.9	4.5	7.3	92.7
3/8	9.50	472.0	472.0	5.0	12.4	87.6
N°4	4.75	1405.0	1399.9	15.0	27.3	72.7
No 10	2.00	0.0	0.0	0.0	27.3	72.7
Pasa No 10	21.20	6798	6798	72.7	100.0	
Suma		9360.6	9355.5	100		

Error calculado: -0.03

Valor de compensación: -5.1

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN PASANTE DE LA MALLA N° 10:

Datos iniciales:

Masa humedad: 300.00 g

Masa seca al horno: 284.90 g

Masa corregida por humedad: 283.02 g

Humedad higroscópica (ω): 6.00 %

Perdida por lavado: 1.88 g

Tamizado de la fracción pasante de malla N° 10								
Malla No	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida (g) (Ajustado lo que pasa la No 200)	Masa retenida (g) (Compensada)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje que pasa ref. muestra total (%)
No 10	2.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	72.7
No 16	1.18	57.40	57.40	57.40	20.3	20.3	79.7	57.9
No 30	0.60	62.80	62.80	62.80	22.2	42.5	57.5	41.8
No 50	0.30	71.50	71.50	72.70	25.7	68.2	31.8	23.1
No 100	0.15	57.30	57.30	57.30	20.2	88.4	11.6	8.4
No 200	0.08	21.00	21.00	21.00	7.4	95.8	4.2	3.0
Pasa No 200		13.70	11.82	11.82	4.2	100.0		
Suma		283.70	281.82	283.02				

Error calculado: 0.42

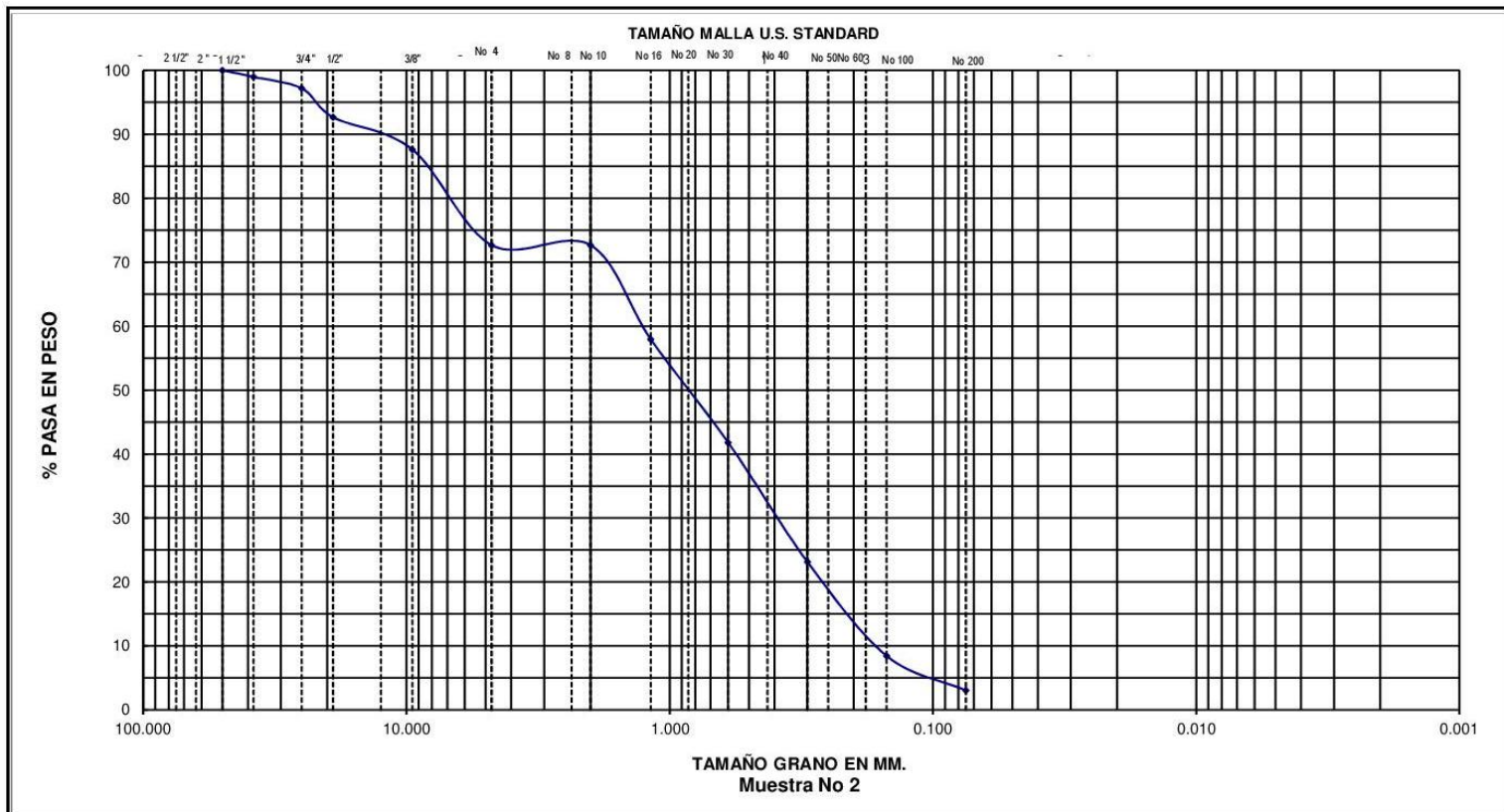
Valor de compensación: 1.20 g

D₆₀: 1.3 c_u: 14.4

D₃₀: 0.41 c_c: 1.4

D₁₀: 0.09

Observaciones: No se realizó hidrometría para esta muestra. La muestra se clasifica como: Arena mal graduada con grava.



GUIJARRO	GRAVA		ARENA			LIMO O ARCILLA
	GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA	

<p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO A. GUZMAN URBINA"</p>	CURVA GRANULOMETRICA	
	PROYECTO: <u>Trabajo de graduación</u> TRABAJO No _____	
	UBICACION: <u>Quebrada Buenos Aires</u>	
	SOLICITA: <u>Grupo de tesis</u>	
	Banco: _____	MUESTRA No <u>Muestra 2</u> FECHA: <u>15/03/2017</u>
LABORATORISTA: <u>Grupo de tesis</u>	CALCULO: <u>Grupo de tesis</u> REVISOR: <u>Grupo de tesis</u>	

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

HOJA DE RESULTADOS PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS GRUESOS Y FINOS

PROYECTO: Trabajo de graduación	UBICACIÓN: Quebrada Buenos Aires	FECHA DE ENSAYO: 16/3/2017
MUESTRA: Muestra N° 3	LABORATORISTA: Grupo de tesis	ELABORO: Grupo de tesis

DATOS GENERALES DE LA MUESTRA:

Fracción	Masa antes de lavar (g)	Humedad higroscópica (%)	Masa seca después de lavar (g)	Perdida por lavado de material retenido No 10 (g)	Tolerancia Permitida (%)
Retenida malla No 10	2,009	4.84	1981.1	27.9	1
Pasa malla No 10	3,908				0.5
Suma	5917				

CUADRO CORREGIDO (MASAS SECAS)

Fracción	Masa (g)	Humedad higroscópica (%)	Masa seca (g)	Porcentaje de Fracción (%)
Retenida malla No 10	-	4.84	1,981.1	35
Pasa malla No 10	3,935.9		3,754.2	65
Suma			5735.3	100

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN RETENIDA EN LA MALLA N° 10:

Tamizado de la fracción retenida en la malla N° 10						
Malla No	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida (g) (Compensada)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
1"	25.00	0.0	0.0	0	0	100
¾"	19.00	36.0	36.0	0.6	0.6	99.4
½"	12.50	57.7	57.7	1.0	1.6	98.4
3/8"	9.50	70.8	70.8	1.2	2.9	97.1
N°4	4.75	463.0	463.0	8.1	10.9	89.1
N°10	2.00	1343.8	1325.7	23.1	34.1	65.9
Pasa No 10	27.90	3782	3782	65.9	100.0	
Suma		5753.4	5735.3	100		

Error calculado: -0.32

Valor de compensación: -18.1

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN PASANTE DE LA MALLA N° 10:

Datos iniciales:

Masa humedad: 320.00 g

Masa seca al horno: 301.00 g

Masa corregida por humedad: 305.23 g

Humedad higroscópica (ω): 4.84 %

Perdida por lavado: 4.23 g

Tamizado de la fracción pasante de malla N° 10								
Malla No	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida (g) (Ajustado lo que pasa la No 200)	Masa retenida (g) (Compensada)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje que pasa ref. muestra total (%)
No 10	2.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	65.9
No 16	1.18	31.90	31.90	31.90	10.5	10.5	89.5	59.1
No 30	0.60	41.00	41.00	41.00	13.4	23.9	76.1	50.2
No 50	0.30	46.70	46.70	46.70	15.3	39.2	60.8	40.1
No 100	0.15	66.50	66.50	67.80	22.2	61.4	38.6	25.5
No 200	0.08	55.10	55.10	55.10	18.1	79.4	20.6	13.6
Pasa No 200		58.50	62.73	62.73	20.6	100.0		
Suma		299.70	303.93	305.23				

Error calculado: 0.43

Valor de compensación: 1.30 g

D₆₀: 1.3

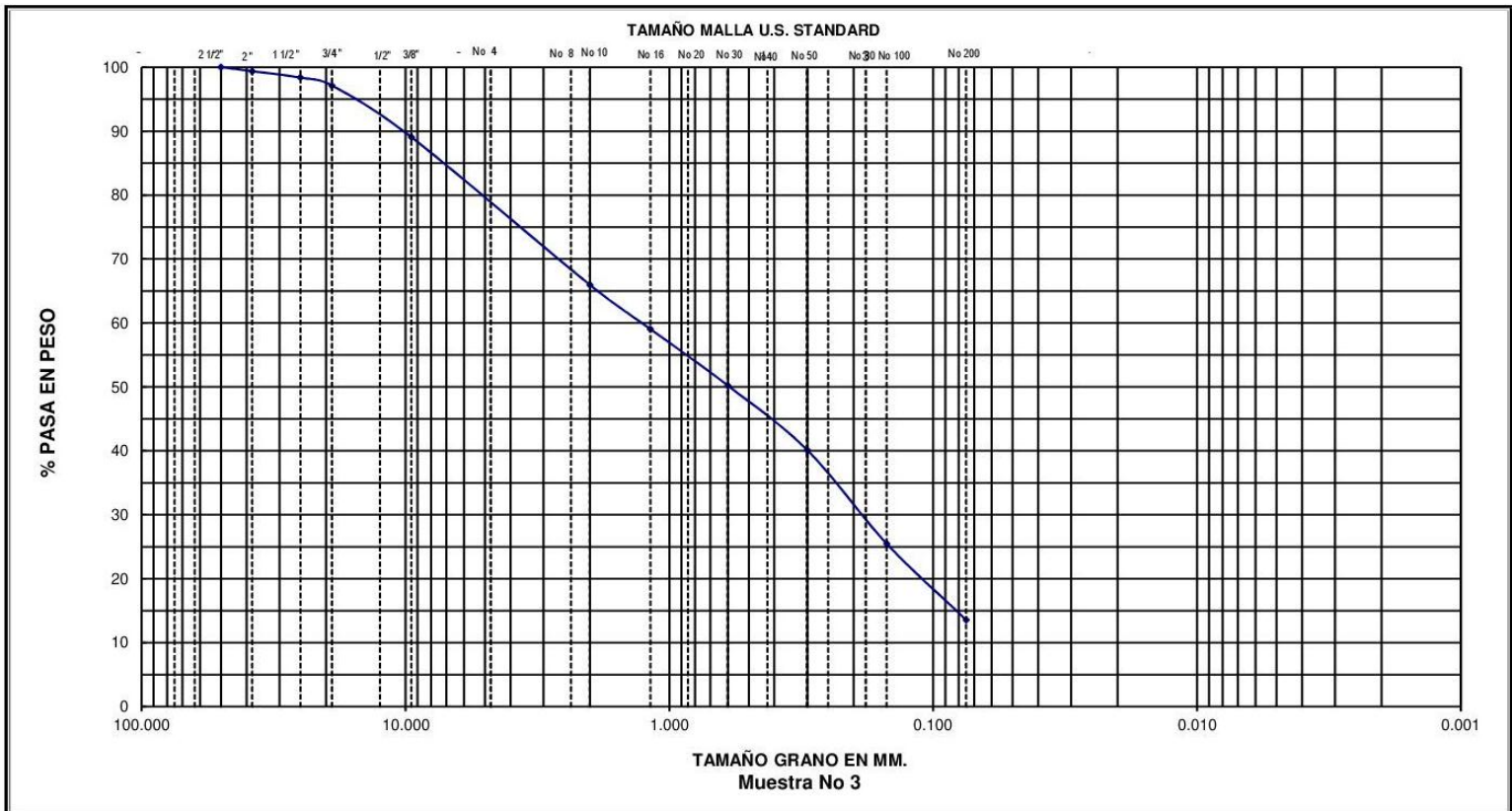
c_u: 23.5

D₃₀: 0.1

c_c: 0.1

D₁₀: 0.055

Observaciones: No se realizó hidrometría para esta muestra. La muestra se clasifica como: Arena mal graduada con limo y grava.



GUIJARRO	GRAVA		ARENA			LIMO O ARCILLA
	GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA	

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 "ING. MARIO A. GUZMAN URBINA"

CURVA GRANULOMETRICA

PROYECTO: Trabajo de graduación TRABAJO No _____
 UBICACION: Quebrada Buenos Aires
 SOLICITA: Grupo de trabajo
 Banco: - MUESTRA No Muestra 3 FECHA: 16/03/2017
 LABORATORISTA: Grupo de trabajo CALCULO: Grupo de trabajo REVISOR: Grupo de trabajo

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

HOJA DE RESULTADOS PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS GRUESOS Y FINOS

PROYECTO: Trabajo de graduación	UBICACIÓN: Quebrada Las Lajas	FECHA DE ENSAYO: 21/3/2017
MUESTRA: Muestra N° 4	LABORATORISTA: Grupo de tesis	ELABORO: Grupo de tesis

DATOS GENERALES DE LA MUESTRA:

Fracción	Masa antes de lavar (g)	Humedad higroscópica (%)	Masa seca después de lavar (g)	Perdida por lavado de material retenido No 10 (g)	Tolerancia Permitida (%)
Retenida malla No 10	6,379	0.86	6265.3	113.7	1
Pasa malla No 10	3,129				0.5
Suma	9508				

CUADRO CORREGIDO (MASAS SECAS)

Fracción	Masa (g)	Humedad higroscópica (%)	Masa seca (g)	Porcentaje de Fracción (%)
Retenida malla No 10	-	0.86	6,265.3	66
Pasa malla No 10	3,242.7		3,215.1	34
Suma			9480.4	100

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN RETENIDA EN LA MALLA N° 10:

Tamizado de la fracción retenida en la malla N° 10						
Malla No	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida (g) (Compensada)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
1 ½"	37.50	640.4	640.4	7	7	100
1"	25.00	1061.0	1061.0	11.2	17.9	82.1
¾"	19.00	652.2	652.2	6.9	24.8	75.2
½"	12.50	807.1	807.1	8.5	26.5	73.5
3/8"	9.50	545.2	545.2	5.8	32.2	67.8
N°4	4.75	1171.0	1171.0	12.4	44.6	55.4
N°10	2.00	1267.4	1274.7	13.4	58.0	42.0
Pasa la N°10	2.00	3329	3329	35.1	93.1	
SUMA		9473.1	9480.4	100		

Error calculado: 0.08

Valor de compensación: 7.3

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN PASANTE DE LA MALLA N° 10:

Datos iniciales:

Masa humedad: 125.00 g

Masa seca al horno: 110.00 g

Masa corregida por humedad: 123.94 g

Humedad higroscópica (ω): 0.86 %

Perdida por lavado 13.94 g

Tamizado de la fracción pasante de malla N° 10								
Malla No	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida (g) (Ajustado lo que pasa la No 200)	Masa retenida (g) (Compensada)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje que pasa ref. muestra total (%)
No 10	2.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	42.0
No 16	1.18	29.90	29.90	29.90	24.1	24.1	75.9	31.9
No 30	0.60	42.00	42.00	42.60	34.4	58.5	41.5	17.4
No 50	0.30	25.80	25.80	25.80	20.8	79.3	20.7	8.7
No 100	0.15	8.90	8.90	8.90	7.2	86.5	13.5	5.7
No 200	0.08	1.80	1.80	1.80	1.5	87.9	12.1	5.1
Pasa No 200		1.00	14.94	14.94	12.1	100.0		
Suma		109.40	123.34	123.94				

Error calculado: 0.48

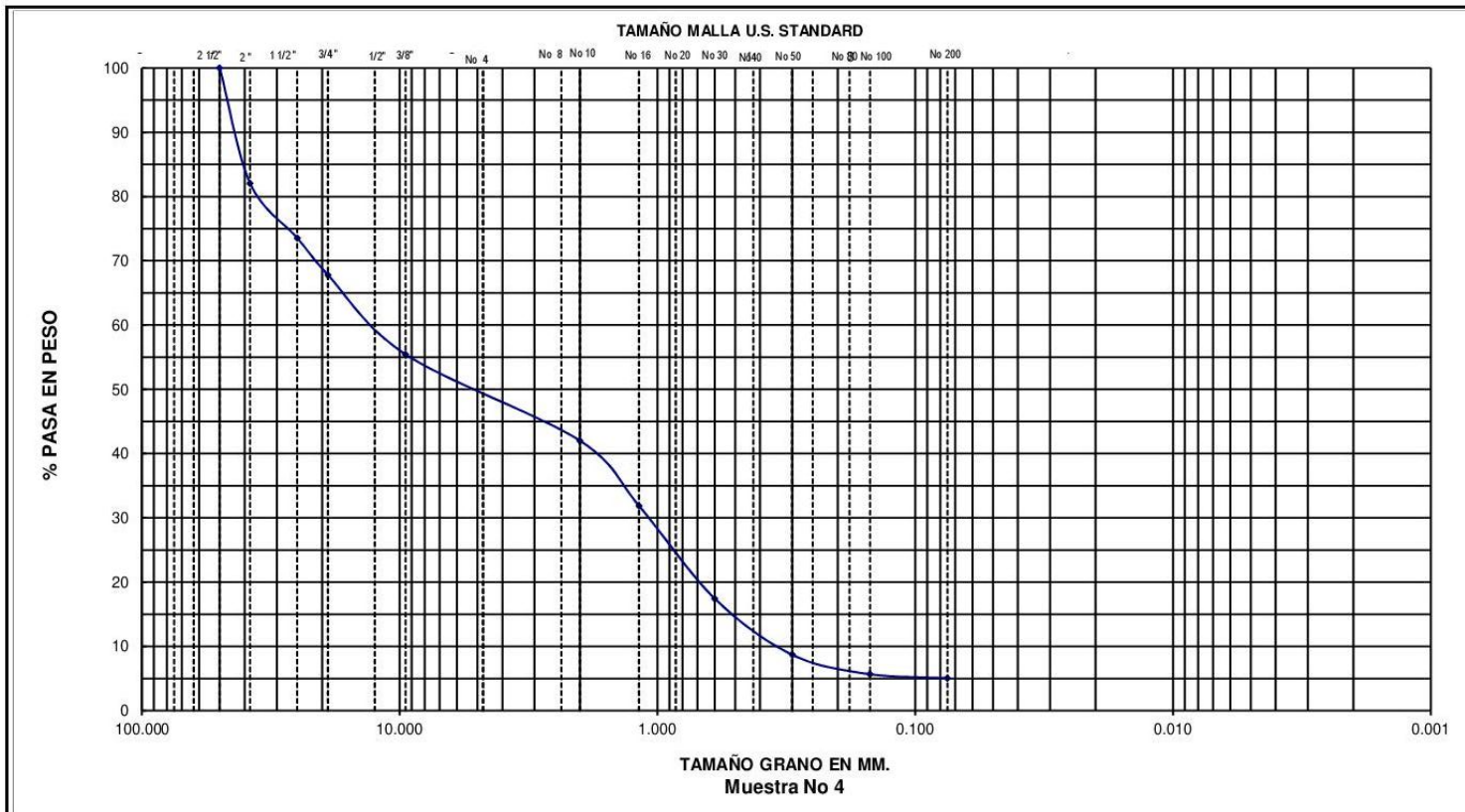
Valor de compensación: 0.60 g

D₆₀: 6.5 c_u: 216.7

D₃₀: 1.03 c_c: 5.4

D₁₀: 0.03

Observaciones: No se realizó hidrometría para esta muestra. La muestra se clasifica como: Grava mal graduada con arena.



GUIJARRO	GRAVA		ARENA			LIMO O ARCILLA
	GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA	

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO A. GUZMAN URBINA"</p>	CURVA GRANULOMETRICA	
	PROYECTO: Trabajo de graduación TRABAJO No _____	
	UBICACION: Quebrada Las Lajas	
	SOLICITA: Grupo de tesis	
	Banco: -	MUESTRA No Muestra 4
LABORATORISTA: Grupo de tesis	CALCULO: Grupo de tesis	REVISO: Grupo de tesis

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

HOJA DE RESULTADOS PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS GRUESOS Y FINOS

PROYECTO: Trabajo de graduación	UBICACIÓN: Quebrada Las Lajas	FECHA DE ENSAYO: 22/3/2017
MUESTRA: Muestra N° 5	LABORATORISTA: Grupo de tesis	ELABORO: Grupo de tesis

DATOS GENERALES DE LA MUESTRA:

Fracción	Masa antes de lavar (g)	Humedad higroscópica (%)	Masa seca después de lavar (g)	Perdida por lavado de material retenido No 10 (g)	Tolerancia Permitida (%)
Retenida malla No 10	3,803	3.26	3778.6	24.4	1
Pasa malla No 10	3,083				0.5
Suma	6886				

CUADRO CORREGIDO (MASAS SECAS)

Fracción	Masa (g)	Humedad higroscópica (%)	Masa seca (g)	Porcentaje de Fracción (%)
Retenida malla No 10	-	3.26	3,778.6	56
Pasa malla No 10	3,107.4		3,009.2	44
Suma			6787.8	100

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN RETENIDA EN LA MALLA N° 10:

Tamizado de la fracción retenida en la malla N° 10						
Malla No	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida (g) (Compensada)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
1 ½"	37.50	640.4	640.4	9.4	9	100
1"	25.00	532.0	532.0	7.8	17.3	82.7
¾"	19.00	463.6	463.6	6.8	24.1	75.9
½"	12.50	556.8	563.2	8.3	25.6	74.4
3/8"	9.50	238.1	238.1	3.5	29.1	70.9
N°4	4.75	853.4	853.4	12.6	41.6	58.4
N°10	2.00	463.5	463.5	6.8	48.5	51.5
Pasa la N°10	2.00	3034	3034	44.7	93.2	
SUMA		6781.4	6787.8	100		

Error calculado: 0.09

Valor de compensación: 6.4

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN PASANTE DE LA MALLA N° 10:

Datos iniciales:

Masa humedad: 110.00 g

Masa seca al horno: 100.00 g

Masa corregida por humedad: 106.52 g

Humedad higroscópica (ω): 3.26 %

Perdida por lavado 6.52 g

Tamizado de la fracción pasante de malla N° 10								
Malla No	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida (g) (Ajustado lo que pasa la No 200)	Masa retenida (g) (Compensada)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje que pasa ref. muestra total (%)
No 10	2.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	51.5
No 16	1.18	29.95	29.95	29.95	28.1	28.1	71.9	37.0
No 30	0.60	36.00	36.00	36.58	34.3	62.5	37.5	19.3
No 50	0.30	21.90	21.90	21.90	20.6	83.0	17.0	8.8
No 100	0.15	8.35	8.35	8.35	7.8	90.9	9.1	4.7
No 200	0.08	1.97	1.97	1.97	1.8	92.7	7.3	3.8
Pasa No 200		1.25	7.77	7.77	7.3	100.0		
Suma		99.42	105.94	106.52				

Error calculado: 0.54

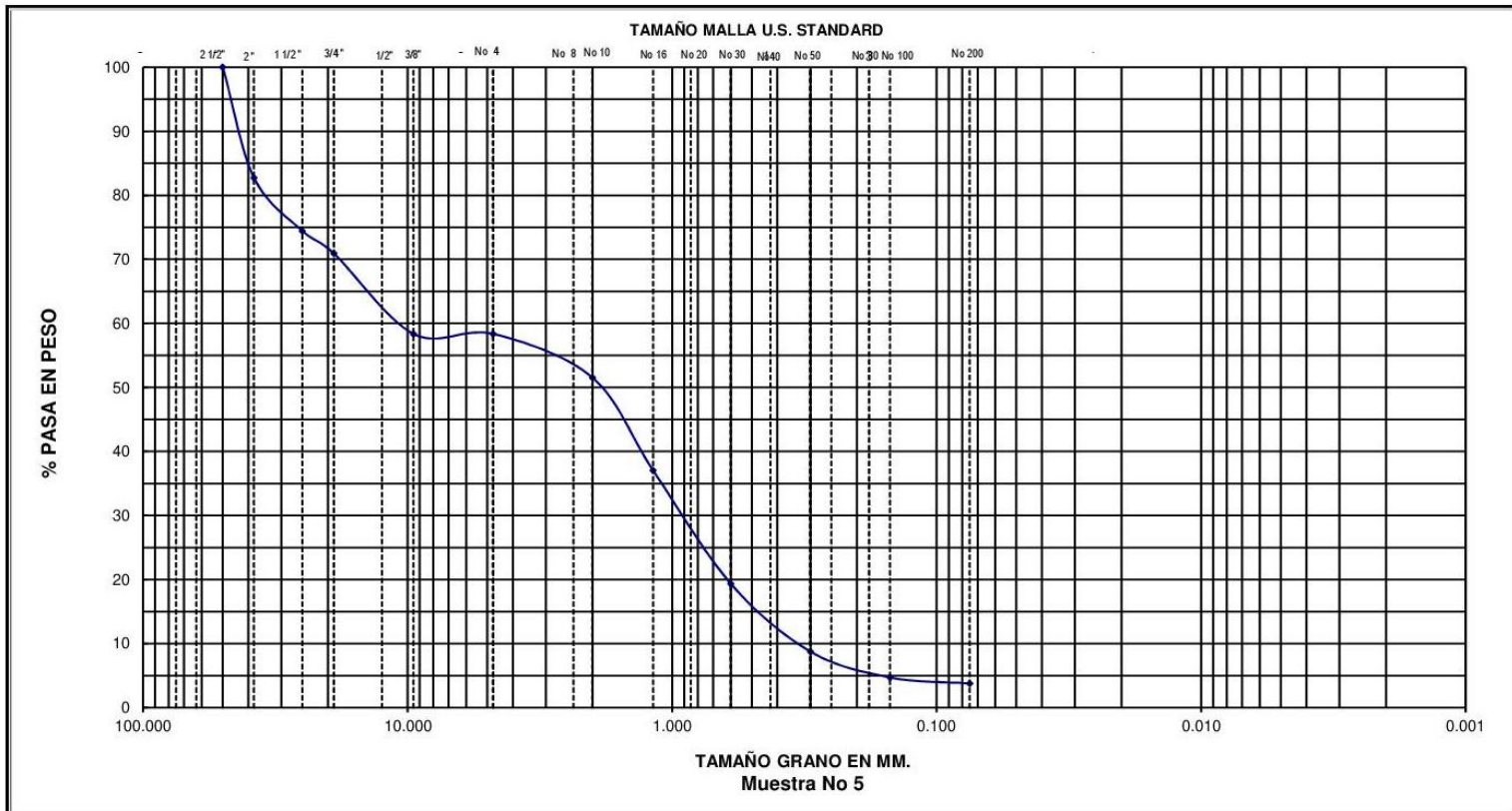
Valor de compensación: 0.58 g

D₆₀: 5.4 c_u: 16.2

D₃₀: 0.95 c_c: 0.5

D₁₀: 0.33

Observaciones: No se realizó hidrometría para esta muestra. La muestra se clasifica como: Arena mal graduada con grava.



GUIJARRO	GRAVA		ARENA			LIMO O ARCILLA
	GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA	

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO A. GUZMAN URBINA"	CURVA GRANULOMETRICA PROYECTO: Trabajo de Graduación TRABAJO No _____ UBICACION: Quebrada Las Lajas SOLICITA: Grupo de tesis Banco: _____ MUESTRA No Muestra 5 FECHA: 22/3/2017 LABORATORISTA: Grupo de tesis CALCULO: Grupo de tesis REVISOR: Grupo de tesis
---	--

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

HOJA DE RESULTADOS PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS GRUESOS Y FINOS

PROYECTO: Trabajo de graduación	UBICACIÓN: Quebrada Las Lajas	FECHA DE ENSAYO: 23/3/2017
MUESTRA: Muestra N° 6	LABORATORISTA: Grupo de tesis	ELABORO: Grupo de tesis

DATOS GENERALES DE LA MUESTRA:

Fracción	Masa antes de lavar (g)	Humedad higroscópica (%)	Masa seca después de lavar (g)	Perdida por lavado de material retenido No 10 (g)	Tolerancia Permitida (%)
Retenida malla No 10	2,353	0.54	2351.3	1.7	1
Pasa malla No 10	2,011				0.5
Suma	4364				

CUADRO CORREGIDO (MASAS SECAS)

Fracción	Masa (g)	Humedad higroscópica (%)	Masa seca (g)	Porcentaje de Fracción (%)
Retenida malla No 10	-	0.54	2,351.3	54
Pasa malla No 10	2,012.7		2,001.9	46
Suma			4353.2	100

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN RETENIDA EN LA MALLA N° 10:

Tamizado de la fracción retenida en la malla N° 10						
Malla No	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida (g) (Compensada)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
1 ½"	37.50	-	0.0	0.0	0	100
1"	25.00	58.0	58.0	1.3	1.3	98.7
¾"	19.00	156.5	156.5	3.6	4.9	95.1
½"	12.50	290.0	297.2	6.8	8.2	91.8
3/8"	9.50	281.0	281.0	6.5	14.6	85.4
N°4	4.75	773.8	773.8	17.8	32.4	67.6
N°8	2.36	-	0.0	0.0	32.4	67.6
N°10	2.00	783.1	783.1	18.0	50.4	49.6
Pasa No 10	1.70	2004	2004	46.0	96.4	
Suma		4346.0	4353.2	100		

Error calculado: 0.17

Valor de compensación: 7.2

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN PASANTE DE LA MALLA N° 10:

Datos iniciales:

Masa humedad: 110.00 g

Masa seca al horno: 102.00 g

Masa corregía por humedad: 109.41 g

Humedad higroscópica (ω): 0.54 %

Perdida por lavado 7.41 g

Tamizado de la fracción pasante de malla N° 10								
Malla No	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida (g) (Ajustado lo que pasa la No 200)	Masa retenida (g) (Compensada)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje que pasa ref. muestra total (%)
No 10	2.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	49.6
No 16	1.18	15.30	15.30	15.30	14.0	14.0	86.0	42.7
No 30	0.60	21.90	21.90	22.70	20.7	34.7	65.3	32.4
No 50	0.30	27.70	27.70	27.70	25.3	60.0	40.0	19.8
No 100	0.15	23.60	23.60	23.60	21.6	81.6	18.4	9.1
No 200	0.08	8.70	8.70	8.70	8.0	89.6	10.4	5.2
Pasa No 200		4.00	11.41	11.41	10.4	100.0		
Suma		101.20	108.61	109.41				

Error calculado: 0.73

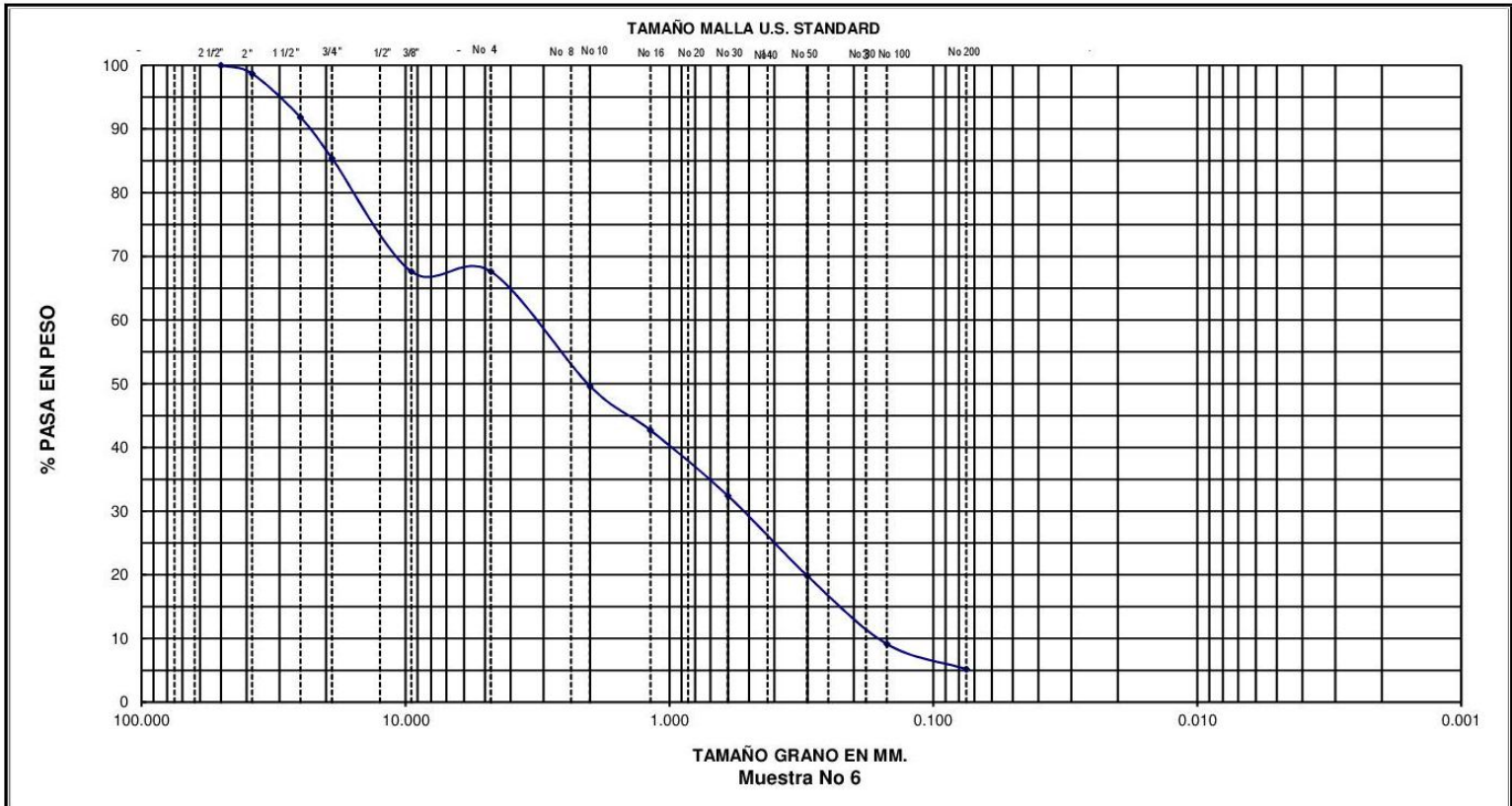
Valor de compensación: 0.80 g

D₆₀: 3.6 cu: 22.4


D₃₀: 0.54 cc: 0.5

D₁₀: 0.16

Observaciones: No se realizó hidrometría para esta muestra. La muestra se clasificó como: Arena mal graduada con grava.



GUIJARRO	GRAVA		ARENA			LIMO O ARCILLA
	GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA	


 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 "ING. MARIO A. GUZMAN URBINA"

CURVA GRANULOMETRICA

PROYECTO: Trabajo de Graduación TRABAJO No _____
 UBICACION: Quebrada Las Lajas
 SOLICITA: Grupo de tesis
 Banco: - MUESTRA No Muestra 6 FECHA: 23/3/2017
 LABORATORISTA: Grupo de tesis CALCULO: Grupo de tesis REVISO: Grupo de tesis

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

HOJA DE RESULTADOS PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS GRUESOS Y FINOS

PROYECTO: Trabajo de graduación	UBICACIÓN: Quebrada El Arenal	FECHA DE ENSAYO: 11/4/2017
MUESTRA: Muestra N° 7	LABORATORISTA: Grupo de tesis	ELABORO: Grupo de tesis

DATOS GENERALES DE LA MUESTRA:

Fracción	Masa antes de lavar (g)	Humedad higroscópica (%)	Masa seca después de lavar (g)	Perdida por lavado de material retenido No 10 (g)	Tolerancia Permitida (%)
Retenida malla No 10	246	22.77	221	24.7	1
Pasa malla No 10	1,403				0.5
Suma	1648.7				

CUADRO CORREGIDO (MASAS SECAS)

Fracción	Masa (g)	Humedad higroscópica (%)	Masa seca (g)	Porcentaje de Fracción (%)
Retenida malla No 10	-	22.77	221.0	16
Pasa malla No 10	1,427.7		1,162.9	84
Suma			1383.9	100

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN RETENIDA EN LA MALLA N° 10:

Tamizado de la fracción retenida en la malla N° 10						
Malla No	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida (g) (Compensada)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
¾"	19.00	-	0.0	0.0	0.0	100.0
½"	12.50	44.5	55.5	4.0	4.0	96.0
3/8"	9.50	20.0	20.0	1.4	5.4	94.6
N°4	4.75	59.0	59.0	4.3	9.7	90.3
N°10	2.00	69.4	69.4	5.0	14.7	85.3
Pasa No 10	17.26	1180	1180	85.3	100.0	
Suma		1372.9	1383.9	100		

Error calculado: 0.79

Valor de compensación: 11.0

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN PASANTE DE LA MALLA N° 10:

Datos iniciales:

Masa humedad: 100.00 g

Masa seca al horno (después de hidrometría): 42.15 g

Masa corregida por humedad: 81.45 g

Humedad higroscópica (ω): 22.77 %

Perdida por lavado 39.30 g

Tamizado de la fracción pasante de malla N° 10								
Malla No	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida (g) (Ajustado lo que pasa la No 200)	Masa retenida (g) (Compensada)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje que pasa ref. muestra total (%)
No 10	2.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	85.3
No 16	1.18	2.02	2.02	2.02	2.5	2.5	97.5	83.2
No 30	0.60	5.93	5.93	5.93	7.3	9.8	90.2	77.0
No 50	0.30	8.83	8.83	8.83	10.8	20.6	79.4	67.7
No 100	0.15	11.14	11.14	11.45	14.1	34.7	65.3	55.7
No 200	0.08	11.18	11.18	11.18	13.7	48.4	51.6	44.0
Pasa No 200		2.74	42.04	42.04	51.6	100.0		
Suma		41.84	81.14	81.45				

Error calculado: 0.38

Valor de compensación: 0.31 g

ANÁLISIS DE HIDROMETÍA:

Datos generales:

Gravedad específica del suelo (Gs): 2.64

Lectura en nivel superior del menisco en probeta con agua: -3

Lectura en nivel inferior del menisco en probeta con agua: -2

Lectura en nivel inferior del menisco en probeta con agua + defloculante: 4

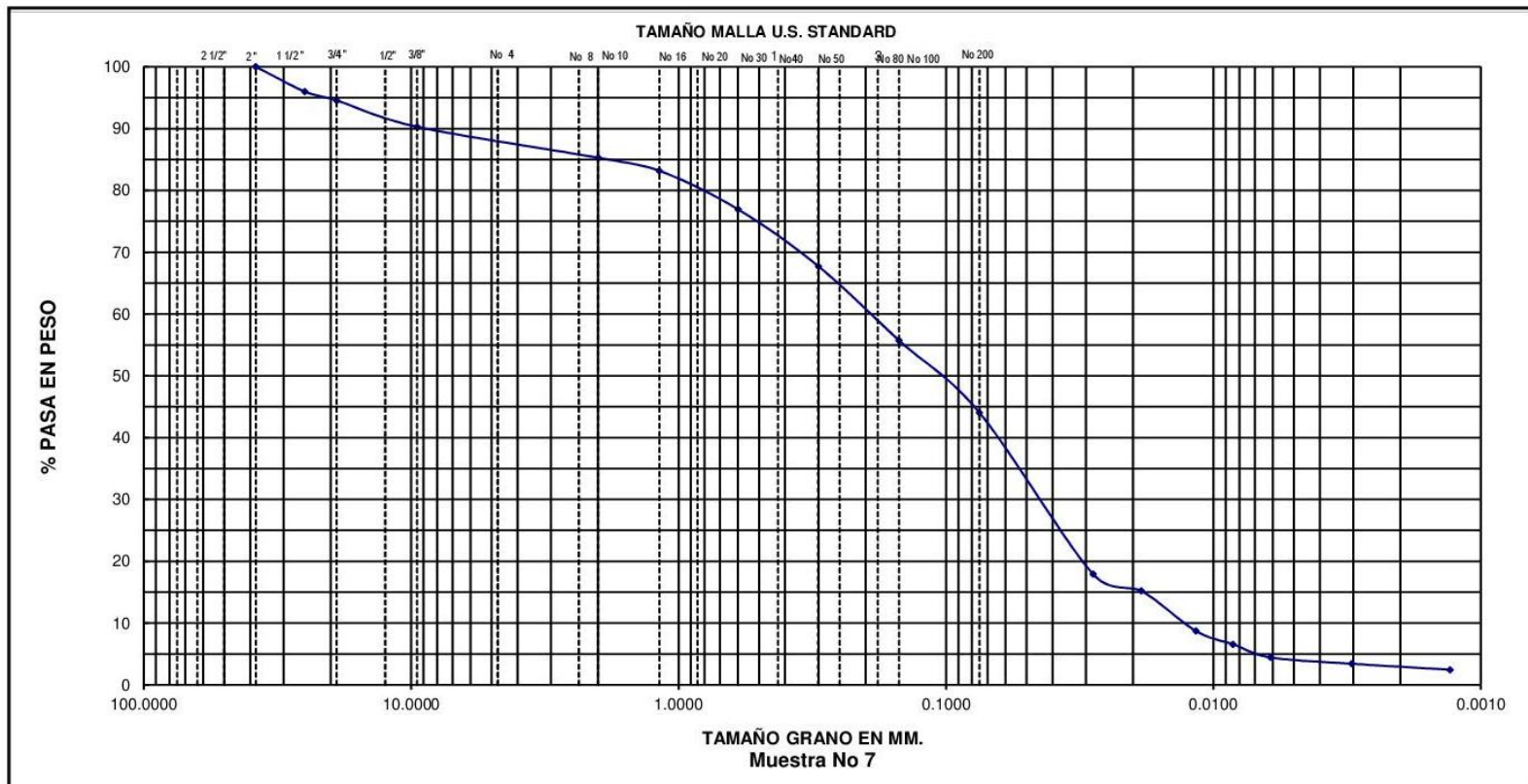
Temperaturas	Corrección por Temperatura	Factor de corrección (a)	Valor K	Corrección por defloculante	Corrección por menisco
27.10	2.05	1.00	0.01249	6	1
27.10	2.05		0.01249		
27.20	2.10		0.01250		
27.20	2.10		0.01250		
27.40	2.20		0.01253		
27.60	2.30		0.01255		
25.60	1.51		0.01284		

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Lectura real del hidrómetro (Rr)	Lectura Corregida del hidrómetro Rc	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje que pasa ref. a muestra total (%)	Lectura Corregida por menisco R	Profundidad efectiva (L, cm)	$\sqrt{L/t}$	K	D
2	27.1	37	33.05	40.67	17.90	38	10.2	2.2583	0.01249	0.028
5	27.1	32	28.05	34.52	15.19	33	11.1	1.4900	0.01249	0.019
15	27.2	20	16.10	19.81	8.72	21	13.0	0.9309	0.01250	0.012
30	27.2	16	12.10	14.89	6.55	17	13.7	0.6758	0.01250	0.008
60	27.4	12	8.20	10.09	4.44	13	14.3	0.4882	0.01253	0.006
250	27.6	10	6.30	7.75	3.41	11	14.7	0.2425	0.01255	0.003
1440	25.6	9	4.51	5.55	2.44	10	14.8	0.1014	0.01284	0.001

D₆₀: 0.2
D₃₀: 0.047
D₁₀: 0.014

c_u: 13.6
c_c: 0.8

Observación: El resultado de esta muestra es una arena limosa.



GUIJARRO	GRAVA		ARENA			LIMO O ARCILLA
	GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA	

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 "ING. MARIO A. GUZMAN URBINA"

CURVA GRANULOMETRICA

PROYECTO: Trabajo de graduación TRABAJO No _____
 UBICACION: Quebrada El Arenal
 SOLICITA: Grupo de tesis

Banco: _____ MUESTRANo: Muestra 7 FECHA: 11/4/2017

LABORATORISTA: Grupo de tesis CALCULO: Grupo de tesis REVISOR: Grupo de tesis

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 HOJA DE RESULTADOS PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS GRUESOS Y FINOS

PROYECTO: Trabajo de graduación	UBICACIÓN: Quebrada El Arenal	FECHA DE ENSAYO: 12/4/2017
MUESTRA: Muestra N° 8	LABORATORISTA: Grupo de tesis	ELABORO: Grupo de tesis

DATOS GENERALES DE LA MUESTRA:

Fracción	Masa antes de lavar (g)	Humedad higroscópica (%)	Masa seca después de lavar (g)	Perdida por lavado de material retenido No 10 (g)	Tolerancia Permitida (%)
Retenida malla No 10	169	23.30	157	12	1
Pasa malla No 10	1,969				0.5
Suma	2138				

CUADRO CORREGIDO (MASAS SECAS)

Fracción	Masa (g)	Humedad higroscópica (%)	Masa seca (g)	Porcentaje de Fracción (%)
Retenida malla No 10	-	23.30	157.0	9
Pasa malla No 10	1,981.0		1,606.7	91
Suma			1763.7	100

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN RETENIDA EN LA MALLA N° 10:

Tamizado de la fracción retenida en la malla N° 10						
Malla No	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida (g) (Compensada)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
¾"	19.00	-	0.0	0.0	0.0	100.0
½"	12.50	27.8	27.8	1.6	1.6	98.4
3/8"	9.50	12.6	12.6	0.7	2.3	97.7
N°4	4.75	40.9	40.9	2.3	4.6	95.4
N°10	2.00	60.7	62.7	3.6	8.2	91.8
Pasa No 10	17.26	1620	1620	91.8	100.0	
Suma		1761.7	1763.7	100		

Error calculado: 0.1

Valor de compensación: 2.0

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN PASANTE DE LA MALLA N° 10:

Datos iniciales:

Masa humedad: 100.00 g

Masa seca al horno (después de hidrometría): 28.78 g

Masa corregía por humedad: 81.10 g

Humedad higroscópica (ω): 23.30 %

Perdida por lavado 52.32 g

Tamizado de la fracción pasante de malla N° 10								
Malla No	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida (g) (Ajustado lo que pasa la No 200)	Masa retenida (g) (Compensada)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje que pasa ref. muestra total (%)
No 10	2.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	91.8
No 16	1.18	1.04	1.04	1.04	1.3	1.3	98.7	90.7
No 30	0.60	2.43	2.43	2.43	3.0	4.3	95.7	87.9
No 50	0.30	4.01	4.01	4.01	4.9	9.2	90.8	83.4
No 100	0.15	9.11	9.11	9.11	11.2	20.5	79.5	73.0
No 200	0.08	9.45	9.45	9.49	11.7	32.2	67.8	62.3
Pasa No 200		2.70	55.02	55.02	67.8	100.0		
Suma		28.74	81.06	81.10				

Error calculado: 0.05

Valor de compensación: 0.04 g

ANÁLISIS DE HIDROMETÍA:

Datos generales:

Gravedad específica del suelo (Gs): 2.60

Lectura en nivel superior del menisco en probeta con agua: -2

Lectura en nivel inferior del menisco en probeta con agua: -1

Lectura en nivel inferior del menisco en probeta con agua + defloculante: 5

Temperaturas	Corrección por Temperatura	Factor de corrección (a)	Valor K	Corrección por defloculante	Corrección por menisco
27.20	2.10	1.01	0.01274	6	1
27.20	2.10		0.01274		
27.10	2.05		0.01276		
27.10	2.05		0.01276		
26.70	1.90		0.01281		
27.20	2.10		0.01274		
26.10	1.69		0.01289		

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Lectura real del hidrómetro (Rr)	Lectura Corregida del hidrómetro o Rc	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje que pasa ref. muestra total (%)	Lectura Corregida por menisco R	Profundidad efectiva (L, cm)	$\sqrt{L/t}$	K	D
2	27.2	38	34.10	42.54	26.50	39	10.1	2.2472	0.01274	0.029
5	27.2	30	26.10	32.56	20.29	31	11.4	1.5100	0.01274	0.019
15	27.1	23	19.05	23.77	14.81	24	12.5	0.9129	0.01276	0.012
30	27.1	19	15.05	18.78	11.70	20	13.2	0.6633	0.01276	0.008
60	26.7	15	10.90	13.60	8.47	16	13.8	0.4796	0.01281	0.006
250	27.2	11	7.10	8.86	5.52	12	14.5	0.2408	0.01274	0.003
1440	26.1	9	4.69	5.85	3.65	10	14.8	0.1014	0.01289	0.001

D₆₀: 0.06
D₃₀: 0.034
D₁₀: 0.00085

c_u: 7.1
c_c: 2.3

Observación: El resultado de esta muestra es un limo arenoso.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 HOJA DE RESULTADOS PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS GRUESOS Y FINOS

PROYECTO: Trabajo de graduación	UBICACIÓN: Quebrada El Arenal	FECHA DE ENSAYO: 13/4/2017
MUESTRA: Muestra N° 9	LABORATORISTA: Grupo de tesis	ELABORO: Grupo de tesis

DATOS GENERALES DE LA MUESTRA:

Fracción	Masa antes de lavar (g)	Humedad higroscópica (%)	Masa seca después de lavar (g)	Perdida por lavado de material retenido No 10 (g)	Tolerancia Permitida (%)
Retenida malla No 10	238	19.40	133.7	104.1	1
Pasa malla No 10	2,133				0.5
Suma	2370.8				

CUADRO CORREGIDO (MASAS SECAS)

Fracción	Masa (g)	Humedad higroscópica (%)	Masa seca (g)	Porcentaje de Fracción (%)
Retenida malla No 10	-	19.40	133.7	7
Pasa malla No 10	2,237.1		1,873.6	93
Suma			2007.3	100

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN RETENIDA EN LA MALLA N° 10:

Tamizado de la fracción retenida en la malla N° 10						
Malla No	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida (g) (Compensada)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
1"	25.00	-	0.0	0.0	0.0	100.0
¾"	19.00	9.3	9.3	0.5	0.5	99.5
½"	12.50	7.2	7.2	0.4	0.4	99.6
3/8"	9.50	4.5	4.5	0.2	0.6	99.4
N°4	4.75	13.7	13.7	0.7	1.3	98.7
N°10	2.00	46.3	46.9	2.3	3.6	96.4
Pasa No 10	27.90	1926	1926	95.9	99.5	
Suma		2006.7	2007.3	100		

Error calculado: 0.03

Valor de compensación: 0.6

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN PASANTE DE LA MALLA N° 10:

Datos iniciales:

Masa humedad: 100.00 g

Masa seca al horno: 33.83 g

Masa corregida por humedad: 83.75 g

Humedad higroscópica (ω): 19.40 %

Perdida por lavado: 49.92 g

Tamizado de la fracción pasante de malla N° 10								
Malla No	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida (g) (Ajustado lo que pasa la No 200)	Masa retenida (g) (Compensada)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje que pasa ref. muestra total (%)
No 10	2.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	96.4
No 16	1.18	3.57	3.57	3.57	4.3	4.3	95.7	92.3
No 30	0.60	5.68	5.68	5.68	6.8	11.0	89.0	85.8
No 50	0.30	8.99	8.99	8.99	10.7	21.8	78.2	75.4
No 100	0.15	9.58	9.58	9.88	11.8	33.6	66.4	64.0
No 200	0.08	4.59	4.59	4.59	5.5	39.1	60.9	58.8
Pasa No 200		1.12	51.04	51.04	60.9	100.0		
Suma		33.53	83.45	83.75				

Error calculado: 0.36

Valor de compensación: 0.30 g

ANÁLISIS DE HIDROMETÍA:

Datos generales:

Gravedad específica del suelo (Gs): 2.45

Lectura en nivel superior del menisco en probeta con agua: -2

Lectura en nivel inferior del menisco en probeta con agua: -1

Lectura en nivel inferior del menisco en probeta con agua + defloculante: 5

Temperaturas	Corrección por Temperatura	Factor de corrección (a)	Valor K	Corrección por defloculante	Corrección por menisco
26.90	1.97	1.05	0.01356	6	1
26.70	1.90		0.01353		
26.40	1.79		0.01348		
26.30	1.76		0.01347		
26.20	1.72		0.01345		
27.30	2.15		0.01338		
26.60	1.86		0.01351		

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Lectura real del hidrómetro (Rr)	Lectura Corregida del hidrómetro o Rc	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje que pasa ref. muestra total (%)	Lectura Corregida por menisco R	Profundidad efectiva (L, cm)	$\sqrt{L/t}$	K	D
2	26.9	45	40.97	51.46	30.24	46	8.9	2.1095	0.01356	0.029
5	26.7	41	36.90	46.35	27.23	42	9.6	1.3856	0.01353	0.019
15	26.4	34	29.79	37.42	21.99	35	10.7	0.8446	0.01348	0.011
30	26.3	27	22.76	28.59	16.80	28	11.9	0.6298	0.01347	0.008
60	26.2	21	16.72	21.00	12.34	22	12.9	0.4637	0.01345	0.006
250	27.3	13	9.15	11.49	6.75	14	14.2	0.2383	0.01338	0.003
1440	26.6	9	4.86	6.10	3.59	10	14.8	0.1014	0.01351	0.001

D₆₀: 0.1
D₃₀: 0.029
D₁₀: 0.005

c_u: 16.0
c_c: 2.1

Observación: El resultado de esta muestra es un limo arenoso.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 HOJA DE RESULTADOS PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS GRUESOS Y FINOS

PROYECTO: Trabajo de graduación	UBICACIÓN: Quebrada El Arenal	FECHA DE ENSAYO: 25/4/2017
MUESTRA: Muestra N° 10	LABORATORISTA: Grupo de tesis	ELABORO: Grupo de tesis

DATOS GENERALES DE LA MUESTRA:

Fracción	Masa antes de lavar (g)	Humedad higroscópica (%)	Masa seca después de lavar (g)	Perdida por lavado de material retenido No 10 (g)	Tolerancia Permitida (%)
Retenida malla No 10	932	31.33	842.5	89.5	1
Pasa malla No 10	1,297				0.5
Suma	2229				

CUADRO CORREGIDO (MASAS SECAS)

Fracción	Masa (g)	Humedad higroscópica (%)	Masa seca (g)	Porcentaje de Fracción (%)
Retenida malla No 10	-	31.33	842.5	44
Pasa malla No 10	1,386.5		1,055.7	56
Suma			1898.2	100

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN RETENIDA EN LA MALLA N° 10:

Tamizado de la fracción retenida en la malla N° 10						
Malla No	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida (g) (Compensada)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
1 ½"	37.50	-	0.0	0.0	0	100
1"	25.00	90.1	90.1	4.7	4.7	95.3
¾"	19.00	139.3	139.3	7.3	12.1	87.9
½"	12.50	161.6	170.7	9.0	13.7	86.3
3/8"	9.50	125.7	125.7	6.6	20.4	79.6
N°4	4.75	120.6	120.6	6.4	26.7	73.3
N°10	2.00	148.7	148.7	7.8	34.5	65.5
Pasa No 10	1.70	1103	1103	58.1	92.7	
Suma		1889.1	1898.2	100		

Error calculado: 0.48

Valor de compensación: 9.1

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN PASANTE DE LA MALLA N° 10:

Datos iniciales:

Masa humedad: 100.00 g

Masa seca al horno: 45.45 g

Masa corregida por humedad: 76.14 g

Humedad higroscópica (ω): 31.33 %

Perdida por lavado 31.69 g

Tamizado de la fracción pasante de malla N° 10								
Malla No	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida (g) (Ajustado lo que pasa la No 200)	Masa retenida (g) (Compensada)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje que pasa ref. muestra total (%)
No 10	2.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	65.5
No 16	1.18	7.47	7.47	7.47	9.8	9.8	90.2	59.0
No 30	0.60	9.32	9.32	9.32	12.2	22.1	77.9	51.0
No 50	0.30	6.66	6.66	6.66	8.7	30.8	69.2	45.3
No 100	0.15	10.44	10.44	10.72	14.1	44.9	55.1	36.1
No 200	0.08	9.67	9.67	9.67	12.7	57.6	42.4	27.8
Pasa No 200		0.61	32.30	32.30	42.4	100.0		
Suma		44.17	75.86	76.14				

Error calculado: 0.37

Valor de compensación: 0.28 g

ANÁLISIS DE HIDROMETÍA:

Datos generales:

Gravedad específica del suelo (Gs): 2.68

Lectura en nivel superior del menisco en probeta con agua: -2

Lectura en nivel inferior del menisco en probeta con agua: -1

Lectura en nivel inferior del menisco en probeta con agua + defloculante: 5

Temperaturas	Corrección por Temperatura	Factor de corrección (a)	Valor K	Corrección por defloculante	Corrección por menisco
26.20	1.72	0.99	0.01258	6	1
26.40	1.79		0.01255		
26.60	1.86		0.01252		
26.70	1.90		0.01251		
26.90	1.97	0.99	0.01248	6	1
26.90	1.97		0.01248		

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Lectura real del hidrómetro (Rr)	Lectura Corregida del hidrómetro Rc	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje que pasa ref. muestra total (%)	Lectura Corregida por menisco R	Profundidad efectiva (L, cm)	$\sqrt{L/t}$	K	D
2	26.2	25	20.72	27.03	7.51	26	12.2	2.4698	0.01258	0.031
5	26.4	21	16.79	21.90	6.08	22	12.9	1.6062	0.01255	0.020
15	26.6	14	9.86	12.86	3.57	15	14.0	0.9661	0.01252	0.012
30	26.7	12	7.90	10.31	2.86	13	14.3	0.6904	0.01251	0.009
60	26.9	10	5.97	7.79	2.16	11	14.7	0.4950	0.01248	0.006
1440	26.9	6	1.97	2.57	0.71	7	15.3	0.1031	0.01248	0.001

D₆₀: 1.4
D₃₀: 0.085
D₁₀: 0.036

cu: 38.9
cc: 0.1

Observación: El resultado de esta muestra es una Arena limosa con grava.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 HOJA DE RESULTADOS PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS GRUESOS Y FINOS

PROYECTO: Trabajo de graduación	UBICACIÓN: Quebrada El Arenal	FECHA DE ENSAYO: 26/4/2017
MUESTRA: Muestra N° 11	LABORATORISTA: Grupo de tesis	ELABORO: Grupo de tesis

DATOS GENERALES DE LA MUESTRA:

Fracción	Masa antes de lavar (g)	Humedad higroscópica (%)	Masa seca después de lavar (g)	Perdida por lavado de material retenido No 10 (g)	Tolerancia Permitida (%)
Retenida malla No 10	703	21.19	401	302	1
Pasa malla No 10	2,775				0.5
Suma	3478				

CUADRO CORREGIDO (MASAS SECAS)

Fracción	Masa (g)	Humedad higroscópica (%)	Masa seca (g)	Porcentaje de Fracción (%)
Retenida malla No 10	-	21.19	401.0	14
Pasa malla No 10	3,077.0		2,539.0	86
Suma			2940.0	100

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN RETENIDA EN LA MALLA N° 10:

Tamizado de la fracción retenida en la malla N° 10						
Malla No	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida (g) (Compensada)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
1 ½"	37.50	-	0.0	0.0	0	100
1"	25.00	23.4	23.4	0.8	0.8	99.2
¾"	19.00	53.4	53.4	1.8	2.6	97.4
½"	12.50	66.7	67.4	2.3	3.1	96.9
3/8"	9.50	37.8	37.8	1.3	4.4	95.6
N°4	4.75	47.2	47.2	1.6	6.0	94.0
N°8	2.36	26.7	26.7	0.9	6.9	93.1
N°10	2.00	40.3	40.3	1.4	8.3	91.7
Pasa No 10	1.70	2644	2644	89.9	98.2	
Suma		2939.3	2940.0	100		

Error calculado: 0.02

Valor de compensación: 0.7

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN PASANTE DE LA MALLA N° 10:

Datos iniciales:

Masa humedad: 100.00 g

Masa seca al horno: 31.72 g

Masa corregida por humedad: 82.52 g

Humedad higroscópica (ω): 21.19 %

Perdida por lavado 50.80 g

Tamizado de la fracción pasante de malla N° 10								
Malla No	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida (g) (Ajustado lo que pasa la No 200)	Masa retenida (g) (Compensada)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje que pasa ref. muestra total (%)
No 10	2.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	91.7
No 16	1.18	1.08	1.08	1.08	1.3	1.3	98.7	90.5
No 30	0.60	4.61	4.61	4.61	5.6	6.9	93.1	85.4
No 50	0.30	8.61	8.61	8.61	10.4	17.3	82.7	75.8
No 100	0.15	10.16	10.16	10.54	12.8	30.1	69.9	64.1
No 200	0.08	5.70	5.70	5.70	6.9	37.0	63.0	57.8
Pasa No 200		1.18	51.98	51.98	63.0	100.0		
Suma		31.34	82.14	82.52				

Error calculado: 0.46

Valor de compensación: 0.38 g

ANÁLISIS DE HIDROMETÍA:

Datos generales:

Gravedad específica del suelo (Gs): 2.77

Lectura en nivel superior del menisco en probeta con agua: -2

Lectura en nivel inferior del menisco en probeta con agua: -1

Lectura en nivel inferior del menisco en probeta con agua + defloculante: 5

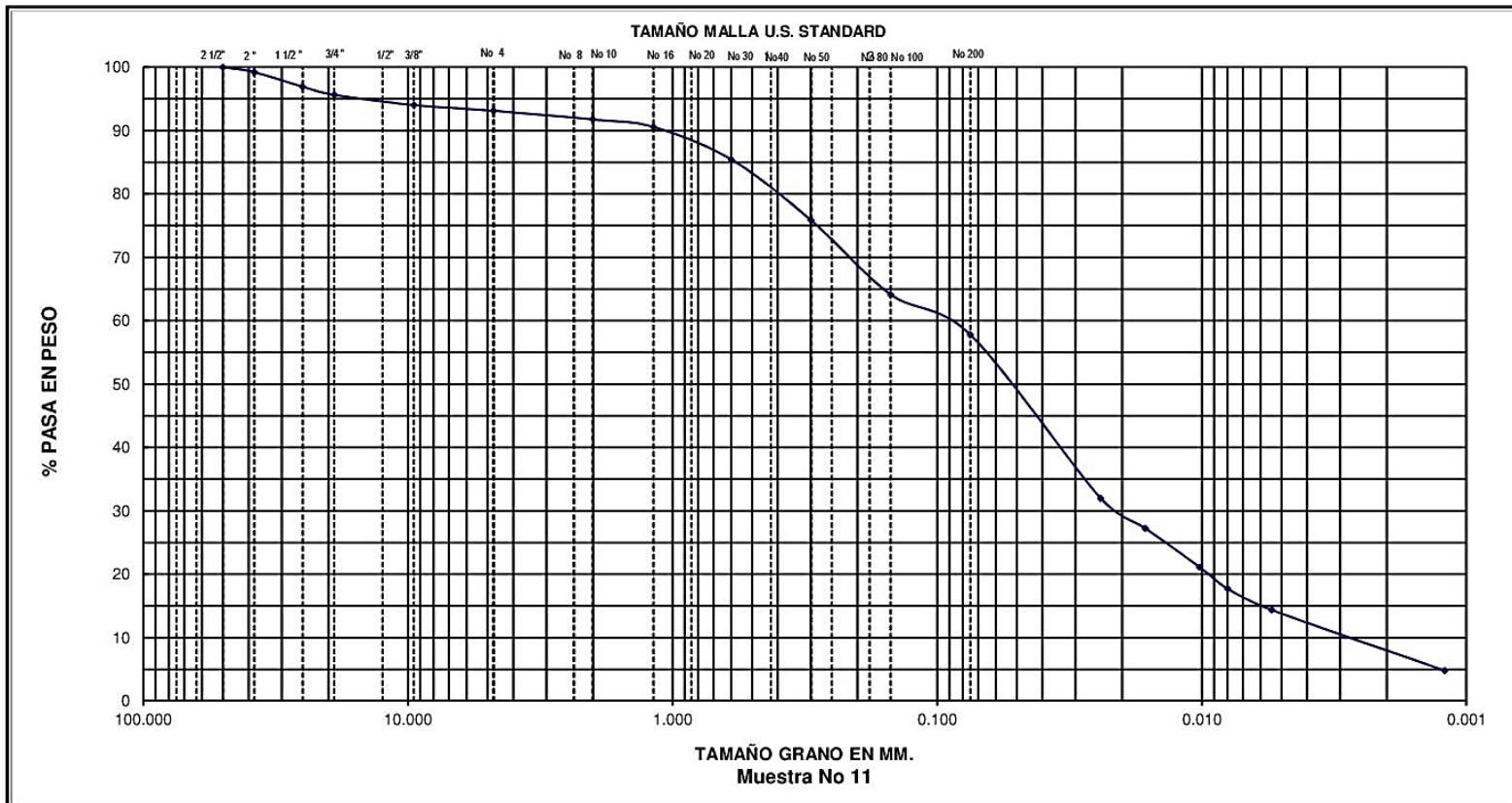
Temperaturas	Corrección por Temperatura	Factor de corrección (a)	Valor K	Corrección por defloculante	Corrección por menisco
26.60	1.86	0.97	0.01214	6	1
26.70	1.90		0.01212		
26.70	1.90		0.01212		
26.80	1.93		0.01296		
27.00	2.00		0.01205		
27.00	2.00		0.01205		

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Lectura real del hidrómetro (Rr)	Lectura Corregida del hidrómetro Rc	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje que pasa ref. muestra total (%)	Lectura Corregida por menisco R	Profundidad efectiva (L, cm)	$\sqrt{L/t}$	K	D
2	26.6	51	46.86	55.34	31.98	52	7.9	1.9875	0.01214	0.024
5	26.7	44	39.90	47.12	27.23	45	9.1	1.3491	0.01212	0.016
15	26.7	35	30.90	36.49	21.09	36	10.6	0.8406	0.01212	0.010
30	26.8	30	25.93	30.62	17.70	31	11.4	0.6164	0.01296	0.008
60	27.0	25	21.00	24.80	14.33	26	12.2	0.4509	0.01205	0.005
1440	27.0	11	7.00	8.27	4.78	12	14.5	0.1003	0.01205	0.001

D₆₀: 0.1
D₃₀: 0.022
D₁₀: 0.0029

cu: 31.0
cc: 1.9

Observación: El resultado de esta muestra es un Limo arenoso.



GUIJARRO	GRAVA	ARENA	LIMO O ARCILLA
	GRUESA FINA	GRUESA MEDIA FINA	

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO A. GUZMAN URBINA"</p>	<p>CURVA GRANULOMETRICA</p> <p>PROYECTO: <u>Trabajo de Graduación</u> TRABAJO No _____</p> <p>UBICACION: <u>Quebrada El Arenal</u></p> <p>SOLICITA: <u>Grupo de tesis</u></p> <p>Banco: - MUESTRANo <u>Muestra 11</u> FECHA: <u>28/4/2017</u></p> <p>LABORATORISTA: <u>Grupo de tesis</u> CALCULO: <u>Grupo de tesis</u> REVISOR: <u>Grupo de tesis</u></p>
--	--

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 HOJA DE RESULTADOS PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS GRUESOS Y FINOS

PROYECTO: Trabajo de graduación	UBICACIÓN: Quebrada El Arenal	FECHA DE ENSAYO: 27/4/2017
MUESTRA: Muestra N° 12	LABORATORISTA: Grupo de tesis	ELABORO: Grupo de tesis

DATOS GENERALES DE LA MUESTRA:

Fracción	Masa antes de lavar (g)	Humedad higroscópica (%)	Masa seca después de lavar (g)	Perdida por lavado de material retenido No 10 (g)	Tolerancia Permitida (%)
Retenida malla No 10	995	3.26	975.8	19.2	1
Pasa malla No 10	2,128				0.5
Suma	3123				

CUADRO CORREGIDO (MASAS SECAS)

Fracción	Masa (g)	Humedad higroscópica (%)	Masa seca (g)	Porcentaje de Fracción (%)
Retenida malla No 10	-	3.26	975.8	32
Pasa malla No 10	2,147.2		2,079.4	68
Suma			3055.2	100

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN RETENIDA EN LA MALLA N° 10:

Tamizado de la fracción retenida en la malla N° 10						
Malla No	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida (g) (Compensada)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
1 ½"	37.50	-	0.0	0.0	0	100
1"	25.00	123.4	123.4	4.0	4.0	96.0
¾"	19.00	143.4	143.4	4.7	8.7	91.3
½"	12.50	157.7	166.2	5.4	9.5	90.5
3/8"	9.50	140.8	140.8	4.6	14.1	85.9
N°4	4.75	97.2	97.2	3.2	17.3	82.7
N°8	2.36	106.7	106.7	3.5	20.8	79.2
N°10	2.00	100.3	100.3	3.3	24.0	76.0
Pasa No 10	1.70	2177	2177	71.3	95.3	
Suma		3046.8	3055.2	100		

Error calculado: 0.28

Valor de compensación: 8.4

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN PASANTE DE LA MALLA N° 10:

Datos iniciales:

Masa humedad: 100.00 g

Masa seca al horno: 67.70 g

Masa corregía por humedad: 96.84 g

Humedad higroscópica (ω): 3.86 %

Perdida por lavado 29.14 g

Tamizado de la fracción pasante de malla N° 10								
Malla No	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida (g) (Ajustado lo que pasa la No 200)	Masa retenida (g) (Compensada)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje que pasa ref. muestra total (%)
No 10	2.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	76.0
No 16	1.18	12.34	12.34	12.34	12.7	12.7	87.3	66.3
No 30	0.60	17.84	17.84	18.23	18.8	31.6	68.4	52.0
No 50	0.30	15.33	15.33	15.33	15.8	47.4	52.6	40.0
No 100	0.15	12.39	12.39	12.39	12.8	60.2	39.8	30.2
No 200	0.08	7.49	7.49	7.49	7.7	67.9	32.1	24.4
Pasa No 200		1.92	31.06	31.06	32.1	100.0		
Suma		67.31	96.45	96.84				

Error calculado: 0.40

Valor de compensación: 0.39 g

ANÁLISIS DE HIDROMETÍA:

Datos generales:

Gravedad específica del suelo (Gs): 2.88

Lectura en nivel superior del menisco en probeta con agua: 0

Lectura en nivel inferior del menisco en probeta con agua: 1

Lectura en nivel inferior del menisco en probeta con agua + defloculante: 7

Temperaturas	Corrección por Temperatura	Factor de corrección (a)	Valor K	Corrección por defloculante	Corrección por menisco
27.00	2.00	0.95	0.01188	6	1
27.00	2.00		0.01188		
27.00	2.00		0.01188		
27.10	2.05		0.01176		
27.30	2.15		0.01178		
28.50	2.78		0.01169		
27.00	2.00		0.01188		

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Lectura real del hidrómetro (Rr)	Lectura Corregida del hidrómetro Rc	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje que pasa ref. muestra total (%)	Lectura Corregida por menisco R	Profundidad efectiva (L, cm)	$\sqrt{L/t}$	K	D
2	27.0	20	16.00	15.76	3.84	21	13.0	2.5495	0.01188	0.030
5	27.0	17	13.00	12.80	3.12	18	13.4	1.6371	0.01188	0.019
15	27.0	14	10.00	9.85	2.40	15	14.0	0.9661	0.01188	0.011
30	27.1	13	9.05	8.91	2.17	14	14.2	0.6880	0.01176	0.008
60	27.3	11	7.15	7.04	1.72	12	14.5	0.4916	0.01178	0.006
250	28.5	9	5.78	5.69	1.39	10	14.8	0.2433	0.01169	0.003
1440	27.0	8	4.00	3.94	0.96	9	15.0	0.1021	0.01188	0.001

D₆₀: 0.9

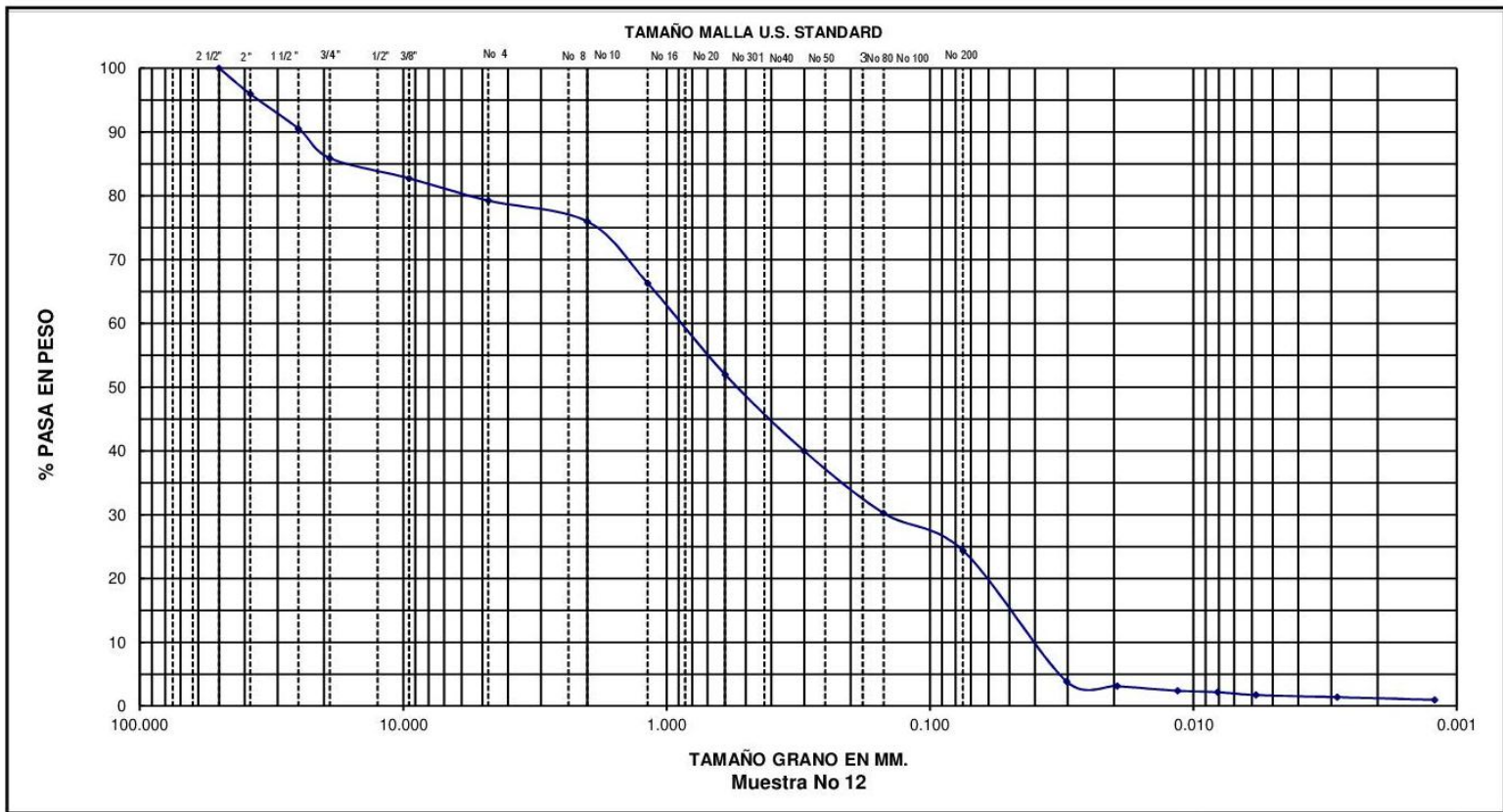
c_u: 22.5

D₃₀: 0.16

c_c: 0.7

D₁₀: 0.04

Observación: El resultado de esta muestra es una Arena limosa con grava.



GUIJARRO	GRAVA		ARENA			LIMO O ARCILLA
	GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA	

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO A. GUZMAN URBINA"</p>	<p style="text-align: center;">CURVA GRANULOMETRICA</p> <p>PROYECTO: Trabajo de graduación TRABAJO No _____</p> <p>UBICACION: Quebrada El Arenal</p> <p>SOLICITA: Grupo de tesis</p> <p>Banco: - MUESTRA No Muestra 12 FECHA: 27/4/2017</p> <p>LABORATORISTA: Grupo de tesis CALCULO: Grupo de tesis REVISO: Grupo de tesis</p>
--	---

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 HOJA DE RESULTADOS PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS GRUESOS Y FINOS

PROYECTO: Trabajo de graduación	UBICACIÓN: Quebrada El Arenal	FECHA DE ENSAYO: 2/5/2017
MUESTRA: Muestra N° 13	LABORATORISTA: Grupo de tesis	ELABORO: Grupo de tesis

DATOS GENERALES DE LA MUESTRA:

Fracción	Masa antes de lavar (g)	Humedad higroscópica (%)	Masa seca después de lavar (g)	Perdida por lavado de material retenido No 10 (g)	Tolerancia Permitida (%)
Retenida malla No 10	430	12.44	408	22	1
Pasa malla No 10	924				0.5
Suma	1354				

CUADRO CORREGIDO (MASAS SECAS)

Fracción	Masa (g)	Humedad higroscópica (%)	Masa seca (g)	Porcentaje de Fracción (%)
Retenida malla No 10	-	12.44	408.0	33
Pasa malla No 10	946.0		841.3	67
Suma			1249.3	100

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN RETENIDA EN LA MALLA N° 10:

Tamizado de la fracción retenida en la malla N° 10						
Malla No	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida (g) (Compensada)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
1 ½"	37.50	-	0.0	0.0	0	100
1"	25.00	37.5	37.5	3.0	3.0	97.0
¾"	19.00	69.0	69.0	5.6	8.6	91.4
½"	12.50	56.0	56.0	4.5	7.6	92.4
3/8"	9.50	37.0	37.0	3.0	10.5	89.5
N°4	4.75	54.8	54.8	4.4	15.0	85.0
N°10	2.00	63.3	63.3	5.1	20.1	79.9
Pasa No 10	1.70	920	920	74.3	94.4	
Suma		1237.8	1237.8	100		

Error calculado: 0.00

Valor de compensación: 0.00

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN PASANTE DE LA MALLA N° 10:

Datos iniciales:

Masa humedad: 100.00 g

Masa seca al horno: 23.02 g

Masa corregida por humedad: 88.94 g

Humedad higroscópica (ω): 12.44 %

Perdida por lavado 65.92 g

Tamizado de la fracción pasante de malla N° 10								
Malla No	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida (g) (Ajustado lo que pasa la No 200)	Masa retenida (g) (Compensada)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje que pasa ref. muestra total (%)
No 10	2.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	79.9
No 16	1.18	4.59	4.59	4.59	5.2	5.2	94.8	75.8
No 30	0.60	5.32	5.32	5.32	6.0	11.1	88.9	71.0
No 50	0.30	7.16	7.16	7.16	8.1	19.2	80.8	64.6
No 100	0.15	4.16	4.16	4.46	5.0	24.2	75.8	60.6
No 200	0.08	0.71	0.71	0.71	0.8	25.0	75.0	59.9
Pasa No 200		0.78	66.70	66.70	75.0	100.0		
Suma		22.72	88.64	88.94				

Error calculado: 0.34

Valor de compensación: 0.30 g

ANÁLISIS DE HIDROMETÍA:

Datos generales:

Gravedad específica del suelo (Gs): 2.45

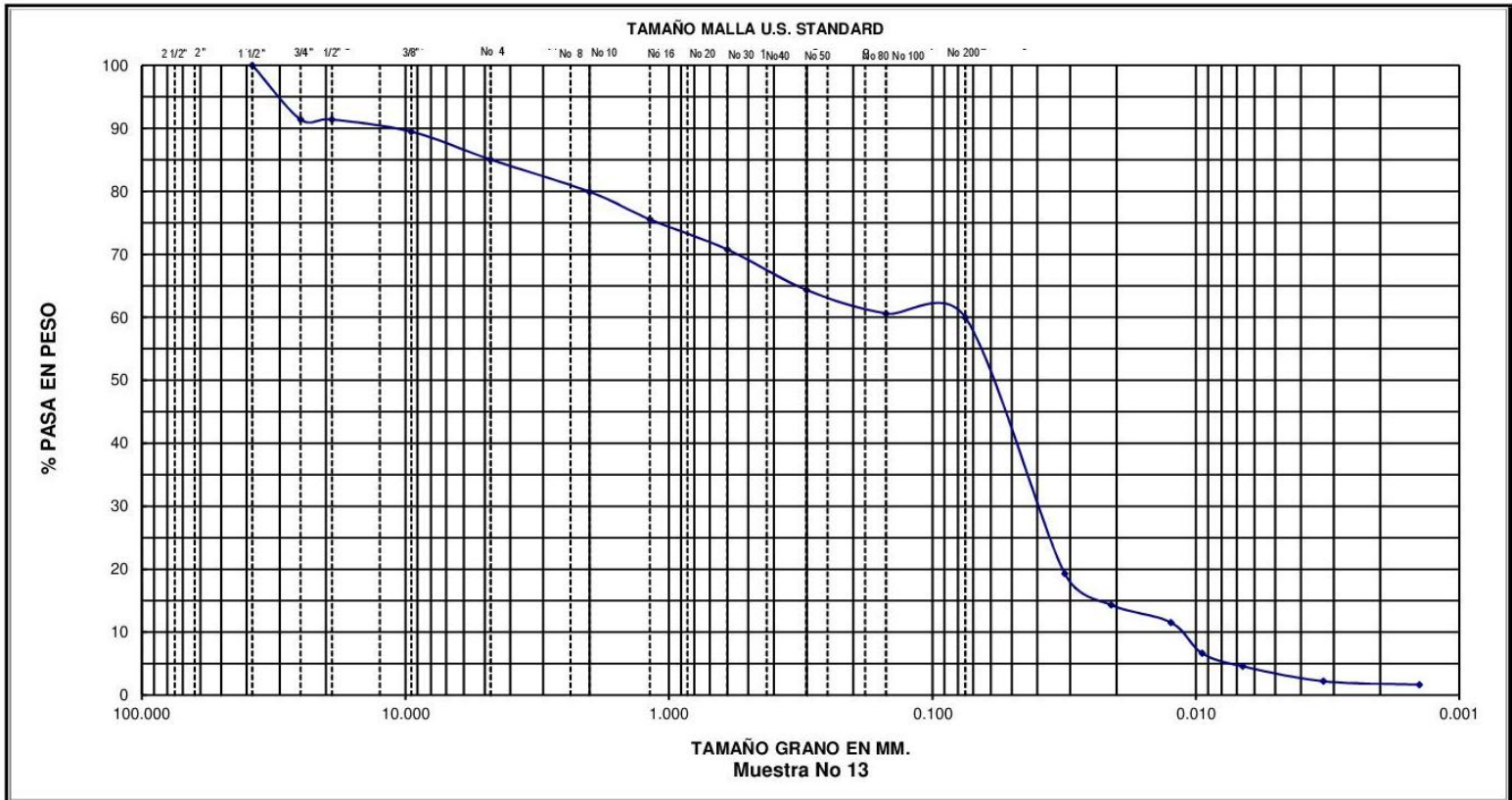
Lectura en nivel superior del menisco en probeta con agua: -2

Lectura en nivel inferior del menisco en probeta con agua: -1

Lectura en nivel inferior del menisco en probeta con agua + defloculante: 5

Temperaturas	Corrección por Temperatura	Factor de corrección (a)	Valor K	Corrección por defloculante	Corrección por menisco
27.40	2.20	1.05	0.01330	6	0
27.40	2.20		0.01330		
27.50	2.25		0.01335		
27.70	2.35		0.01375		
27.90	2.45		0.01341		
27.20	2.10		0.01330		
27.70	2.35		0.01375		

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Lectura real del hidrómetro (Rr)	Lectura Corregida del hidrómetro Rc	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje que pasa ref. muestra total (%)	Lectura Corregida por menisco R	Profundidad efectiva (L, cm)	$\sqrt{L/t}$	K	D
2	27.4	31	27.20	32.18	19.28	32	11.2	2.3664	0.01330	0.031
5	27.4	24	20.20	23.90	14.32	25	12.4	1.5748	0.01330	0.021
15	27.5	20	16.25	19.22	11.52	21	13.0	0.9309	0.01335	0.012
30	27.7	13	9.35	11.06	6.63	14	14.2	0.6880	0.01375	0.009
60	27.9	10	6.45	7.63	4.57	11	14.7	0.4950	0.01341	0.007



GUIJARRO	GRAVA	ARENA	LIMO O ARCILLA
	GRUESA FINA	GRUESA MEDIA FINA	

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 "ING. MARIO A. GUZMAN URBINA"

CURVA GRANULOMETRICA

PROYECTO: Trabajo de Graduación TRABAJO No _____
 UBICACION: Quebrada El Arenal
 SOLICITA: Grupo de tesis

Banco: - MUESTRA No Muestra 13 FECHA: 2/5/2017

LABORATORISTA: Grupo de tesis CALCULO: Grupo de tesis REVISO: Grupo de tesis

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 HOJA DE RESULTADOS PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS GRUESOS Y FINOS

PROYECTO: Trabajo de graduación	UBICACIÓN: Quebrada El Arenal	FECHA DE ENSAYO: 3/5/2017
MUESTRA: Muestra N° 14	LABORATORISTA: Grupo de tesis	ELABORO: Grupo de tesis

DATOS GENERALES DE LA MUESTRA:

Fracción	Masa antes de lavar (g)	Humedad higroscópica (%)	Masa seca después de lavar (g)	Perdida por lavado de material retenido No 10 (g)	Tolerancia Permitida (%)
Retenida malla No 10	1,992	21.90	1842.9	148.6	1
Pasa malla No 10	853				0.5
Suma	2844				

CUADRO CORREGIDO (MASAS SECAS)

Fracción	Masa (g)	Humedad higroscópica (%)	Masa seca (g)	Porcentaje de Fracción (%)
Retenida malla No 10	-	21.90	1,842.9	69
Pasa malla No 10	1,001.1		821.2	31
Suma			2664.1	100

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN RETENIDA EN LA MALLA N° 10:

Tamizado de la fracción retenida en la malla N° 10						
Malla No	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida (g) (Compensada)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
1 ½"	37.50	-	0.0	0.0	0	100
1"	25.00	156.0	156.0	5.9	5.9	94.1
¾"	19.00	156.0	156.0	5.9	11.8	88.2
½"	12.50	207.0	207.0	7.8	13.8	86.2
3/8"	9.50	210.0	210.0	8.0	21.7	78.3
N°4	4.75	552.9	552.9	21.0	42.7	57.3
N°10	2.00	387.0	387.0	14.7	57.3	42.7
Pasa No 10	1.70	970	970	36.8	94.1	
Suma		2639.1	2639.1	100		

Error calculado: 0.94

Valor de compensación: 25.00

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN PASANTE DE LA MALLA N° 10:

Datos iniciales:

Masa humedad: 100.00 g

Masa seca al horno: 64.80 g

Masa corregida por humedad: 82.03 g

Humedad higroscópica (ω): 21.90 %

Perdida por lavado 17.23 g

Tamizado de la fracción pasante de malla N° 10								
Malla No	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida (g) (Ajustado lo que pasa la No 200)	Masa retenida (g) (Compensada)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje que pasa ref. muestra total (%)
No 10	2.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	42.7
No 16	1.18	11.48	11.48	11.48	14.0	14.0	86.0	36.7
No 30	0.60	15.20	15.20	15.20	18.5	32.5	67.5	28.8
No 50	0.30	16.06	16.06	16.06	19.6	52.1	47.9	20.4
No 100	0.15	13.06	13.06	13.51	16.5	68.6	31.4	13.4
No 200	0.08	6.60	6.60	6.60	8.0	76.6	23.4	10.0
Pasa No 200		1.95	19.18	19.18	23.4	100.0		
Suma		64.35	81.58	82.03				

Error calculado: 0.55

Valor de compensación: 0.45 g

ANÁLISIS DE HIDROMETÍA:

Datos generales:

Gravedad específica del suelo (Gs): 2.55

Lectura en nivel superior del menisco en probeta con agua: -3

Lectura en nivel inferior del menisco en probeta con agua: -2

Lectura en nivel inferior del menisco en probeta con agua + defloculante: 4

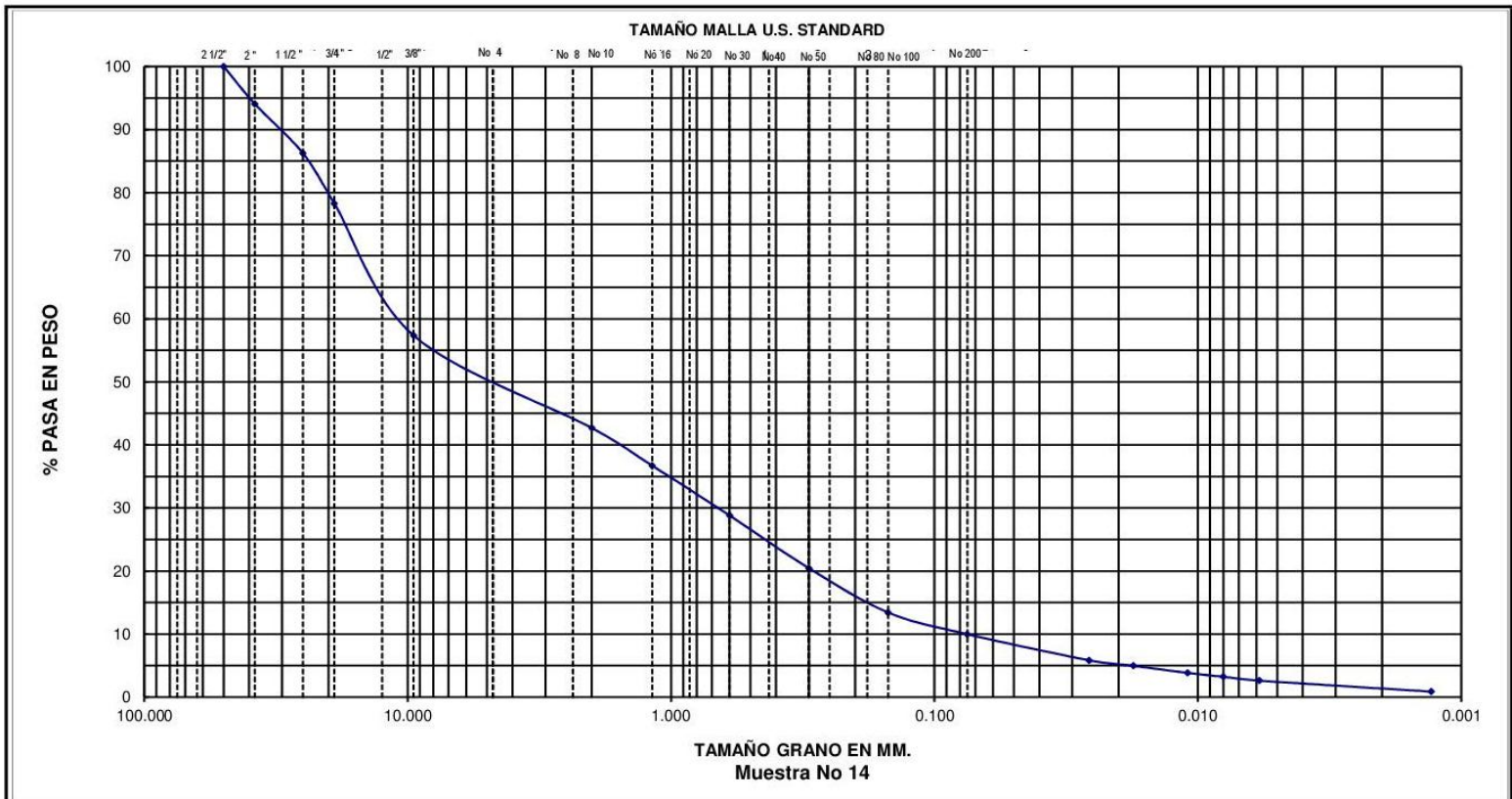
Temperaturas	Corrección por Temperatura	Factor de corrección (a)	Valor K	Corrección por defloculante	Corrección por menisco
26.60	1.86	1.02	0.01303	6	1
26.70	1.90		0.01302		
26.70	1.90		0.01302		
26.80	1.93		0.01300		
27.00	2.00		0.01297		
-	0.00		0.00000		
27.00	2.00		0.01297		

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Lectura real del hidrómetro (Rr)	Lectura Corregida del hidrómetro Rc	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje que pasa ref. muestra total (%)	Lectura Corregida por menisco R	Profundidad efectiva (L, cm)	$\sqrt{L/t}$	K	D
2	26.6	51	46.86	58.51	5.84	52	7.9	1.9875	0.01303	0.026
5	26.7	44	39.90	49.82	4.97	45	9.1	1.3491	0.01302	0.018
15	26.7	35	30.90	38.58	3.85	36	10.6	0.8406	0.01302	0.011
30	26.8	30	25.93	32.38	3.23	31	11.4	0.6164	0.01300	0.008
60	27.0	25	21.00	26.22	2.62	26	12.2	0.4509	0.01297	0.006
250	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0000	0.00000	0.000
1440	27.0	11	7.00	8.74	0.87	12	14.5	0.1003	0.01297	0.001

D₆₀: 11.0
D₃₀: 0.69
D₁₀: 0.075

c_u: 146.7
c_c: 0.6

Observación: El resultado de esta muestra es una Grava pobremente graduada con arena.



GUIJARRO	GRAVA		ARENA			LIMO O ARCILLA
	GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA	

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO A. GUZMAN URBINA"	CURVA GRANULOMETRICA	
	PROYECTO: Trabajo de graduación TRABAJO No _____	
	UBICACION: Quebrada El Arenal	
	SOLICITA: Grupo de tesis	
	Banco: -	MUESTRA No Muestra 14
LABORATORISTA: Grupo de tesis	CALCULO: Grupo de tesis	REVISO: Grupo de tesis

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 HOJA DE RESULTADOS PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS GRUESOS Y FINOS

PROYECTO: Trabajo de graduación	UBICACIÓN: Quebrada El Arenal	FECHA DE ENSAYO: 4/5/2017
MUESTRA: Muestra N° 15	LABORATORISTA: Grupo de tesis	ELABORO: Grupo de tesis

DATOS GENERALES DE LA MUESTRA:

Fracción	Masa antes de lavar (g)	Humedad higroscópica (%)	Masa seca después de lavar (g)	Perdida por lavado de material retenido No 10 (g)	Tolerancia Permitida (%)
Retenida malla No 10	2,015	1.12	1992.88	22.12	1
Pasa malla No 10	2,104				0.5
Suma	4119				

CUADRO CORREGIDO (MASAS SECAS)

Fracción	Masa (g)	Humedad higroscópica (%)	Masa seca (g)	Porcentaje de Fracción (%)
Retenida malla No 10	-	1.12	1,992.9	49
Pasa malla No 10	2,126.1		2,102.6	51
Suma			4095.5	100

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN RETENIDA EN LA MALLA N° 10:

Tamizado de la fracción retenida en la malla N° 10						
Malla No	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida (g) (Compensada)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
1 ½"	37.50	119.6	119.6	2.9	3	100
1"	25.00	305.1	305.1	7.4	10.4	89.6
¾"	19.00	213.9	213.9	5.2	15.6	84.4
½"	12.50	334.8	334.8	8.2	18.5	81.5
3/8"	9.50	157.9	157.9	3.9	22.4	77.6
N°4	4.75	430.2	440.9	10.8	33.2	66.8
N°8	2.36	-	0.0	0.0	33.2	66.8
N°10	2.00	401.4	401.4	9.8	43.0	57.0
Pasa No 10	1.70	2122	2122	51.8	94.8	
Suma		4084.7	4095.5	100		

Error calculado: 0.26

Valor de compensación: 10.70

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN PASANTE DE LA MALLA N° 10:

Datos iniciales:

Masa humedad: 100.00 g

Masa seca al horno: 86.22 g

Masa corregía por humedad: 98.89 g

Humedad higroscópica (ω): 1.12 %

Perdida por lavado 12.67 g

Tamizado de la fracción pasante de malla N° 10								
Malla No	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida (g) (Ajustado lo que pasa la No 200)	Masa retenida (g) (Compensada)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje que pasa ref. muestra total (%)
No 10	2.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	57.0
No 16	1.18	42.54	42.54	42.63	43.1	43.1	56.9	32.4
No 30	0.60	31.70	31.70	31.70	32.1	75.2	24.8	14.2
No 50	0.30	8.27	8.27	8.27	8.4	83.5	16.5	9.4
No 100	0.15	2.23	2.23	2.23	2.3	85.8	14.2	8.1
No 200	0.08	0.75	0.75	0.75	0.8	86.5	13.5	7.7
Pasa No 200		0.64	13.31	13.31	13.5	100.0		
Suma		86.13	98.80	98.89				

Error calculado: 0.09

Valor de compensación: 0.09 g

ANÁLISIS DE HIDROMETÍA:

Datos generales:

Gravedad específica del suelo (Gs): 2.71

Lectura en nivel superior del menisco en probeta con agua: -1

Lectura en nivel inferior del menisco en probeta con agua: 0

Lectura en nivel inferior del menisco en probeta con agua + defloculante: 7

Temperaturas	Corrección por Temperatura	Factor de corrección (a)	Valor K	Corrección por defloculante	Corrección por menisco
25.80	1.58	0.99	0.01251	7	1
26.00	1.65		0.01249		
25.90	1.62		0.01250		
26.10	1.69		0.01247		
26.40	1.79		0.01243		
26.10	1.69		0.01247		
26.00	1.65		0.01249		

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Lectura real del hidrómetro (Rr)	Lectura Corregida del hidrómetro Rc	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje que pasa ref. muestra total (%)	Lectura Corregida por menisco R	Profundidad efectiva (L, cm)	$\sqrt{L/t}$	K	D
2	25.8	13	7.58	7.56	0.58	14	14.2	2.6646	0.01251	0.033
5	26.0	12	6.65	6.64	0.51	13	14.3	1.6912	0.01249	0.021
15	25.9	10	4.62	4.61	0.35	11	14.7	0.9899	0.01250	0.012
30	26.1	8	2.69	2.68	0.21	9	15.0	0.7071	0.01247	0.009
60	26.4	8	2.79	2.78	0.21	9	15.0	0.5000	0.01243	0.006
250	26.1	7	1.69	1.69	0.13	8	15.2	0.2466	0.01247	0.003
1440	26.0	6	0.65	0.65	0.05	7	15.3	0.1031	0.01249	0.001

D₆₀: 2.40

c_u: 6.3

D₃₀: 1.10

c_c: 1.3

D₁₀: 0.38

Observación: El resultado de esta muestra es una Arena bien graduada con limo y grava.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

HOJA DE RESULTADOS PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS GRUESOS Y FINOS

PROYECTO: Trabajo de graduación	UBICACIÓN: Quebrada El Arenal	FECHA DE ENSAYO: 16/5/2017
MUESTRA: Muestra N° 16	LABORATORISTA: Grupo de tesis	ELABORO: Grupo de tesis

DATOS GENERALES DE LA MUESTRA:

Fracción	Masa antes de lavar (g)	Humedad higroscópica (%)	Masa seca después de lavar (g)	Perdida por lavado de material retenido No 10 (g)	Tolerancia Permitida (%)
Retenida malla No 10	1,000	14.66	980.57	19.43	1
Pasa malla No 10	1,478				0.5
Suma	2478				

CUADRO CORREGIDO (MASAS SECAS)

Fracción	Masa (g)	Humedad higroscópica (%)	Masa seca (g)	Porcentaje de Fracción (%)
Retenida malla No 10	-	14.66	980.6	43
Pasa malla No 10	1,497.4		1,306.0	57
Suma			2286.5	100

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN RETENIDA EN LA MALLA N° 10:

Tamizado de la fracción retenida en la malla N° 10						
Malla No	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida (g) (Compensada)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
1"	25.00	-	0.0	0.0	0.0	100.0
¾"	19.00	12.5	12.5	0.5	0.5	99.5
½"	12.50	14.8	14.8	0.6	0.6	99.4
3/8"	9.50	31.7	31.7	1.4	2.0	98.0
N°4	4.75	239.2	239.2	10.5	12.5	87.5
N°8	2.36	-	0.0	0.0	12.5	0.0
N°10	2.00	657.5	657.8	28.8	41.3	58.7
Pasa No 10	1.70	1331	1331	58.2	99.5	
Suma		2286.3	2286.5	100		

Error calculado: 0.01

Valor de compensación: 0.2

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN PASANTE DE LA MALLA N° 10:

Datos iniciales:

Masa humedad: 100.00 g

Masa seca al horno: 83.88 g

Masa corregida por humedad: 87.21 g

Humedad higroscópica (ω): 14.66 %

Perdida por lavado 3.33 g

Tamizado de la fracción pasante de malla N° 10								
Malla No	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida (g) (Ajustado lo que pasa la No 200)	Masa retenida (g) (Compensada)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje que pasa ref. muestra total (%)
No 10	2.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	58.7
No 16	1.18	23.58	23.58	23.58	27.0	27.0	73.0	42.9
No 30	0.60	22.98	22.98	22.98	26.3	53.4	46.6	27.4
No 50	0.30	19.38	19.38	19.38	22.2	75.6	24.4	14.3
No 100	0.15	12.38	12.38	12.38	14.2	89.8	10.2	6.0
No 200	0.08	4.38	4.38	4.38	5.0	94.8	5.2	3.0
Pasa No 200		1.18	4.51	4.51	5.2	100.0		
Suma		83.88	87.21	87.21				

Error calculado: 0.00

Valor de compensación: 0.00 g

ANÁLISIS DE HIDROMETÍA:

Datos generales:

Gravedad específica del suelo (Gs): 2.71

Lectura en nivel superior del menisco en probeta con agua: -2

Lectura en nivel inferior del menisco en probeta con agua: -1

Lectura en nivel inferior del menisco en probeta con agua + defloculante: 5

Temperaturas	Corrección por Temperatura	Factor de corrección (a)	Valor K	Corrección por defloculante	Corrección por menisco
27.70	2.35	0.99	0.01242	6	1
27.70	2.35		0.01242		
27.90	2.45		0.01244		
27.90	2.45		0.01244		
28.30	2.67		0.01235		
27.40	2.20		0.01239		
28.10	2.56		0.01242		

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Lectura real del hidrómetro (Rr)	Lectura Corregida del hidrómetro Rc	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje que pasa ref. muestra total (%)	Lectura Corregida por menisco R	Profundidad efectiva (L, cm)	$\sqrt{L/t}$	K	D
2	27.7	16	12.35	13.97	0.42	17	13.7	2.6173	0.01242	0.033
5	27.7	14	10.35	11.71	0.36	15	14.0	1.6733	0.01242	0.021
15	27.9	12	8.45	9.56	0.29	13	14.3	0.9764	0.01244	0.012
30	27.9	10	6.45	7.30	0.22	11	14.7	0.7000	0.01244	0.009
60	28.3	9	5.67	6.42	0.20	10	14.8	0.4967	0.01235	0.006
250	27.4	7	3.20	3.62	0.11	8	15.2	0.2466	0.01239	0.003
1440	28.1	7	3.56	4.03	0.12	8	15.2	0.1027	0.01242	0.001

D₆₀: 2.10

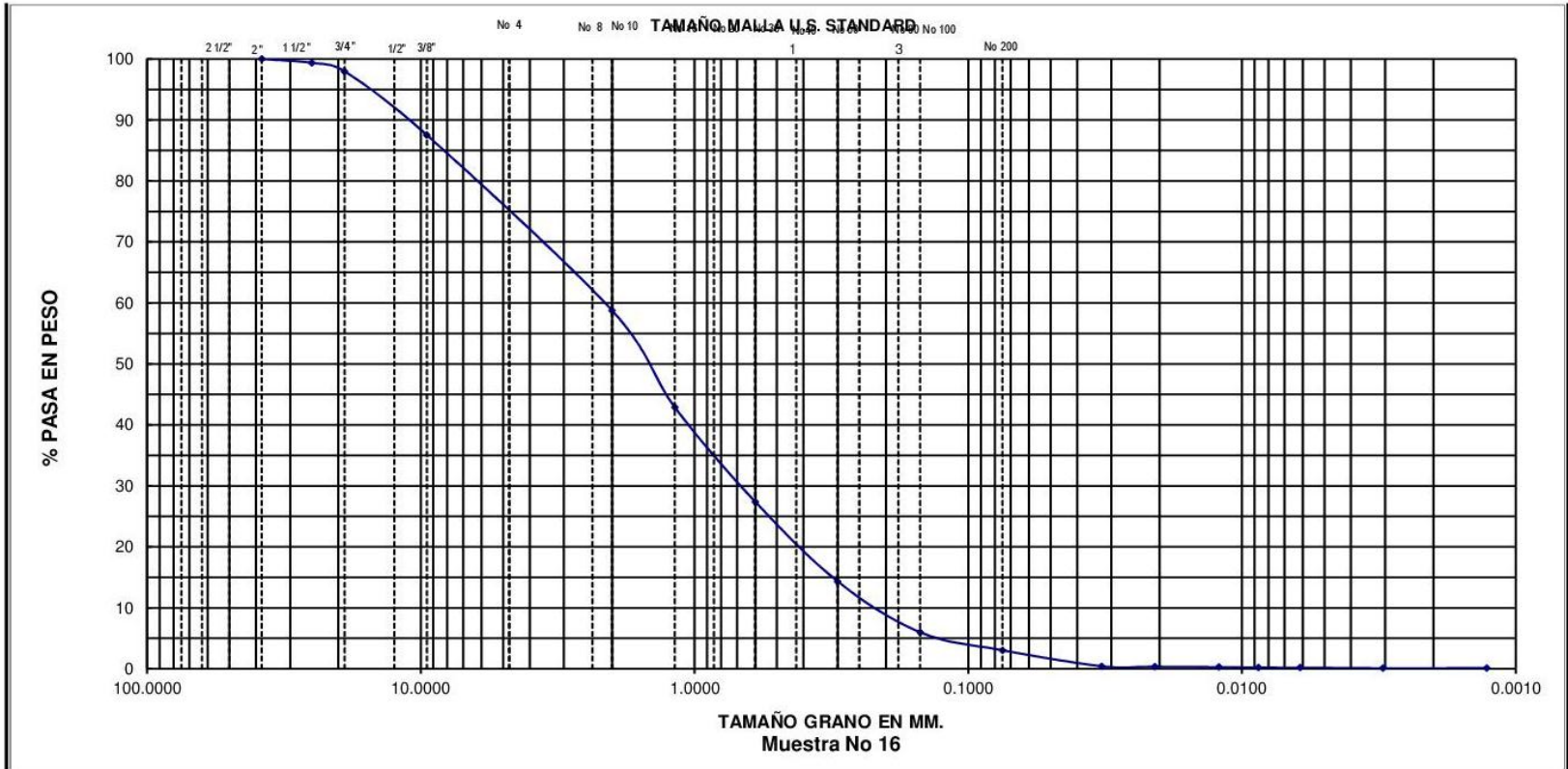
c_u: 8.8

D₃₀: 0.69

c_c: 0.9

D₁₀: 0.24

Observación: El resultado de esta muestra es una Arena mal graduada con grava.



GUIJARRO	GRAVA		ARENA			LIMO O ARCILLA
	GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA	

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES "ING. MARIO A. GUZMAN URBINA"</p>	<p>CURVA GRANULOMETRICA</p> <p>PROYECTO: Trabajo de Graduación TRABAJO No _____</p> <p>UBICACION: Quebrada El Arenal</p> <p>SOLICITA: Grupo de Tesis</p> <p>Banco: - MUESTRA No Muestra 16 FECHA: 18/5/2017</p> <p>LABORATORISTA: Grupo de tesis CALCULO: Grupo de tesis REVISOR: Grupo de tesis</p>
--	--

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 HOJA DE RESULTADOS PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS GRUESOS Y FINOS

PROYECTO: Trabajo de graduación	UBICACIÓN: Quebrada El Arenal	FECHA DE ENSAYO: 17/5/2017
MUESTRA: Muestra N° 17	LABORATORISTA: Grupo de tesis	ELABORO: Grupo de tesis

DATOS GENERALES DE LA MUESTRA:

Fracción	Masa antes de lavar (g)	Humedad higroscópica (%)	Masa seca después de lavar (g)	Perdida por lavado de material retenido No 10 (g)	Tolerancia Permitida (%)
Retenida malla No 10	1,088	0.65	1032	56	1
Pasa malla No 10	1,574				0.5
Suma	2662				

CUADRO CORREGIDO (MASAS SECAS)

Fracción	Masa (g)	Humedad higroscópica (%)	Masa seca (g)	Porcentaje de Fracción (%)
Retenida malla No 10	-	0.65	1,032.0	39
Pasa malla No 10	1,630.0		1,619.5	61
Suma			2651.5	100

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN RETENIDA EN LA MALLA N° 10:

Tamizado de la fracción retenida en la malla N° 10						
Malla No	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida (g) (Compensada)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
1"	25.00	-	0.0	0.0	0.0	100.0
¾"	19.00	22.5	22.5	0.8	0.8	99.2
½"	12.50	24.6	24.6	0.9	0.9	99.1
3/8"	9.50	41.1	41.1	1.6	2.5	97.5
N°4	4.75	239.2	239.2	9.0	11.5	88.5
N°10	2.00	661.5	677.0	25.5	37.0	63.0
Pasa No 10	1.70	1647	1647	62.1	99.2	
Suma		2636.0	2651.5	100		

Error calculado: 0.58

Valor de compensación: 15.50

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN PASANTE DE LA MALLA N° 10:

Datos iniciales:

Masa humedad: 100.00 g

Masa seca al horno: 87.16 g

Masa corregida por humedad: 99.35 g

Humedad higroscópica (ω): 0.65 %

Perdida por lavado 12.19 g

Tamizado de la fracción pasante de malla N° 10								
Malla No	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida (g) (Ajustado lo que pasa la No 200)	Masa retenida (g) (Compensada)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje que pasa ref. muestra total (%)
No 10	2.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	63.0
No 16	1.18	20.59	20.59	20.59	20.7	20.7	79.3	49.9
No 30	0.60	25.60	25.60	25.77	25.9	46.7	53.3	33.6
No 50	0.30	23.88	23.88	23.88	24.0	70.7	29.3	18.5
No 100	0.15	12.56	12.56	12.56	12.6	83.3	16.7	10.5
No 200	0.08	2.88	2.88	2.88	2.9	86.2	13.8	8.7
Pasa No 200		1.48	13.67	13.67	13.8	100.0		
Suma		86.99	99.18	99.35				

Error calculado: 0.17

Valor de compensación: 0.17 g

ANÁLISIS DE HIDROMETÍA:

Datos generales:

Gravedad específica del suelo (Gs): 2.71

Lectura en nivel superior del menisco en probeta con agua: -1

Lectura en nivel inferior del menisco en probeta con agua: 0

Lectura en nivel inferior del menisco en probeta con agua + defloculante: 5

Temperaturas	Corrección por Temperatura	Factor de corrección (a)	Valor K	Corrección por defloculante	Corrección por menisco
26.10	1.97	0.99	0.01248	5	1
26.10	1.97		0.01248		
26.20	1.93		0.01246		
26.40	1.86		0.01243		
26.60	1.79		0.01241		
28.10	2.99		0.01208		
26.10	1.97		0.01248		

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Lectura real del hidrómetro (Rr)	Lectura Corregida del hidrómetro Rc	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje que pasa ref. muestra total (%)	Lectura Corregida por menisco R	Profundidad efectiva (L, cm)	$\sqrt{L/t}$	K	D
2	26.1	19	15.97	15.86	1.37	20	13.2	2.5690	0.01248	0.032
5	26.1	15	11.97	11.89	1.03	16	13.8	1.6613	0.01248	0.021
15	26.2	13	9.93	9.86	0.85	14	14.2	0.9730	0.01246	0.012
30	26.4	12	8.86	8.80	0.76	13	14.3	0.6904	0.01243	0.009
60	26.6	10	6.79	6.74	0.58	11	14.7	0.4950	0.01241	0.006
250	28.1	8	5.99	5.95	0.52	9	15.0	0.2449	0.01208	0.003
1440	26.1	7	3.97	3.94	0.34	8	15.2	0.1027	0.01248	0.001

D₆₀: 1.90

c_u: 12.7

D₃₀: 0.51

c_c: 0.9

D₁₀: 0.15

Observación: El resultado de esta muestra es una Arena mal graduada con grava.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES

HOJA DE RESULTADOS PARA DETERMINAR LA GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS GRUESOS Y FINOS

PROYECTO: Trabajo de graduación	UBICACIÓN: Quebrada El Arenal	FECHA DE ENSAYO: 18/5/2017
MUESTRA: Muestra N° 18	LABORATORISTA: Grupo de tesis	ELABORO: Grupo de tesis

DATOS GENERALES DE LA MUESTRA:

Fracción	Masa antes de lavar (g)	Humedad higroscópica (%)	Masa seca después de lavar (g)	Perdida por lavado de material retenido No 10 (g)	Tolerancia Permitida (%)
Retenida malla No 10	2,332	4.82	2297	35	1
Pasa malla No 10	1,425				0.5
Suma	3,757				

CUADRO CORREGIDO (MASAS SECAS)

Fracción	Masa (g)	Humedad higroscópica (%)	Masa seca (g)	Porcentaje de Fracción (%)
Retenida malla No 10	-	4.82	2,297.0	62
Pasa malla No 10	1,460.0		1,392.9	38
Suma			3,689.9	100

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN RETENIDA EN LA MALLA N° 10:

Tamizado de la fracción retenida en la malla N° 10						
Malla No	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida (g) (Compensada)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
1"	25.00	-	0.0	0.0	0.0	100.0
¾"	19.00	197.4	197.4	5.3	5.3	94.7
½"	12.50	245.0	245.0	6.6	6.6	93.4
3/8"	9.50	335.5	335.5	9.1	15.7	84.3
N°4	4.75	518.8	518.8	14.1	29.8	70.2
N°10	2.00	843.2	881.3	23.9	53.7	46.3
Pasa No 10	1.70	1512	1512	41.0	94.7	
Suma		3651.8	3689.9	100		

Error calculado: 1.03

Valor de compensación: 38.01

ANÁLISIS DE LA FRACCIÓN PASANTE DE LA MALLA N° 10:

Datos iniciales:

Masa humedad: 100.00 g

Masa seca al horno: 87.16 g

Masa corregida por humedad: 95.40 g

Humedad higroscópica (ω): 4.82 %

Perdida por lavado 8.24 g

Tamizado de la fracción pasante de malla N° 10								
Malla No	Abertura (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida (g) (Ajustado lo que pasa la No 200)	Masa retenida (g) (Compensada)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje que pasa ref. muestra total (%)
No 10	2.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	46.3
No 16	1.18	20.59	20.59	20.59	21.6	21.6	78.4	36.3
No 30	0.60	25.60	25.60	25.77	27.0	48.6	51.4	23.8
No 50	0.30	23.88	23.88	23.88	25.0	73.6	26.4	12.2
No 100	0.15	12.56	12.56	12.56	13.2	86.8	13.2	6.1
No 200	0.08	2.88	2.88	2.88	3.0	89.8	10.2	4.7
Pasa No 200		1.48	9.72	9.72	10.2	100.0		
Suma		86.99	95.23	95.40				

Error calculado: 0.18

Valor de compensación: 0.17 g

ANÁLISIS DE HIDROMETÍA:

Datos generales:

Gravedad específica del suelo (Gs): 2.61

Lectura en nivel superior del menisco en probeta con agua: -1

Lectura en nivel inferior del menisco en probeta con agua: 0

Lectura en nivel inferior del menisco en probeta con agua + defloculante: 7

Temperaturas	Corrección por Temperatura	Factor de corrección (a)	Valor K	Corrección por defloculante	Corrección por menisco
26.10	1.69	1.01	0.01285	7	1
26.10	1.69		0.01285		
26.20	1.72		0.01284		
26.40	1.79		0.01281		
26.60	1.86		0.01278		
28.10	2.56		0.01258		
26.10	1.69		0.01285		

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Lectura real del hidrómetro (Rr)	Lectura Corregida del hidrómetro Rc	Porcentaje que pasa (%)	Porcentaje que pasa ref. muestra total (%)	Lectura Corregida por menisco R	Profundidad efectiva (L, cm)	$\sqrt{L/t}$	K	D
2	26.1	19	13.69	14.48	0.68	20	13.2	2.5690	0.01285	0.033
5	26.1	14	8.69	9.19	0.43	15	14.0	1.6733	0.01285	0.022
15	26.2	13	7.72	8.17	0.39	14	14.2	0.9730	0.01284	0.012
30	26.4	12	6.79	7.18	0.34	13	14.3	0.6904	0.01281	0.009
60	26.6	10	4.86	5.14	0.24	11	14.7	0.4950	0.01278	0.006
250	28.1	8	3.56	3.77	0.18	9	15.0	0.2449	0.01258	0.003
1440	26.1	7	1.69	1.79	0.08	8	15.2	0.1027	0.01285	0.001

D₆₀: 5.00

c_u: 19.2

D₃₀: 0.90

c_c: 0.6

D₁₀: 0.26

Observación: El resultado de esta muestra es una Arena mal graduada con grava.
