

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA



TRABAJO DE GRADO:

**ELABORACIÓN DE MAPA DE RIESGO DE INUNDACIÓN Y
CARACTERIZACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL CON PUNTO DE
INTERÉS EN LA OCTAVA CALLE PONIENTE DEL MUNICIPIO DE SAN
MIGUEL, DEPARTAMENTO DE SAN MIGUEL**

PRESENTA:

**CORDERO PORTILLO, JAIME ARÍSTIDES
PEREIRA ROMERO, WILMAN RICARDO
SANDOVAL ALVARENGA, ERICK JOSÉ
ZUNIGA CEDILLO, FERNANDO MIGUEL**

DOCENTE ASESOR:

ING. DAVID ARNOLDO CHÁVEZ SARAVIA

PARA OPTAR POR EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

NOVIEMBRE 2019

SAN MIGUEL, EL SALVADOR, CENTROAMÉRICA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

Roger Armando Arias Alvarado

RECTOR

Raúl Ernesto Azcúnaga López

VICERRECTOR ACADÉMICO

Juan Rosa Quintanilla Quintanilla

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO

Francisco Antonio Alarcón Sandoval

SECRETARIO GENERAL

Rafael Humberto Peña Marín

FISCAL GENERAL

FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL

Cristóbal Hernán Ríos Benítez

DECANO

Oscar Villalobos

VICEDECANO

Israel López Miranda

SECRETARIO INTERINO

Jorge Pastor Fuentes Cabrera

DIRECTOR DE PROCESOS DE GRADUACIÓN

Milagro de María Romero de García

COORDINADORA DE PROCESOS DE GRADUACIÓN DEL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS

Erick José Sandoval Alvarenga

Dios, tu amor y tu bondad no tienen fin, me permites sonreír, mis logros son resultado de tu ayuda, gracias por estar presente no solo en esta etapa tan importante de mi vida, sino en todo momento ofreciéndome lo mejor y gracias a él y a mis esfuerzos he culminado con bien los estudios de esta apreciable carrera universitaria.

La gratitud, es un hermoso valor relativamente fácil de demostrar. El amor recibido por la familia, la dedicación y la paciencia con la que cada día se preocupaban Norma del Carmen Díaz, Freddy Orellana, Luis Sandoval, Erika Díaz y Gustavo Díaz, por mi avance y desarrollo de esta tesis, es simplemente único y se refleja en la vida de un hijo, hermano y un amigo. Gracias a ellos por ser los principales promotores de mis sueños, gracias por cada día confiar y creer en mí y en mis expectativas, gracias a mi madre por estar dispuesta a acompañarme cada larga y agotadora noche de estudio.

El amor, los consejos y comprensión de Griselda Medrano, todos mis hermanos/as y amigos/as han sido de gran ayuda para seguir adelante, estoy muy agradecido y juntos trabajaremos para obtener un mejor país.

Esta tesis la dedico a mi madre Norma Díaz y a Griselda Medrano, por sus consejos, por su amor incondicional y por sus oraciones, ellas son el motivo para seguir y ahora Norma Díaz ve el fruto de su trabajo reflejada en mí, su valentía y su coraje estuvieron presente conmigo.

Wilman Ricardo Pereira Romero

Alcanzar una meta conlleva sacrificios, esfuerzo dedicación y coraje. Para poder culminar satisfactoriamente este trabajo de graduación he contado con la ayuda de invaluables personas que han depositado su confianza en mí.

Primero agradecer infinitamente a Dios Todopoderoso que sin su amparo e iluminación nada hubiera sido posible.

Mis padres, pilar fundamental en mi vida, mi amorosa madre Imelda Romero, que gracias a su lucha constante logro estar conmigo hasta el último día de mi estudio, mi virtuoso padre que su memoria y enseñanzas aún viven en mi mente y que gracias a la motivación de poder hacerlo sentir orgulloso he dado todo de mí.

Mis hermanos, que no dudaron en brindarme su consejo y asesoría en cada etapa, especialmente a mi hermana Dinora Pereira que ha sido una segunda madre para mí.

Mis amigos, que me han alentado a continuar animosa mente está meta.

A mis catedráticos que a lo largo de la carrera me brindaron su conocimiento, sus consejos que no solo me servirán para mi profesión sino también para mi vida. A mis asesores que han dispuesto su tiempo para instruirme y guiarme para realizar este trabajo de graduación de la mejor manera, que me con su ayuda y acompañamiento han facilitado este proceso.

Este trabajo de graduación también se lo dedico a todas aquellas personas que a lo largo de este proceso han puesto su granito de arena para culminarlo.

Fernando Miguel Zuniga Cedillo

Una meta conlleva esfuerzos y sacrificios a lo largo de su cumplimiento, pero necesarios para lograr el deseo de superación personal. Este trabajo se pudo culminar gracias a la ayuda de incontables personas que agregaron su contribución en diferentes cantidades, que sin su apoyo no se habría logrado culminar esta meta.

En primer lugar, agradezco a Dios por permitirme de gozar de buena salud y de lo necesario para poder haber terminado este trabajo, que gracias a su apoyo pude superar los obstáculos que deparaba esta etapa de la vida.

Mis padres que fueron de gran ayuda en toda la trayectoria, mi madre Reina Lidia, que me apoyo desde el inicio de forma incondicional, mi padre Uvin Edgardo, que su ingenio y enseñanzas me ayudaron enormemente en cultivar más conocimientos.

A mi hermana Rocio Melissa por estar siempre presente, dándome apoyo moral en toda esta etapa de la vida. A mis amigos que compartí dentro y fuera de las aulas, aquellos amigos del colegio que se convirtieron en amigos de la vida y los que serán mis colegas.

A mis catedráticos que brindaron su conocimiento para desenvolver dentro de la labor y los consejos de vida para realizar mejores elecciones. Dar gracias a mis asesores que dispusieron de su tiempo para guiarme en terminar este trabajo con su experiencia y conocimientos que han aconsejado de la mejor forma para arreglar los vacíos del mismo.

Mi agradecimiento a todos y cada uno que de alguna manera me brindaron su colaboración y se involucraron en este proyecto.

Jaime Arístides Cordero Portillo

Aunque el camino parezca difícil de la mano de Dios todo es más fácil, el presente trabajo de investigación está dedicado en primer lugar a Dios Todopoderoso que es quién me ha guiado a lo largo de este caminar, a mi madre Francisca Portillo Magarin que ha sido quien en los momentos más difíciles con su ejemplo no me ha dejado rendirme, a la memoria de mi padre Jaime Cordero que el hacerlo sentir orgulloso ha sido mi motor, a mis hermanas que siempre me han apoyado y me han hecho sentir motivado. Una mención muy especial a la memoria de mi abuela Angélica Sevilla quien fue mi segunda madre y de quien aprendí mucho. Son tantas personas que me han ayudado a formarme no solo en educación sino también en valores como Jose Magarin quien con sus consejos me ha ayudado a ser mejor ser humano, mis tíos Otoniel Cordero, Cecilia Guzmán de Cordero y Ruth Cordero quienes siempre me han apoyado en lo que he querido hacer en mi vida y me han sabido guiar por el buen camino con sus consejos. Mis compañeros de clase y amigos, cada uno de ellos han aportado un grano de arena y de ellos he aprendido muchas cosas y muy especialmente a Yanci Meza quién me ha apoyado en estos últimos tres años y me ha enseñado a luchar por cumplir cada una de mis metas por muy imposibles que parezcan.

A quienes me han educado a lo largo de estos últimos cinco años mis docentes quienes me han enseñado que no solo es importante ser un profesional con muchos conocimientos sino un profesional con valores que es lo primordial, a quienes han aportado al presente trabajo de grado con sus conocimientos y consejos, especialmente a nuestro asesor Ing. David Chávez.

Son tantas personas con las que estoy totalmente agradecido que estas líneas se me hacen pequeñas para terminar de agradecer, pero todos ellos me han ayudado a convertirme en un gran ser humano y sé que seguirán a mi lado en los momentos de alegría, pero más importante en los momentos difíciles, gracias totales.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Contenido	Pág.
RESUMEN -----	I
INTRODUCCIÓN -----	III
CAPITULO I: GENERALIDADES -----	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA -----	1
1.2 ENUNCIADO DEL PROBLEMA -----	5
1.3 JUSTIFICACIÓN -----	6
1.4 OBJETIVOS -----	8
1.4.1 OBJETIVO GENERAL -----	8
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS -----	8
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES -----	9
1.5.1 ALCANCES -----	9
1.5.2 LIMITACIONES -----	11
CAPITULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA -----	13
2.1 MARCO TEÓRICO -----	13
2.2 MARCO REFERENCIAL -----	29
CAPITULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN -----	33
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN -----	33
3.2 UNIDAD DE ANÁLISIS -----	33
3.3 VARIABLES Y MEDICIONES -----	34
3.3.1 DEFINICIÓN DE VARIABLES -----	34
3.3.2 INDICADORES -----	35
3.4 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN -----	37
3.5 TÉCNICAS Y PROCEDIMIENTOS -----	38
CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS -----	54
4.1 ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE LOS DATOS -----	55
4.1.1 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO -----	55

4.1.1.1	USO DEL DRON	55
4.1.1.2	USO DEL SOFTWARE PHOTOSCAN	56
4.1.1.3	USO DE CIVIL 3D	60
4.1.2	SIMULACIÓN HIDRÁULICA	62
4.1.2.1	USO DE CIVIL 3D	62
4.1.2.2	USO DE HEC-RAS	68
4.1.2.3	CREACIÓN DE TABLAS	73
4.1.3	CARACTERIZACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL	75
4.1.4	MAPA DE RIESGO POR INUNDACIÓN	76
4.1.4.1	MAPA DE PELIGRO POR INUNDACIÓN	76
4.1.4.2	MAPA DE VULNERABILIDAD POR INUNDACIÓN	84
4.1.4.3	ELABORACIÓN DE MAPA DE RIESGOS POR INUNDACIÓN	98
4.1.5	CARACTERIZACIÓN DE LA MICROCUENCA	112
4.1.5.1	CARACTERIZACIÓN CUANTITATIVA	112
4.1.5.2	CARACTERIZACIÓN CUALITATIVA	113
4.1.5.3	INCIDENCIAS SOCIO-AMBIENTALES A UNA CUENCA HIDROGRÁFICA URBANA	115
4.1.5.4	PLAN DE MANEJO DE UNA MICROCUENCA URBANA	116
4.2	PROCESAMIENTO DE LOS DATOS	124
4.2.1	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO UTILIZANDO DRON	124
4.2.1.1	USO DEL DRON	124
4.2.1.2	USO DE PHOTOSCAN	126
4.2.1.3	USO DE CIVIL 3D	141
4.2.2	SIMULACIÓN HIDRÁULICA	144
4.2.2.1	USO DE CIVIL 3D	144

4.2.2.2 CÁLCULO DE CAUDALES-----	158
4.2.2.3 CÁLCULO DE PENDIENTE MEDIA -----	163
4.2.2.4 USO DE HEC-RAS-----	164
4.2.2.5 CREACIÓN DE TABLAS-----	175
4.2.3 MAPA DE RIESGO POR INUNDACIÓN -----	175
4.2.3.1 MAPA DE PELIGROSIDAD POR INUNDACIÓN -----	176
4.2.3.2 MAPA DE VULNERABILIDAD POR INUNDACIÓN -----	179
4.2.3.3 ELABORACIÓN DE MAPA DE RIESGOS POR INUNDACIÓN	182
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES-----	183
5.1 CONCLUSIONES-----	183
5.2 RECOMENDACIONES -----	186
BIBLIOGRAFÍA-----	188
ANEXOS -----	191

ÍNDICE DE FIGURAS

Contenido	Pág.
Imagen 1 Inundación En 8. ^a Calle.....	1
Imagen 2 Tragante Donde Niños Perdieron La Vida.....	2
Imagen 3 Medida Preventiva Construida Por La Alcaldía En La 8. ^a Calle.....	3
Imagen 4 Ubicación De La 8. ^a Calle Poniente	4
Imagen 5 Vista Satelital De La 8. ^a Calle Poniente	5
Imagen 6 Divisiones De Una Cuenca	15
Imagen 7 Etapas Para La Elaboración De Mapas De Riesgo	19
Imagen 8 Parámetros De Medición De Peligro Para Distintos Eventos.	20
Imagen 9 Etapas Para La Elaboración De Mapa De Riesgo De Inundación	27
Imagen 10 Variables Para La Simulación Hidráulica En Dos Dimensiones.	44
Imagen 11 Metodología Para Definir Los Mapas De Riesgo	52
Imagen 12 Proceso Para Obtener El Mapa De Riesgo.....	54
Imagen 13 Fotografías Orientadas	57
Imagen 14 Ortofoto Obtenida De Fotogrametría.....	60
Imagen 15 Nube De Puntos Del Terreno Natural.....	61
Imagen 16 Alineamiento Horizontal 8. ^a Calle Poniente	63
Imagen 17 Ensamble De 8. ^a Calle Poniente.....	64
Imagen 18 Corredor De 8. ^a Calle Poniente.....	65
Imagen 19 Curvas De Nivel, Triángulos Y Flechas	67
Imagen 20 Vista En Planta Del Alineamiento De La 8. ^a Calle Poniente	69

Imagen 21	Creación De La Sección	70
Imagen 22	Final De Modelación Hidráulica	72
Imagen 23	Tabla Detallada De Los Datos Obtenidos De Simulación	74
Imagen 24	Contenedor De Desechos Sólidos	118
Imagen 25	Configuración Del Dron	124
Imagen 26	Configuración De Vuelo Del Dron.....	125
Imagen 27	Toma De Fotografías Aéreas	126
Imagen 28	Agregar Fotografías	127
Imagen 29	Calibración De Cámaras	127
Imagen 30	Orientación De Fotos	129
Imagen 31	Icono De Ocultar Cámaras.....	130
Imagen 32	Icono Para Seleccionar	130
Imagen 33	Nube Dispersa Selecciona Sin Invertir	130
Imagen 34	Icono Para Eliminar Selección	131
Imagen 35	Icono Para Reducir La Nube Dispersa.....	131
Imagen 36	Crear Nube Densa De Puntos.....	132
Imagen 37	Nube Densa De Puntos	133
Imagen 38	Creación De Malla	134
Imagen 39	Puntos De Control	134
Imagen 40	Crear Punto De Control	135
Imagen 41	Posicionar Punto	135
Imagen 42	Importar Puntos.....	136

Imagen 43 Configuración De Puntos.....	137
Imagen 44 Selección De Marcadores	137
Imagen 45 Icono De Clase De Nube De Puntos.....	138
Imagen 46 Clasificar Puntos Por Tipo De Terreno	138
Imagen 47 Puntos Del Terreno Natural Clasificados	139
Imagen 48 Exportar Puntos.....	139
Imagen 49 Exportar Ortofoto.....	140
Imagen 50 Importar Ortofoto.....	141
Imagen 51 Fondo Transparente.....	141
Imagen 52 Exportar Nube De Puntos Del Terreno.....	142
Imagen 53 Crear Superficie	143
Imagen 54 Creación De Alineamiento.....	144
Imagen 55 Nombre Del Alineamiento.....	145
Imagen 56 Alineamiento Con Curvas.....	145
Imagen 57 Trazado De Alineamientos Horizontales	145
Imagen 58 Creación De Perfil.....	146
Imagen 59 Edición De Alineamiento Vertical	147
Imagen 60 Crear Ensamble.....	148
Imagen 61 Carril Derecho E Izquierdo.....	149
Imagen 62 Diseño De Cuneta	150
Imagen 63 Creación De Corredor.....	151
Imagen 64 Creación De Líneas De Muestreo.....	152

Imagen 65 Edición De Estilo	152
Imagen 66 Edición De Propiedades De Líneas De Muestreo.....	153
Imagen 67 Creación De Secciones	154
Imagen 68 Edición De Vista De Secciones.....	155
Imagen 69 Exportar A Hec-Ras	156
Imagen 70 Edición De Estilo De Superficie	157
Imagen 71 Moldeado Del Parteaguas	158
Imagen 72 Importar De La Geometría.....	165
Imagen 73 Crear Sección Transversal Del Cauce	166
Imagen 74 Ingresar Coeficientes De Manning A Hec-Ras	167
Imagen 75 Editar Flujo Permanente	168
Imagen 76 Ingresar Periodos De Retorno	168
Imagen 77 Ingresar Pendiente Media Del Cauce	169
Imagen 78 Ingresar Caudales De Diseño, Por Cada Sección Transversal	170
Imagen 79 Icono Para Ingresar Datos Para Simulación De Un Flujo Permanente	170
Imagen 80 Análisis De Un Flujo Permanente	171
Imagen 81 Perfil Longitudinal De La Simulación Hidráulica.....	172
Imagen 82 Sección Transversal De La Simulación Hidráulica	173
Imagen 83 Vista 3d Del Canal de La Simulación Hidráulica.....	174
Imagen 84 Icono Para Obtener Tabla Detallada Por Sección	175
Imagen 85 Icono Para Obtener Tablas Resumen.....	175
Imagen 86 Puntos De Altura De La Sección Transversal De La 8. ^a Calle.....	177

ÍNDICE DE TABLAS O CUADROS

Contenido	Pág.
Tabla 1 Fórmula Del Calculo De Caudales Máximos	16
Tabla 2 Criterios De Riesgo En Función Del Peligro Y La Vulnerabilidad.	29
Tabla 3 Criterios De Peligro	44
Tabla 4 Vulnerabilidad Por Tipo De Vivienda	49
Tabla 5 Coeficientes De Escorrentía	159
Tabla 6 Intensidades De Lluvias	160
Tabla 7 Áreas De Análisis	160
Tabla 8 Caudales Máximos.....	161
Tabla 9 Vulnerabilidad Vehicular	180

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1-A: Datos obtenidos de la simulación hidráulica (periodo de retorno 2 años)

ANEXO 1-B: Datos obtenidos de la simulación hidráulica (periodo de retorno 5 años)

ANEXO 1-C: Datos obtenidos de la simulación hidráulica (periodo de retorno 10 años)

ANEXO 1-D: Datos obtenidos de la simulación hidráulica (periodo de retorno 25 años)

ANEXO 2: curvas IDF proporcionadas por el MARN

ANEXO 3: Formato de evaluación de riesgo

ANEXO 4-A: Análisis de peligro (tiempo de retorno 2 años)

ANEXO 4-B: Análisis de peligro (tiempo de retorno 5 años)

ANEXO 4-C: Análisis de peligro (tiempo de retorno 10 años)

ANEXO 4-D: Análisis de peligro (tiempo de retorno 25 años)

ANEXO 5-A: Análisis de vulnerabilidad (tiempo de retorno 2 años)

ANEXO 5-B: Análisis de vulnerabilidad (tiempo de retorno 5 años)

ANEXO 5-C: Análisis de vulnerabilidad (tiempo de retorno 10 años)

ANEXO 5-D: Análisis de vulnerabilidad (tiempo de retorno 25 años)

ANEXO 6-A: Análisis de riesgo (tiempo de retorno 2 años)

ANEXO 6-B: Análisis de riesgo (tiempo de retorno 5 años)

ANEXO 6-C: Análisis de riesgo (tiempo de retorno 10 años)

ANEXO 6-D: Análisis de riesgo (tiempo de retorno 25 años)

ANEXO 7: Alturas de cada sección transversal

ANEXO 8: Formato de análisis de la caracterización de la infraestructura vial

ANEXO 9: Guía metodológica para el cálculo de la compensación ambiental para proyectos ambientales viales

RESUMEN

Las inundaciones pluviales, son un fenómeno que afecta en gran medida el área urbana de San Miguel, si bien, su solución es compleja por todas las autoridades que tienen que intervenir para lograrla, es posible prevenir pérdidas humanas y materiales con planes de prevención como los mapas de riesgo.

En la presente investigación, se plantea la elaboración de mapas de riesgo de inundación en una de las zonas que a lo largo de la historia ha sido una de las más problemáticas. Para dicha investigación fue necesario el seguimiento de una serie de pasos como: recolección de información, levantamiento topográfico utilizando dron, simulación hidráulica, elaboración de mapas, y finalmente, la caracterización de la microcuenca urbana.

La recolección de información, consistió en la investigación de datos meteorológicos, seguido de varias visitas de campo al lugar en época seca y lluviosa, todo esto para una comprensión global del problema. Luego, se realizó el levantamiento topográfico utilizando un dron, obteniendo imágenes que fueron procesadas mediante el software PhotoScan, habiéndose procesado se obtuvo como producto los puntos topográficos del terreno natural, puntos que fueron trabajados en el software AutoCAD Civil 3D.

Posterior al trabajo en AutoCAD Civil 3D, y conociendo los datos meteorológicos de la zona de estudio, se procedió a la simulación hidráulica a través del software

HEC- RAS, de la simulación se obtuvo tablas resumen y vistas de cada una de las secciones de la 8.^a calle poniente.

El resultado de la investigación fueron mapas de riesgo de inundación para distintos periodos de retorno, dichos mapas están conformados por dos análisis fundamentales que son: análisis de peligrosidad y vulnerabilidad. Los mapas muestran las secciones inundables, en las cuales se puede identificar las distintas escalas de riesgo que afronta la población que reside y transita la 8.^a calle poniente, del municipio de San Miguel, los cuales son de carácter preventivo, pero pueden contribuir a encontrar una solución a la problemática de inundaciones en el área urbana del municipio.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación, está orientada a encontrar los sitios vulnerables a inundación que afecte en el tránsito terrestre, en la octava calle poniente de la ciudad de San Miguel; también se identificó el uso de los suelos, la cantidad de escorrentía, luego, se proyectó la simulación hidráulica por medio de un software, se caracterizó la infraestructura vial, las pendientes que contiene la cuenca, el tipo de drenaje, por medio de un levantamiento topográfico usando un dron, y finalmente, se realizó la elaboración un mapa de riesgo.

En El Salvador, las inundaciones son consideradas como un problema grave. Para analizar esta problemática es necesario mencionar sus causas, una de ellas es el incremento de inundaciones en el área urbana de San Miguel, impactando de manera negativa el transporte terrestre, a través de las distintas calles y avenidas, aumentando el riesgo que enfrenta la población en la época lluviosa, considerando que la falta de instalación de drenajes es alta. La determinación de los riesgos por inundación se ha convertido en un tema de interés, para la planeación urbana y la mitigación de desastres.

La elaboración de un mapa de riesgo es una herramienta que permite conocer la gravedad de las inundaciones, y éste ayuda a buscar soluciones a la problemática. Para poder estimar las posibles consecuencias del fenómeno, en función de las características físicas, socioeconómicas y geomorfológicas de los asentamientos humanos en el área de análisis.

Finalmente, se demuestra que la utilización del dron en un levantamiento topográfico se considera una idea innovadora en la ingeniería, y que será el instrumento que suplantará a la estación total.

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

San Miguel posee una población estimada de 220 mil habitantes, por lo que representa la tercera ciudad en importancia de la nación salvadoreña.^[1] Tomando en cuenta el descontrol en la planeación urbanística muchas de las viviendas se encuentran ubicadas en lugares no aptos o reglamentarios para residir lo que conlleva a la invasión de ríos y quebradas, de esto surge una problemática respecto a la seguridad, tanto de los habitantes como del medio ambiente, provocando inundación en la avenida Roosevelt y en la octava calle poniente, de la ciudad de San Miguel. El tráfico vehicular es afectado en gran medida, y los habitantes de las colonias aledañas a estas calles se ven afectados por inundaciones en sus hogares.

Según Francisco Torres,^[2] en Noticias de El Salvador (2013), es debido a que llegan las aguas desde la colonia Ciudad Pacífica, las que bajan por las cercanías del volcán Chaparrastique y también las que bajan por medio las calles conectadas a dicho tramo, con tantas escorrentías que fluyen sobre la octava



IMAGEN 1 INUNDACIÓN EN 8.^a CALLE

¹ VI Censo de Población y V de Vivienda 2007. Dirección General de Estadística y Censos. Recuperado el 18 de Julio del año 2019 de http://www.censos.gob.sv/cpv/descargas/CPV_Resultados.pdf

² Periodista, que labora en el periódico digital elsalvador.com

calle poniente logran sobrepasar la capacidad de los tragantes y tuberías de drenaje, por lo que, la zona siempre se inunda en el transcurso de las tormentas, aún, cuando son de baja intensidad y con períodos de duración cortos (ver imagen 1).

Este problema de inundación, ha ocasionado muchos incidentes en épocas de lluvia; para octubre del 2012 se presentó un grave incidente, en el cual tres menores fueron arrastrados por una corriente hacia un tragante, (ver imagen 2) lo cual provocó la muerte de los menores, y fueron encontrados en el Rio Grande San Miguel posteriormente. El tragante estaba al



IMAGEN 2 TRAGANTE DONDE NIÑOS PERDIERON LA VIDA

descubierto de la población, y fue hasta en enero del 2013 que técnicos del Ministerio de Obras Publicas fueron a inspeccionar la zona, a lo que concluyeron que se debían elaborar obras de mitigación, actualmente, se dio una solución sencilla por parte de las autoridades del Municipio, en colocar rejas de metal más unas placas de cemento en una parte del tragante que evita el paso de basura (ver imagen 3).

No obstante, la medida implementada evita de momento casos similares hasta que se tuviere un nuevo plan que logre mitigar las inundaciones en las calles de la ciudad de San Miguel [3].



IMAGEN 3 MEDIDA PREVENTIVA CONSTRUIDA POR LA ALCALDÍA MUNICIPAL EN LA 8.^a CALLE PONIENTE

Otros incidentes comunes que han ocurrido frecuentemente, son cuando los automovilistas, que desconocen el problema que representa tomar esta vía, quedan atrapados por la acumulación de agua en el punto de la octava calle poniente que se intercepta con la avenida Roosevelt, tal es el caso que se presentó el pasado 24 de

³ Francisco Torres (2013). Pondrán rejas en un tragante para evitar desgracias. Noticias de El Salvador. Recuperado de <https://www.elsalvador.com/noticias/nacional/99345/pondran-rejas-en-un-tragante-para-evitar-desgracias/>

mayo, donde dos conductores tuvieron que ser auxiliados por miembros del cuerpo de bomberos de El Salvador, “esto se da debido a que la vía se forma una hondada (Terreno que está más hondo que las zonas que lo rodean), por la acumulación de agua en la parte baja”, comenta miembro del cuerpo de bomberos [4].

UBICACIÓN DE LA OCTAVA CALLE PONIENTE



IMAGEN 4 UBICACIÓN DE LA 8.ª CALLE PONIENTE

⁴ El Mundo (2019). Auxilian a conductores atrapados por inundación en San Miguel. Recuperado de <https://elmundo.sv/bomberos-auxilio-a-ocupantes-de-carros-que-fueron-sorprendidos-por-inundacion-de-calle-en-san-miguel/>

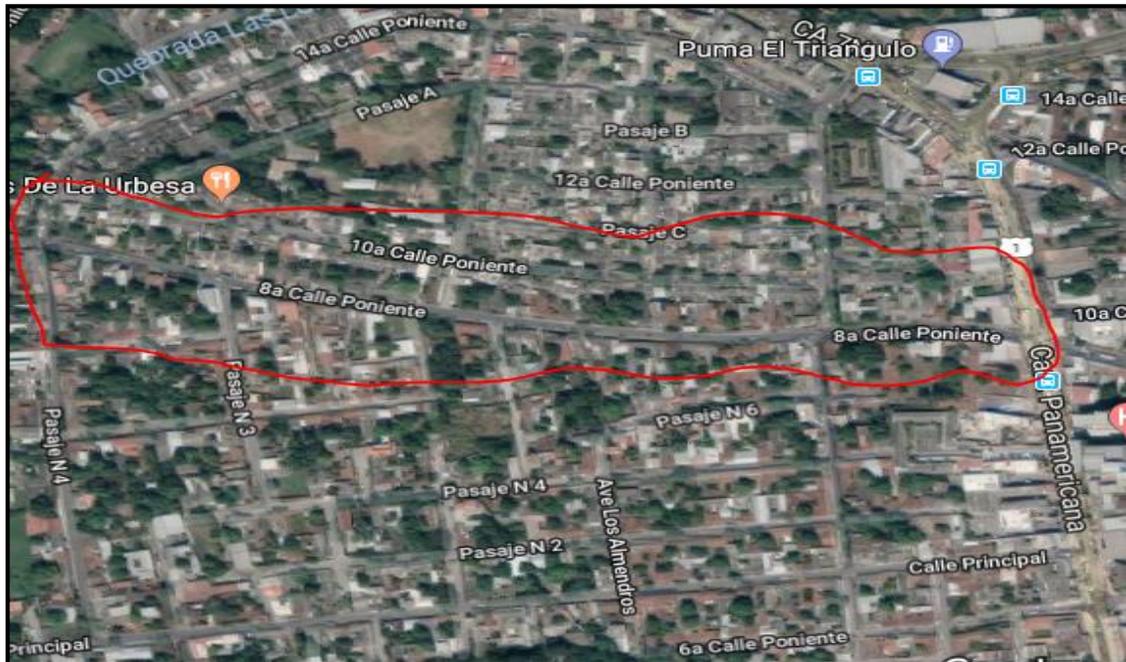


IMAGEN 5 VISTA SATELITAL DEL TRAMO DE ESTUDIO

1.2 ENUNCIADO DEL PROBLEMA

¿De qué manera beneficia, la elaboración de un mapa de riesgo de inundación y la caracterización de la infraestructura vial, a la población de la ciudad de San Miguel?

1.3 JUSTIFICACIÓN

Para el desarrollo de la Ciudad de San Miguel, es necesaria una planeación urbanística, sin embargo, debido al crecimiento poblacional, San Miguel ha carecido de una buena planeación, lo que ha llevado a la impermeabilización de suelos de forma indiscriminada, aunado a un deplorable sistema de drenaje, todos estos factores no terminan de buena manera, si no en inundaciones de la zona urbana. La elaboración de un mapa de riesgo por inundación y la caracterización vial tendrá un impacto positivo en distintos ámbitos como lo social, ambiental, económico, político y académico.

En el ámbito social principalmente, para generar conciencia objetiva sobre los riesgos latentes que existen en la zona objeto de estudio, y poder disminuir los efectos de riesgos para los habitantes de la Ciudad en San Miguel que se ven involucrados. La importancia sobre la caracterización de una microcuenca urbana, está representada por la existencia de riesgos de inundación que provocan pérdidas materiales y en algunos casos pérdidas humanas sino hay un plan de contingencia que amortigüe los riesgos.

El proceso acelerado de crecimiento de la ciudad, y como consecuencia el incremento excesivo de construcción de capas impermeabilizantes en el suelo, conlleva al impacto ambiental, como la contaminación excesiva, el deterioro de la calidad del agua y el impacto de fenómenos como el cambio climático sobre las fuentes de agua, entre otros. Hacen urgente diseñar una caracterización del problema,

que conecte los componentes hidrológicos y estudios meteorológicos, para luego caracterizarla detalladamente sobre sus posibles riesgos.

Con la elaboración de un mapa de riesgo por inundación, se puede evitar pérdidas económicas para la población que reside en la zona objeto de estudio, así como para los transeúntes y automovilistas que transitan por la vía afectada. Actualmente, la población no está consciente de la gran amenaza a la que se enfrentan.

Actualmente, las autoridades encargadas de velar por la prevención de riesgos, han colocado una señal de prevención poco eficiente ya que solo indica el tirante. Se pretende sentar las bases para la formulación de una solución integral, para esta problemática en la ciudad de San Miguel, y con ello se puedan crear ordenanzas y políticas que velen porque dichas soluciones que sean permanentes en el tiempo y verdaderamente mitiguen los riesgos existentes.

La presente investigación, representa una innovación y un gran avance en términos de prevención de desastres y mitigación de riesgos en El Salvador; ya que hasta la fecha no se cuenta con una base de datos sobre el nivel de riesgo que enfrenta la ciudad de San Miguel en épocas lluviosas debido a las inundaciones. Los resultados de la investigación, servirán con base para investigaciones futuras, que pretendan formular una investigación sobre obras de mitigación de riesgos para problemáticas de la misma índole.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar la microcuenca hidrográfica de la octava calle poniente de la ciudad de San Miguel de manera cualitativa y cuantitativa, utilizando dron en el levantamiento topográfico y la infraestructura vial para identificar los puntos críticos de inundación por medio de un mapa de riesgo.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir los parámetros necesarios para caracterizar una microcuenca hidrográfica.
- Analizar las incidencias socio-ambientales de una microcuenca hidrográfica.
- Elaborar un plan de manejo de la microcuenca hidrográfica mediante información biofísica y socio-ambiental que se pueda recolectar.
- Describir la importancia que tiene el dron en un levantamiento topográfico para la caracterización de cuencas.
- Dar a conocer las secciones que presentan más riesgo debido a las inundaciones para cada uno de los periodos de retorno por medio de mapas de riesgo.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.5.1 ALCANCES

- Presentar un mapa de riesgo de inundación de la octava calle poniente en el cual se detallen las incidencias que tiene para la población las inundaciones en la zona de estudio.
- Caracterizar los principales parámetros de la microcuenca que se forma en la octava calle poniente en la ciudad de San Miguel.
- Identificar los puntos críticos de inundación con un levantamiento topográfico por medio de dron para determinar los riesgos para la población de la ciudad de San Miguel.
- Investigar el comportamiento de la microcuenca, las zonas críticas de inundación y establecer un estudio hidrológico.
- Detallar las áreas de inundación para que sea fácil de comprender el peligro, la vulnerabilidad y el riesgo.
- Utilización del software Agisoft PhotoScan Pro 1.4.5 (versión española), para la exportación de la fotogrametría al software Civil 3D 2015 (versión inglesa).
- Utilizar el software HEC- RAS 5.0.6 (versión inglesa), para el modelamiento hidráulico de la cuenca en estudio.
- Para la simulación hidráulica se considera un período de 60 minutos para la estimación de la intensidad de lluvia

- Caracterizar la zona de interés con la ayuda de AutoCAD Civil 3D 2015 (versión inglesa), para realizar los mapas de riesgo a inundación.
- Utilizar como base los criterios propuestos por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 2015) para la elaboración de mapas de riesgo.

1.5.2 LIMITACIONES

- La investigación solo es considerada para un tramo de la octava calle poniente, comprendido desde la intersección con la avenida Roosevelt hasta la quebrada Las Lomitas.
- La caracterización de la infraestructura vial es de carácter cualitativo, lo que se observe será presentado en los formatos de análisis de caracterización de la infraestructura vial.
- El mapa de riesgo por inundación considera como base los parámetros de peligro y vulnerabilidad propuestos por el IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua)
- El peligro está enfocado a la población que se ve afectada por la inundación pluvial, ya sea de forma directa o indirecta.
- La vulnerabilidad está enfocada a los vehículos que transitan la zona y a la infraestructura, de forma específica a las viviendas de cada una de las secciones de estudio.
- Para el manejo de microcuencas urbanas no se tiene metodología específica, por lo tanto, se plantearon diferentes parámetros que pueden afectar en el plan tales como: arrastre de material, deforestación y el desconocimiento de la población acerca del manejo de cuencas.

- Se toman en cuenta parámetros propuestos en la metodología del Perfil de Riesgo de Desastre por Inundaciones para El Salvador planteado por el Banco Interamericano de Desarrollo, restringiendo solamente los que pueden ser adaptados a cuencas urbanas.
- Los softwares implementados en la investigación son de uso libre o con licencia para estudiante por lo que está restringido en su rendimiento y funciones.
- Se deben cumplir requisitos para el vuelo de drones en el país según la autoridad de aviación civil de El Salvador con su reglamento Regulación de los Vehículos Aéreos No Tripulados en RAC-VANT 2.030 y RAC-VANT 2.035.

CAPITULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 MARCO TEÓRICO

El Dron en la Topografía

Los drones, han supuesto una revolución en el trabajo topográfico. En primer lugar, por la importante reducción de costes que suponen. Esto permite, que proyectos que no eran viables por su elevado costo, hoy se puedan realizar sin problemas.

Esta tecnología permite capturar un mayor número de puntos para realizar planimetrías. El levantamiento topográfico que se consigue con ellos aporta mucha más información gráfica y real, a diferencia de un levantamiento topográfico tradicional, gracias a sus cámaras de última generación. Con un dron se puede llegar a zonas de difícil acceso o incluso inaccesibles, se amplía el conocimiento del lugar y de los alrededores, con lo que se obtiene mayor información.

Caracterización de Cuencas Hidrográficas

La caracterización, está dirigida fundamentalmente a cuantificar las variables que tipifican a la cuenca con el fin de establecer la vocación, posibilidades y limitaciones de sus recursos naturales con el ambiente, y las condiciones socioeconómicas de las comunidades que la habitan.

Características Morfológicas de la Cuenca

Estos parámetros morfométricos se obtienen mediante un conjunto de estimaciones realizadas al emprender un estudio de tipo hidrológico, para determinar las condiciones hidrológicas básicas. Los parámetros morfométricos se clasifican en:

Parámetros de forma

- Perímetro (P)
- Longitud Axial (La)
- Área (A)
- Ancho promedio (Ap.)
- Factor de forma (IF)
- Coeficiente de compacidad de Gravelius (Kc)
- Índice de alargamiento (Ial)
- Índice de homogeneidad (Ih)

Parámetros de relieve

- Curva hipsométrica (CH)
- Altura Media (h)
- Pendiente media de la cuenca (PM)
- Coeficiente de rugosidad (Ra)

Parámetros relativos a la red hidrográfica

- Número de orden de los cursos de agua
- Densidad de drenaje (Dd)
- Pendiente media del cauce (J)
- Tiempo de concentración (Tc)
- Parteaguas

Clasificación de cuencas hidrográficas

Microcuenca: Unidad espacial hidrográfica más pequeña.

Subcuenca: es la superficie de terreno cuya escorrentía superficial fluye en su totalidad a través de una serie de corrientes, hacia un determinado punto de un

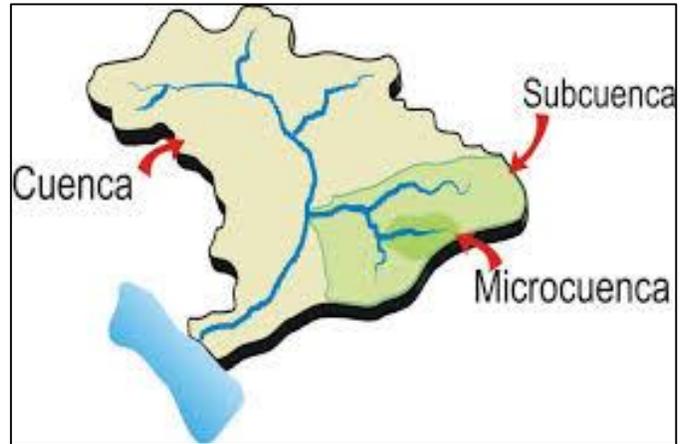


IMAGEN 6 DIVISIONES DE UNA CUENCA

curso de agua (generalmente un lago o una confluencia de ríos).

Cuenca: Unidad espacial integrada por todas las Sub- cuencas asociadas con un Cauce Principal que puede ser un río, el mar o un lago, incluyendo las Subcuenca del cauce principal.

Microcuenca: Área tributaria asociada a un cauce o cauces externo.

Método racional

Este es un método donde una lluvia con intensidad i empieza de forma instantánea, y continua de forma indefinida. La tasa de escorrentía continuará hasta que llegue el tiempo de concentración t_c en lo cual toda la cuenca estará contribuyendo al flujo de salida. El producto de la intensidad de lluvia i y el área de la cuenca A , es el caudal de entrada.

En general, para el cálculo de caudal puede ser empleado cualquier modelo de lluvia-escorrentía. Para superficies menores a 1 300 Ha se recomienda el Método Racional, dada su simplicidad.

$$Q = CiA$$

En donde:

Q: caudal superficial

C: coeficiente de escorrentía (Adimensional)

i: intensidad promedio de la lluvia

A: área de análisis

En la **tabla 1**, ésta la fórmula utilizada para con sus unidades de medida.

FORMULA PARA Q	OBSERVACIONES
$Q = \frac{CiA}{3\ 600}$	<p>Q = Caudal en litros por segundos l/s</p> <p>C = coeficiente de escorrentia (adimensional)</p> <p>i = cantidad de lluvia en milímetros por hora mm/h</p> <p>A = superficie en metros cuadrados m^2</p>

TABLA 1 FÓRMULA DEL CALCULO DE CAUDALES MÁXIMOS

Coefficiente de Escorrentía.

El Coeficiente de Escorrentía, es uno de los parámetros fundamentales de la Hidrología superficial, pues representa la porción de la precipitación que se convierte en caudal, es decir, la relación entre el volumen de Escorrentía superficial y el de precipitación total sobre un área (cuenca).

El Coeficiente de Escorrentía no es un factor constante, pues varía de acuerdo a la magnitud de la lluvia y particularmente con las condiciones fisiográficas de la

Cuenca Hidrográfica (Cobertura vegetal, pendientes, tipo de suelo), por lo que su determinación es aproximada.

En general, los cálculos de este coeficiente se efectúan a partir de los valores anuales de precipitación y caudal, encontrándose (por fortuna) tabulados en la bibliografía relativa al tema de la Hidrología superficial. Existe una tabla de escorrentías publicada por el Observatorio Ambiental (SNET), en donde se reflejan algunos valores comunes del Coeficiente de Escorrentía utilizados para el cálculo de Cuencas Rurales (no urbanizadas), tomando en cuenta el tiempo de retorno⁵.

Modelamiento hidráulico

La simulación se da para situaciones reales, que se producen en el modelamiento y cuyo comportamiento se desea conocer; gracias a esto, se relaciona el área de estudio con la información necesaria para conocer la naturaleza del mismo, y luego, resolver problemas hidráulicos en conexión con varias estructuras hidráulicas o parte de ella, como por ejemplo, determinar las capacidades hidráulicas, reducir las pérdidas de carga en entradas a canales, tuberías o secciones de transición; desarrollar métodos eficaces para la disipación de energía en la corriente, al pie de las presas de sobre flujo o de los cauces de los ríos; determinar coeficientes de descarga para presas de

⁵ Datos obtenidos de SNET (sistema nacional de estudios territoriales)
<http://portafolio.snet.gob.sv/digitalizacion/pdf/spa/doc00245/doc00245-seccion%20h%203.pdf>

sobreflujo; desarrollar el mejor diseño de vertederos de presas, de sifones y de pozos y de estructuras de salida de los embalses; diseñar puertos, etc.

Rugosidad del coeficiente de Manning

Ven Te Chow indica, que seleccionar adecuadamente un valor de n significa hacer una buena estimación de la resistencia al escurrimiento en un lado dado.

Los acercamientos en detalle, se pueden apreciar en el libro de Ven Te Chow “Hidráulica de canales abiertos”, en los artículos:

5-8) Factores que afectan el coeficiente de rugosidad de Manning

5-9) El cuadro del coeficiente de rugosidad de Manning

5-10) Ilustraciones de canales con diferente rugosidad

8-7) Métodos para determinar el coeficiente de rugosidad de Manning

Mapas de riesgo por inundación

Las inundaciones, son uno de los peligros naturales que mayores daños económicos y humanos provoca a nivel mundial. Dentro de los mapas de peligrosidad, de riesgos naturales, incluidos en los planes de ordenación urbanísticos, el mapa correspondiente a la peligrosidad por inundaciones cobra una especial importancia, y su estudio debe de ser meticulosamente elaborado.

Etapas para la elaboración de mapas de riesgo.

En la **imagen 7** se definen las principales etapas para la elaboración de mapas de riesgo que serán desarrolladas a continuación. Cabe aclarar, que se describe en forma práctica este proceso metodológico, tomando como ejemplo el caso de las inundaciones.



IMAGEN 7 ETAPAS PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE RIESGO

1º ETAPA: CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA

a. Definir la zona de responsabilidad

En primera instancia se define la unidad de análisis que será objeto de estudio dada la afectación de una o más amenazas. En el caso de las inundaciones que pueden afectar a una localidad, es necesario localizar el curso de agua superficial, las curvas de nivel, las manzanas y/o mapa de uso del suelo según lo establece la zonificación municipal.

b. Identificar el origen de la amenaza

Es necesario reconocer los elementos detonantes de la amenaza, los agentes causales, así como detectar el origen y tipo de la amenaza principal que evaluaremos, así como su vinculación con las amenazas secundarias o concatenadas. Cabe destacar que es fundamental evaluar o cuantificar la relación entre amenazas para estimar el incremento del peligro en un lugar particular.

c. Definir el parámetro de medición del peligro

A continuación, se exponen los parámetros de medición del peligro para algunos de los eventos adversos que se manifiestan en nuestro territorio nacional.

EVENTO ADVERSO		PARÁMETRO DE MEDICIÓN DEL PELIGRO
 Inundación		Altura de las aguas
 Remoción en masa		Desplazamiento del terreno (metros). Posibilidad de falla del terreno.
 Cenizas volcánicas		Altura de la columna eruptiva. Velocidad, dirección y sentido del viento
 Flujos Piroclásticos	 Flujo de lava	 Lahar
		Trayectoria dirección del flujo (distancia)
 Incendio forestal		Tipo de vegetación
 Incendio de Interfase		Tipo de vegetación El tiempo atmosférico (temperatura del aire, humedad relativa, viento, nubosidad, etc.)
 Nevada		Nivel de Intensidad (Moderada, fuerte, severa)
 Tormenta		Daños según peligrosidad por tormentas severas ocurridas en los últimos 10 años (2001-2010)
 Sismos		Aceleración del suelo
 Sequía		Intensidad y persistencia de déficit de precipitación, pronóstico de precipitaciones inferiores a las normales, indicadores de estrés hídrico y secamiento de suelos.
 Erupción volcánica		Índice de explosividad volcánica
 Cenizas volcánicas		Altura y dirección de la pluma

IMAGEN 8 PARÁMETROS DE MEDICIÓN DE PELIGRO PARA DISTINTOS EVENTOS.

d. Caracterización de las manifestaciones de la amenaza

Además, de seleccionar el parámetro de medición del peligro para cada amenaza particular, se presentan otras variables de análisis complementarias que permiten entender el comportamiento de una amenaza.

En tal sentido, los registros de altura de las aguas como parámetro de medición son esenciales para dimensionar un evento de inundación, pero al mismo tiempo el análisis de esta amenaza implica tener en cuenta:

- Fecha en que la cota hidrométrica alcanzará el nivel de alerta.
- Fecha en que la cota hidrométrica alcanzará el nivel de evacuación.
- Probable o probables pico o picos máximos de crecida: altura, caudal, fecha en que se alcanzará o alcanzarán y tiempo/s de permanencia.
- Curva/s de máxima inundación para uno o más picos, según correspondiera.
- Tiempo de permanencia de la máxima inundación para cada pico.

El conocimiento de la ubicación, naturaleza, intensidad, característica y probabilidad de que una o varias amenazas puedan transformarse en peligro para un territorio puede abordarse a través de la disponibilidad de información de los siguientes atributos de ponderación. En la medida que, se complete la mayor cantidad de atributos de ponderación para cada amenaza se podrá precisar más fehacientemente las manifestaciones o los efectos que ésta genera en el territorio.

e. Caracterización de la zona de impacto

Es necesario describir las condiciones del medio físico-natural para comprender el comportamiento de las amenazas identificadas.

Se caracterizará la topografía, la morfología y las características mecánicas del suelo, entre otras condiciones del terreno que permitan entender el comportamiento que pueda tener cada amenaza en el territorio.

2° ETAPA: CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

Para el análisis de vulnerabilidad, además de identificar los elementos expuestos se tiene que considerar la información de usos del suelo, la información demográfica y socio-económica relevante, y determinar el grado de exposición y vulnerabilidad de una sociedad frente a la amenaza identificada.

- a) **Distribución de la ocupación del suelo:** Para estimar la afectación de las amenazas en forma preliminar se debe superponer el área de ocurrencia de amenazas con el mapa de zonificación urbana/rural presente en cada municipio.
- b) **Identificación de los elementos expuestos en el territorio:** Se trata de vincular los elementos que se localizan en el territorio con el área de afectación de una amenaza. Incluye la caracterización de la población vulnerable, la infraestructura productiva y de servicios públicos que podrían verse afectados por la ocurrencia de una amenaza.

c) **Determinar el grado de exposición y vulnerabilidad de una sociedad frente a la amenaza:** A modo de ejemplo y para el caso de la probabilidad de ocurrencia de inundaciones, a través de la lectura de la altimetría del terreno y los elementos construidos se pueden determinar los niveles de exposición y vulnerabilidad de una población. En tal sentido, se puede contabilizar la cantidad y calidad de las viviendas que se encuentran próximas al río y ocupan las zonas más bajas del terreno.

Asimismo, se analiza la localización de las instalaciones críticas según la función que ocupan como infraestructuras, servicios o equipamientos esenciales en el caso de ocurrencia de una situación de riesgo.

3° ETAPA: MAPA DE RIESGO

Recordar que, para cada escenario de riesgo, es necesario:

- Definir previamente la escala en que se describe cada escenario de riesgo, dado que el grado de detalle de la información que debe procesarse depende de la escala que se elija.
- Fijar el momento para el que se define el impacto de la amenaza sobre la población vulnerable ya que del momento del impacto depende la evolución del escenario.
- Definir el lapso en el que se desarrolla el escenario de riesgo, que está vinculado con la escala y el grado de afectación que se prevé en la descripción del impacto.

- Fijar la magnitud de la amenaza para la que se elabora el escenario de riesgo.

4° ETAPA: ANÁLISIS DEL MAPA DE RIESGO

Una vez obtenido el mapa de riesgos para cada amenaza seleccionada, es necesario analizar la información representada gráficamente para:

- a) Estimar el daño que ocasiona la amenaza en los elementos expuestos.
- b) Asignar categorías de riesgo para los escenarios de riesgo identificados.
- c) Definición de zonas: áreas de seguridad, de áreas de atención prioritaria a nivel de viviendas, infraestructuras, servicios y equipamiento.

a) Estimar el daño que ocasiona la amenaza en los elementos expuestos.

Comprende las siguientes subtareas:

- Localizar las viviendas en función de las áreas susceptibles a la ocurrencia de amenazas.
- Localizar las instalaciones críticas en función de las áreas susceptibles a la ocurrencia de amenazas.
- Evaluar el valor o funcionalidad de los elementos expuestos a partir de la cantidad de población afectada, el equipamiento, la infraestructura y los servicios.

b) Asignar categorías de riesgo para los escenarios de riesgo identificados.

A los fines de anticipar escenarios de riesgo a través de los mapas generados, se propone una categoría de ponderación que puede ser entendida como la base, para la formulación de lineamientos para la gestión de riesgo.

Categoría de riesgo:

- **NO MITIGABLE:** Áreas expuestas a una amenaza Alta o Media en condiciones de vulnerabilidad Alta o con Baja capacidad de respuesta de las organizaciones locales. En estas zonas no es posible implementar ningún tipo de acción estructural o no estructural que reduzca la amenaza o los factores de vulnerabilidad.
- **MITIGABLE:** Áreas expuestas a una amenaza Alta o Media en condiciones de vulnerabilidad Alta o con Baja capacidad de respuesta de las organizaciones locales. Sin embargo, en estas zonas es posible implementar acciones estructurales o no estructurales para reducir la amenaza o los factores de vulnerabilidad.
- **MEDIA:** Áreas expuestas a una amenaza Media o Baja en condiciones de vulnerabilidad Media o Baja y mediana capacidad de respuesta de las organizaciones locales.
- **BAJA:** Áreas expuestas a condiciones simultáneas de amenaza y vulnerabilidad Baja con una capacidad de respuesta adecuada.

Para llegar a un mapa de riesgo por inundaciones en zonas urbanas es necesario determinar los siguientes mapas:

Mapa de peligro

El peligro de inundación se puede definir con base en ciertos criterios, que pueden ser tirante y velocidad del agua alcanzada en las calles, ríos o arroyos. Al desbordamiento del cauce natural de los ríos se le conoce como inundación fluvial. Cuando se debe a un escurrimiento de lluvias dentro de una zona urbana y después de saturarse el suelo, su agua excedente dura horas o días, se le denomina inundación pluvial.

Mapa de vulnerabilidad por inundación

La vulnerabilidad es la medida de la susceptibilidad de un bien expuesto a la ocurrencia de un fenómeno perturbador. De dos bienes expuestos, uno es más vulnerable si, ante la ocurrencia de fenómenos perturbadores con la misma intensidad de la lluvia, éste sufre mayores daños. A diferencia del peligro, que está definido por los patrones climáticos (la naturaleza) y debido a ello es difícil modificarlo, la vulnerabilidad es una variable que el hombre tiene la posibilidad de disminuir.

La vulnerabilidad se denomina daño potencial, y se define como la característica de una persona o grupo en relación con su capacidad de prever, combatir, resistir y recuperarse del impacto de un suceso natural. Es por esto que la vulnerabilidad presenta un comportamiento desigual según grupos sociales, actividades productivas o territorios.

Generación de mapas de riesgo propuesto por Instituto Mexicano de Tecnológica del Agua (IMTA, 2015)

Primero, se determinan los mapas de peligro a partir de un criterio definido de peligro, y con base en el análisis hidráulico hecho con el modelo en dos dimensiones, se calculan los tirantes y velocidades a lo largo de la ciudad; esto, para las lluvias con diferentes periodos de retorno.

Asimismo, se obtienen los mapas de vulnerabilidad de acuerdo con un criterio definido de vulnerabilidad, que puede calcularse con base en el tipo de vivienda, edad de las personas, zonas escolares, áreas industriales, etc. La combinación de mapas de peligro y vulnerabilidad, a partir de un criterio de riesgo, permite calcular los mapas de riesgo, de los cuales se obtienen los costos por daños generados por la inundación para diferentes periodos de retorno (**ver imagen 9**).

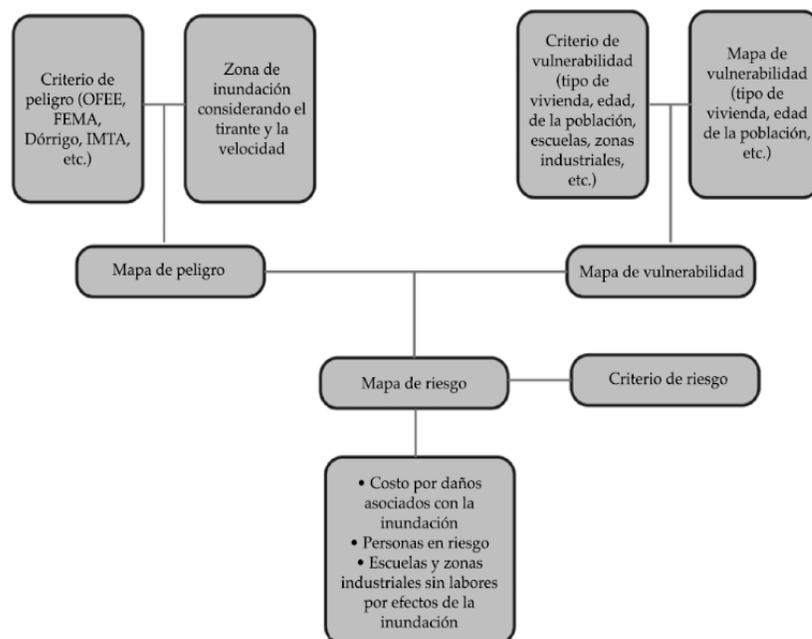


IMAGEN 9 ETAPAS PARA LA ELABORACIÓN DE MAPA DE RIESGO DE INUNDACIÓN

Mapas de riesgo por inundación

El riesgo está implícito en nuestras vidas y es parte inseparable de las acciones, entendiéndose que es la proximidad a un daño, donde existe la posibilidad de tener pérdidas significativas o resultados adversos. Para su representación, se utiliza una base cartográfica, en la cual mediante parámetros establecidos se localiza la manera en que impactan los sistemas afectables.

El criterio de riesgo se define a partir de lo descrito por el IMTA (2015), establecidos cuatro rangos, que se describen a continuación:

- 1) **Riesgo nulo.** Este se define para las zonas en que el peligro resulta nulo o para la vulnerabilidad muy baja y peligro bajo.
- 2) **Riesgo bajo.** Son aquellas zonas de la ciudad en que se presenta un peligro bajo y vulnerabilidad baja o media, o un peligro medio y una vulnerabilidad muy baja. Para este tipo de riesgo se considera que la pérdida del menaje de la casa será de 10%.
- 3) **Riesgo medio.** Se considera cuando el peligro es bajo y la vulnerabilidad alta; el peligro medio y las vulnerabilidades bajas o medias; el peligro alto y la vulnerabilidad muy baja. La pérdida del costo del menaje es de 50%.
- 4) **Riesgo alto.** Para cuando el peligro es medio y la vulnerabilidad alta, o el peligro alto y la vulnerabilidad es de baja a alta. La pérdida del menaje (Conjunto de muebles, ropas y enseres de uso común en las casas.) de casa resulta de 100%.

Vulnerabilidad por tipo de vivienda	Peligro			
	Nulo	Bajo	Medio	Alto
Muy baja (Tipo IV)	Riesgo Nulo RN (0%)	RN (0%)	Riesgo Bajo RB (10%)	Riesgo Medio RM (50%)
Baja (Tipo III)	RN (0%)	RB (10%)	RM (50%)	Riesgo Alto RA (100%)
Media (Tipo II)	RN (0%)	RB (10%)	RM (50%)	RA (100%)
Alta (Tipo I)	RN (0%)	RM (50%)	RA (100%)	RA (100%)

TABLA 2 CRITERIOS DE RIESGO EN FUNCIÓN DEL PELIGRO Y LA VULNERABILIDAD.

2.2 MARCO REFERENCIAL

Resumen de tesis “**Abilio Márquez Márquez, Roberto Carlos Melara Benavides. Propuesta de actualización de curvas intensidad-duración-frecuencia en la zona oriental de El Salvador**”

Se habla acerca de las curvas IDF, debido a que son el eslabón fundamental en el diseño y construcción de obras hidráulicas. En la cual obtuvieron intensidades máximas anuales para distintos periodos de retorno 2, 5, 10, 25 y 50 años para duraciones de 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 240 y 360 minutos, correspondientes a 4 estaciones meteorológicas de la zona oriental de El Salvador. Estas estaciones son: Santiago de María U-6, San Miguel UES M-24, San Francisco Gotera Z-2 y La Unión / Corsain N-2, con registros históricos para la actualización del periodo de 1984-2012.

Resumen de tesis “Laura Alejandra García Cobos, Oscar Eduardo Lizarazo Sarmiento, Yeison Andréi Romero Ramírez. Levantamiento topográfico y modelación hidráulica para la sección media del Caño Maizaro k11+000 a k13+000. Universidad cooperativa de Colombia Facultad de ingeniería, programa de ingeniería civil Villavicencio 2017”

Esta tesis se realizó con el fin de determinar los puntos críticos de inundación a partir de un levantamiento topográfico y una modelación hidráulica los cuales arrojan los resultados pertinentes y así poder generar posibles soluciones a dichos problemas.

Actualmente, Villavicencio cuenta con diversos afluentes como lo son el río Guatiquia, Guayuriba, Negro, Ocoa, así mismo como los caños Parrado, Gramalote, Buque, Quebrada la Unión, Grande, Quebrada Honda, Rosa Blanca, Cuerera y el Caño Maizaro que es una de las más representativas, debido a que se encuentra en la parte media de este municipio, lo cual indica que la vulnerabilidad de varios sectores que se encuentran aledaños a este.

En esta tesis se evidencia el proceso que se llevó a cabo para determinar los resultados finales, iniciando con una explicación del reconocimiento, seguido del levantamiento topográfico, el estudio hidrológico y por último la modelación Hidráulica en el Software HEC-RAS, en el cual generaron el comportamiento del caño de acuerdo a los diferentes caudales calculados. Al igual se presentan registros fotográficos del trabajo en campo y evidencia del modelamiento.

Artículo: “Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación en la cuenca Atemajac”- Instituto Tecnológico y de Estudio Superior de Monterrey, México.

En este trabajo se presenta una metodología de análisis de riesgo por inundación aplicable a cuencas urbanas y va dirigida a los tomadores de decisiones para mitigar daños. La metodología se aplica a la cuenca urbana del río Atemajac, Jalisco, México, donde cada año hay graves problemas de inundación por el desbordamiento del cauce principal, originando severos daños. La metodología se fundamenta en dos vertientes que son complementarias: la del enfoque determinista, basado en modelación numérica y determinación de daños; y la del enfoque paramétrico, donde se tratan de homologar los factores que intervienen en la vulnerabilidad, a través de índices adimensionales normalizados por los componentes de índoles social, económico, físico y ambiental. Los resultados muestran las zonas de riesgo y de alta vulnerabilidad por tramos del río Atemajac, definidos de acuerdo con las características que presenta el río a lo largo de su cauce. A partir del modelo determinista se generaron mapas de inundación y daños para 50 y 100 años de periodo de retorno, donde se identifican las zonas que se encuentran en riesgo de moderado a alto a lo largo del río. Los índices de vulnerabilidad por inundación obtenidos con el modelo paramétrico son consistentes con los resultados del modelo determinista, integrando a los indicadores más significativos que definen los grados de exposición, susceptibilidad y resiliencia a lo largo y ancho de la cuenca en estudio de una forma fácil de interpretar para los tomadores de decisiones.

Artículo Técnico: **Víctor Hugo Alcocer-Yamanaka, José Manuel Rodríguez-Varela, Víctor Javier Bourguett-Ortiz, Oscar Jesús, Pedro Misael Albornoz-Góngora, Llaguno-Guilberto “Metodología para la generación de mapas de riesgo por inundación en zonas urbanas”- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA)**

En el presente artículo se expone una metodología para la generación de mapas de riesgo que articula los mapas de peligro y vulnerabilidad por inundación. Se expone el procedimiento a realizar bajo un criterio que permite ser adaptable a distintas zonas urbanas; estos mapas son utilizados para estimar los costos por daños estructurales y de menaje de las viviendas. Se revisan distintos criterios para establecer el peligro de las inundaciones usados en varios países; consideran como base para su cálculo el tirante y la velocidad del agua alcanzados en las calles, arroyos y ríos. Asimismo, se plantean dos factores que se consideran importantes: resistencia al vuelco y deslizamiento. Para el cálculo de la vulnerabilidad de las edificaciones ante un evento de inundación, se plantea una metodología que permite con base en información generada por el INEGI y contenida en las Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB), determinar los mapas de vulnerabilidad de toda una zona urbana. El caso de estudio es la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, donde se generaron los mapas de peligro, vulnerabilidad y riesgo por inundación con la metodología propuesta. Se generan costos estimados para el daño estructural y menaje de las viviendas; además, se desarrollaron rutas de evacuación y se revisó la localización de los refugios.

CAPITULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Se trata de un tipo de investigación **innovadora**, centrada en la elaboración de un mapa de riesgo mediante la utilización de VANT (vehículos aéreos no tripulados), con un enfoque **cuali-cuantitativo**, que permite conocer los parámetros de la cuenca y de la infraestructura vial y, con ello reconocer las zonas que generan mayor riesgo para la población mediante un mapa de riesgos.

3.2 UNIDAD DE ANÁLISIS

Para la investigación “ELABORACIÓN DE MAPA DE RIESGO DE INUNDACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL CON PUNTO DE INTERÉS EN LA OCTAVA CALLE PONIENTE DEL MUNICIPIO DE SAN MIGUEL, DEPARTAMENTO DE SAN MIGUEL”, la unidad de análisis es el conglomerado de personas que residen en la octava calle poniente para el tramo comprendido entre la intersección con la avenida Roosevelt, hasta la quebrada Las Lomitas, también, se incluye en el conglomerado los peatones que transiten la zona y automovilistas durante época lluviosa.

Se toma la población antes mencionada, ya que es una muestra representativa del problema de inundaciones en la ciudad de San Miguel. La selección no fue aleatoria ya que se determina la muestra específica dependiendo del tramo objeto de estudio.

3.3 VARIABLES Y MEDICIONES

3.3.1 DEFINICIÓN DE VARIABLES

- ❖ **Usos del suelo:** Son los diferentes usos que se le pueden aplicar a los suelos, debido que es zona urbana, se utiliza para la construcción de carreteras, edificios y de pequeños espacios de vegetación lo cual aumenta la permeabilidad de la superficie.
- ❖ **Infraestructura vial:** Se refiere a las características de la vía de análisis como, el ancho de la vía, tipo de pavimento, existencia de soporte lateral, badenes, señalización entre otros.
- ❖ **Parámetros geomorfológicos de la cuenca:** es toda la información cuantificable que se poseen de las cuencas, logrando estimar la dimensión de las mismas.
- ❖ **Lluvia:** Son los datos registrados por medio de aparatos destinados a medir la intensidad de lluvia y registrar las variables meteorológicas que luego; son utilizados para la elaboración de predicciones meteorológicas a partir de modelos numéricos como para estudios climáticos.
- ❖ **Drenaje existente:** es el que constituye el cauce principal y sus tributarios o afluentes. Las aguas son conducidas por medio la topografía del terreno, bajando desde el punto más alto hacia el punto más bajo del terreno. Entre ellos tenemos los canales, canaletas, colectores, pozos y demás alcantarillado pluvial existente.

- ❖ **Vulnerabilidad:** Se refiere a la susceptibilidad que la vía en análisis se inunde y depende del tirante, es decir, la altura que puede llegar a tener la acumulación de agua pluvial y la velocidad a la que se mueve.
- ❖ **Peligrosidad:** Se refiere a la posibilidad de que la infraestructura sufra daño o que el peatón que transita por dicha zona este propenso al deslizamiento o volteo causado por las inundaciones.

3.3.2 INDICADORES

➤ **USOS DEL SUELO**

- **Calles:** Es un espacio urbano lineal que permite la circulación de personas y, en su caso, vehículos, y que da acceso a los edificios y solares que se encuentran a ambos lados
- **Zona verde:** es un terreno que se caracteriza por la presencia de vegetación.
- **Techos:** Cubierta de un edificio o construcción o de cualquiera de las estancias que los componen.
- **Jardines:** Terreno en el que se cultivan plantas y flores ornamentales para hacer de él un lugar agradable.
- **Maleza:** Conjunto de árboles, arbustos y otras plantas que crecen muy juntos entrecruzando y enredando sus ramas de manera que dan lugar a una gran espesura.

➤ PARÁMETROS DE LA CUENCA

- **Área:** es la superficie del terreno en las aguas de las precipitaciones que concurren a un mismo punto de evacuación a través de cauces secundarios o quebradas que se unen a un cauce principal
- **Perímetro:** Es la longitud de la línea divisoria de aguas y conforma el contorno del área de la cuenca.
- **Longitud del cauce principal:** Este parámetro suele coincidir con la longitud del cauce más largo, y es un criterio muy representativo de la longitud de una cuenca.
- **Altura máxima:** es el sitio con mayor elevación ubicado dentro del área de la cuenca.
- **Altura mínima:** es el sitio con menor elevación ubicado dentro del área de la cuenca.
- **Forma:** Para identificar las características de forma se emplean varios parámetros asociados con la relación área, perímetro o la longitud del cauce de agua más largo que se define como la distancia desde el punto de la salida de desembocadura de la cuenca, hasta el punto agua arriba más alejada.

➤ DATOS CLIMÁTICOS

- **Intensidad de lluvia:** Oficialmente se clasifica la intensidad de la lluvia según la cantidad registrada en una hora, de tal modo que se puede oír hablar de lluvia débil,

moderada o fuerte, e incluso lluvia inapreciable, muy débil, muy fuerte o torrencial, los datos son obtenidos mediante estaciones meteorológicas en la zona más cercana.

- **Periodos de lluvia:** es el tiempo de duración de lluvia, los cuales son obtenidos por medio de instrumentos localizados en la estación meteorológica más próxima.

➤ **DRENAJE**

- **Zonas de inundación:** Son los sitios más afectados por las lluvias.
- **Pendiente longitudinal de la calle:** La influencia de la configuración topográfica en el proceso de erosión de una cuenca y en la formación de descargas altas, se presenta de acuerdo a los mayores o menores grados de pendiente, estas se pueden apreciar gracias a la medición topográfica o por medio de planos.
- **Pendiente transversal de la calle:** es la forma transversal de la calle que permite que el agua se escurra a los extremos, se puede observar en los planos de construcción sobre la calle o por medio de un levantamiento topográfico.

Dirección del cauce: Está dado por la pendiente de la cuenca y se refiere al camino que toma la escorrentía desde el punto más elevado al menos elevado.

3.4 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

- Estación Total Nikon nivo 5.c
- GPS
- Software Agisoft PhotoScan Pro 1.4.5 (versión española)

- AutoCAD Civil 3D 2015 (versión inglesa)
- HEC-RAS 5.0.6 (versión inglesa)
- Dron DJI Phantom 4 PRO
- Celular S8
- Computadora Portátil DELL (Intel® Core™ i7-7500U CPU 2.9 GHz, RAM 8G, sistema operativo 64 bits)
- Aplicación para el celular, Pix4Dcapture (versión inglesa)

3.5 TÉCNICAS Y PROCEDIMIENTOS

El presente trabajo de investigación, se desglosa en etapas con el fin de poder alcanzar los objetivos propuestos y así poder dar respuesta a la problemática. La investigación se desarrolla en tres etapas:

1. Etapa de investigación documental

Como paso inicial a la investigación, se realizó una recopilación de información existente del área donde se encuentra la cuenca de estudio, octava calle poniente de San Miguel, por medio de diferentes entes como lo son el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), Alcaldía y el Centro Nacional de Registros (CNR). Se realizó un reconocimiento previo de la zona de estudio donde se identificó el sistema de drenaje existente.

Se reconoció por medio de la plataforma Google Earth la ubicación geográfica de la cuenca de análisis, sobre el municipio de San Miguel, departamento de San Miguel,

El Salvador. Para el estudio Hidrológico se solicitó información, previamente al MARN acerca de las precipitaciones de los últimos años en San Miguel, se realizaron los cálculos pertinentes para determinar los caudales, y así poder dar inicio con la modelación la cual se realizó en el software HEC-RAS, teniendo en cuenta las secciones, obtenemos de la topografía

2. Etapa de Campo

Para alcanzar el objetivo principal, se propone una metodología que permite el óptimo desarrollo del levantamiento topográfico por medio de un dron DJI Phantom 4 PRO, y el uso de Estación Total Nikon nivel 5.c con sus respectivos accesorios. Se realizará una debida capacitación sobre el manejo del dron y el uso de la Estación Total. Los instrumentos para la realización de la topografía los siguientes:

- Dron DJI Phantom 4 PRO
- Celular S8
- Computadora Portátil DELL. (Intel® Core™ i7-7500U CPU 2.9 GHz, RAM 8G, sistema operativo 64 bits).
- Estación Total Nikon nivel 5.c

Adicionalmente, se complementaron las herramientas faltantes:

- Trípode para Estación Total
- Clavos topográficos
- 2 bastones para prisma
- GPS
- 2 prismas
- Radios de comunicación
- Almódana
- Memoria USB

- Machetes

- Pinturas

La delimitación de la cuenca se hace a partir de fotografías aéreas, tomadas por el Dron DJI Phantom 4 PRO, se delimita la cuenca, se trazan líneas divisorias, también se determina el área, el perímetro, las pendientes, la dirección de la corriente de agua.

El Dron se programa, para que vuele una ruta definida por medio de un software, luego de la programación, este se eleva para iniciar el levantamiento topográfico, por medio de fotografías las cuales dispondrán de curvas de nivel y generar una imagen tridimensional. El uso de la Estación Total, sirve para definir mejor el levantamiento topográfico, la mecánica es programar que el Dron tome fotos, aparte que se definen los puntos donde se encuentra la Estación, y el Dron tomará fotos de dichos lugares, por ende, son sitios donde la vista no es obstruida por edificaciones o vegetación. Los puntos con la Estación son puntos de control que ayudan a georreferenciar el plano y tomar puntos que el Dron no puede tomar debido a obstrucciones. Con la ayuda de un GPS se referencia uno o más puntos tomados por la Estación Total para tener referenciado el Levantamiento Topográfico.

Teniendo listo el levantamiento topográfico, se inicia con el trabajo de oficina, donde se utilizan, tanto los datos proporcionados de Levantamiento, como los datos proporcionados de la Estación Meteorológica.

3. Etapa de análisis y discusión de información obtenida en campo

a) Modelación mediante software

El modelamiento hidráulico, es una herramienta fundamental en los estudios hidrológicos sobre los diferentes ríos, lagunas, quebradas, incluso inundaciones de carreteras, puesto que permite tomar una idea sobre el futuro comportamiento de estos mismos, determinando los factores de crecimiento o afectaciones por medio de cambios meteorológicos que puedan afectar su comportamiento natural, estos modelamientos ayudan adicionalmente a dar una posible predicción de los datos en un determinado tiempo. Con los datos de caudal obtenidos en la tercera etapa, y como el punto de análisis es una carretera se ingresa el coeficiente de Manning del asfalto, material con el cual está construida la octava calle poniente, estos datos los utilizaremos en el software HEC-RAS.

El software HEC-RAS brinda diferentes herramientas incorporadas, las cuales una vez cumplido los requisitos que este mismo pide, dicho software ayuda a modelar el comportamiento del agua en un determinado tiempo.

Después de extraer las fotografías del dron, se procede a unir las por medio del Software Agisoft PhotoScan, de aquí se obtiene una ortofoto (vista de toda el área), y se obtiene la nube de puntos del terreno, con esos datos se continúa el proceso con el software AutoCAD civil 3D que permite hacer un plano previo, gracias a los puntos topográficos y a la ortofoto obtenida en el Software Agisoft PhotoScan, los cuales son convertidos en superficie, esta proporciona las curvas de nivel, se toma

el alineamiento de referencia la octava calle poniente, se hacen las secciones transversales de la dicha vía, y luego puede ser exportadas al HEC-RAS, en el cual se ingresan los caudales de acuerdo al tiempo de retorno, en este caso a 2, 5, 10 y 25 años, de acuerdo a los datos obtenidos en la etapa de Pre-campo, el coeficiente de Manning es el mismo en todas las secciones porque la vía está construida con el mismo material. El valor dependiente es indispensable para el modelamiento de la cuenca y por último se debe correr el programa, este permite generar la modelación y mostrar los puntos críticos de inundación presentes en la carretera Roosevelt. Y finalmente, se hace un diagnóstico de la cuenca.

b) Elaboración de mapa de riesgo

Para elaborar un mapa de riesgo por inundaciones, en zonas urbanas es necesario determinar los siguientes mapas:

1- Mapa de peligro

Cuando se debe a un escurrimiento de lluvias dentro de una zona urbana, después de saturarse el suelo, su agua excedente dura horas o días, se le denomina inundación pluvial. Existen otros fenómenos que pueden provocar una inundación, como las mareas altas, que derivan que el nivel medio del mar sea rebasado, provocando inundaciones costeras.

Criterio para determinar la peligrosidad: Se basa en dos parámetros fundamentales que son el tirante o profundidad de agua y, el otro parámetro es la

velocidad a la que se mueve el líquido sobre un determinado espacio, que en este caso es la capa de rodadura.

Para fines de aplicación de la metodología, se obtienen las lluvias de proyecto, que corresponden a 2, 5, 10 y 25 años de periodo de retorno. En cuanto a la configuración del terreno, se determina con la planimetría de la ciudad, el levantamiento topográfico de la misma y los usos de suelo. Con esta información es posible caracterizar y determinar la configuración de las subcuencas y microcuencas de toda la zona urbana analizada, y se construye el modelo de simulación hidráulico. Con base en las lluvias de proyecto se determinan para cada periodo de retorno los tirantes y velocidades a nivel calle. En el análisis es posible considerar la infraestructura pluvial urbana existente, así como arroyos y ríos.

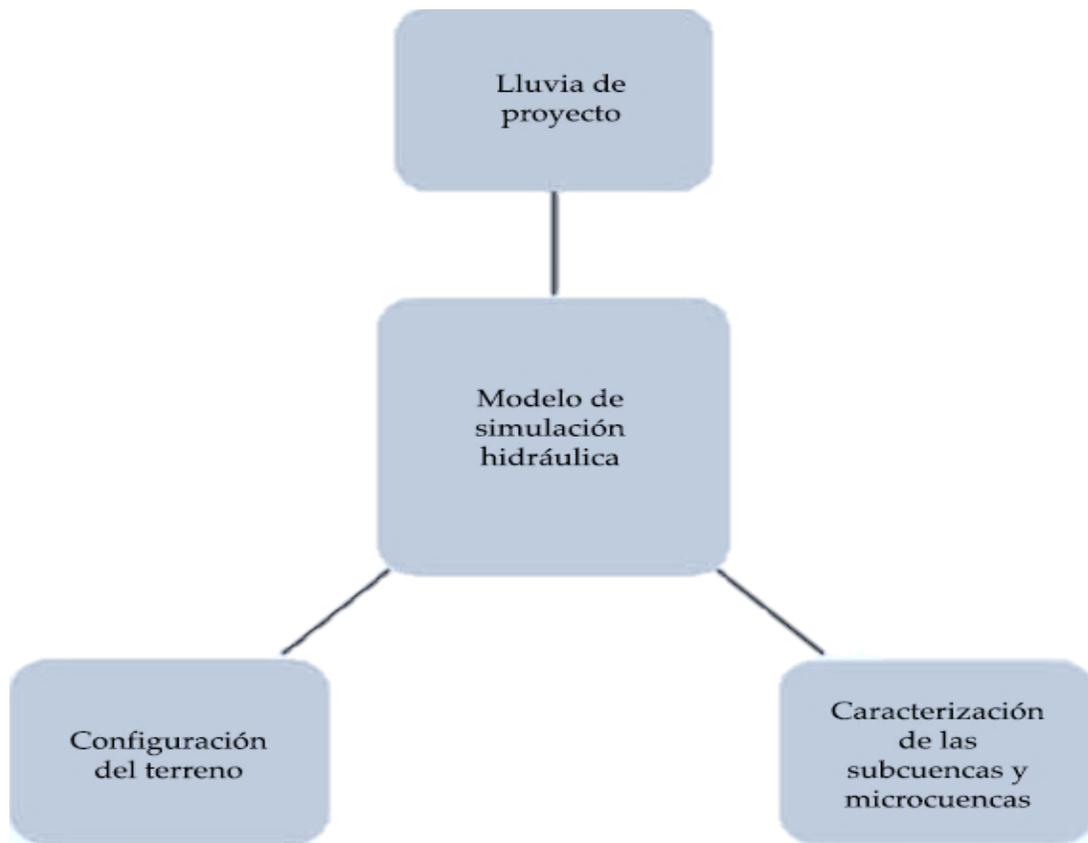


IMAGEN 10 VARIABLES PARA LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA EN DOS DIMENSIONES.

Nivel de peligro	Altura del tirante (m)	Volcamiento (m^2/s)	Deslizamiento (m^3/s^2)
Nulo	$h < 0.3$	$vh < 0.3$	$v^2h < 0.3$
Bajo	$0.3 \geq h < 0.5$	$0.3 \geq vh < 0.5$	$0.3 \geq v^2h < 0.5$
Medio	$0.5 \geq h < 1.5$	$0.5 \geq vh < 1.5$	$0.5 \geq v^2h < 1.23$
Alto	$h \geq 1.5$	$vh \geq 1.5$	$v^2h \geq 1.23$

TABLA 3 CRITERIOS DE PELIGRO DE ACUERDO AL IMTA

Donde:

v: velocidad

h: altura del tirante

Los valores de las variables propuestas en la **tabla 3**⁶, se establecen con los criterios siguientes: el tirante de 0.3 m se considera con un nivel de peligro nulo debido a que éste no alcanza a rebasar el nivel de banqueta promedio, por lo que el agua no llegaría a entrar en los hogares. En los rangos de 0.3 a 0.5 metros, el nivel de peligro se considera bajo, es decir, el daño a la estructura de la casa, así como al menaje, no es considerable. En tirantes de 0.5 a 1.5 metros, el nivel de peligro es medio, debido a que el daño a muebles y estructura del hogar tiende a ser elevado. Cuando el nivel del agua alcanza 1.5 metros de altura, el peligro se cataloga como alto.

La estabilidad al deslizamiento de un sujeto ante la fuerza de arrastre se calcula con la **ecuación 1**:

$$F = \frac{1}{2} C_d \rho A V^2 \quad \text{Ecuación 1}$$

donde:

F = fuerza de arrastre del agua (N).

C_d = coeficiente de arrastre, que depende básicamente de la forma de la superficie contra la cual choca el fluido (adimensional).

ρ = densidad del fluido (kg/m^3).

A = proyección frontal del área en donde actúa la fuerza del agua, que es igual a $y(b)$, siendo éste el producto del tirante por el ancho de la persona, en este caso de las piernas (m^2).

V = velocidad del fluido (m/s).

⁶ Criterios establecidos para la generación del mapa de peligro por inundación (IMTA, 2015).

Suponiendo que la persona en cuestión pueda ser capaz de mantenerse en pie, la fuerza que debe equilibrarla es la de fricción del calzado sobre el suelo y, sería igual a la **ecuación 2**:

$$F_{cs} = \mu W_p \quad \text{Ecuación 2}$$

donde:

F_{cs} = fuerza de fricción del calzado sobre el suelo (kgf).

μ = coeficiente de fricción, que depende de los materiales del calzado y suelo, y del estado de ambos (adimensional).

W_p = peso de la persona (kgf).

Considerando, que el coeficiente de arrastre para un cilindro de altura infinita es igual a 1.2 (Streeter & Wylie, 1979), la densidad del agua es de 1 000 kg/m³, el ancho de las piernas $b = 0.1 \text{ m} \times 2 = 0.2 \text{ m}$; el peso de la persona de 60 kgf, y el coeficiente de fricción entre el caucho y el concreto húmedo igual a 0.50 (Gieck, 1981), con un coeficiente de seguridad de 2, para incluir el efecto del empuje y la posible variación de los parámetros considerados, la condición de estabilidad está dada por la siguiente desigualdad:

$$v^2 h = \frac{2\mu P1}{C_d \rho B 2} = \frac{2(0.5)(60)(9.81)m^3}{1.2(2)(1000)(0.2)s^2} = 1.23 \frac{m^3}{s^2}$$

2- Mapa de vulnerabilidad por inundación

El cálculo de la vulnerabilidad, está limitado a los daños directos que puedan sufrir las residencias o daños inmobiliarios como las casas; en cambio, no se consideran daños indirectos, como pueden ser los psicológicos, provocados en personas afectadas por un evento de lluvia, u otros muy específicos, como en comercios o industrias, debido a que esta vulnerabilidad es muy compleja, específica o no cuantificable; también hay aspectos diversos, como pueden ser la pérdida de vidas humanas o daños al medio ambiente.

3- Mapas de vulnerabilidad propuesto por Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) 2015

De acuerdo con la clasificación de vulnerabilidad del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) 2006, ésta se hace en campo y se verifica casa por casa, lo que resulta en un trabajo oneroso; así como los tiempos de ejecución, que pueden ser semanas, en función de la extensión de la zona en estudio. En la propuesta metodológica de este artículo, la vulnerabilidad de las casas se calcula en nivel de manzana.

Para determinar en qué tipo de vulnerabilidad se ubican las casas, en nivel manzana, se usa el siguiente indicador:

$$\text{Tipo I} = \frac{\text{Viviendas de un solo cuarto}}{\text{Viviendas totales en la manzana}}$$

Ecuación 3

$$\text{Tipo II} = \frac{\text{Viviendas con dos cuartos}}{\text{Viviendas totales en la manzana}} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$\text{Tipo III} = \frac{\text{Viviendas con tres o más cuartos}}{\text{Viviendas totales en la manzana}} \text{ y que PEA} < 0.4 \quad \text{Ecuación 5}$$

$$\text{Tipo IV} = \frac{\text{Viviendas con tres o más cuartos}}{\text{Viviendas totales en la manzana}} \text{ y que PEA} > 0.4 \quad \text{Ecuación 6}$$

En la **tabla 4**⁷, se establecen cuatro rangos de clasificación, donde se considera un costo de menaje de las viviendas, que va desde \$12 500.00 hasta \$300 000.00.

⁷ Obtenida del análisis de información contenida en el AGEB. Fuente: IMTA, 2015.

Construcción de viviendas en la manzana	Clasificación de vulnerabilidad de viviendas (Cenapred, 2007)	Clasificación de la vulnerabilidad, considerando la información contenida en el AGEB del INEGI	Vulnerabilidad	Costo del menaje
Tipo I	Este tipo de vivienda corresponde a los hogares más humildes. Por lo general consta de un solo cuarto multifuncional, construido con material de desecho. El menaje es el mínimo indispensable	Para este rubro se consideró como indicador la relación entre el número de viviendas particulares habitadas con un solo cuarto entre el total de viviendas localizadas en la manzana	Alta	\$12 500.00
Tipo II	Corresponde a hogares que pueden ser calificados como de clase baja, donde la vivienda se describiría como de autoconstrucción o construida con material de la zona, la mayoría de las veces sin elementos estructurales. Las habitaciones cuentan con muebles propios El tercer tipo de vivienda también lo califica como clase baja, similar al tipo II, pero con techos más resistentes, construida la mayoría de las veces sin elementos estructurales. El menaje corresponde al necesario para las diferentes habitaciones	Para este tipo se consideró la relación de viviendas particulares habitadas con dos cuartos entre el total de viviendas	Media	\$50 000.00
Tipo III	Se identifica como típica de la clase media. Puede ser equiparada con una vivienda de interés social, construida la mayoría de las veces con elementos estructurales. El menaje corresponde al de una casa típica de una familia de profesionales que ejerce una carrera y vive sin complicaciones económicas	En este caso se considera la relación entre viviendas particulares habitadas con tres cuartos o más entre el total de viviendas. Si el valor es mayor que 0.5, se evalúa entonces la relación entre la población económicamente activa entre la población total, que debe ser menor a 0.4. Se deberán descartar las manzanas que caen en los tipos I y II	Baja	Menaje para casa de dos pisos: \$150 500.00 Para el daño en menaje se considera la mitad de este costo, pues las casas se consideran de dos pisos
Tipo IV	Corresponde al tipo residencial, construida con acabados y elementos decorativos, que incrementan de forma sustancial su valor. El menaje está constituido por artículos de buena calidad y con muchos elementos de comodidad. La familia la integran profesionales que ejercen una carrera y viven sin complicaciones económicas	Se considera la relación entre viviendas particulares habitadas con tres cuartos o más entre el total de viviendas. Si el valor es mayor que 0.5, se evalúa entonces la relación entre la población económicamente activa entre la población total, que debe ser mayor de 0.4. Se deberán descartar las manzanas que están en los tipos anteriores	Muy baja	Menaje para casa de dos pisos: \$300 000.00 Para el daño se considera la mitad de este costo, pues las casas se consideran de dos pisos

TABLA 4 VULNERABILIDAD POR TIPO DE VIVIENDA

4- Mapa de riesgo por inundaciones

De acuerdo con CENAPRED (2004), riesgo es la combinación de tres factores: valor de los bienes expuestos (**C**), vulnerabilidad (**V**) y probabilidad (**P**) de que se exceda la variable aleatoria que caracteriza un hecho potencialmente dañino. De manera simbólica:

$$\text{Riesgo} = C * P * V \qquad \text{Ecuación 7}$$

La estimación del riesgo puede hacerse a nivel de vivienda, para que al sumarse con el de otras viviendas se tenga una idea del riesgo en una localidad que, a su vez, si se acumula para un municipio, proporcionaría una estimación del riesgo de ese municipio, y así de manera sucesiva. De esta forma se pueden crear mapas de peligro, vulnerabilidad y riesgo de acuerdo con los alcances ya expuestos.

Método propuesto por Ribera (2004)

Los mapas de riesgo o mapas de daños potenciales por inundación, se pueden definir también como una situación susceptible de causar un daño, como consecuencia de un evento de lluvia que se presenta en un medio vulnerable, como el área de alguna colonia o zona de una ciudad. Así, el riesgo se puede formular como el producto del área afectada, por la peligrosidad del evento, y número de elementos (casas, personas, etc.) que está en juego, y su vulnerabilidad (Ribera, 2004).

Riesgo = área de afectación * peligrosidad del suceso

* número de elementos en juego

Ecuación 8

* vulnerabilidad de los elementos en juego

Para llevar a cabo mapas de riesgo se debe disponer de cuatro mapas:

- Áreas inundables.
- Peligro.
- Exposición.
- Vulnerabilidad.

Los dos primeros sirven para localizar y caracterizar el suceso, y dan lugar al mapa final de peligrosidad. El tercero y cuarto mapa, sirven para localizar y caracterizar los elementos en juego, que a la postre conducen al mapa final de vulnerabilidad.

Generación de mapas de riesgo propuesto por IMTA (2015)

La metodología planteada, nos permite abarcar todos los factores necesarios en la elaboración de mapa de riesgos y es de suma importancia ya que no se deja ninguna variable sin abordar.

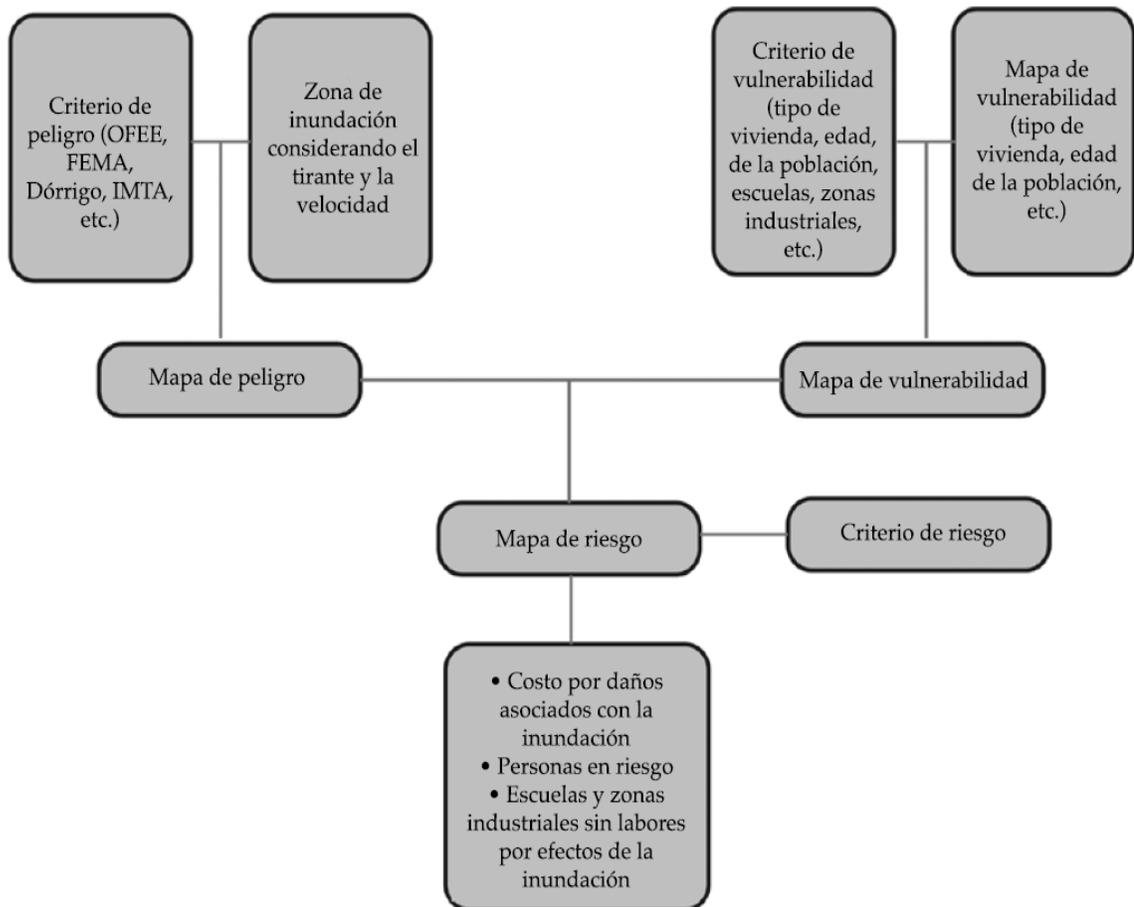


IMAGEN 11 METODOLOGÍA PARA DEFINIR LOS MAPAS DE RIESGO

Por lo tanto, la elaboración de mapas de riesgo por inundación se puede dividir claramente en tres simples pasos que son:

1. Elaboración de mapas de peligrosidad:

Al poseer el levantamiento topográfico completo y con la simulación mediante un software especializado, se puede pasar a este paso que no es más que la obtención del tirante y la velocidad de la escorrentía con distintas posibles intensidades de lluvia y periodos de retorno, y con los parámetros mostrados en la **tabla 1**, se asigna un nivel de peligrosidad a cada sección del área de estudio de acuerdo a los datos obtenidos.

2. Elaboración de mapa de vulnerabilidad.

Para la elaboración de este mapa de vulnerabilidad se utilizarán datos catastrales y con censos antiguos y actualizados, que permitirán determinar la cantidad y tipo de vivienda por cada sección y, así asignar un estimado de vulnerabilidad que posea dicha zona. Así poder establecer el nivel de vulnerabilidad que tendrá cada una de las secciones ya sea por daños a la capa de rodadura, viviendas o residencias, pérdidas materiales o económicas e incluso pérdidas humanas.

3. Elaboración de mapa de riesgo.

Al poseer de los datos para la peligrosidad y vulnerabilidad de cada una de las secciones de estudio, y haberlo representado de forma gráfica, se utiliza una simple ecuación que nos permitirá con la peligrosidad y la vulnerabilidad conocer el riesgo que existirá en dicha sección. Es por ello que es de suma importancia la utilización de esta metodología que permitirá convertir un procedimiento complejo en tres sencillos pasos.

CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La investigación consiste en realizar un mapa de riesgo por inundación basado en la vulnerabilidad y el riesgo. Esta investigación se realiza mediante una serie de pasos que van desde los más abstracto a lo más específico, permitiendo de esta manera un buen análisis e identificando las causas y las consecuencias que conllevan a un riesgo alto, dicho orden se puede muestra en el siguiente esquema.

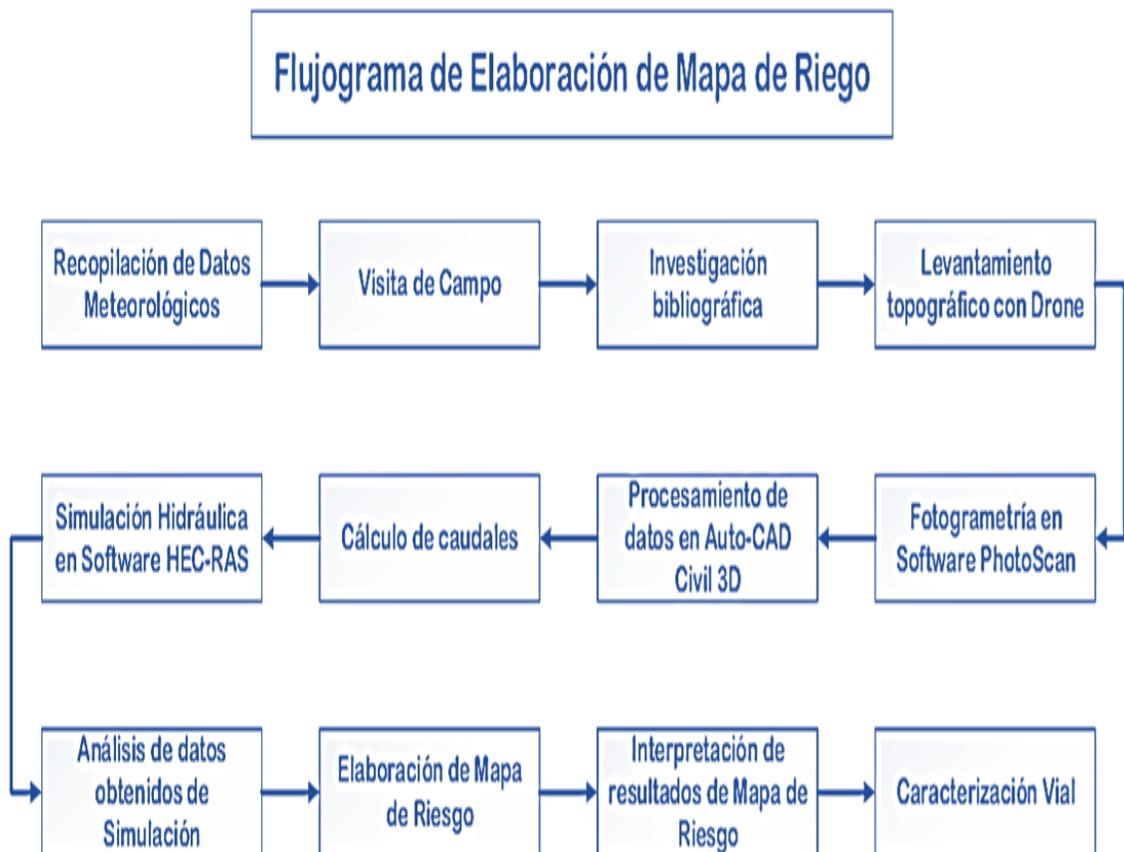


IMAGEN 12 PROCESO PARA OBTENER EL MAPA DE RIESGO

4.1 ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE LOS DATOS

4.1.1 Levantamiento topográfico

4.1.1.1 Uso del dron

El uso del dron en la topografía, hoy en día es de suma importancia y en un futuro muy cercano, suplantará a la estación total. Cada generación de drones es más avanzada y precisa, esto ayuda a ocupar menos los aparatos, como la estación total, el teodolito. Cada fotografía que obtuvimos contaba con las coordenadas X, Y, Z. Justo lo que se necesita para poder trabajarlo en los programas fotogramétricos.

El dron trabaja con tecnología LIDAR (Light Detection and Ranging), es decir, detección por luz y distancia. Se trata de un sistema láser que permite medir la distancia entre el punto de emisión de ese láser hasta un objeto o superficie. El tiempo que tarda ese láser en llegar a su objetivo y volver del mismo, es lo que nos dice la distancia entre los dos puntos. El resultado es que se puede obtener un mapa en 3D de alta resolución para conocer el terreno en cuestión.

El escáner láser de LIDAR funciona de forma aerotransportada y trabaja con dos movimientos: el de la trayectoria del dron (longitudinal) y el del espejo que refleja la luz que llega desde el láser (transversal). Con ellos, es capaz de obtener un completo mapa de puntos del terreno que permite conocer su geografía de manera detallada. Para realizar sus mediciones, emplea un sistema GPS, una Unidad de Medición Inercial y el sensor láser.

4.1.1.2 Uso del software PhotoScan

Agisoft PhotoScan nos permite crear modelos fotogramétricos de estructuras, sitios completos e incluso de grandes áreas de terreno. La técnica que se muestra en este documento es conocida como Fotogrametría Terrestre y se aplica a estructuras y a extensiones grandes de terreno, para obtener datos topográficos, que podrán ser importados de una imagen o fotografía capturada por un dron, y los datos obtenidos son exportados al software Civil 3D.

Agisoft PhotoScan es un software de escritorio para procesar imágenes digitales y, mediante la combinación de técnicas de fotogrametría digital y visión por computador, generar una reconstrucción 3D del entorno.

Existen dos versiones diferentes: La versión estándar está pensada para usuarios casuales que desean generar nubes de puntos a partir de múltiples imágenes. La versión profesional incluye funcionalidades específicas para la generación de productos geomáticos. Esta edición le permite obtener ortofotos georreferenciadas de alta resolución y modelos digitales de terrenos de con densidad y detalle excepcionales. Si se desea es posible generar la textura fotográfica. Es una potente herramienta topográfica y cartográfica. Todo ello utilizando sistemas de referencia cartográficos estándar.

❖ *Exportar fotos, Calibrar cámaras, Orientar fotos*

La exportación de fotos se llevó con éxito. Cada fotografía contiene coordenadas X, Y, Z, y en ella va una nube de puntos, que debemos obtener mediante este programa. La calibración de cámaras mejoró los errores de precisión, las fotografías quedaron enlazadas de una mejor manera.

La orientación de fotos, se basa en unir cada fotografía en una sola, entrelazando los puntos en común que contienen (se le conoce como solape). Se aprecia un corte de aproximadamente 3 metros de distancia, por lo cual se puede observar un corte aparentando ser dos ortofotos, lo que ocurrió fue un error a la hora de colocar la segundo cuadrícula de vuelo (GRID), dato que fue corregido a la hora de hacer la tercer cuadrícula.

Para un levantamiento topográfico su efecto negativo es nulo, en comparación con la estación total ya que, con la estación total, se van guardando puntos a más de 10 m de distancia.

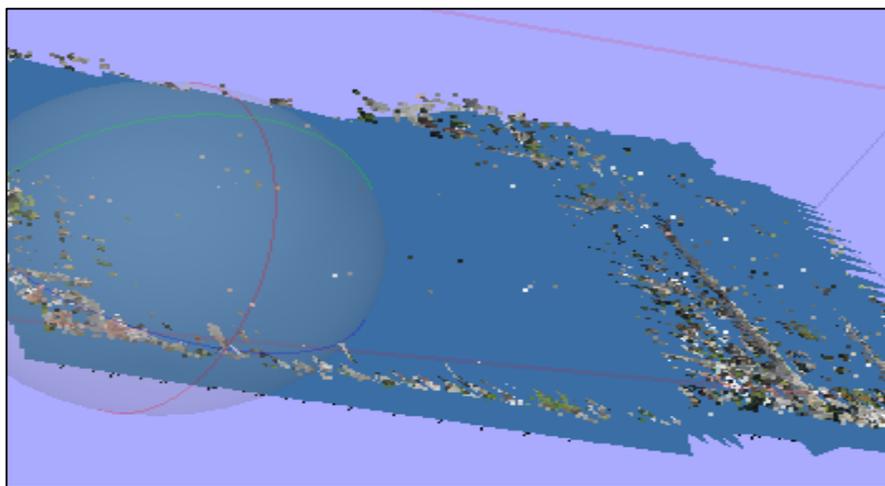


IMAGEN 13 FOTOGRAFÍAS ORIENTADAS

❖ *Limpiar nube dispersa*

Limpiar la nube de puntos dispersa ayuda en gran manera a reducir el tiempo de espera al crear la nube de puntos densa y la malla. Evitando de esta manera que el programa haga procesos innecesarios.

❖ *Crear nube densa de puntos*

Al crear la nube densa de puntos, ya podrían ser exportados los puntos, solo que, con errores mayor de 2 metros, por lo tanto, serian datos erróneos y los demás datos obtenidos llevarían el error y no serían creíbles.

❖ *Creación de malla*

Crear la malla o el modelo 3D, no lo necesitamos en este caso, debido que no es una investigación de edificios si no de una carretera. Por lo tanto, solo la necesitamos para poder georreferenciar el levantamiento topográfico.

❖ *Georreferenciar*

Para georreferenciar el levantamiento topográfico, se necesita marcar puntos claves por donde pasara el dron, en nuestro caso nos basamos en los pasos peatonales y en los pozos de aguas negras, para tener buena referencia, estos fueron obtenidos por un GPS. De esta manera se corrige el error topográfico que anteriormente se menciona, teniendo un error no mayor a 3 cm, haciendo de esta manera un levantamiento topográfico aceptable. Estos puntos pueden obtenerse con estación total y de igual manera es aceptable.

❖ *Optimizar*

La optimización, en este caso sirve para dejar el levantamiento topográfico amarrado a los puntos de control y que de esta manera el error de altura queda solucionado a un error menos a 3 cm. Se deseleccionan las imágenes, y seleccionando los puntos de control o marcadores. Corrigiendo todos los errores que el dron deja.

❖ *Clasificar puntos*

En este paso se clasifican solamente los puntos del terreno natural, ya que son los que necesitamos para la simulación. Dejando por un lado los puntos que indican de personas, árboles, viviendas, automóviles, cables de electricidad, o cualquier otro objeto. Se tornan de un color café, para que verifiquemos si son los que estamos indicando que seleccione, si no es así, se debe seleccionar por color y nosotros le indicaríamos que color son los puntos que deseamos, para que los reconozca y los filtre.

❖ *Exportar puntos*

Estos puntos se exportan en formato “.las” para que sean utilizados en civil 3D o en cualquier otro programa que admita este tipo de formatos. Esto puntos son exportados como una nube, la cual debe ser procesada en civil para formar la superficie del terreno.

❖ *Exportar ortofoto*

La ortofoto, nos sirve para poder hacer el alineamiento de una manera eficiente y con menos errores, es exportada en formato “.tif” para ser procesada en civil 3D, es exportada con coordenadas del país para que a la hora de exportar la nube de puntos y la ortofoto coincidan en civil 3D, de esta manera los puntos queden sobre la ortofoto.

4.1.1.3 Uso de civil 3D

❖ *Importar ortofoto*

La ortofoto es de importancia, para poder hacer el alineamiento sobre la calle y saber los diferentes anchos de la calle, si es que los hay. Ayuda mucho para saber los diferentes usos que se le dan al terreno en esta área.



IMAGEN 14 ORTOFOTO OBTENIDA DE FOTOGRAMETRÍA

❖ *Importar nube de puntos del terreno natural*

La nube de puntos coincide con la ortofoto en su totalidad, por lo tanto, los datos proporcionados por el levantamiento topográfico son verdaderos y fiables. Los puntos proporcionados por el levantamiento topográfico por medio de un dron son muchísimo, obtenidos de una forma más fácil, que con la estación total.



IMAGEN 15 NUBE DE PUNTOS DEL TERRENO NATURAL

❖ *Crear superficie del terreno*

La superficie del terreno es fundamental en este proyecto, ya que las pendientes y direcciones del agua son de mucha importancia al momento de la simulación, y para delimitar la cuenca urbana.

❖ *División de lotes, calles y aceras*

Esta división fue gracias al plano proporcionado por el departamento de ingeniería del centro de gobierno municipal. Esto ayuda en el cálculo del área de calles, aceras, jardines y techos. Ver el **plano 33/33** (plano general).

4.1.2 Simulación hidráulica

4.1.2.1 Uso de civil 3D

❖ *Creación de alineamiento horizontal de la 8.^a calle poniente*

La creación del alineamiento horizontal de la 8.^a calle poniente, es el primer paso de una serie de elementos que se necesitan para la creación de secciones transversales; el alineamiento horizontal ayudará para la simulación hidráulica, ya que determinará la dirección del flujo de agua. Como se puede observar alineamiento horizontal en la **imagen 82** (tramo 0+000 a 0+240). El alineamiento horizontal, es la línea color verde.



IMAGEN 16 ALINEAMIENTO HORIZONTAL 8.^a CALLE PONIENTE

❖ *Creación de perfil de la 8.^a calle poniente*

El alineamiento vertical o también conocido como perfil, no es más que la vista del terreno natural con las respectivas pendientes longitudinales del alineamiento horizontal, en dicho perfil se aprecian las elevaciones de cada uno de los puntos del alineamiento, es de suma importancia ya que permite conocer antes de la simulación hidráulica, las zonas y los puntos que están propensos a inundación. (ver plano general **plano 33/33**)

❖ *Crear secciones*

➤ *Crear ensamble*

El ensamble es el diseño transversal de la 8.^a calle poniente, con la creación del ensamble se le asignaron los valores de ancho de carril, espesor de la capa de rodadura, así como también, el diseño de la cuneta, todo esto de acuerdo a los valores

reales de la vía. Es un elemento fundamental porque de acuerdo al diseño que se asignó así generar las secciones transversales del alineamiento.

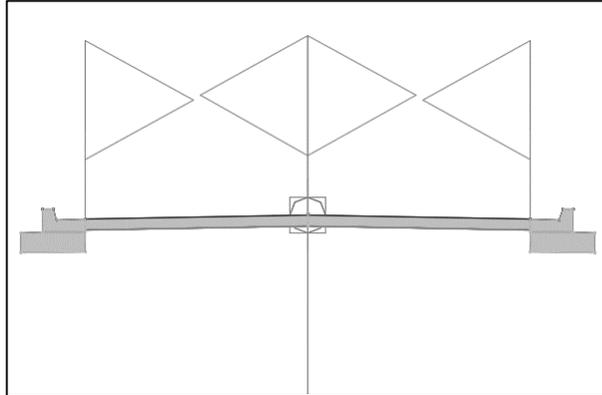


IMAGEN 17 ENSAMBLE DE 8.^a CALLE PONIENTE

➤ Crear corredor

El corredor es la vista del ensamblaje, pero ya no transversalmente, sino que, en planta, como se puede observar en la **imagen 22** (tramo 0+000 a 0+120), la transformación que tiene la superficie del alineamiento horizontal, con las propiedades de ancho de carril y cuneta asignadas se muestra la calle definida con los anchos de los carriles. Este elemento, como se mencionó anteriormente, es uno de los pasos para poder crear las secciones de la calle de interés.



IMAGEN 18 CORREDOR DE 8.^a CALLE PONIENTE

➤ Crear líneas de muestreo

Las líneas de muestreo es el último paso para la creación de las secciones, en este paso se asignan los valores de cómo se desean las secciones, en este caso para la 8.^a calle poniente se realizaron las líneas de muestreo a cada veinte metros, con un ancho de seis metros.

➤ Crear secciones

Al haber realizado todos los pasos anteriores se obtienen las secciones que serán cada 20 m como se determinó en las líneas de muestreo, la creación de las secciones permite importar el alineamiento al software en el cual se realiza la simulación

hidráulica, el ancho de las líneas de muestreo es de 9 m ya que a los extremos del ensamble se colocaran los coeficientes de Manning respectivos, así mismo para la capa de rodadura y la cuneta.

❖ *Exporta alineamiento a HEC-RAS*

En la exportación del alineamiento es necesario cerciorarse que todos los datos se hayan configurado usando los datos de la topografía existente porque cada parte es muy importante para el programa de HEC-RAS. El programa reconoce todos los parámetros como un conjunto, es decir que gracias a la superficie el programa puede simularla y que a través de las “sample line” puede dibujar el perfil por secciones, el alineamiento se toma como el tramo principal que recorre el proyecto hidráulico y los bancos del rio serian líneas que actúan como los límites que existen entre el contacto del agua con algún objeto, por ejemplo, la vegetación, muro, etc. El producto es un archivo de formato geo que puede ser importado en la geometría de HEC-RAS.

❖ *Creación de parteaguas*

El parteaguas es un elemento fundamental para el análisis de riesgo a inundación ya que, este determina hacia dónde va a escurrir el agua generada por la lluvia. En el **plano 33/33**, se puede observar la superficie tomada a través del levantamiento por medio de dron, con sus respectivos, lotes, calles y pasajes. En la **imagen 24**, se puede observar que se habilitaron las herramientas que posee AutoCAD Civil 3D como lo son; curvas de nivel, triángulos y flechas. Este último permite observar la dirección

del flujo de agua y junto con la herramienta de triángulos permite definir el parteaguas. En el plano general **plano 33/33**, se puede apreciar el parteaguas definido. Este servirá para determinar el área que afectará la zona de estudio para así proceder a ingresar los caudales respectivos de acuerdo al uso del suelo a la simulación. Además, la creación del parteaguas permitirá caracterizar la micro cuenca de estudio, es decir, conocer el área, perímetro, altura máxima, altura mínima, altura media, entre otros.

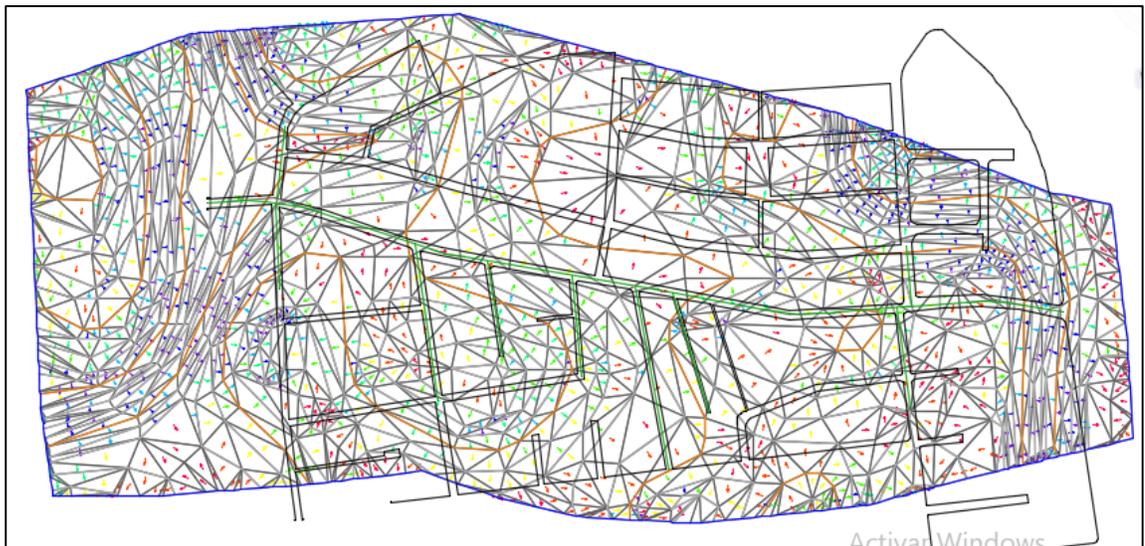


IMAGEN 19 CURVAS DE NIVEL, TRIÁNGULOS Y FLECHAS

❖ *Caracterización de la cuenca*

La caracterización de la cuenca hidrográfica en la investigación “Elaboración de Mapa de Riesgo de Inundación y Caracterización de la Infraestructura Vial con punto de interés en la Octava calle poniente en el Municipio de San Miguel, departamento de San Miguel”, permitió poder identificar las características físicas de la cuenca bajo estudio, y mediante estas características poder describir su comportamiento, y

estimar todas las implicaciones que esta tiene, las problemáticas que se presenta en una tormenta.

En la caracterización de la cuenca se describen parámetros como el área, perímetro, longitud, pendiente, el sistema de drenaje, punto de descarga, dirección del cauce, de la cuenca; con todos estos datos delimitados se procedió a la interpretación y análisis de estos parámetros con los que se elaboraron los mapas de riesgos.

4.1.2.2 Uso de HEC-RAS

❖ *Crear proyecto*

Cuando se crea el proyecto se empieza por ordenar las unidades del mismo para que este las trabaje con el sistema métrico a el sistema por defecto de Estados Unidos.

Es importante tener una carpeta por defecto para el proyecto debido a que el programa va creando archivos mientras se van guardando los parámetros hidráulicos de la zona de estudio, por lo que, es importante tener una carpeta predeterminado para evitar la pérdida de datos y agregar cierta facilidad al programa para cuando se reanude un proyecto, cargue por defecto los archivos que antes se guardaron.

❖ *Crear geometría de la 8.^a calle poniente*

Cuando se terminó de importar la geometría del alineamiento, el programa demuestra la vista en planta, la flecha que aparece de color azul es el sentido de la dirección desde aguas abajo hasta aguas arriba, es muy importante destacar que el alineamiento siempre debe comenzar de aguas abajo por la configuración del programa, esto

evitara complicaciones al mismo cuando empiece a interaccionar las ecuaciones que trae por defecto para simulación hidráulica.

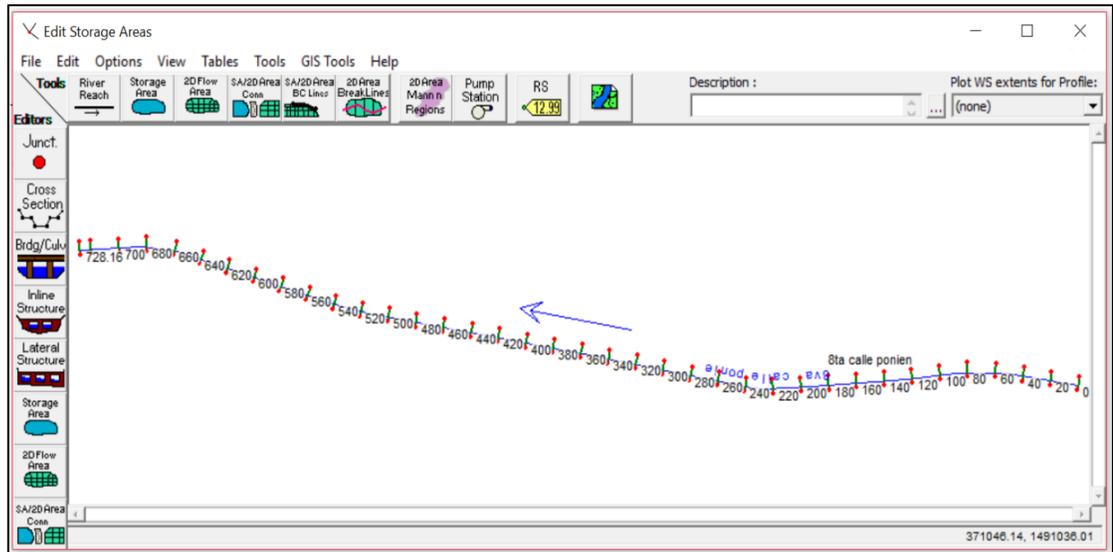


IMAGEN 20 VISTA EN PLANTA DEL ALINEAMIENTO DE LA 8.^a CALLE PONIENTE

➤ Crear sección

La creación de los canales dentro del programa fue una parte fundamental porque determino los límites del área de estudio, esto evito que el programa realizara estimaciones imaginarias, por ejemplo, si no se determina las alturas laterales, el programa toma toda la superficie como planicie y por lo tanto en la simulación toda esa área se inunda, aunque en la realidad se inunda nada más la parte más profunda. El resultado de crear las secciones es evitar que el canal de estudio sea totalmente uniforme y que los cálculos del programa sean de acuerdo más a la realidad utilizando la topografía original.

Es importante también, recalcar la parte de los bancos geográficos por cada sección, esos puntos sirven para el programa en el cambio del coeficiente de Manning, en otro

concepto se refieren al límite que existe del cuerpo de agua con algún objeto, por ejemplo, “la orilla de un río”.

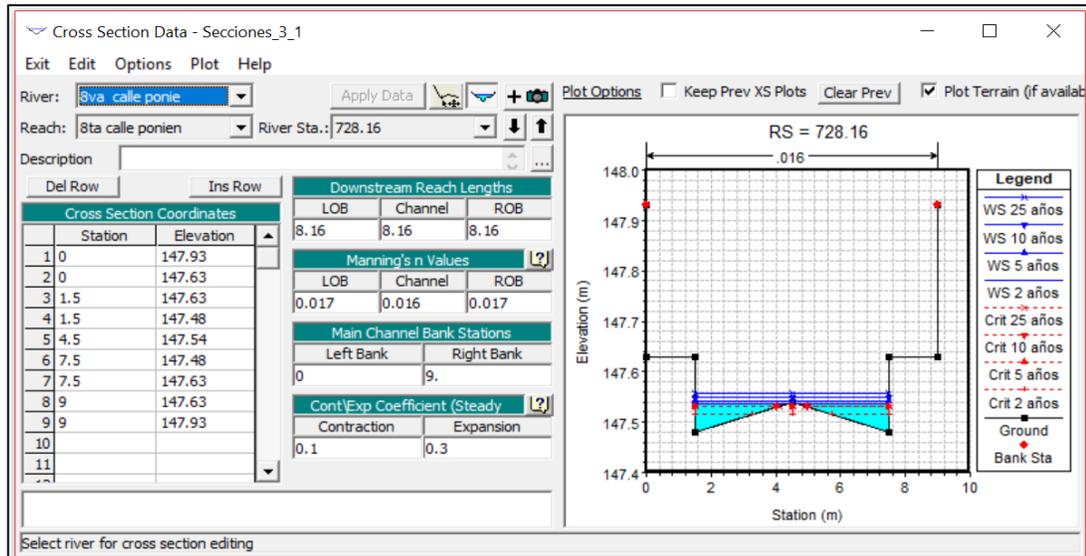


IMAGEN 21 CREACIÓN DE LA SECCIÓN

➤ Ingresar coeficiente de Manning

La digitación del coeficiente de Manning varía de acuerdo al material existente, por ejemplo, el canal puede ser de asfalto, concreto, de sedimentos depositados al fondo, entre otros, y el de los laterales puede variar en diferentes tipos de vegetación o podría repetirse el mismo material del canal. Es importante haber definido desde un inicio los tipos de coeficientes que se usarían en el programa, la diferencia de sus usos está en los diferentes tipos de niveles de energía que podrían resultar por parte del coeficiente dando distintas simulaciones hidráulicas, aunque, se utilizaran los mismos parámetros hidráulicos y topográficos.

❖ *Creación del flujo*

Para llevar a cabo la simulación es muy necesario disponer de los datos hidráulicos de la zona porque el programa los necesita para trabajar las fórmulas que posee su software.

Los datos los utiliza como una referencia para que pueda establecer un comportamiento hidráulico de la zona de estudio, también es importante haber definido si el flujo es permanente o no permanente, la diferencia entre los tipos de estudio está en que para el flujo permanente se considera que los parámetros de velocidad, tirante, área, entre otros son constantes y no cambian respecto al tiempo, a diferencia del flujo no permanente que no son constantes, se trabajan como tal cuando el factor del tiempo es importante para el estudio. Mayormente se opta por los estudios de flujo permanente para canales abiertos debido a que las variaciones con respecto al tiempo podrían variar muy poco.

Para el programa también es necesario, primeramente, haber definido los años de proyección, de los cuales se deben disponer datos climatológicos de la zona para estimar con el método racional los caudales en tales años y colocarlos para cada sección, segundo, definir parámetros conocidos como el nivel del agua, profundidad crítica, profundidad normal o la curva de gasto. Posiblemente podría darse el caso de desconocer la mayoría de los datos del segundo paso, pero a través del alineamiento se obtuvo el dato de la profundidad normal por medio de una fórmula de la cual se obtiene la pendiente uniforme de la geometría.

❖ *Modelación hidráulica*

Por última parte el programa al tener todos los parámetros listos para ser procesados se determinan el tipo de régimen del flujo que posee el canal de estudio, sin embargo, se desconoce en muchos casos sobre si son sub críticos o súper críticos, entonces se opta mejor por un régimen mixto, esto manda al programa que no importa qué tipo de régimen posea dicho canal, siempre calcularía, aunque entraran sus cálculos en distintas partes con distintos tipos de régimen del flujo. Cuando el programa termina de correr los datos del diseño se pueden observar en distintas vistas y leyendas la simulación creada.

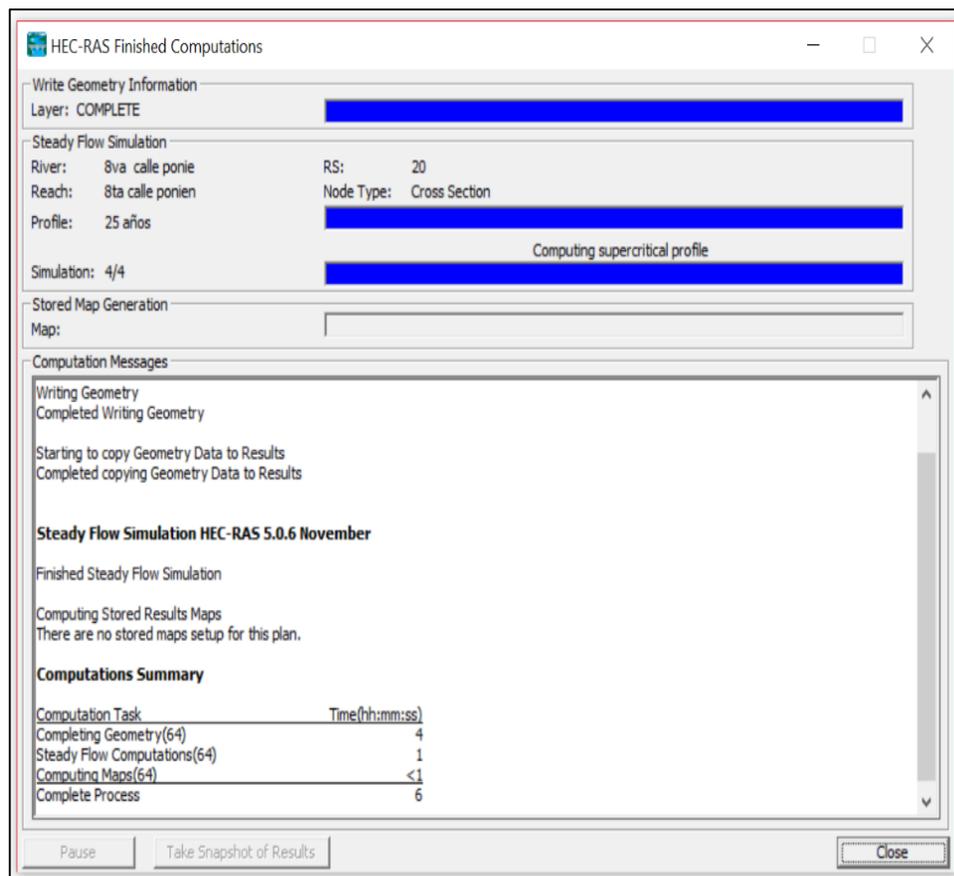


IMAGEN 22 FINAL DE MODELACIÓN HIDRÁULICA

❖ *Perfil longitudinal, secciones transversal y vista 3D*

Luego de terminar la simulación, el programa permite observar a través de diferentes puntos de vistas la simulación hidráulica en tiempo real según los perfiles de diseño, se pudo observar el nivel de inundación para los diferentes períodos de retorno

Los diferentes puntos de vistas enriquecieron al estudio de manera que se pudo visualizar la problemática que se estaba enfrentando, que con simples cálculos matemáticos no podría ser apreciados.

4.1.2.3 Creación de tablas

❖ *. Tabla detallada de los datos.*

Terminada la simulación en el programa se pudo apreciar todos los cálculos hechos por el mismo programa para cada sección, cada perfil de diseño y todos los datos que se pueden necesitar en una investigación, datos importantes como la velocidad del flujo, tirante crítico, profundidad normal, áreas, etc. Gracias a la tabla de detalles por sección el usuario también puede darse cuenta de algunas recomendaciones denotadas por “Warning”, mayormente aparecen cuando de manera de recomendación ocupan más secciones debido a que en algunas estaciones existen cambios un poco abruptos en sus resultados. Cada información puede ser pasada a tablas Excel para su debido análisis posterior. En los **ANEXOS 1** se muestran todas las tablas que proporciona el programa HEC-RAS; y en el **ANEXO 7**, se muestran las alturas de cada sección transversal.

Plan: 030619 8va calle ponie 8ta calle ponien RS: 728.16 Profile: 2 años					
E.G. Elev (m)	147.54	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.00	Wt. n-Val.		0.016	
W.S. Elev (m)	147.54	Reach Len. (m)	8.16	8.16	8.16
Crit W.S. (m)	147.52	Flow Area (m2)		0.16	
E.G. Slope (m/m)	0.000900	Area (m2)		0.16	
Q Total (m3/s)	0.03	Flow (m3/s)		0.03	
Top Width (m)	5.62	Top Width (m)		5.62	
Vel Total (m/s)	0.17	Avg. Vel. (m/s)		0.17	
Max Chl Dpth (m)	0.06	Hydr. Depth (m)		0.03	
Conv. Total (m3/s)	0.9	Conv. (m3/s)		0.9	
Length Wtd. (m)	8.16	Wetted Per. (m)		5.73	
Min Ch El (m)	147.48	Shear (N/m2)		0.24	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		0.04	
Frctn Loss (m)	0.02	Cum Volume (1000 m3)		1.07	
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)		3.35	

Errors, Warnings and Notes

Warning: Divided flow computed for this cross-section.

Warning: The conveyance ratio (upstream conveyance divided by downstream conveyance) is less than 0.7 or greater than 1.4. This may indicate the need for additional cross sections.

Enter to move to next downstream river station location

IMAGEN 23 TABLA DETALLADA DE LOS DATOS OBTENIDOS DE SIMULACIÓN

❖ **Tabla resumen de los datos.**

La tabla resumen de los datos muestra los resultados de las ecuaciones por cada perfil de diseño o por todos los perfiles de una sola vez, a diferencia de la detallada, esta tabla no demuestra las advertencias y en vez de ir por cada sección, demuestra la información de todas las secciones además de mostrar la información que más frecuentemente se necesitan en los estudios hidráulicos. Cada información puede ser pasada a tablas Excel para su debido análisis posterior. De acuerdo al tiempo de retorno las secciones obtenidas de HEC-RAS se observan: para 2 años ver los planos 4/33, 5/33, 6/33, 7/33 y 8/33; para 5 años ver los planos 12/33, 13/33, 14/33, 15/33 y 16/33; para 10 años ver los planos 20/33, 21/33, 22/33, 23/33 y 24/33; para 25 años ver los planos 28/33, 29/33, 30/33, 31/33 y 32/33

4.1.3 Caracterización de la Infraestructura Vial

Para la elaboración de la caracterización vial en la Octava calle poniente se realizó una visita de campo al lugar de interés para poder identificar todos los aspectos que son necesarios para dicha caracterización (**ver ANEXO 8**). Los aspectos que se tomaron en consideración son los siguientes:

- La calle es de pavimento flexible
- La pendiente que se utilizó en todo el tramo fue la pendiente media 2.44%
- La calle bajo estudio es una vía de doble sentido
- El número de carriles es 2
- El ancho promedio de carril es de 3 m
- El ancho de acera en los costados se tomó con ancho promedio de 1.5 m

La señalización sobre la octava poniente se limita a marcas longitudinales (líneas centrales), en todo el tramo bajo estudio (desde su intersección con la avenida Roosevelt hasta quebrada Las Lomitas), salvo en la estación 0+000 que cuenta que señales verticales de alto y semáforo, además de señales de precaución en el área de inundación, que indican el peralte del agua cuando llueve.

El drenaje en el tramo bajo análisis de la octava calle poniente es prácticamente superficial (cunetas y calle). En la estación 0+000 es en el único punto donde existe drenaje para aguas lluvia ya que en este tramo hay un tragante en el costado sur de la calzada y en el costado norte una tubería de 24”.

4.1.4 Mapa de riesgo por inundación

4.1.4.1 Mapa de peligro por inundación

El peligro se refiere a la medida en la cual una persona puede ser dañado a causa de una inundación, por lo que se analizó el peligro de acuerdo a la velocidad y a la altura del tirante. Considerando el tirante del agua, el volcamiento y el desplazamiento, en cualquiera de estas circunstancias que un individuo se encuentre, puede ocasionarle graves daño y en el caso más desfavorable pueden causarle la muerte. Para dicho análisis se tomaron criterios reflejados en la **tabla 6**, a los cuales se le asigno rangos de peligro, comprendidos entre: peligro nulo, bajo, medio y alto. Este análisis se realizó para cada periodo de retorno establecido en la investigación como se muestra en el ejemplo del ANEXO 3 literal A. El análisis de resultados se presentará a continuación por tramos de acuerdo al peligro.

Periodo de retorno: 2 años (Ver datos en ANEXO 4- A y ANEXO 1; y la representación gráfica en plano 1/33)

- Tramo 1: 0+000 a 0+020.

En el volcamiento es nulo, el desplazamiento de igual manera no ocasiona peligro, y el tirante de agua no es significativo. Por lo tanto, el peligro en este tramo es **NULO**.

- Tramo 2: 0+020 a 0+040

En este tramo, tanto el volcamiento como el desplazamiento no generan peligro, pero el tirante es mayor a 1.5 metros, generando de esta manera un peligro alto. Por lo tanto, el peligro en este tramo es **ALTO**.

- Tramo 3: 0+040 a 0+080

En este tramo el tirante del agua se encuentra entre 0.5 m y 1.5 m, generando un peligro medio, sin embargo, el volcamiento y el deslizamiento son nulos. Por lo tanto, el peligro en este tramo es **MEDIO**.

- Tramo 4: 0+080 a 0+140

Este tramo, el volcamiento y el deslizamiento son sumamente bajos, y el tirante de agua es bajo. Por lo tanto, se considera que el peligro es **NULO**.

- Tramo 5: 0+140 a 0+180

Este tramo, el volcamiento y el deslizamiento son bajos, y el tirante de agua se encuentra en un rango de 30 a 50 cm. Por lo tanto, se considera que el peligro es **BAJO**.

- Tramo 6: 0+180 a 0+200

En este tramo el tirante del agua se encuentra entre 0.5 m y 1.5 m, generando un peligro medio, sin embargo, el volcamiento y el deslizamiento son nulos. Por lo tanto, el peligro en este tramo es **MEDIO**.

- Tramo 7: 0+200 a 0+220

Este tramo, el volcamiento y el deslizamiento son bajos, y el tirante de agua se encuentra en un rango de 30 a 50 cm. Por lo tanto, se considera que el peligro es **BAJO**.

- Tramo 8: 0+220 a 0+640

Este tramo, el volcamiento y el deslizamiento son sumamente bajos, y el tirante de agua es bajo. Por lo tanto, se considera que el peligro es **NULO**.

- Tramo 9: 0+640 a 0+660

El volcamiento y el tirante del agua son bajos en este tramo, pero el deslizamiento es alto debido a que la velocidad a la que circula el agua es alta. Por lo tanto, el peligro es **ALTO**.

- Tramo 10: 0+660 a 0+728

Este tramo, el volcamiento y el deslizamiento son sumamente bajos, y el tirante de agua es bajo. Por lo tanto, se considera que el peligro es **NULO**.

Periodo de retorno: 5 años (Ver datos en ANEXO 4- B y ANEXO 1; y la representación gráfica en plano 9/33)

- Tramo 1: 0+000 a 0+020.

En el volcamiento es nulo, el desplazamiento de igual manera no ocasiona peligro, y el tirante de agua no es significativo. Por lo tanto, el peligro en este tramo es **NULO**.

- Tramo 2: 0+020 a 0+040

En este tramo, tanto el volcamiento como el desplazamiento no generan peligro, pero el tirante es mayor a 1.5 metros, generando de esta manera un peligro alto. Por lo tanto, el peligro en este tramo es **ALTO**.

- Tramo 3: 0+040 a 0+080

En este tramo el tirante del agua se encuentra entre 0.5 m y 1.5 m, generando un peligro medio, sin embargo, el volcamiento y el deslizamiento son nulos. Por lo tanto, el peligro en este tramo es **MEDIO**.

- Tramo 4: 0+080 a 0+140

Este tramo, el volcamiento y el deslizamiento son sumamente bajos, y el tirante de agua es bajo. Por lo tanto, se considera que el peligro es **NULO**.

- Tramo 5: 0+140 a 0+160

Este tramo, el volcamiento y el deslizamiento son bajos, y el tirante de agua se encuentra en un rango de 30 a 50 cm. Por lo tanto, se considera que el peligro es **BAJO**.

- Tramo 6: 0+160 a 0+220

En este tramo el tirante del agua se encuentra entre 0.5 m y 1.5 m, generando un peligro medio, sin embargo, el volcamiento y el deslizamiento son nulos. Por lo tanto, el peligro en este tramo es **MEDIO**.

- Tramo 7: 0+220 a 0+700

Este tramo, el volcamiento y el deslizamiento son sumamente bajos, y el tirante de agua es bajo. Por lo tanto, se considera que el peligro es **NULO**.

- Tramo 8: 0+700 a 0+720

El volcamiento y el tirante del agua son bajos en este tramo, pero el deslizamiento está en el rango medio, debido a que la velocidad del agua es alta. Por lo tanto, el peligro es **MEDIO**.

- Tramo 9: 0+720 a 0+728

Este tramo, el volcamiento y el deslizamiento son sumamente bajos, y el tirante de agua es bajo. Por lo tanto, se considera que el peligro es **NULO**.

Periodo de retorno: 10 años (Ver datos en ANEXO 4- C y ANEXO 1; y la representación gráfica en plano 17/33)

- Tramo 1: 0+000 a 0+020.

En el volcamiento es nulo, el desplazamiento de igual manera no ocasiona peligro, y el tirante de agua no es significativo. Por lo tanto, el peligro en este tramo es **NULO**.

- Tramo 2: 0+020 a 0+040

En este tramo, tanto el volcamiento como el desplazamiento no generan peligro, pero el tirante es mayor a 1.5 metros, generando de esta manera un peligro alto. Por lo tanto, el peligro en este tramo es **ALTO**.

- Tramo 3: 0+040 a 0+080

En este tramo el tirante del agua se encuentra entre 0.5 m y 1.5 m, generando un peligro medio, sin embargo, el volcamiento y el deslizamiento son nulos. Por lo tanto, el peligro en este tramo es **MEDIO**.

- Tramo 4: 0+080 a 0+140

Este tramo, el volcamiento y el deslizamiento son sumamente bajos, y el tirante de agua es bajo. Por lo tanto, se considera que el peligro es **NULO**.

- Tramo 5: 0+140 a 0+160

Este tramo, el volcamiento y el deslizamiento son bajos, y el tirante de agua se encuentra en un rango de 30 a 50 cm. Por lo tanto, se considera que el peligro es **BAJO**.

- Tramo 6: 0+160 a 0+220

En este tramo el tirante del agua se encuentra entre 0.5 m y 1.5 m, generando un peligro medio, sin embargo, el volcamiento y el deslizamiento son nulos. Por lo tanto, el peligro en este tramo es **MEDIO**.

- Tramo 7: 0+220 a 0+728

Este tramo, el volcamiento y el deslizamiento son sumamente bajos, y el tirante de agua es bajo. Por lo tanto, se considera que el peligro es **NULO**.

Periodo de retorno: 25 años (Ver datos en ANEXO 4- D y ANEXO 1; y la representación gráfica en plano 25/33)

- Tramo 1: 0+000 a 0+020.

En el volcamiento es nulo, el desplazamiento de igual manera no ocasiona peligro, y el tirante de agua no es significativo. Por lo tanto, el peligro en este tramo es **NULO**.

- Tramo 2: 0+020 a 0+040

En este tramo, tanto el volcamiento como el desplazamiento no generan peligro, pero el tirante es mayor a 1.5 metros, generando de esta manera un peligro alto. Por lo tanto, el peligro en este tramo es **ALTO**.

- Tramo 3: 0+040 a 0+080

En este tramo el tirante del agua se encuentra entre 0.5 m y 1.5 m, generando un peligro medio, sin embargo, el volcamiento y el deslizamiento son nulos. Por lo tanto, el peligro en este tramo es **MEDIO**

- Tramo 4: 0+080 a 0+140

Este tramo, el volcamiento y el deslizamiento son sumamente bajos, y el tirante de agua es bajo. Por lo tanto, se considera que el peligro es **NULO**.

- Tramo 5: 0+140 a 0+160

Este tramo, el volcamiento y el deslizamiento son bajos, y el tirante de agua se encuentra en un rango de 30 a 50 cm. Por lo tanto, se considera que el peligro es **BAJO**.

- Tramo 6: 0+160 a 0+220

En este tramo el tirante del agua se encuentra entre 0.5 m y 1.5 m, generando un peligro medio, sin embargo, el volcamiento y el deslizamiento son nulos. Por lo tanto, el peligro en este tramo es **MEDIO**.

- Tramo 7: 0+220 a 0+700

Este tramo, el volcamiento y el deslizamiento son sumamente bajos, y el tirante de agua es bajo. Por lo tanto, se considera que el peligro es **NULO**.

- Tramo 8: 0+700 a 0+720

El volcamiento y el tirante del agua son bajos en este tramo, pero el deslizamiento está en el rango medio, debido a que la velocidad del agua es alta. Por lo tanto, el peligro es **MEDIO**.

- Tramo 9: 0+720 a 0+728

Este tramo, el volcamiento y el deslizamiento son sumamente bajos, y el tirante de agua es bajo. Por lo tanto, se considera que el peligro es **NULO**.

4.1.4.2 Mapa de vulnerabilidad por inundación

La vulnerabilidad se refiere a la medida en la cual un elemento puede ser dañado a causa de una inundación, por lo que se analizó la vulnerabilidad por tipo de vivienda y la vulnerabilidad vehicular. Para dicho análisis se tomaron ciertos criterios a los cuales se le asignó rangos de vulnerabilidad comprendidos entre; vulnerabilidad nula, baja, media y alta. Se asignó la vulnerabilidad mayor entre las dos analizadas para cada sección. Dicho análisis se realizó para cada periodo de retorno establecido en la investigación como se muestra en el ejemplo del **ANEXO 3 literal B**. El análisis de resultados se presentará a continuación por tramos de acuerdo a la vulnerabilidad.

Periodo de retorno: 2 años (Ver datos en ANEXO 5- A y representación gráfica en plano 2/33)

- Tramo 1: 0+000 a 0+020.

La vulnerabilidad por tipo de vivienda se realizó de forma visual por medio de visitas de campo y se tomó la vivienda que más se repetía, en este tramo fue la vivienda tipo III, con un nivel de vulnerabilidad medio. Para la vulnerabilidad vehicular, se revisaron los datos del tirante obtenidos de la simulación y de acuerdo a las condiciones establecidas se obtuvo que la vulnerabilidad vehicular es nula. La vulnerabilidad asignada para el tramo en estudio fue la vulnerabilidad **MEDIA** ya que fue la más desfavorable.

- Tramo 2: 0+020 a 0+080

La vulnerabilidad por tipo de vivienda se realizó de forma visual por medio de visitas de campo y se tomó la vivienda que más se repetía, en este tramo fue la vivienda tipo III, con un nivel de vulnerabilidad medio. Para la vulnerabilidad vehicular, se revisaron los datos del tirante obtenidos de la simulación y de acuerdo a las condiciones establecidas se obtuvo que la vulnerabilidad vehicular es alta. La vulnerabilidad asignada para el tramo en estudio fue la vulnerabilidad **ALTA** ya que fue la más desfavorable.

- Tramo 3: 0+080 a 0+100

La vulnerabilidad por tipo de vivienda se realizó de forma visual por medio de visitas de campo y se tomó la vivienda que más se repetía, en este tramo fue la vivienda tipo III, con un nivel de vulnerabilidad medio. Para la vulnerabilidad vehicular, se revisaron los datos del tirante obtenidos de la simulación y de acuerdo a las condiciones establecidas se obtuvo que la vulnerabilidad vehicular es media. La vulnerabilidad asignada para el tramo en estudio fue la vulnerabilidad **MEDIA** ya que fue la obtenida de ambos criterios.

- Tramo 4: 0+100 a 0+120

La vulnerabilidad por tipo de vivienda se realizó de forma visual por medio de visitas de campo y se tomó la vivienda que más se repetía, en este tramo fue la vivienda tipo III, con un nivel de vulnerabilidad medio. Para la vulnerabilidad vehicular, se

revisaron los datos del tirante obtenidos de la simulación y de acuerdo a las condiciones establecidas se obtuvo que la vulnerabilidad vehicular es nula. La vulnerabilidad asignada para el tramo en estudio fue la vulnerabilidad **MEDIA** ya que fue la más desfavorable.

- Tramo 5: 0+120 a 0+160

La vulnerabilidad por tipo de vivienda se realizó de forma visual por medio de visitas de campo y se tomó la vivienda que más se repetía, en este tramo fue la vivienda tipo III, con un nivel de vulnerabilidad medio. Para la vulnerabilidad vehicular, se revisaron los datos del tirante obtenidos de la simulación y de acuerdo a las condiciones establecidas se obtuvo que la vulnerabilidad vehicular es media. La vulnerabilidad asignada para el tramo en estudio fue la vulnerabilidad **MEDIA** ya que fue la obtenida de ambos criterios.

- Tramo 6: 0+160 a 0+220

La vulnerabilidad por tipo de vivienda se realizó de forma visual por medio de visitas de campo y se tomó la vivienda que más se repetía, en este tramo fue la vivienda tipo III, con un nivel de vulnerabilidad medio. Para la vulnerabilidad vehicular, se revisaron los datos del tirante obtenidos de la simulación y de acuerdo a las condiciones establecidas se obtuvo que la vulnerabilidad vehicular es alta. La vulnerabilidad asignada para el tramo en estudio fue la vulnerabilidad **ALTA** ya que fue la más desfavorable.

- Tramo 7: 0+220 a 0+240

La vulnerabilidad por tipo de vivienda se realizó de forma visual por medio de visitas de campo y se tomó la vivienda que más se repetía, en este tramo fue la vivienda tipo III, con un nivel de vulnerabilidad medio. Para la vulnerabilidad vehicular, se revisaron los datos del tirante obtenidos de la simulación y de acuerdo a las condiciones establecidas se obtuvo que la vulnerabilidad vehicular es media. La vulnerabilidad asignada para el tramo en estudio fue la vulnerabilidad **MEDIA** ya que fue la obtenida de ambos criterios.

- Tramo 8: 0+240 a 0+728

La vulnerabilidad por tipo de vivienda se realizó de forma visual por medio de visitas de campo y se tomó la vivienda que más se repetía, en este tramo fue la vivienda tipo III, con un nivel de vulnerabilidad medio. Para la vulnerabilidad vehicular, se revisaron los datos del tirante obtenidos de la simulación y de acuerdo a las condiciones establecidas se obtuvo que la vulnerabilidad vehicular es nula. La vulnerabilidad asignada para el tramo en estudio fue la vulnerabilidad **MEDIA** ya que fue la más desfavorable.

Periodo de retorno: 5 años (Ver datos en ANEXO 5- B y representación gráfica en plano 10/33)

- Tramo 1: 0+000 a 0+020.

La vulnerabilidad por tipo de vivienda se realizó de forma visual por medio de visitas de campo y se tomó la vivienda que más se repetía, en este tramo fue la vivienda tipo III, con un nivel de vulnerabilidad medio. Para la vulnerabilidad vehicular, se revisaron los datos del tirante obtenidos de la simulación y de acuerdo a las condiciones establecidas se obtuvo que la vulnerabilidad vehicular es nula. La vulnerabilidad asignada para el tramo en estudio fue la vulnerabilidad **MEDIA** ya que fue la más desfavorable.

- Tramo 2: 0+020 a 0+080

La vulnerabilidad por tipo de vivienda se realizó de forma visual por medio de visitas de campo y se tomó la vivienda que más se repetía, en este tramo fue la vivienda tipo III, con un nivel de vulnerabilidad medio. Para la vulnerabilidad vehicular, se revisaron los datos del tirante obtenidos de la simulación y de acuerdo a las condiciones establecidas se obtuvo que la vulnerabilidad vehicular es alta. La vulnerabilidad asignada para el tramo en estudio fue la vulnerabilidad **ALTA** ya que fue la más desfavorable.

- Tramo 3: 0+080 a 0+100

La vulnerabilidad por tipo de vivienda se realizó de forma visual por medio de visitas de campo y se tomó la vivienda que más se repetía, en este tramo fue la vivienda tipo III, con un nivel de vulnerabilidad medio. Para la vulnerabilidad vehicular, se revisaron los datos del tirante obtenidos de la simulación y de acuerdo a las condiciones establecidas se obtuvo que la vulnerabilidad vehicular es media. La vulnerabilidad asignada para el tramo en estudio fue la vulnerabilidad **MEDIA** ya que fue la obtenida de ambos criterios.

- Tramo 4: 0+100 a 0+120

La vulnerabilidad por tipo de vivienda se realizó de forma visual por medio de visitas de campo y se tomó la vivienda que más se repetía, en este tramo fue la vivienda tipo III, con un nivel de vulnerabilidad medio. Para la vulnerabilidad vehicular, se revisaron los datos del tirante obtenidos de la simulación y de acuerdo a las condiciones establecidas se obtuvo que la vulnerabilidad vehicular es nula. La vulnerabilidad asignada para el tramo en estudio fue la vulnerabilidad **MEDIA** ya que fue la más desfavorable.

- Tramo 5: 0+120 a 0+160

La vulnerabilidad por tipo de vivienda se realizó de forma visual por medio de visitas de campo y se tomó la vivienda que más se repetía, en este tramo fue la vivienda tipo III, con un nivel de vulnerabilidad medio. Para la vulnerabilidad vehicular, se

revisaron los datos del tirante obtenidos de la simulación y de acuerdo a las condiciones establecidas se obtuvo que la vulnerabilidad vehicular es media. La vulnerabilidad asignada para el tramo en estudio fue la vulnerabilidad **MEDIA** ya que fue la obtenida de ambos criterios.

- Tramo 6: 0+160 a 0+220

La vulnerabilidad por tipo de vivienda se realizó de forma visual por medio de visitas de campo y se tomó la vivienda que más se repetía, en este tramo fue la vivienda tipo III, con un nivel de vulnerabilidad medio. Para la vulnerabilidad vehicular, se revisaron los datos del tirante obtenidos de la simulación y de acuerdo a las condiciones establecidas se obtuvo que la vulnerabilidad vehicular es alta. La vulnerabilidad asignada para el tramo en estudio fue la vulnerabilidad **ALTA** ya que fue la más desfavorable.

- Tramo 7: 0+220 a 0+240

La vulnerabilidad por tipo de vivienda se realizó de forma visual por medio de visitas de campo y se tomó la vivienda que más se repetía, en este tramo fue la vivienda tipo III, con un nivel de vulnerabilidad medio. Para la vulnerabilidad vehicular, se revisaron los datos del tirante obtenidos de la simulación y de acuerdo a las condiciones establecidas se obtuvo que la vulnerabilidad vehicular es media. La vulnerabilidad asignada para el tramo en estudio fue la vulnerabilidad **MEDIA** ya que fue la obtenida de ambos criterios.

- Tramo 8: 0+240 a 0+728

La vulnerabilidad por tipo de vivienda se realizó de forma visual por medio de visitas de campo y se tomó la vivienda que más se repetía, en este tramo fue la vivienda tipo III, con un nivel de vulnerabilidad medio. Para la vulnerabilidad vehicular, se revisaron los datos del tirante obtenidos de la simulación y de acuerdo a las condiciones establecidas se obtuvo que la vulnerabilidad vehicular es nula. La vulnerabilidad asignada para el tramo en estudio fue la vulnerabilidad **MEDIA** ya que fue la más desfavorable.

Periodo de retorno: 10 años (Ver datos en ANEXO 5- C y representación gráfica en plano 18/33)

- Tramo 1: 0+000 a 0+020.

La vulnerabilidad por tipo de vivienda se realizó de forma visual por medio de visitas de campo y se tomó la vivienda que más se repetía, en este tramo fue la vivienda tipo III, con un nivel de vulnerabilidad medio. Para la vulnerabilidad vehicular, se revisaron los datos del tirante obtenidos de la simulación y de acuerdo a las condiciones establecidas se obtuvo que la vulnerabilidad vehicular es nula. La vulnerabilidad asignada para el tramo en estudio fue la vulnerabilidad **MEDIA** ya que fue la más desfavorable.

- Tramo 2: 0+020 a 0+080

La vulnerabilidad por tipo de vivienda se realizó de forma visual por medio de visitas de campo y se tomó la vivienda que más se repetía, en este tramo fue la vivienda tipo III, con un nivel de vulnerabilidad medio. Para la vulnerabilidad vehicular, se revisaron los datos del tirante obtenidos de la simulación y de acuerdo a las condiciones establecidas se obtuvo que la vulnerabilidad vehicular es alta. La vulnerabilidad asignada para el tramo en estudio fue la vulnerabilidad **ALTA** ya que fue la más desfavorable.

- Tramo 3: 0+080 a 0+100

La vulnerabilidad por tipo de vivienda se realizó de forma visual por medio de visitas de campo y se tomó la vivienda que más se repetía, en este tramo fue la vivienda tipo III, con un nivel de vulnerabilidad medio. Para la vulnerabilidad vehicular, se revisaron los datos del tirante obtenidos de la simulación y de acuerdo a las condiciones establecidas se obtuvo que la vulnerabilidad vehicular es media. La vulnerabilidad asignada para el tramo en estudio fue la vulnerabilidad **MEDIA** ya que fue la obtenida de ambos criterios.

- Tramo 4: 0+100 a 0+120

La vulnerabilidad por tipo de vivienda se realizó de forma visual por medio de visitas de campo y se tomó la vivienda que más se repetía, en este tramo fue la vivienda tipo III, con un nivel de vulnerabilidad medio. Para la vulnerabilidad vehicular, se

revisaron los datos del tirante obtenidos de la simulación y de acuerdo a las condiciones establecidas se obtuvo que la vulnerabilidad vehicular es nula. La vulnerabilidad asignada para el tramo en estudio fue la vulnerabilidad **MEDIA** ya que fue la más desfavorable.

- Tramo 5: 0+120 a 0+160

La vulnerabilidad por tipo de vivienda se realizó de forma visual por medio de visitas de campo y se tomó la vivienda que más se repetía, en este tramo fue la vivienda tipo III, con un nivel de vulnerabilidad medio. Para la vulnerabilidad vehicular, se revisaron los datos del tirante obtenidos de la simulación y de acuerdo a las condiciones establecidas se obtuvo que la vulnerabilidad vehicular es media. La vulnerabilidad asignada para el tramo en estudio fue la vulnerabilidad **MEDIA** ya que fue la obtenida de ambos criterios.

- Tramo 6: 0+160 a 0+220

La vulnerabilidad por tipo de vivienda se realizó de forma visual por medio de visitas de campo y se tomó la vivienda que más se repetía, en este tramo fue la vivienda tipo III, con un nivel de vulnerabilidad medio. Para la vulnerabilidad vehicular, se revisaron los datos del tirante obtenidos de la simulación y de acuerdo a las condiciones establecidas se obtuvo que la vulnerabilidad vehicular es alta. La vulnerabilidad asignada para el tramo en estudio fue la vulnerabilidad **ALTA** ya que fue la más desfavorable.

- Tramo 7: 0+220 a 0+240

La vulnerabilidad por tipo de vivienda se realizó de forma visual por medio de visitas de campo y se tomó la vivienda que más se repetía, en este tramo fue la vivienda tipo III, con un nivel de vulnerabilidad medio. Para la vulnerabilidad vehicular, se revisaron los datos del tirante obtenidos de la simulación y de acuerdo a las condiciones establecidas se obtuvo que la vulnerabilidad vehicular es media. La vulnerabilidad asignada para el tramo en estudio fue la vulnerabilidad **MEDIA** ya que fue la obtenida de ambos criterios.

- Tramo 8: 0+240 a 0+728

La vulnerabilidad por tipo de vivienda se realizó de forma visual por medio de visitas de campo y se tomó la vivienda que más se repetía, en este tramo fue la vivienda tipo III, con un nivel de vulnerabilidad medio. Para la vulnerabilidad vehicular, se revisaron los datos del tirante obtenidos de la simulación y de acuerdo a las condiciones establecidas se obtuvo que la vulnerabilidad vehicular es nula. La vulnerabilidad asignada para el tramo en estudio fue la vulnerabilidad **MEDIA** ya que fue la más desfavorable.

Periodo de retorno: 25 años (Ver datos en ANEXO 5- D y representación gráfica en plano 26/33)

- Tramo 1: 0+000 a 0+020.

La vulnerabilidad por tipo de vivienda se realizó de forma visual por medio de visitas de campo y se tomó la vivienda que más se repetía, en este tramo fue la vivienda tipo III, con un nivel de vulnerabilidad medio. Para la vulnerabilidad vehicular, se revisaron los datos del tirante obtenidos de la simulación y de acuerdo a las condiciones establecidas se obtuvo que la vulnerabilidad vehicular es nula. La vulnerabilidad asignada para el tramo en estudio fue la vulnerabilidad **MEDIA** ya que fue la más desfavorable.

- Tramo 2: 0+020 a 0+080

La vulnerabilidad por tipo de vivienda se realizó de forma visual por medio de visitas de campo y se tomó la vivienda que más se repetía, en este tramo fue la vivienda tipo III, con un nivel de vulnerabilidad medio. Para la vulnerabilidad vehicular, se revisaron los datos del tirante obtenidos de la simulación y de acuerdo a las condiciones establecidas se obtuvo que la vulnerabilidad vehicular es alta. La vulnerabilidad asignada para el tramo en estudio fue la vulnerabilidad **ALTA** ya que fue la más desfavorable.

- Tramo 3: 0+080 a 0+100

La vulnerabilidad por tipo de vivienda se realizó de forma visual por medio de visitas de campo y se tomó la vivienda que más se repetía, en este tramo fue la vivienda tipo III, con un nivel de vulnerabilidad medio. Para la vulnerabilidad vehicular, se revisaron los datos del tirante obtenidos de la simulación y de acuerdo a las condiciones establecidas se obtuvo que la vulnerabilidad vehicular es media. La vulnerabilidad asignada para el tramo en estudio fue la vulnerabilidad **MEDIA** ya que fue la obtenida de ambos criterios.

- Tramo 4: 0+100 a 0+120

La vulnerabilidad por tipo de vivienda se realizó de forma visual por medio de visitas de campo y se tomó la vivienda que más se repetía, en este tramo fue la vivienda tipo III, con un nivel de vulnerabilidad medio. Para la vulnerabilidad vehicular, se revisaron los datos del tirante obtenidos de la simulación y de acuerdo a las condiciones establecidas se obtuvo que la vulnerabilidad vehicular es baja. La vulnerabilidad asignada para el tramo en estudio fue la vulnerabilidad **MEDIA** ya que fue la más desfavorable.

- Tramo 5: 0+120 a 0+160

La vulnerabilidad por tipo de vivienda se realizó de forma visual por medio de visitas de campo y se tomó la vivienda que más se repetía, en este tramo fue la vivienda tipo III, con un nivel de vulnerabilidad medio. Para la vulnerabilidad vehicular, se

revisaron los datos del tirante obtenidos de la simulación y de acuerdo a las condiciones establecidas se obtuvo que la vulnerabilidad vehicular es media. La vulnerabilidad asignada para el tramo en estudio fue la vulnerabilidad **MEDIA** ya que fue la obtenida de ambos criterios.

- Tramo 6: 0+160 a 0+220

La vulnerabilidad por tipo de vivienda se realizó de forma visual por medio de visitas de campo y se tomó la vivienda que más se repetía, en este tramo fue la vivienda tipo III, con un nivel de vulnerabilidad medio. Para la vulnerabilidad vehicular, se revisaron los datos del tirante obtenidos de la simulación y de acuerdo a las condiciones establecidas se obtuvo que la vulnerabilidad vehicular es alta. La vulnerabilidad asignada para el tramo en estudio fue la vulnerabilidad **ALTA** ya que fue la más desfavorable.

- Tramo 7: 0+220 a 0+240

La vulnerabilidad por tipo de vivienda se realizó de forma visual por medio de visitas de campo y se tomó la vivienda que más se repetía, en este tramo fue la vivienda tipo III, con un nivel de vulnerabilidad medio. Para la vulnerabilidad vehicular, se revisaron los datos del tirante obtenidos de la simulación y de acuerdo a las condiciones establecidas se obtuvo que la vulnerabilidad vehicular es media. La vulnerabilidad asignada para el tramo en estudio fue la vulnerabilidad **MEDIA** ya que fue la obtenida de ambos criterios.

- Tramo 8: 0+240 a 0+728

La vulnerabilidad por tipo de vivienda se realizó de forma visual por medio de visitas de campo y se tomó la vivienda que más se repetía, en este tramo fue la vivienda tipo III, con un nivel de vulnerabilidad medio. Para la vulnerabilidad vehicular, se revisaron los datos del tirante obtenidos de la simulación y de acuerdo a las condiciones establecidas se obtuvo que la vulnerabilidad vehicular es nula. La vulnerabilidad asignada para el tramo en estudio fue la vulnerabilidad **MEDIA** ya que fue la más desfavorable.

4.1.4.3 Elaboración de mapa de riesgos por inundación

El riesgo es el resultado de la combinación entre la peligrosidad y la vulnerabilidad, habiendo analizado dichos parámetros, procedemos al análisis de riesgo, el cual nos permitió conocer las zonas en las cuales se presenta mayor riesgo debido a la inundación pluvial. Para dicho análisis se utilizó los criterios de riesgo en función del peligro y la vulnerabilidad (Ver tabla 8). En el cual se tomaron ciertos parámetros a los cuales se les asigno rangos comprendidos entre; riesgo nulo, bajo, medio y alto. Dicho análisis se realizó para cada periodo de retorno establecido en la investigación como se muestra en el ejemplo del **ANEXO 3 literal C**. El análisis de resultados se presentará a continuación por tramos.

Periodo de retorno: 2 años (Ver datos en ANEXO 6- A y representación gráfica en plano 3/33)

- Tramo 1: 0+000 a 0+020.

El peligro que se asignó de acuerdo al tirante, el deslizamiento y el volcamiento fue nulo ya que no se presentó ningún inconveniente. La vulnerabilidad asignada de acuerdo al tipo de vivienda y el análisis vehicular fue media, ya que puede presentar problemas a causa de la inundación. Por último, el riesgo obtenido de acuerdo al peligro nulo y la vulnerabilidad media fue **NULO**.

- Tramo 2: 0+020 a 0+040

El peligro que se asignó de acuerdo al tirante, el deslizamiento y el volcamiento fue alto ya que es considerado una gran amenaza para las personas. La vulnerabilidad asignada de acuerdo al tipo de vivienda y el análisis vehicular fue alta, ya se consideró una amenaza para las personas que crucen en automóvil dicha zona. Por último, el riesgo obtenido de acuerdo al peligro alto y la vulnerabilidad alta fue **ALTO**.

- Tramo 3: 0+040 a 0+080

El peligro que se asignó de acuerdo al tirante, el deslizamiento y el volcamiento fue medio ya que es considerado una amenaza para los peatones. La vulnerabilidad asignada de acuerdo al tipo de vivienda y el análisis vehicular fue alta, ya que se consideró una amenaza para las personas que crucen en automóvil dicha zona. Por

último, el riesgo obtenido de acuerdo al peligro medio y la vulnerabilidad alta fue **ALTO**.

- Tramo 4: 0+080 a 0+140

El peligro que se asignó de acuerdo al tirante, el deslizamiento y el volcamiento fue nulo ya que no se presentó ningún inconveniente. La vulnerabilidad asignada de acuerdo al tipo de vivienda y el análisis vehicular fue media, ya que puede presentar problemas a causa de la inundación a los habitantes de la zona y a las personas que crucen en automóvil dicho tramo. Por último, el riesgo obtenido de acuerdo al peligro nulo y la vulnerabilidad media fue **NULO**.

- Tramo 5: 0+140 a 0+160

El peligro que se asignó de acuerdo al tirante, el deslizamiento y el volcamiento fue bajo ya que podría considerar una amenaza para los peatones. La vulnerabilidad asignada de acuerdo al tipo de vivienda y el análisis vehicular fue media, ya que se consideró una amenaza para las personas que habitan la vivienda de dicho tramo. Por último, el riesgo obtenido de acuerdo al peligro bajo y la vulnerabilidad media fue **BAJO**.

- Tramo 6: 0+160 a 0+180

El peligro que se asignó de acuerdo al tirante, el deslizamiento y el volcamiento fue bajo ya que podría considerar una amenaza para los peatones. La vulnerabilidad asignada de acuerdo al tipo de vivienda y el análisis vehicular fue alta, ya que se

consideró una amenaza para las personas que crucen en automóvil dicha zona. Por último, el riesgo obtenido de acuerdo el peligro bajo y la vulnerabilidad alta fue **MEDIO**.

- Tramo 7: 0+180 a 0+200

El peligro que se asignó de acuerdo al tirante, el deslizamiento y el volcamiento fue medio ya que es considerado una amenaza para los peatones. La vulnerabilidad asignada de acuerdo al tipo de vivienda y el análisis vehicular fue alta, ya que se consideró una amenaza para las personas que crucen en automóvil dicha zona. Por último, el riesgo obtenido de acuerdo el peligro medio y la vulnerabilidad alta fue **ALTO**.

- Tramo 8: 0+200 a 0+220

El peligro que se asignó de acuerdo al tirante, el deslizamiento y el volcamiento fue bajo ya que podría considerar una amenaza para los peatones. La vulnerabilidad asignada de acuerdo al tipo de vivienda y el análisis vehicular fue alta, ya que se consideró una amenaza para las personas que crucen en automóvil dicha zona. Por último, el riesgo obtenido de acuerdo al peligro bajo y la vulnerabilidad alta fue **MEDIO**.

- Tramo 9: 0+220 a 0+640

El peligro que se asignó de acuerdo al tirante, el deslizamiento y el volcamiento fue nulo ya que no presentó ningún inconveniente. La vulnerabilidad asignada de

acuerdo al tipo de vivienda y el análisis vehicular fue media, ya que puede presentar problemas a causa de la inundación a los habitantes de dicha zona. Por último, el riesgo obtenido de acuerdo al peligro nulo y la vulnerabilidad media fue **NULO**.

- Tramo 10: 0+640 a 0+660

El peligro que se asignó de acuerdo al tirante, el deslizamiento y el volcamiento fue alto ya que debido a la velocidad a la que se mueve el agua en este tramo puede causar accidentes a los peatones. La vulnerabilidad asignada de acuerdo al tipo de vivienda y el análisis vehicular fue media, ya que puede presentar problemas a causa de la inundación a los habitantes de dicha zona. Por último, el riesgo obtenido de acuerdo al peligro alto y la vulnerabilidad media fue **ALTO**.

- Tramo 11: 0+220 a 0+640

El peligro que se asignó de acuerdo al tirante, el deslizamiento y el volcamiento fue nulo ya que no se presentó ningún inconveniente. La vulnerabilidad asignada de acuerdo al tipo de vivienda y el análisis vehicular fue media, ya que puede presentar problemas a causa de la inundación a los habitantes de dicha zona. Por último, el riesgo obtenido de acuerdo al peligro nulo y la vulnerabilidad media fue **NULO**.

Periodo de retorno: 5 años (Ver datos en ANEXO 6- B y representación gráfica en plano 11/33)

- Tramo 1: 0+000 a 0+020.

El peligro que se asignó de acuerdo al tirante, el deslizamiento y el volcamiento fue nulo ya que no se presentó ningún inconveniente. La vulnerabilidad asignada de acuerdo al tipo de vivienda y el análisis vehicular fue media, ya que puede presentar problemas a causa de la inundación. Por último, el riesgo obtenido de acuerdo al peligro nulo y la vulnerabilidad media fue **NULO**.

- Tramo 2: 0+020 a 0+040

El peligro que se asignó de acuerdo al tirante, el deslizamiento y el volcamiento fue alto ya que es considerado una gran amenaza para las personas. La vulnerabilidad asignada de acuerdo al tipo de vivienda y el análisis vehicular fue alta, ya que se consideró una amenaza para las personas que crucen en automóvil dicha zona. Por último, el riesgo obtenido de acuerdo al peligro alto y la vulnerabilidad alta fue **ALTO**.

- Tramo 3: 0+040 a 0+080

El peligro que se asignó de acuerdo al tirante, el deslizamiento y el volcamiento fue medio ya que es considerado una amenaza para los peatones. La vulnerabilidad asignada de acuerdo al tipo de vivienda y el análisis vehicular fue alto, ya que se consideró una amenaza para las personas que crucen en automóvil dicha zona. Por

último, el riesgo obtenido de acuerdo al peligro medio y la vulnerabilidad alta fue **ALTO**.

- Tramo 4: 0+080 a 0+140

El peligro que se asignó de acuerdo al tirante, el deslizamiento y el volcamiento fue nulo ya que no se presentó ningún inconveniente. La vulnerabilidad asignada de acuerdo al tipo de vivienda y el análisis vehicular es media, ya que puede presentar problemas a causa de la inundación a los habitantes de la zona y a las personas que crucen en automóvil dicho tramo. Por último, el riesgo obtenido de acuerdo al peligro nulo y la vulnerabilidad media fue **NULO**.

- Tramo 5: 0+140 a 0+160

El peligro que se asignó de acuerdo al tirante, el deslizamiento y el volcamiento fue bajo ya que podría considerar una amenaza para las personas. La vulnerabilidad asignada de acuerdo al tipo de vivienda y el análisis vehicular fue media, ya que se consideró una amenaza para las personas que habitan la vivienda de dicho tramo. Por último, el riesgo obtenido de acuerdo al peligro bajo y la vulnerabilidad media fue **BAJO**.

- Tramo 6: 0+160 a 0+220

El peligro que se asignó de acuerdo al tirante, el deslizamiento y el volcamiento fue medio ya que es considerado una amenaza para las personas. La vulnerabilidad asignada de acuerdo al tipo de vivienda y el análisis vehicular fue alta, ya que se

consideró una amenaza para las personas que crucen en automóvil dicha zona. Por último, el riesgo obtenido de acuerdo al peligro medio y la vulnerabilidad alta fue **ALTO**.

- Tramo 7: 0+220 a 0+700

El peligro que se asignó de acuerdo al tirante, el deslizamiento y el volcamiento fue nulo ya que no se presentó ningún inconveniente. La vulnerabilidad asignada de acuerdo al tipo de vivienda y el análisis vehicular fue media, ya que puede presentar problemas a causa de la inundación a los habitantes de dicha zona. Por último, el riesgo obtenido de acuerdo al peligro nulo y la vulnerabilidad media fue **NULO**.

- Tramo 8: 0+700 a 0+720

El peligro que se asignó de acuerdo al tirante, el deslizamiento y el volcamiento fue medio ya que es considerado una amenaza para las personas. La vulnerabilidad asignada de acuerdo al tipo de vivienda y el análisis vehicular fue alta ya que puede presentar problemas a causa de la inundación a los habitantes de dicha zona. Por último, el riesgo obtenido de acuerdo al peligro medio y la vulnerabilidad media fue **MEDIO**.

- Tramo 9: 0+720 a 0+728

El peligro que se asignó de acuerdo al tirante, el deslizamiento y el volcamiento fue nulo ya que no se presentó ningún inconveniente. La vulnerabilidad asignada de acuerdo al tipo de vivienda y el análisis vehicular fue media, ya que puede presentar

problemas a causa de la inundación a los habitantes de dicha zona. Por último, el riesgo obtenido de acuerdo al peligro nulo y la vulnerabilidad media fue **NULO**.

Periodo de retorno: 10 años (Ver datos en ANEXO 6- C y representación gráfica en plano 19/33)

- Tramo 1: 0+000 a 0+020.

El peligro que se asignó de acuerdo al tirante, el deslizamiento y el volcamiento fue nulo ya que no se presentó ningún inconveniente. La vulnerabilidad asignada de acuerdo al tipo de vivienda y el análisis vehicular fue media, ya que puede presentar problemas a causa de la inundación. Por último, el riesgo obtenido de acuerdo al peligro nulo y la vulnerabilidad media fue **NULO**.

- Tramo 2: 0+020 a 0+040

El peligro que se asignó de acuerdo al tirante, el deslizamiento y el volcamiento fue alto ya que es considerado una gran amenaza para las personas. La vulnerabilidad asignada de acuerdo al tipo de vivienda y el análisis vehicular fue alta, ya que se consideró una amenaza para las personas que crucen en automóvil dicha zona. Por último, el riesgo obtenido de acuerdo al peligro alto y la vulnerabilidad alta fue **ALTO**.

- Tramo 3: 0+040 a 0+080

El peligro que se asignó de acuerdo al tirante, el deslizamiento y el volcamiento fue medio ya que es considerado una amenaza para los peatones. La vulnerabilidad

asignada de acuerdo al tipo de vivienda y el análisis vehicular fue alto, ya que se consideró una amenaza para las personas que crucen en automóvil dicha zona. Por último, el riesgo obtenido de acuerdo al peligro medio y la vulnerabilidad alta fue **ALTO**.

- Tramo 4: 0+080 a 0+140

El peligro que se asignó de acuerdo al tirante, el deslizamiento y el volcamiento fue nulo ya que no se presentó ningún inconveniente. La vulnerabilidad asignada de acuerdo al tipo de vivienda y el análisis vehicular es media, ya que puede presentar problemas a causa de la inundación a los habitantes de la zona y a las personas que crucen en automóvil dicho tramo. Por último, el riesgo obtenido de acuerdo al peligro nulo y la vulnerabilidad media fue **NULO**.

- Tramo 5: 0+140 a 0+160

El peligro que se asignó de acuerdo al tirante, el deslizamiento y el volcamiento fue bajo ya que podría considerar una amenaza para las personas. La vulnerabilidad asignada de acuerdo al tipo de vivienda y el análisis vehicular fue media, ya que se consideró una amenaza para las personas que habitan la vivienda de dicho tramo. Por último, el riesgo obtenido de acuerdo al peligro bajo y la vulnerabilidad media fue **BAJO**.

- Tramo 6: 0+160 a 0+220

El peligro que se asignó de acuerdo al tirante, el deslizamiento y el volcamiento fue medio ya que es considerado una amenaza para las personas. La vulnerabilidad asignada de acuerdo al tipo de vivienda y el análisis vehicular fue alta, ya que se consideró una amenaza para las personas que crucen en automóvil dicha zona. Por último, el riesgo obtenido de acuerdo al peligro medio y la vulnerabilidad alta fue **ALTO**.

- Tramo 7: 0+220 a 0+728

El peligro que se asignó de acuerdo al tirante, el deslizamiento y el volcamiento fue nulo ya que no se presentó ningún inconveniente. La vulnerabilidad asignada de acuerdo al tipo de vivienda y el análisis vehicular fue media, ya que puede presentar problemas a causa de la inundación a los habitantes de dicha zona. Por último, el riesgo obtenido de acuerdo al peligro nulo y la vulnerabilidad media fue **NULO**.

Periodo de retorno: 25 años (Ver datos en ANEXO 6- B y representación gráfica en plano 27/33)

- Tramo 1: 0+000 a 0+020.

El peligro que se asignó de acuerdo al tirante, el deslizamiento y el volcamiento fue nulo ya que no se presentó ningún inconveniente. La vulnerabilidad asignada de acuerdo al tipo de vivienda y el análisis vehicular fue media, ya que puede presentar

problemas a causa de la inundación. Por último, el riesgo obtenido de acuerdo al peligro nulo y la vulnerabilidad media fue **NULO**.

- Tramo 2: 0+020 a 0+040

El peligro que se asignó de acuerdo al tirante, el deslizamiento y el volcamiento fue alto ya que es considerado una gran amenaza para las personas. La vulnerabilidad asignada de acuerdo al tipo de vivienda y el análisis vehicular fue alta, ya que se consideró una amenaza para las personas que crucen en automóvil dicha zona. Por último, el riesgo obtenido de acuerdo al peligro alto y la vulnerabilidad alta fue **ALTO**.

- Tramo 3: 0+040 a 0+080

El peligro que se asignó de acuerdo al tirante, el deslizamiento y el volcamiento fue medio ya que es considerado una amenaza para los peatones. La vulnerabilidad asignada de acuerdo al tipo de vivienda y el análisis vehicular fue alto, ya que se consideró una amenaza para las personas que crucen en automóvil dicha zona. Por último, el riesgo obtenido de acuerdo al peligro medio y la vulnerabilidad alta fue **ALTO**.

- Tramo 4: 0+080 a 0+140

El peligro que se asignó de acuerdo al tirante, el deslizamiento y el volcamiento fue nulo ya que no se presentó ningún inconveniente. La vulnerabilidad asignada de acuerdo al tipo de vivienda y el análisis vehicular es media, ya que puede presentar

problemas a causa de la inundación a los habitantes de la zona y a las personas que crucen en automóvil dicho tramo. Por último, el riesgo obtenido de acuerdo al peligro nulo y la vulnerabilidad media fue **NULO**.

- Tramo 5: 0+140 a 0+160

El peligro que se asignó de acuerdo al tirante, el deslizamiento y el volcamiento fue bajo ya que podría considerar una amenaza para las personas. La vulnerabilidad asignada de acuerdo al tipo de vivienda y el análisis vehicular fue media, ya que se consideró una amenaza para las personas que habitan la vivienda de dicho tramo. Por último, el riesgo obtenido de acuerdo al peligro bajo y la vulnerabilidad media fue **BAJO**.

- Tramo 6: 0+160 a 0+220

El peligro que se asignó de acuerdo al tirante, el deslizamiento y el volcamiento fue medio ya que es considerado una amenaza para las personas. La vulnerabilidad asignada de acuerdo al tipo de vivienda y el análisis vehicular fue alta, ya que se consideró una amenaza para las personas que crucen en automóvil dicha zona. Por último, el riesgo obtenido de acuerdo al peligro medio y la vulnerabilidad alta fue **ALTO**.

- Tramo 7: 0+220 a 0+700

El peligro que se asignó de acuerdo al tirante, el deslizamiento y el volcamiento fue nulo ya que no se presentó ningún inconveniente. La vulnerabilidad asignada de

acuerdo al tipo de vivienda y el análisis vehicular fue media, ya que puede presentar problemas a causa de la inundación a los habitantes de dicha zona. Por último, el riesgo obtenido de acuerdo al peligro nulo y la vulnerabilidad media fue **NULO**.

- Tramo 8: 0+700 a 0+720

El peligro que se asignó de acuerdo al tirante, el deslizamiento y el volcamiento fue medio ya que es considerado una amenaza para las personas. La vulnerabilidad asignada de acuerdo al tipo de vivienda y el análisis vehicular fue alta ya que puede presentar problemas a causa de la inundación a los habitantes de dicha zona. Por último, el riesgo obtenido de acuerdo al peligro medio y la vulnerabilidad media fue **MEDIO**.

- Tramo 9: 0+720 a 0+728

El peligro que se asignó de acuerdo al tirante, el deslizamiento y el volcamiento fue nulo ya que no se presentó ningún inconveniente. La vulnerabilidad asignada de acuerdo al tipo de vivienda y el análisis vehicular fue media, ya que puede presentar problemas a causa de la inundación a los habitantes de dicha zona. Por último, el riesgo obtenido de acuerdo al peligro nulo y la vulnerabilidad media fue **NULO**.

4.1.5 Caracterización de la microcuenca

La caracterización de la cuenca hidrológica permitió delimitar todas sus características físicas, para de esta manera poder describir el comportamiento de ella, así como también poder determinar los problemas que estas implica.

4.1.5.1 Caracterización cuantitativa

Parámetros de forma:

- **Perímetro (P):** 2,078.15 m
- **Longitud axial (La):** 728.16 m
- **Área (A):** 138,746.19 m²
- **Ancho promedio:** 6 m
- **Índice de alargamiento (Ial):** $\frac{\text{Longitud axial}}{\text{area}} = \frac{728.16}{138\ 746.19} = 0.0052\ m^{-1}$

Parámetros de relieve

- **Cota mayor de la Cuenca (m):** 147.48 m
- **Cota menor de la cuenca (m):** 129.69 m

Parámetros relativos a la red hidrográfica

- **Número de orden de los cursos de agua:** 1
- **Densidad de drenaje (Dd):** 5.25 km/km²
- **Pendiente media del cauce (J):** 2.44%
- **Tiempo de concentración (Tc):** 14.19 min

4.1.5.2 Caracterización cualitativa

Tipo de forma de la cuenca hidrográfica: Su tipo de forma hidrográfica se consideró del tipo “Alargada” ya que consta de un tramo de gran longitud y un ancho bastante reducido de acuerdo su longitud horizontal.

Usos del suelo: Los diferentes usos que se le da a la superficie son para “vías de comunicación” ya que conecta con varios tramos entre colonias siendo este mismo un acceso principal para la colonia “Ciudad Pacífica”. La otra aplicación que se le da esas tierras es para uso “residencial”, debido al número de casas y pequeños negocios existentes.

Relieve o topografía: debido a la intervención antropogénica (impacto ambiental), la topografía de la zona está influenciada por viviendas y vías de comunicación construidas por el ser humano, por lo que solamente se logra apreciar una pendiente casi uniforme desde el punto alto en el puente de la quebrada Las Lomitas, al punto de la intersección con la avenida Roosevelt.

Red de drenaje: El sistema de drenaje consta de un drenaje superficial en todo su tramo longitudinal, drenando las aguas lluvias al “área de recepción” en la intersección de la octava calle poniente con la avenida Roosevelt donde se encuentra una tubería y tragante.

Dirección del cauce: La dirección del cauce va de acuerdo de la gradiente de la pendiente del terreno, en donde el punto más alto está ubicado en la sección 0+728

mientras que el punto más bajo esta ubicado en la sección 0+040, antes de llegar al inicio de la vía.

Clima: El clima existente a lo largo del año consta de dos estaciones que son la estación seca o verano desde el mes de noviembre al mes de abril y la estación lluviosa o de invierno que consta de los meses de mayo a octubre.

Deterioro y destrucción de obras de infraestructura: El inconveniente más grande que se logró apreciar son las inundaciones que logran abarcar alturas bastantes considerables en las vías de comunicación evitando el paso por estos caminos hasta que se logre evacuar el agua.

Arrastre de materiales: Comúnmente los materiales arrastrados son desechos sólidos debido al mal manejo de parte de la población de la ciudad al no considerar tener una zona limpia, en épocas de lluvias bastantes intensas existe arrastre de ramas por árboles cortados ya sean por una acción natural o humana y el arrastre de arena depositada en la calle, viviendas o por pequeños deslizamientos de porciones de áreas verdes.

Contaminación del agua: La contaminación en el agua consiste en toda la basura que no se le ha dado una disposición de desecho, por lo que en épocas de lluvia se logra arrastrar la basura junto a la esorrentía.

4.1.5.3 Incidencias socio-ambientales a una cuenca hidrográfica urbana

1. Materia que arrastra el agua

El agua arrastra partículas de suelo, arena, basura orgánica e inorgánica y estos desechos son transportados hasta los tragantes provocando que las tuberías colapsen y produzcan una inundación repentina. Esto es debido el mal comportamiento humano y a la mala de educación hacia el medio ambiente y otra razón muy importante es la incompetencia de las instituciones a no instalar basureros en la zona.

2. Deforestación

La deforestación es un proceso provocado generalmente por la acción humana, en el que se destruye la superficie forestal. Está directamente causada por la acción de las personas sobre la naturaleza, principalmente debido a las talas o quemas realizadas para crear urbanizaciones. Considerando que esta zona era un área que contaba con muchos árboles, pero fueron talados para la creación de viviendas y carreteras, esto ocasiona el cambio de temperatura en la zona, reduciendo drásticamente la infiltración y de esta manera ocasionado problemas en las partes más bajas de la cuenca.

Cuando nos referimos a la flora, aludimos a la vida vegetal (árboles, arbustos, hongos, bacterias fotosintéticas, etc.), la sociedad ha influido de una manera positiva debido a que hay bastantes árboles en la zona a pesar de que es un área urbana, sin

embargo, plantar arbustos o jardines en el arriate es recomendado, para ser amigable con el medio ambiente.

4.1.5.4 Plan de manejo de una microcuenca urbana

El manejo de cuencas se enfocó a la gestión que el hombre realiza a nivel de la cuenca para aprovechar, proteger y conservar los recursos naturales que le ofrece, con el fin de obtener una producción óptima y sostenida para lograr una calidad de vida acorde con sus necesidades. Las actividades que realiza el hombre y sus actitudes, constituyen el eje del manejo de la cuenca, es decir que, dependiendo del comportamiento del hombre, una cuenca estará bien o mal manejada. A continuación, se presenta 4 formas para mejorar el manejo de una cuenca urbana:

1. Colocación de basureros

Una de las principales causas por la cual se ha presentado el problema de las inundaciones sobre la octava calle poniente a lo largo de la historia es la acumulación de desechos sólidos en el único punto donde se evacua el agua. La colocación de contenedores en puntos estratégicos ayudará en gran medida a controlar la acumulación de basura que obstruye la salida del agua de la vía.

En esta etapa también se busca beneficiar y promover la preservación del medio ambiente aportando beneficios como:

- Los espacios se mantendrán limpios
- Se evita la obstrucción de las salidas de agua

- Contribuyen a un mejor aspecto de la zona

La ubicación de los contenedores de desechos sólidos se plantea que se realice de la siguiente manera:

- Se ubicará un contenedor a cada 100 metros iniciando desde la estación 0+000 intercalando el lado de la vía, así colocando 7 contenedores por lado.
- Se ubicarán en el arriate donde sea posible, en los puntos en los que no exista arriate, se ubicará en una zona donde no obstaculice el paso para los peatones.

Detallado de contenedor:

- El contenedor será metálico cubierto con pintura anticorrosiva para extender su vida útil.
- Estará sujeto a dos tubos en sus extremos que permitan su giro para facilitar su vaciado.
- Tendrá una altura de 70 centímetros y estará ubicado de 15 centímetros del suelo.
- Se utilizará concreto simple para su anclaje, el dado de concreto constará de 40 centímetros de profundidad y 30 centímetros de ancho.
- Se anclará al suelo a una profundidad 15 centímetros con los tubos de soporte, colocando una varilla transversal de diámetro de 3/8 de pulgada.
- Los tubos de soporte serán de hierro negro con un diámetro de 2 pulgadas.

- El tubo que permitirá la articulación de los contenedores será de diámetro 1 pulgada.
- La articulación estará a una altura de 70 centímetros.
- El diámetro de los contenedores será de 35 centímetros.



IMAGEN 24 CONTENEDOR DE DESECHOS SÓLIDOS

Vaciado de los contenedores:

Para que se pueda dar una mejor utilización a los contenedores se recomienda que se vacíen un día de por medio por los camiones recolectores de basura de la municipalidad ya que así se garantiza que estos no colapsen.

2. Reforestación

La reforestación es una operación en el ámbito de la silvicultura destinada a repoblar zonas que en el pasado histórico reciente estaban cubiertas de bosques que han sido eliminados por diversos motivos. Una forma de reforestar la zona es plantando en

los espacios que no exista una superficie de concreto, espacios donde nada más exista el engramado para poder aprovechar esos puntos y amortiguar el riesgo a inundación. Cabe destacar que en la zona existe vegetación en algunos puntos del arriate como arboles pequeños o arbustos plantados ya sea por parte de un evento natural o porque los dueños de las viviendas han contribuido en su plantación, sin embargo, existen partes que aún no se aprovechan en su totalidad para agregar una mejor vistosidad utilizando pequeñas plantaciones que aportarían tanto en la mitigación de la inundación como también para contrarrestar un poco el cambio climático.

Se evitaría el uso de plantaciones de árboles grandes por motivos de seguridad como las probabilidades que el árbol se caiga por efectos del viento u otros fenómenos manipulados por el hombre, y porque también puedan ponerse en contacto directo con el tendido eléctrico de la zona.

En el **ANEXO 9** se muestra una “GUÍA METODOLÓGICA PARA EL CÁLCULO DE LA COMPENSACIÓN AMBIENTAL PARA PROYECTOS AMBIENTALES VIALES”, la cual sirve de base para un plan de manejo de una microcuenca.

3. Educar a la comunidad

Para poder dar un manejo adecuado a la microcuenca se propone una campaña de concientización sobre las principales incidencias que tiene la comunidad sobre el comportamiento natural de una cuenca, y como esto conlleva a la problemática que se presenta en la octava calle poniente, las inundaciones debido a que la mayoría de la población actualmente no percibe su papel dentro de la problemática, acciones

como tirar basura en la calle son a que al momento de una tormenta hacen que la evacuación del agua sea retrasado o incluso obstruido totalmente, y es ahí donde surge la importancia de educar a la población para que eviten tirar la basura.

En términos de concientización también es importante que la población entienda lo peligroso que es transitar, ya sea a pie, o en automóvil, en las zonas de inundación durante una tormenta, deben presentarse las consecuencias de que hagan eso, así contribuir de una manera integral a la solución de las inundaciones en la octava calle poniente.

Este aspecto no solo incluye educar a la comunidad que reside en la zona sino también a la municipalidad en general ya que la gestión urbana debe reconocer el ciclo del agua, los efectos de los cambios climáticos y la dinámica del agua superficial para preservar el ambiente de la ciudad. Se deben reconocer las áreas y su naturaleza, el suelo, los sistemas de drenaje, las geoformas y los valles de inundación alterados por el avance urbano que generan más inundaciones. El uso del suelo en la ciudad debe ir acompañado de medidas que permiten la evaporación máxima y la absorción por la tierra, teniendo en cuenta las dinámicas urbanas.

Cartilla para educar a la comunidad.

Para comenzar, la persona o grupo de personas que realizarán la concientización deben de ser personas capacitadas y preparadas y una forma sencilla de cumplir con lo antes mencionado es realizar una autointerrogación y apoyarse de información de

libros y sitios web para contestar correctamente, algunas de las preguntas que deben plantearse los encargados de realizar la campaña son las siguientes:

1. ¿Por qué la iniciativa es tan importante?
2. ¿A quién está dirigida la iniciativa?
3. ¿De qué podría constar la iniciativa?
4. ¿Con quién debemos de trabajar?
5. ¿Cuándo y dónde resulta apropiada la iniciativa?
6. ¿Qué herramientas debemos usar?

“Campaña de concientización para disminuir inundaciones en el área urbana”

Las campañas se centran en generar un impacto uniforme de gran escala mediante mensajes estandarizados. Hay muchos ejemplos de campañas nacionales e internacionales de concientización pública a gran escala que han generado un cambio social masivo.

Planificación de la campaña:

Nombre: “Campaña de concientización para disminuir inundaciones en el área urbana”

Coordinadores: Personal de la comunidad en cooperación con personal de la alcaldía de la municipalidad.

Duración: 8 horas divididas en 8 semanas.

Resumen: Las inundaciones pluviales en época de invierno son un desastre natural por lo tanto es difícil de evitarlas, pero si se pueden disminuir si la comunidad se une y organiza. Concientizar no es una tarea individual sino conjunta y comienza desde el hogar, el llamado de atención debe de ser de todos y cada uno al depositar la basura en su lugar y no en donde pueda ser arrastrada por la corriente.

Metas y objetivos:

- Reducir el mal hábito de votar basura en la calle.
- Disminuir la obstrucción del alcantarillado pluvial con residuos.
- Comprometer a la comunidad a colaborar.
- Presionar a la municipalidad a que se cumplan las multas establecidas por votar basura en lugares no permitidos.

Audiencia meta: Población en general.

Estrategias de comunicación:

- **Charlas informativas:** En las cuales se debe de citar a encargados de cada vivienda de la zona en este caso la octava calle poniente, en el tramo comprendido desde la intersección con la avenida Roosevelt hasta la quebrada las lomas. Hacer énfasis en charlas cortas y directas para que los encargados de cada vivienda transmitan el mensaje a sus familias.
- **Publicidad a través de redes sociales:** Reproducir la información compartida en la charla informativa para de esta manera llegue el mensaje a la población en general.

- **Aprendizaje participativo:** Escuchar propuestas de la comunidad ya que si ellos proponen ideas se sienten más comprometidos a cumplir con ellas.

4. Construir un sistema de drenaje pluvial

Para atacar el problema de manera puntual y objetiva es perentorio una propuesta a un sistema de drenaje pluvial, ya que, en la zona de estudio, la octava calle poniente, el drenaje pluvial es prácticamente inexistente.

Captar y aprovechar el agua de lluvia también es una solución para mitigar inundaciones, ya que se puede controlar y almacenar el escurrimiento pluvial, evitando que se saturen drenajes y que aumenten el flujo de agua en zonas urbanas causando los efectos que se repiten cada temporada de lluvia y que puede ser catastróficos para la población.

Es importante analizar diferentes alternativas para poder seleccionar la más eficaz, el sistema debe poder evacuar un caudal máximo de $2.33 \text{ m}^3/\text{s}$ a lo largo de los casi 730 metros en los que presenta la problemática.

4.2 PROCESAMIENTO DE LOS DATOS

4.2.1 Levantamiento topográfico utilizando dron

4.2.1.1 Uso del dron

❖ Programación del dron

Para iniciar se necesitó instalar una aplicación en el celular, en este caso se utilizó un celular Samsung S8; la aplicación utilizada fue “Pix4Dcapture”, en dicha aplicación se debió crear una cuenta para poder utilizarla, después de haberse registrado se procedió a la configuración. Para configurar, se debe seleccionar “SETTINGS”, la cual abre una nueva pantalla, aparece una opción llamada “Drone”, se selecciona y se elige el tipo dron que se utilizará, en este caso fue el Phantom 4 Pro. También, se cambian las unidades en “Units” se deja en “Metric”. Y luego se regresa a la pantalla inicial.

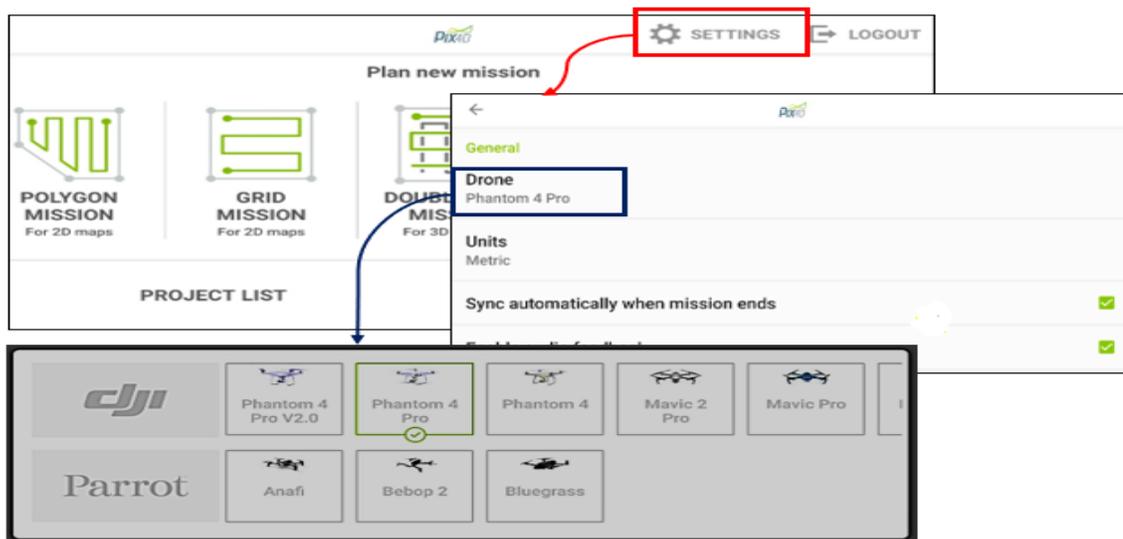


IMAGEN 25 CONFIGURACIÓN DEL DRON

❖ *Vuelo del dron*

Después de haber configurado el dron se procedió al vuelo, como fue para un modelo 3D, es decir, se necesitaron las tres coordenadas XYZ, por lo tanto, se eligió un vuelo o misión “DOUBLE GRID MISSION”. Se abre una nueva ventana, en la cual se programa la cuadrícula de vuelo o GRID, de acuerdo a la capacidad de la batería se elige tamaño de la cuadrícula, en la parte lateral izquierda se elige la altura del dron; en la zona de San Miguel se elige una altura entre 50 hasta 70 metros debido a las edificaciones. Finalmente se inició el vuelo seleccionando “START”.

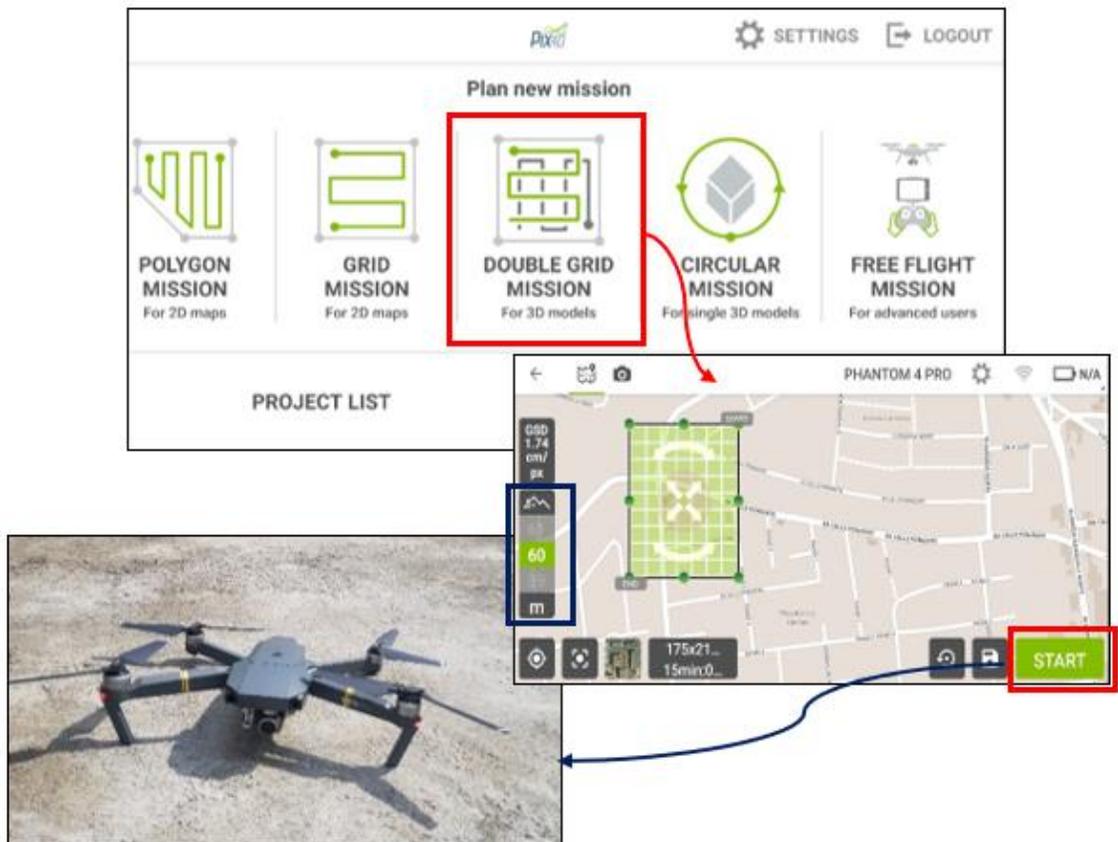


IMAGEN 26 CONFIGURACIÓN DE VUELO DEL DRON

❖ *Captura de fotografías*

Para la captura de fotografías, el único que trabajo fue el dron, ya que, con la configuración anterior, el dron queda programado a tomar fotografías cada cierta distancia con el fin que cada fotografía quede enlazadas y formen de esta manera una ortofoto completa.



IMAGEN 27 TOMA DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS

4.2.1.2 Uso de PhotoScan

❖ **PASO 1:** *Exportar fotos*

Lo primero que se realizó fue abrir el programa para poder cargar las fotos que se tomaron con el dron. Esto se puede realizar de dos maneras: la primera, es desde el menú “Flujo de trabajo”, después, en “Agregar fotos” o desde la ventana que está a la izquierda, que dice “Espacio de trabajo”, hay un botón que tiene 3 cuadros de colores y al poner el ratón sobre ella dice “Agregar fotos”.

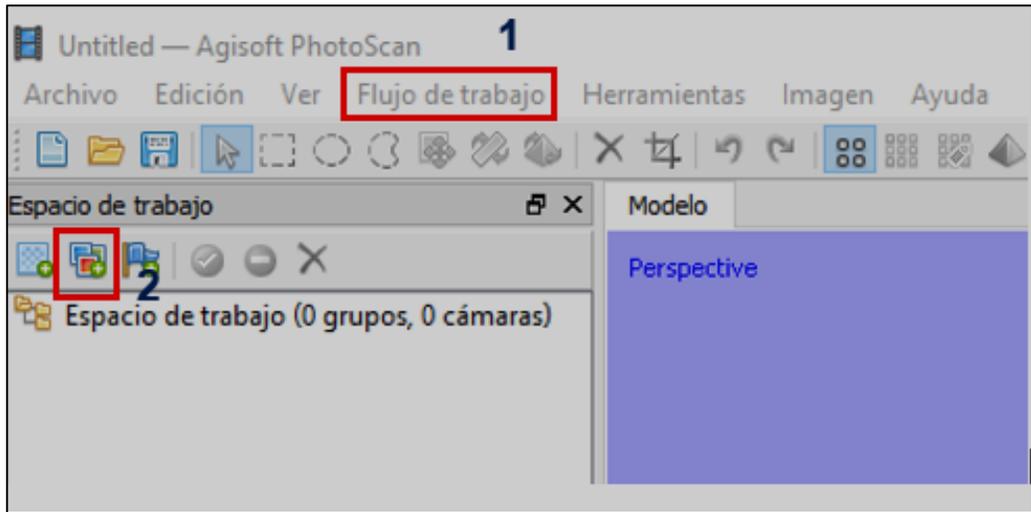


IMAGEN 28 AGREGAR FOTOGRAFÍAS

❖ PASO 2: *Calibrar cámaras*

Una vez cargadas las fotografías, seleccionar donde dice “Herramientas”, “calibración de cámara”, en tipo de cámara debe estar en “cuadrado” si no lo está, se debe cambiar. Y se acepta.

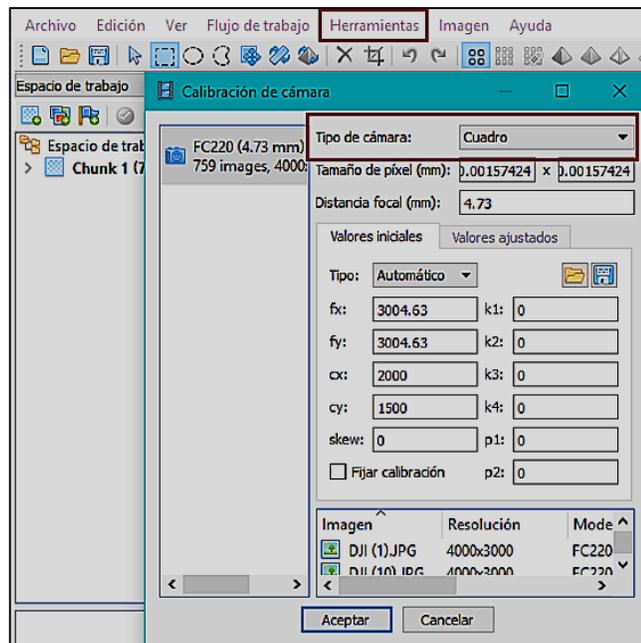


IMAGEN 29 CALIBRACIÓN DE CÁMARAS

❖ **PASO 3: *Orientar fotos (creación de la nube dispersa de puntos)***

Una vez cargadas las fotografías, se procedió a realizar la alineación de las mismas, para que el programa reconociera la posición desde donde se tomaron todas las fotografías. Esto se hace desde el menú “Flujo de trabajo”, después en “Orientar fotos”.

Se abre una nueva ventana, donde se le indica al programa algunas opciones que se quieren realizar. La primera es “Precisión” y se refiere a la resolución con la que trabajará el programa para realizar la alineación de las fotografías. Si se quiere tener una buena alineación, hay que dejarlo en “Alta”, si sólo se quiere hacer pruebas se elige “media” o “baja”, que sería con exactitud más baja. En “pre-procesar emparejamientos de imágenes” seleccionar “puntos de apoyo”. En “Avanzado” se deja tal y como esta. Dependiendo de la opción que se escoja y de la cantidad de fotografías el tiempo que tarda el programa en realizar esta tarea variará. Las demás opciones se dejaron como vienen por defecto no fue necesario cambiarlas.

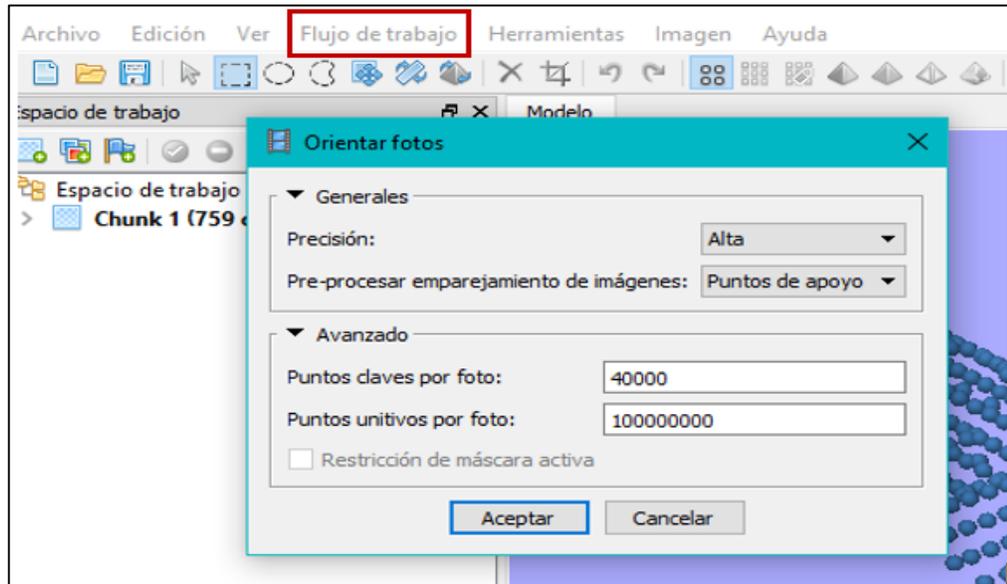


IMAGEN 30 ORIENTACIÓN DE FOTOS

Este proceso tardó 1 hora 30 minutos. Luego se calibran las cámaras nuevamente, desde el menú “Herramientas” y después “Calibrar Cámaras” y dar click en “Aceptar”.

❖ PASO 4: *Limpiar nube dispersa*

El siguiente paso consistió en hacer una limpieza de estos puntos que están por fuera del área de interés. Esto se puede hacer de dos maneras la primera es mediante las herramientas de selección que se ubican en la barra de herramientas.

Primero: quitar las cámaras para que no estorben, y poder ver mejor la nube de puntos dispersa. En la barra de herramientas aparece un botón que tiene forma de cámara y dice “Mostrar Cámaras” hay que desactivarlo.



IMAGEN 31 ICONO DE OCULTAR CÁMARAS

Ahora, para limpiar se seleccionó la herramienta “Selección de forma libre” y se dibuja alrededor de la nube de puntos dispersa o siguiendo el cubo donde se encuentra. Esto solo es para que en el siguiente paso los procesos sean más rápidos.



IMAGEN 32 ICONO PARA SELECCIONAR

Una vez seleccionados los puntos, con esta herramienta se le ordeno al programa que invierta la selección, ya que lo que interesa eliminar son todos los puntos que no pertenecen a la estructura que fotografiamos. Esto se hizo desde el menú “Edición”, después “Invertir Selección”

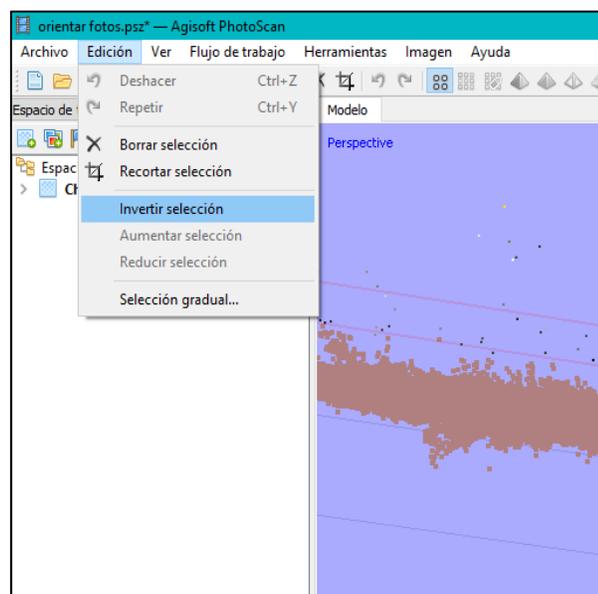


IMAGEN 33 NUBE DISPERSA SELECCIONA SIN INVERTIR

Para borrar los puntos se debió dar click en el botón de la barra de herramientas que dice “Eliminar selección” y tiene forma de una “X”.



IMAGEN 34 ICONO PARA ELIMINAR SELECCIÓN

El siguiente paso: consistió en reducir el área o región del modelo para que también los siguientes procesos sean más rápidos. El cubo donde se ubica la nube dispersa es más grande que la nube, así que se debe reducir. Para esto, se usa la herramienta “Redimensionar región” de la barra de herramientas y que tiene forma de una cruz con un cuadro atrás.



IMAGEN 35 ICONO PARA REDUCIR LA NUBE DISPERSA

Después, se seleccionaron los puntos de cada esquina que se desea mover, para hacer más pequeña la región. Se debe verificar la nube de puntos, que no queden puntos fuera de la región.

❖ PASO 5: *Crear nube densa de puntos*

El siguiente paso consistió en la creación de una nube densa de puntos, que ayudará para la construcción de la malla del modelo 3D. una vez teniendo la nube de puntos dispersa, se debe a ir al menú “Flujo de trabajo” y dar click a la opción que dice “Construir nube densa”, se abre una nueva ventana, donde se podrá seleccionar la calidad con la que queremos construir nuestra nube de puntos. Como ya se ha

comentado anteriormente, que de preferencia hay que seleccionar la opción “Alta”, para tener una mejor calidad en la nube de puntos, se puede usar otras opciones si se desea que el proceso sea más rápido. En “Avanzado” en “filtración de mapas de profundidad” se selecciona de preferencia “moderado”.

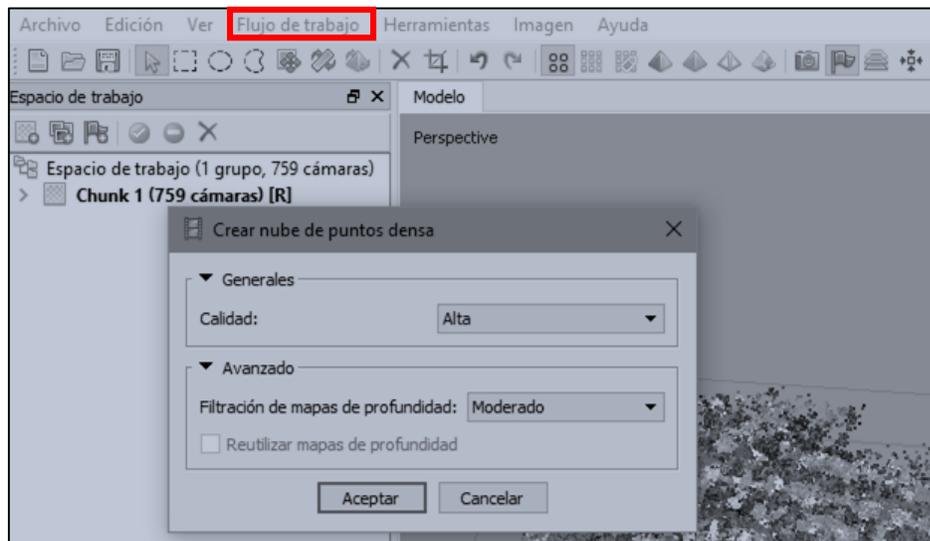


IMAGEN 36 CREAR NUBE DENSA DE PUNTOS

Dar click en “Aceptar” y esperar a que termine el proceso de creación de la nube de puntos densa (este proceso demoró 1 día 3 horas y 25 minutos).

Una vez terminado el proceso, para ver el resultado es necesario dirigirse a la barra de herramientas y seleccionar el botón que dice “Nube densa”.

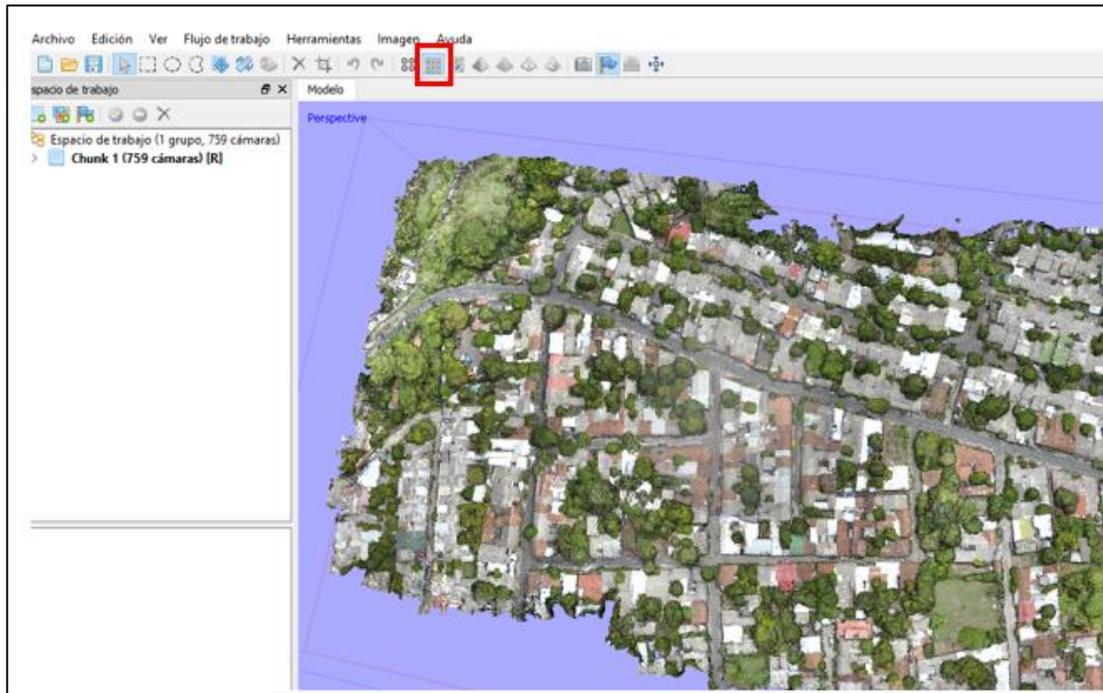


IMAGEN 37 NUBE DENSA DE PUNTOS

❖ PASO 6: *Creación de malla*

Una vez completado los pasos anteriores sólo resta crear el modelo final que sería un modelo de malla. Ir al menú “Flujo de trabajo” después a la opción “Crear malla” y en las opciones de la ventana que se abre, cambiar el tipo de superficie a “bajo relieve/terreno” y en “Datos fuente” cambiar a “nube de puntos densa” en número de caras se puede dejar a conveniencia, si es alta puede tardar un día en completarse.

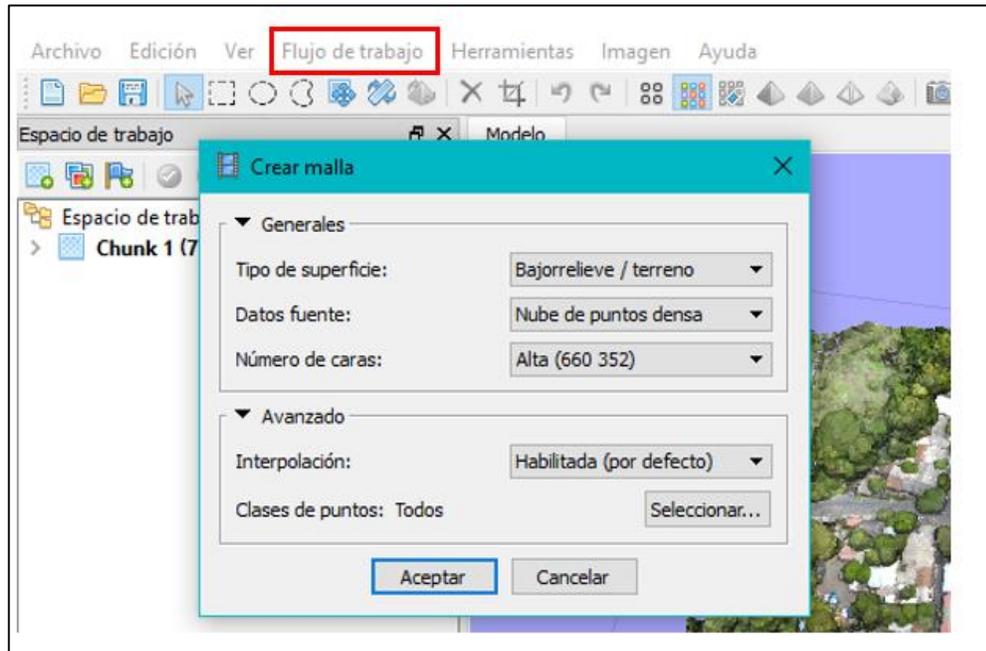


IMAGEN 38 CREACIÓN DE MALLA

Este proceso es tardado y dependerá de la cantidad de puntos que tenga la nube densa.

Se tardó 12 horas en completarse.

❖ PASO 7: Georreferenciar

Una vez hecho lo anterior se georreferenció, con un GPS se tomaron 4 puntos, con longitud, latitud y altitud (x, y, z). y se guardaron en un bloc de notas con extensión “.txt” delimitado por comas.

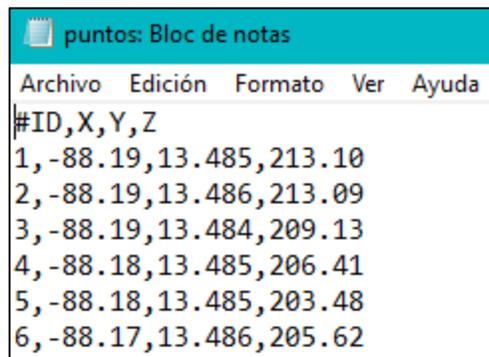


IMAGEN 39 PUNTOS DE CONTROL

Estos puntos se marcaron en el terreno con una cruz o un círculo. Estos se introdujeron de la siguiente manera: buscar la señal del punto, dar click derecho “Crear marcador”, aparece una bandera color azul, en todas las fotografías que contengan ese punto.

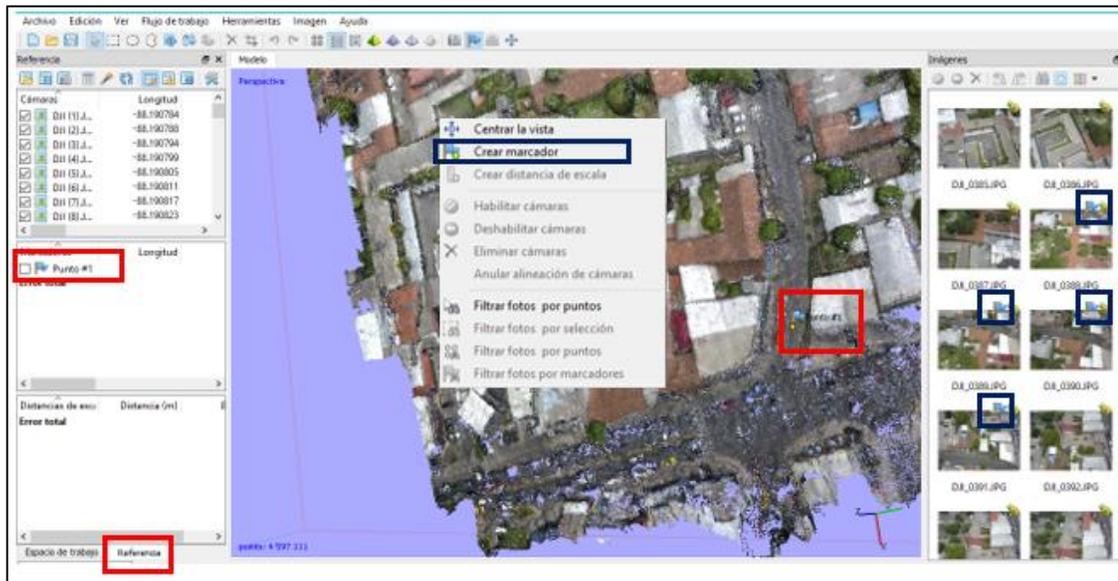


IMAGEN 40 CREAR PUNTO DE CONTROL

Se dio “doble click izquierdo” sobre cada fotografía, y se movió la bandera azul hasta el centro de la marca y se convirtió en una bandera verde, se hizo lo mismo en todas las fotos que tenían la bandera azul. Finalmente volver al modelo.

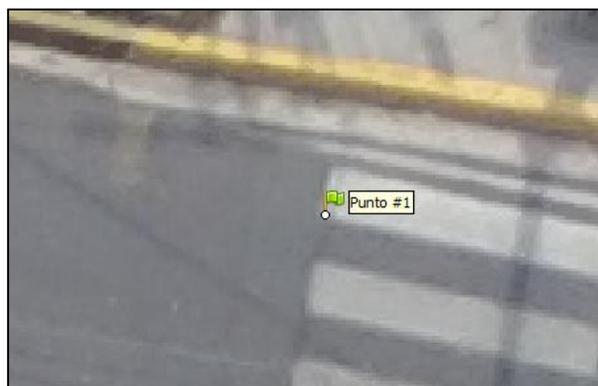


IMAGEN 41 POSICIONAR PUNTO

Para poder exportar estos puntos deben tener el mismo nombre que en el bloc de notas, para ello, hacer doble click izquierdo y cambiar el nombre.

Para importar los puntos se seleccionó “importar”.

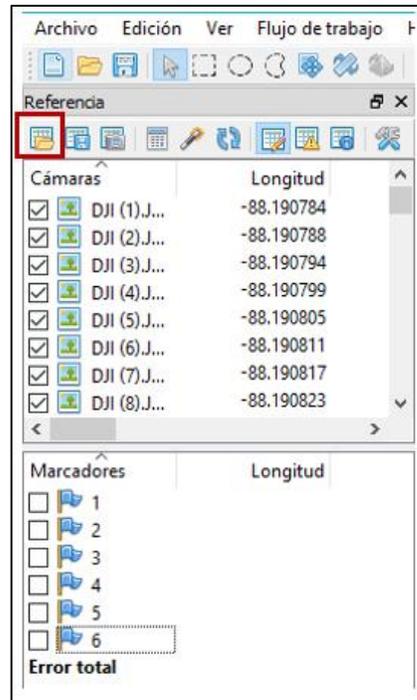


IMAGEN 42 IMPORTAR PUNTOS

Se busco el archivo de bloc de nota y se presionó “Abrir”, se abrirá una nueva ventana en “delimitador” se selecciona “coma” y “aceptar”.

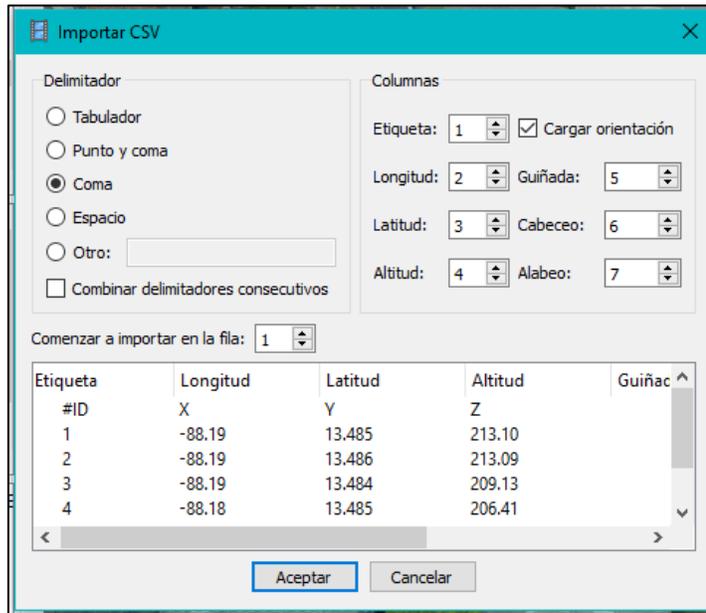


IMAGEN 43 CONFIGURACIÓN DE PUNTOS

❖ PASO 8: *Optimizar*

Primero, se quita la selección de las fotografías, y se activan los marcadores, luego optimizar con el icono “Optimizar” ubicado en la barra “referencia”, luego volver a realizar el **paso 5**. El paso 6 no será necesario realizarlo.

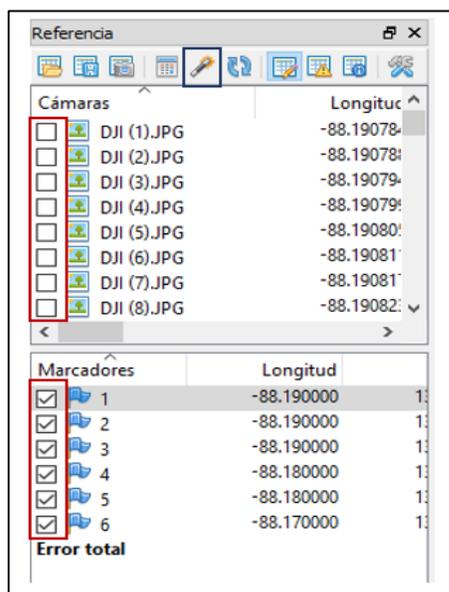


IMAGEN 44 SELECCIÓN DE MARCADORES

❖ PASO 9: Clasificar puntos

La clasificación de puntos se dio en la opción “clases de nube de puntos densa”

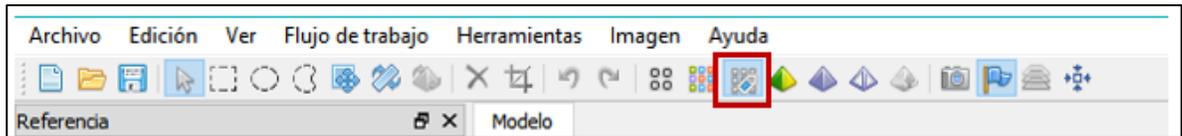


IMAGEN 45 ICONO DE CLASE DE NUBE DE PUNTOS

Luego “Herramientas”, “nube de puntos densa” y “Clasificar puntos del terreno”. Se abrió una nueva ventana en la opción “Desde”, luego se colocaba “creado (nunca clasificado)” se aceptaba, y se obtenían los puntos separados: árboles, obstáculos, terreno entre otros.

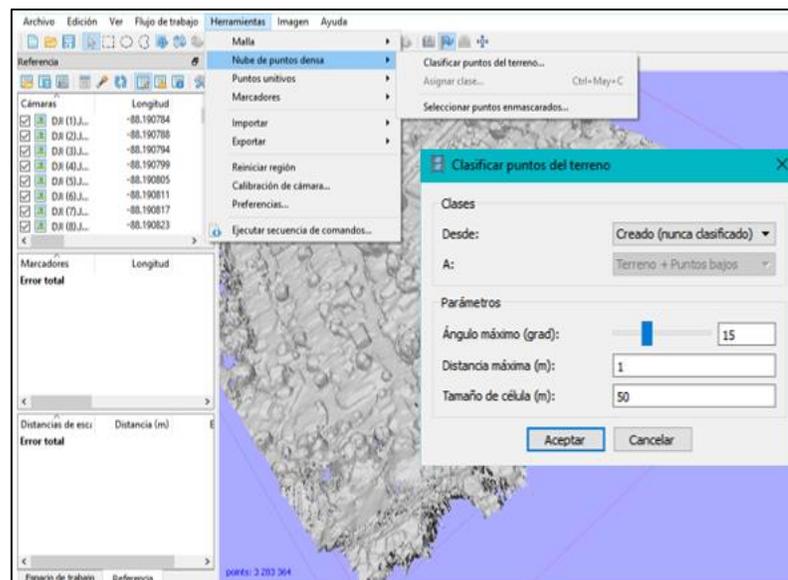


IMAGEN 46 CLASIFICAR PUNTOS POR TIPO DE TERRENO

El resultado son dos distintos colores, el primero de tonalidad blanco que denotaba los puntos eliminados por el programa reconocidos como árboles, estructuras o vehículos y el segundo de color café definía el terreno.



IMAGEN 47 PUNTOS DEL TERRENO NATURAL CLASIFICADOS

❖ PASO 10: *Exportar puntos*

Para la exportación de puntos del terreno, se seleccionó “archivo” “exportar puntos” se digitaba el nombre del archivo como “Terreno Natural” en formato “.las” y se guardaba. Se abría una ventana en sistema de coordenadas, para seleccionar “WGS 84/UTM zone 16N (EPSG:32616)”, y en “Clases de puntos” en “seleccionar”, se abría otra ventana, en esta se desmarcaron todas las casillas, a excepción donde dice “terreno” y finalmente se proseguía en “aceptar” y “aceptar”.

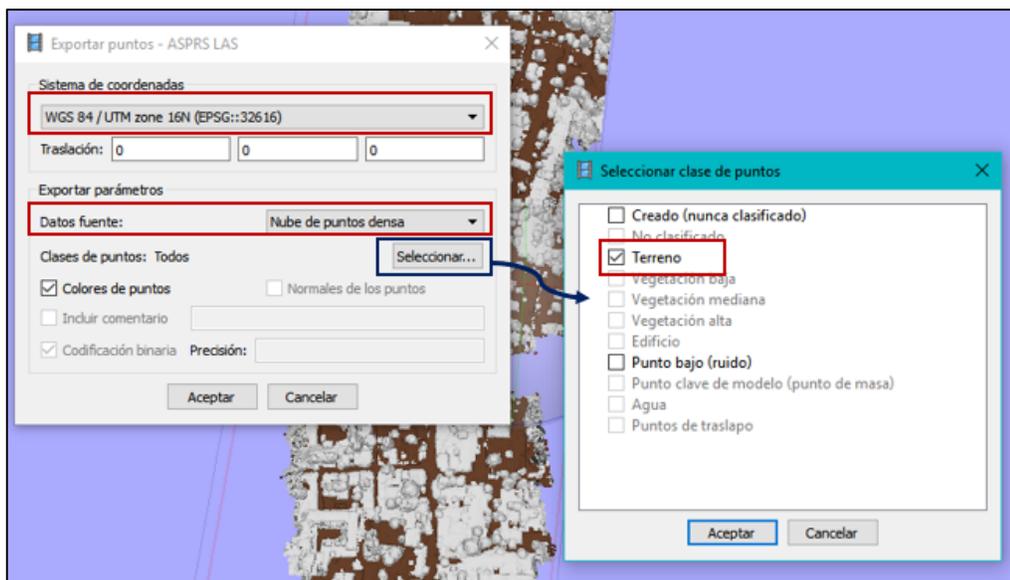


IMAGEN 48 EXPORTAR PUNTOS

Los puntos se encontraban listos para ser utilizados en civil 3D.

❖ PASO 11: *Exportar ortofoto*

Para la exportación de la ortofoto, se seleccionó “archivo” “exportar ortofoto” y luego “exportar imagen JPEG/TIFF/PNG...” en “tipo” se eligió “Geografía”, y se buscó el tipo de coordenadas para El Salvador que sería el “WGS 84/UTM zone 16N (EPSG:32616)”, por último se buscaba la carpeta de destino y se guardaba con un nombre de “Ortofoto_8^a_Calle_Poniente”.

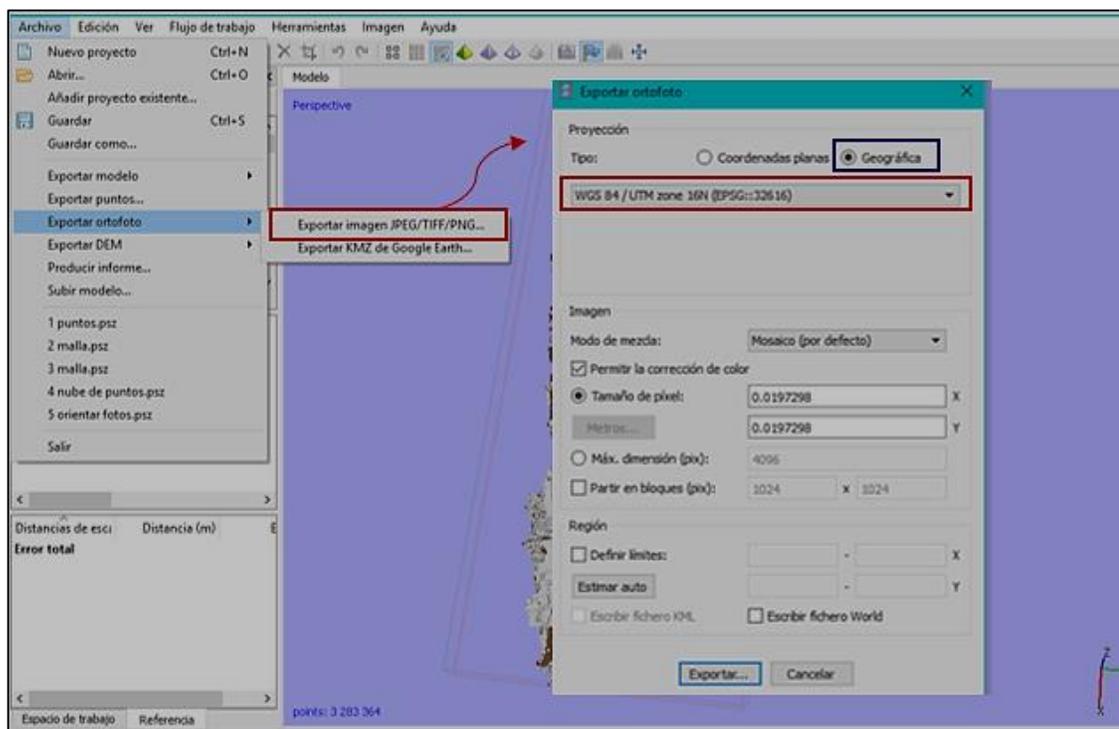


IMAGEN 49 EXPORTAR ORTOFOTO

Finalmente, el archivo se convertía en formato .tif y finalizaba el uso del software.

4.2.1.3 Uso de civil 3D

❖ *Importar ortofoto*

Para la importación de la ortofoto, primero se abría civil 3D, y se elegía la opción “Planning and Analysis”. Se seleccionaba la pestaña “insert” para que luego se buscara la opción “Image”. Se busco la carpeta donde se guardó la ortofoto para seleccionarla y luego se oprimió en “aceptar”. Apareció una ventana a cual solo se debía aceptar. Este proceso demoro algunos minutos. Luego, se cambiaba de “Planning and Analysis” a “Civil 3D”.

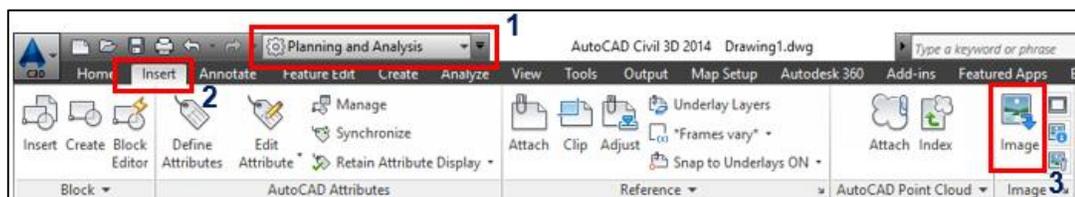


IMAGEN 50 IMPORTAR ORTOFOTO

Se seleccionaba la ortofoto, y se verificaba si estaba activado “Show Image” y “Background Transparency”; si no lo estaban, se debía activar.

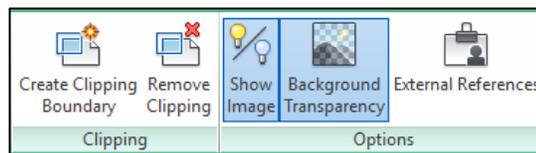


IMAGEN 51 FONDO TRANSPARENTE

❖ *Importar nube de puntos del terreno natural*

Para importar la nube de puntos del terreno natural, se buscó “Prospector”, clic derecho en “Point Clouds” y se añadió la nube de puntos seccionando “Create Point Clouds” se le asigno un nombre “Nube TN”, y se daba clic en siguiente, en formato

de nube de puntos se eligió “LAS” y el botón con el símbolo “más”, se agregó la nube eligiendo la carpeta donde se guardaba el archivo de PhotoScan. En coordenadas del sistema se elegía “El Salvador”, se seleccionaba “ok” y por último en “Finish”.

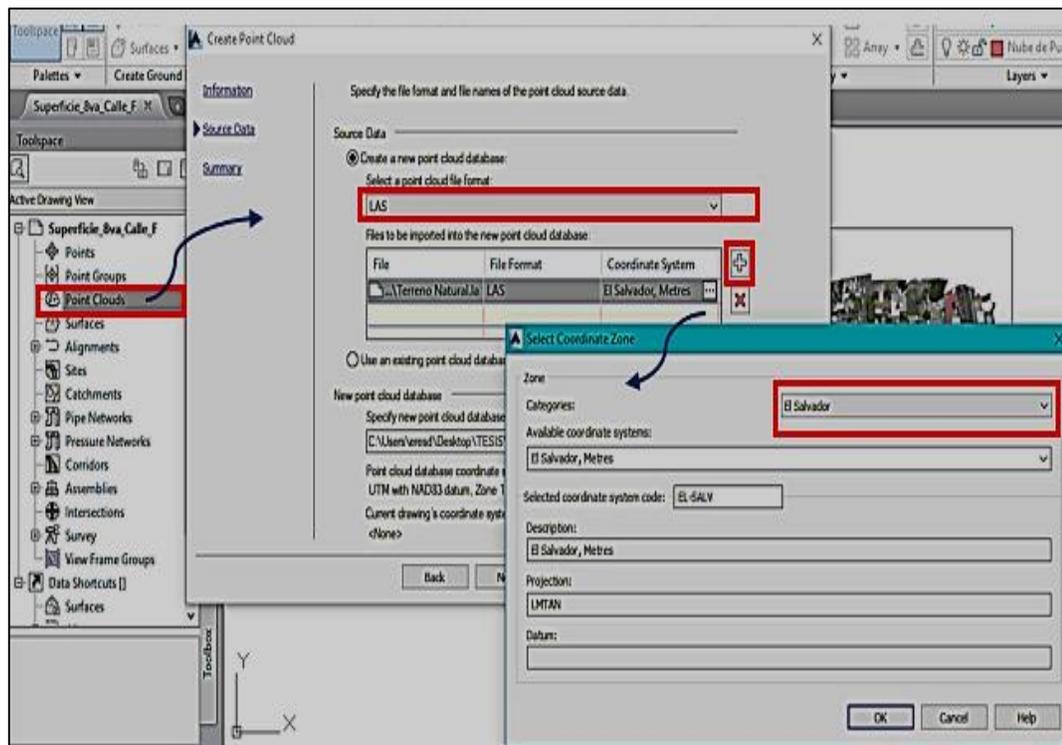


IMAGEN 52 EXPORTAR NUBE DE PUNTOS DEL TERRENO

❖ *Crear superficie del terreno*

Para la creación de la superficie y de las curvas de nivel, se comenzaba presionando botón derecho en la nube de puntos creada “Nube TN” y se selecciono “Add Points to Surface”. En la ventana que se abría, se colocaba un nombre “Terreno Natural”, y se elegía el tipo de curvas “Contours 1m and 5m (Background)” para presionar “finish”.

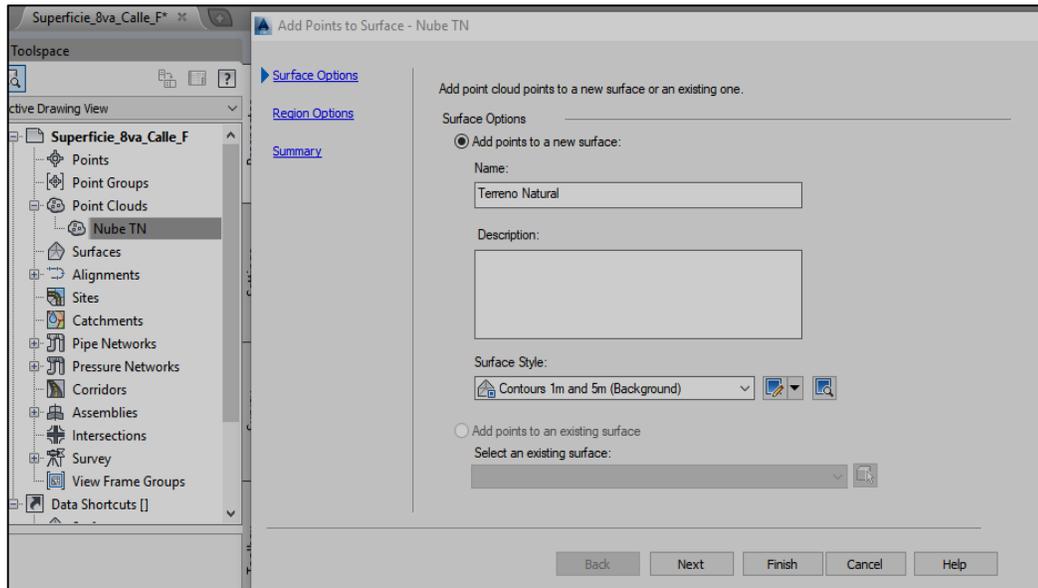


IMAGEN 53 CREAR SUPERFICIE

❖ *División de lotes, calles y aceras*

Para la obtención de las áreas de urbanización del área en estudio, se sacó provecho del plano urbano de toda la ciudad de San Miguel, proporcionado en el “Centro de Gobierno Municipal de San Miguel”. Se delimitaba la zona con polilíneas en plano que se solicitó, luego se copiaba el área de estudio, y finalmente, se pegaba en los planos que se generaban para este documento, manteniendo las coordenadas XY, ver plano general: **plano 33/33**.

4.2.2 Simulación hidráulica

4.2.2.1 Uso de civil 3D

❖ *Creación de alineamiento horizontal de la 8.ª calle poniente*

❖ **PASO 1: Creación de alineamiento**

En la sección de diseño, se seleccionó la opción “Alignment” dicha opción abrió una pestaña con más opciones en la cual se seleccionaba “Alignment Creation Tools”.

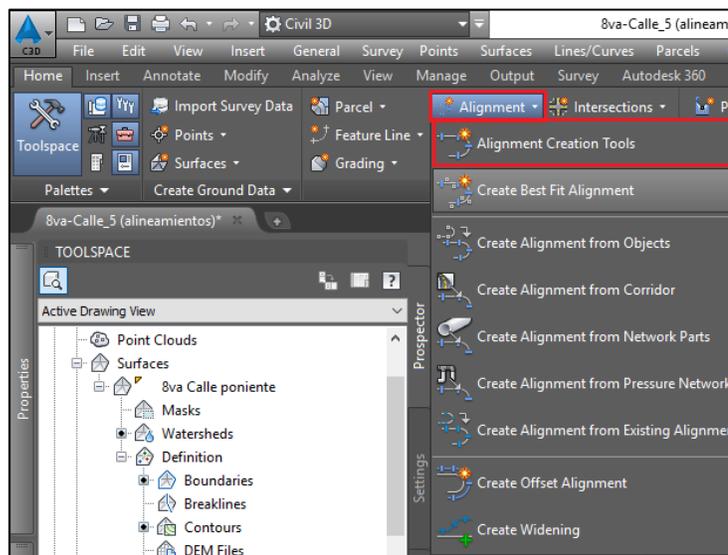


IMAGEN 54 CREACIÓN DE ALINEAMIENTO

❖ **PASO 2: Trazado del alineamiento**

En este paso, se editaban los valores que se asignaban al alineamiento como, el nombre del mismo, las etiquetas que se le colocaban, entre otros. Aparecía una pestaña en la cual se elegía como se deseaba el alineamiento y se seleccionaba “Tangent- Tangent (Whit curves)”. Luego de esto procedía trazar el alineamiento en

todas las calles y pasajes que afectaran la zona de estudio guiados por la división de lotes, calles y aceras de los pasos anteriores.

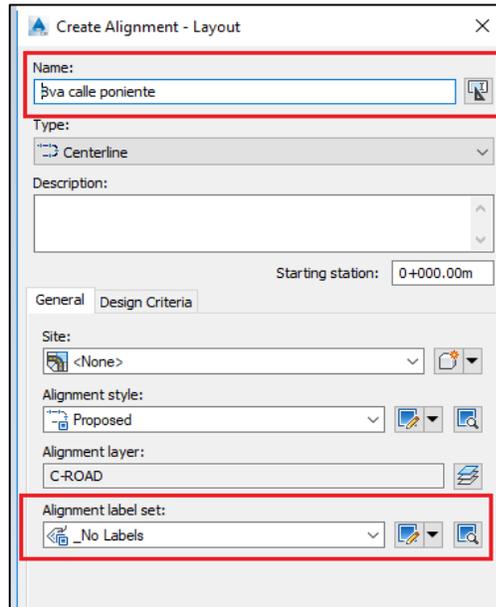


IMAGEN 55 NOMBRE DEL ALINEAMIENTO

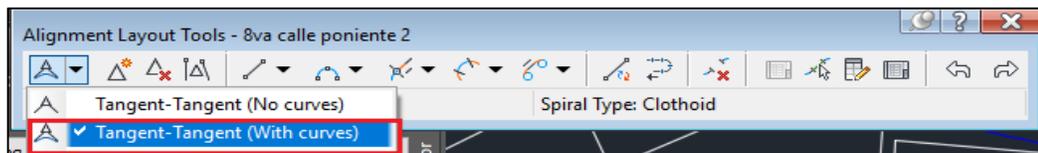


IMAGEN 56 ALINEAMIENTO CON CURVAS

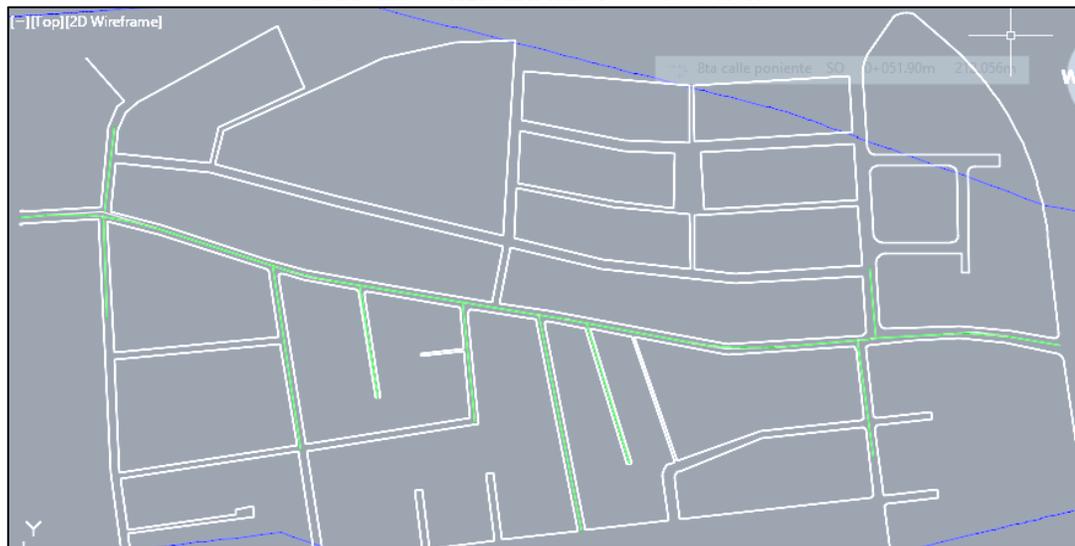


IMAGEN 57 TRAZADO DE ALINEAMIENTOS HORIZONTALES

❖ *Creación de perfil de la 8.ª calle poniente*

❖ **PASO 1: Creación de alineamientos verticales**

Como primer paso se dirigía a la barra de herramientas en donde se seleccionaba la opción “Profile” y luego se oprimía en “Create Surface Profile”. Posterior a ello se seleccionaba de que alineamiento se deseaba realizar el perfil, se seleccionaba el de la “8.ª calle poniente”, después de ello se agregaba con la opción “Add” y por último se seleccionaba la opción “Draw in profile view”.

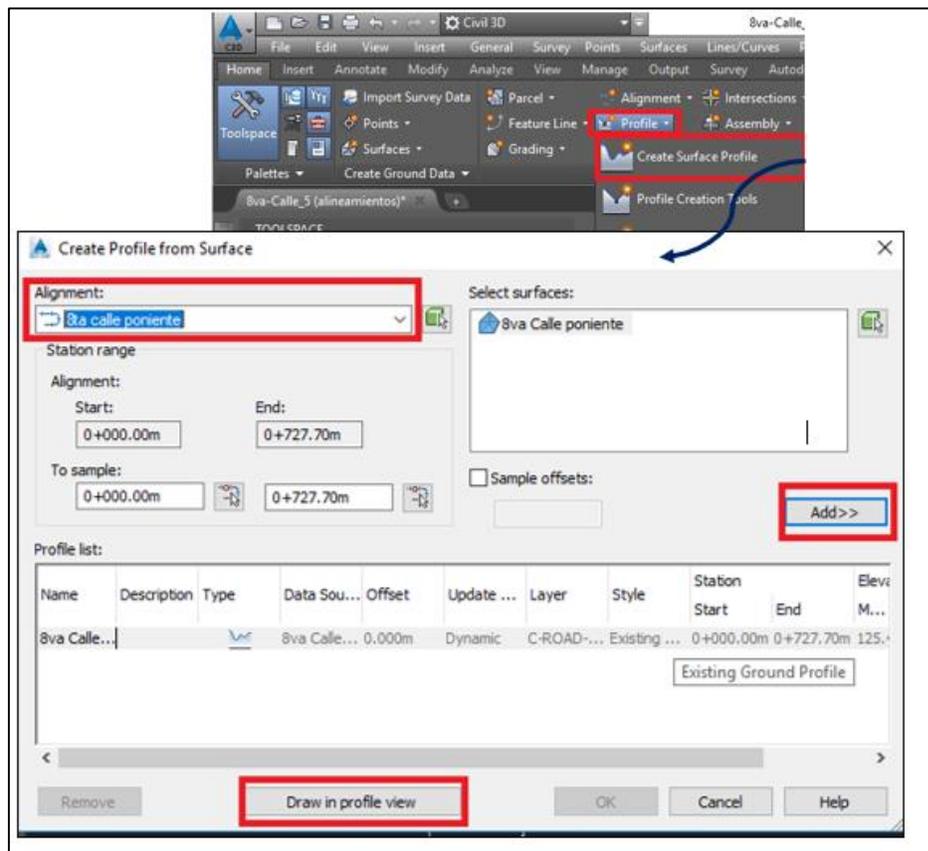


IMAGEN 58 CREACIÓN DE PERFIL

❖ PASO 2: Edición de alineamientos verticales

Se abría una ventana en la cual se asignaban las propiedades de cómo desea que se vea el perfil, por lo tanto, se asignaba el nombre que se mostraría arriba del perfil, después de ello se oprimía en “Siguiente”, y se editaba la escala horizontal y vertical del perfil. Por último, se seleccionaba “Create Profile View” y se colocaba donde se deseaba el perfil.

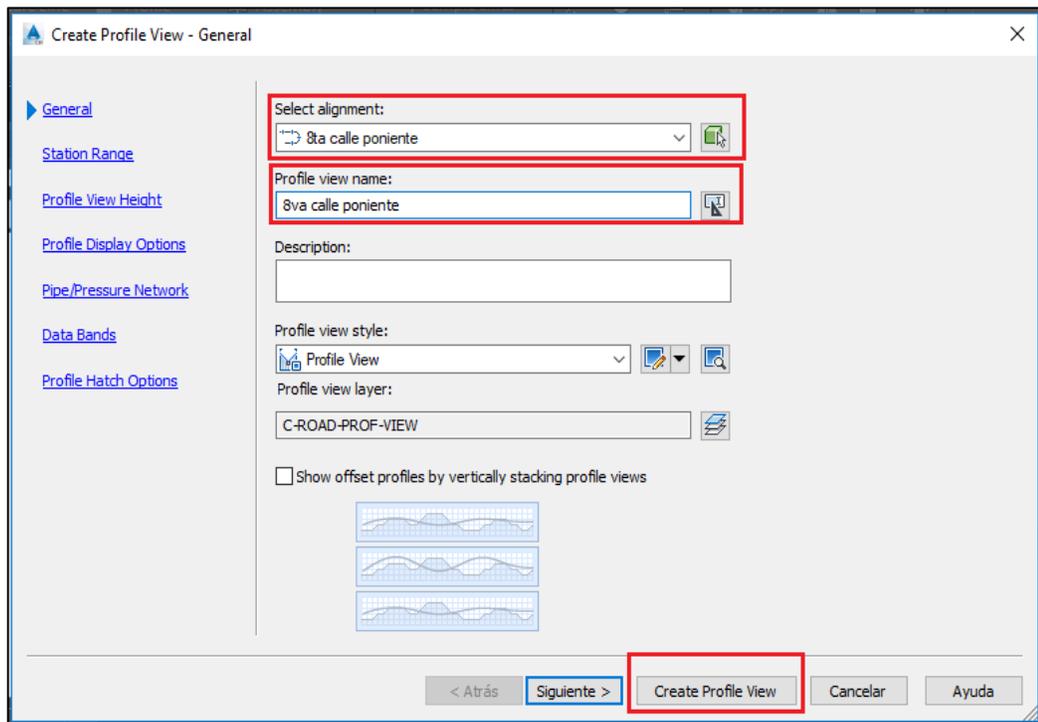


IMAGEN 59 EDICIÓN DE ALINEAMIENTO VERTICAL

❖ *Crear secciones*

➤ *Crear ensamble*

❖ PASO 1: Crear ensamble

En la barra superior se seleccionaba la opción “Corridors” como se observa en la imagen, luego se seleccionaba la opción “Create Assembly”, al elegir dicha opción se abría una nueva ventana en la cual se asignó el nombre y las propiedades que se deseaban para el ensamble, por último, se elegiría en la opción “OK”

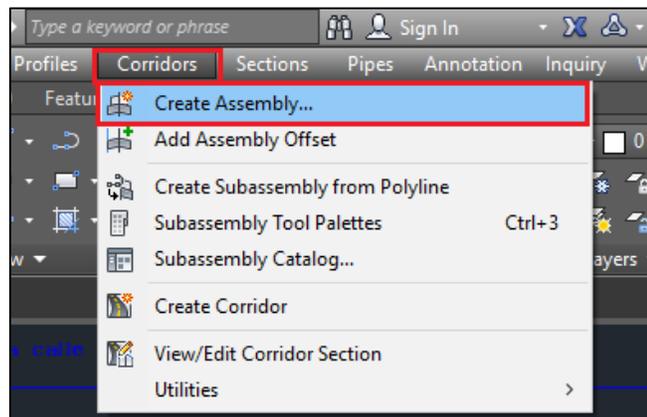


IMAGEN 60 CREAR ENSAMBLE

❖ PASO 2: Elementos del ensamble

Al realizar el paso anterior se crearía el corredor del derecho de vía, primero aparecería una figura como la que se muestra en la imagen de abajo, se elegía la opción “Tool Palette” y abría una ventana en la cual se oprimía en la opción que dice “Lines” que está ubicada al costado izquierdo, se mostraban varios tipos de carriles y se seleccionaba el primero. Aparecía la ventana de propiedades en la cual se editaron las propiedades del carril como: longitud, grosor y el lado del carril que se deseaba agregar. Por último, se oprimía sobre la línea vertical del ensamble y se agregaba el carril derecho e izquierdo respectivamente.

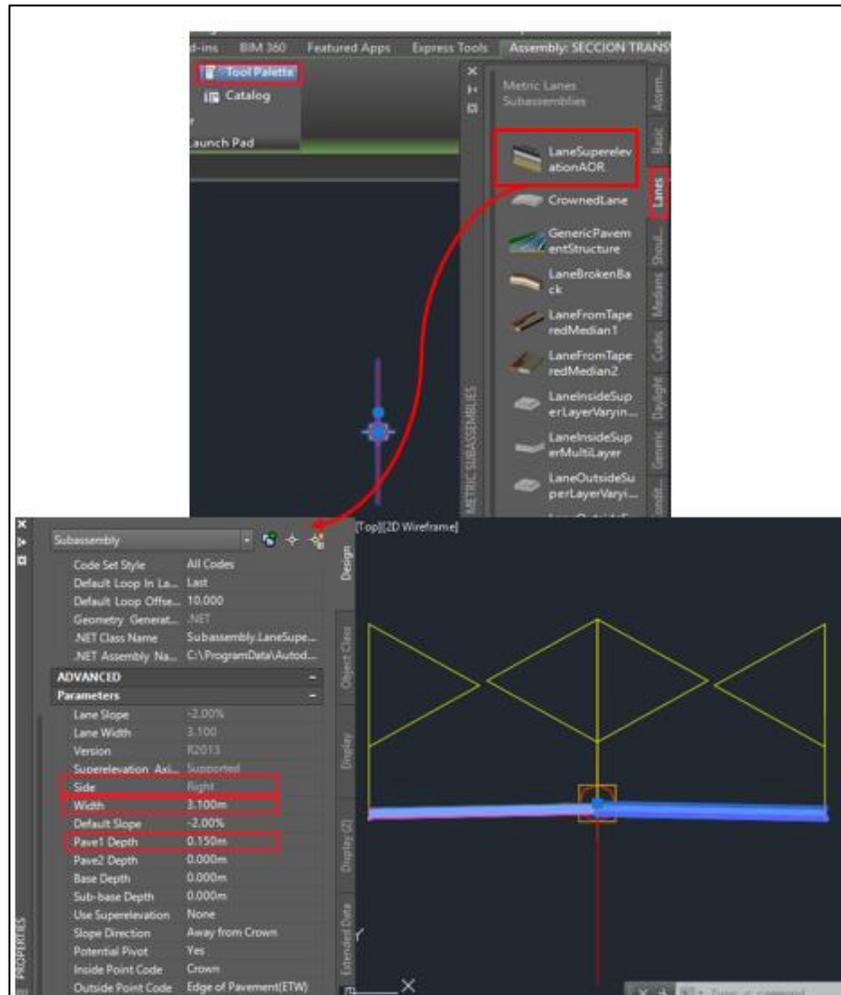


IMAGEN 61 CARRIL DERECHO E IZQUIERDO

❖ PASO 3: Bordillo o cuneta

Después de haber agregado los carriles, se procedía a agregar el bordillo o cuneta al ensamble, se seleccionaba la opción “Curbs”, se oprimía sobre la primera opción que se muestra y luego se colocaba sobre el cuadro rojo que se muestra en la imagen inferior, había un cuidado para colocarlo exactamente en la posición indicada, se modificaban las propiedades de acuerdo a lo que se deseaba y por último se agregaba el del lado derecho.

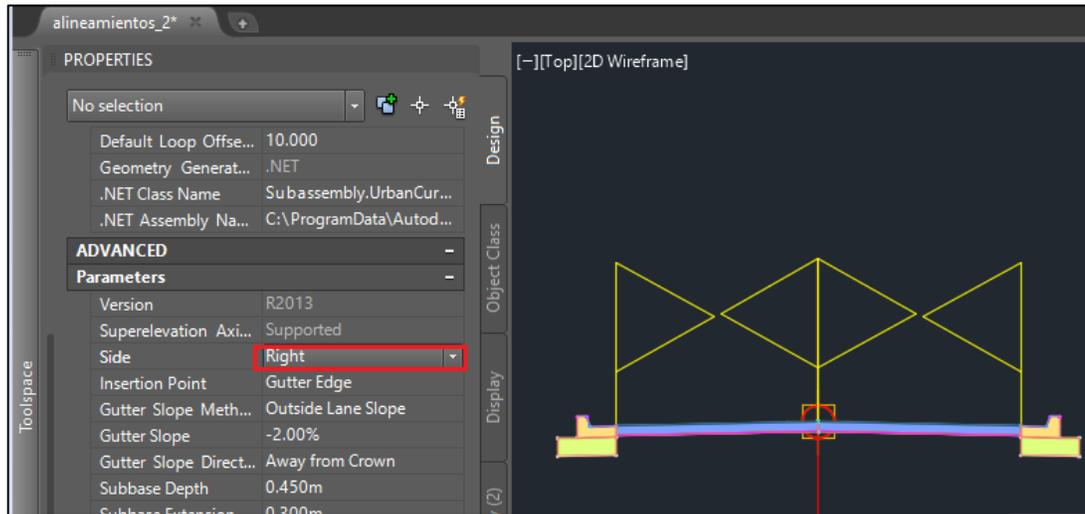


IMAGEN 62 DISEÑO DE CUNETA

➤ Crear corredor

Para la creación del corredor, se seleccionaba el icono de “Corredor” en la barra de herramientas, aparecía una ventana en la cual se asignaba el nombre, el alineamiento, el ensamble del cual se deseaba hacer el corredor y la superficie, después de editar esos parámetros se oprimía en “OK”.

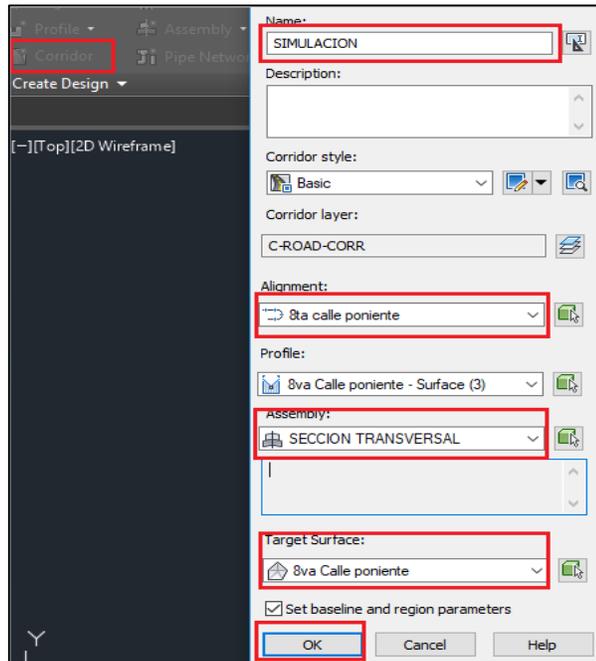


IMAGEN 63 CREACIÓN DE CORREDOR

➤ Crear líneas de muestreo cada 20 m

❖ **PASO 1: Creación de líneas de muestreo cada 20 m**

Se seleccionaba la opción “Sections” en la barra de herramientas, luego se seleccionaba la primera opción “Create Sample Lines”, se presiono la tecla “Enter” y aparecía una ventana emergente en la cual se seleccionaba el alineamiento en este caso el de “8.ª Calle Poniente”, finalmente se oprimía en “OK”

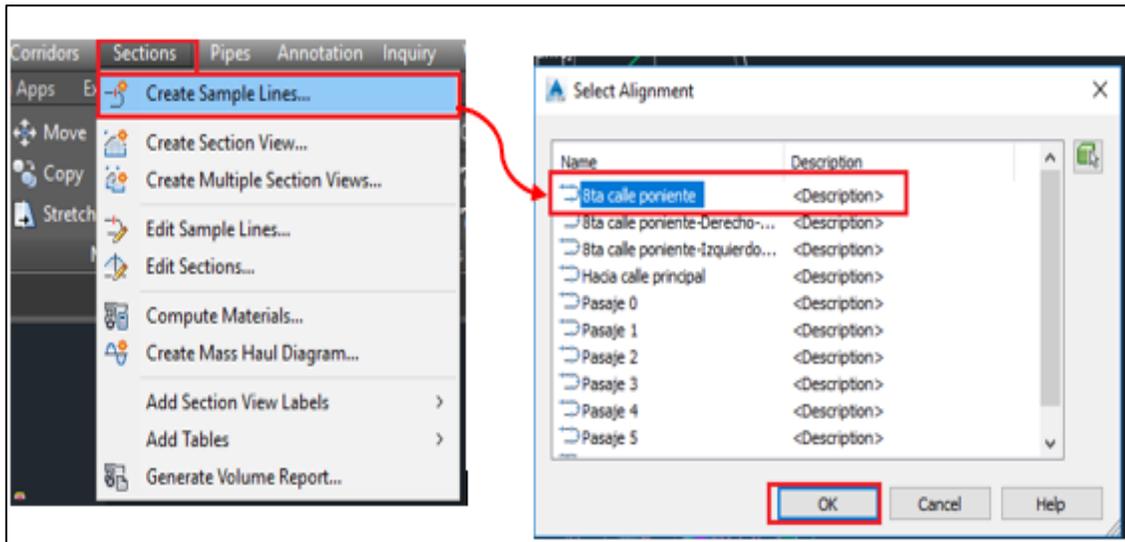


IMAGEN 64 CREACIÓN DE LÍNEAS DE MUESTREO

❖ PASO 2: Edición de líneas de muestreo

En la ventana “Create Sample Line Group”, se editaban las opciones según eran convenientes, luego se cambiaba el estilo de la opción que se muestra en la imagen inferior a “Finished Ground” y se oprimía en “OK”.

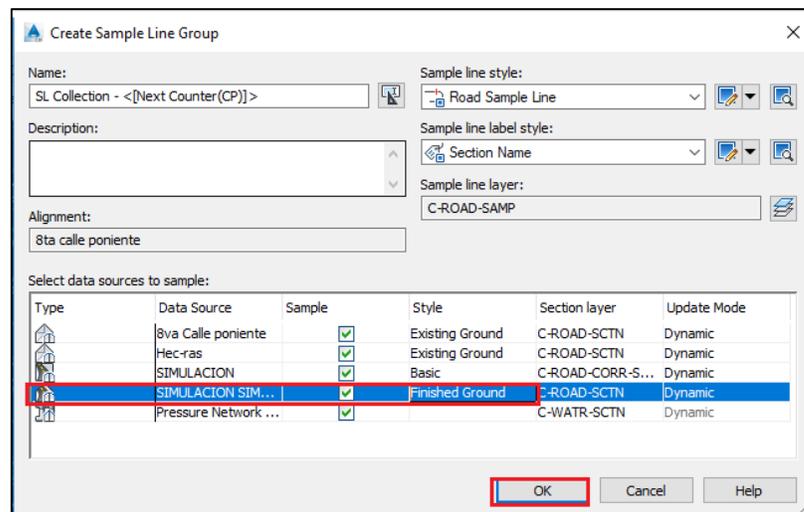


IMAGEN 65 EDICIÓN DE ESTILO

❖ PASO 3: Edición de propiedades de líneas de muestreo

Aparecía una barra de herramientas emergente en la cual se seleccionaba el icono que se muestra en la figura, y se seleccionaba la primera opción “By range of stations.” Se abría una ventana emergente en la cual se modifican las propiedades, tal y como se muestra en la **imagen 57**, y se da clic en “OK.”

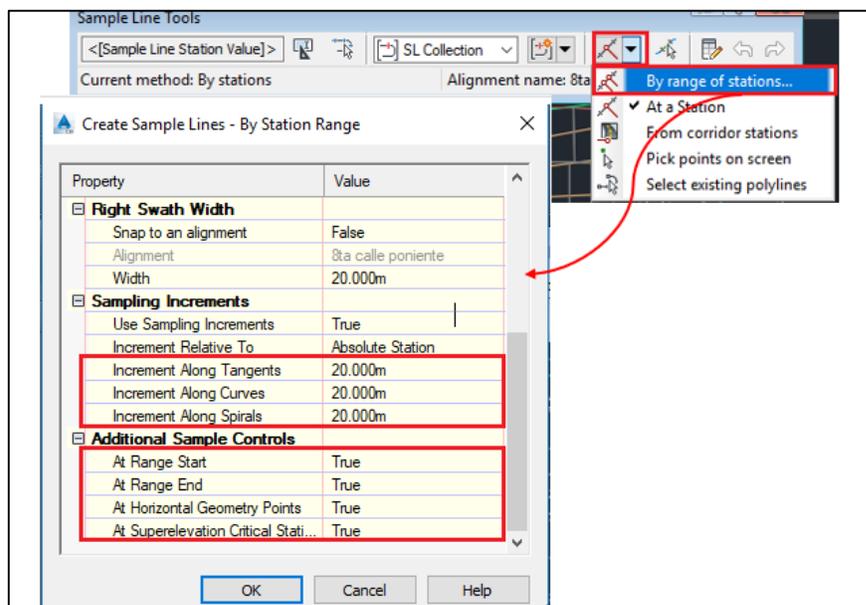


IMAGEN 66 EDICIÓN DE PROPIEDADES DE LÍNEAS DE MUESTREO

➤ Crear secciones cada 20 m

❖ PASO 1: Creación de secciones

Para la creación de las secciones, se buscaba la opción “Sections” en donde aparecían varias opciones, se seleccionaba la opción “Create Multiple Section View”. Aparecía una ventana en la cual se editaban los parámetros mostrados en la imagen inferior, En el estilo de vista se seleccionaba “Land Desktop Sections”, por último, se presionaba clic en “Next”.

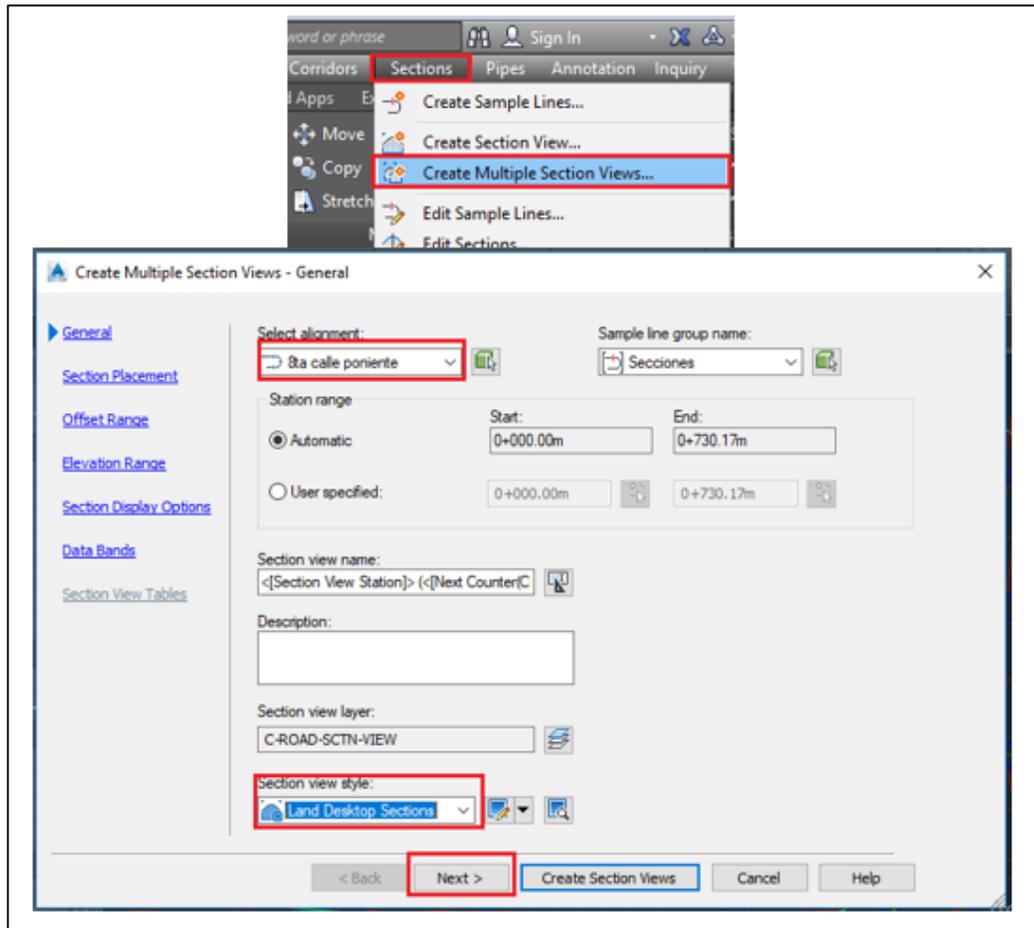


IMAGEN 67 CREACIÓN DE SECCIONES

❖ PASO 2: Edición de vistas de secciones

Para la edición de las vistas se empezaba por buscar en la ventana emergente la opción “Basic”, la cual se editaba dando clic sobre ella, aparecía otra ventana en la cual, se seleccionaba la opción “Array”, se editaron los parámetros mostrados en la imagen inferior, al realizar dichas acciones, se oprimía en “Aceptar”. Por último, se revisaban los elementos por si existían cambios y se seleccionaba sobre “Create Section Views”, al finalizar solo bastaba en elegir la posición que ocuparían.

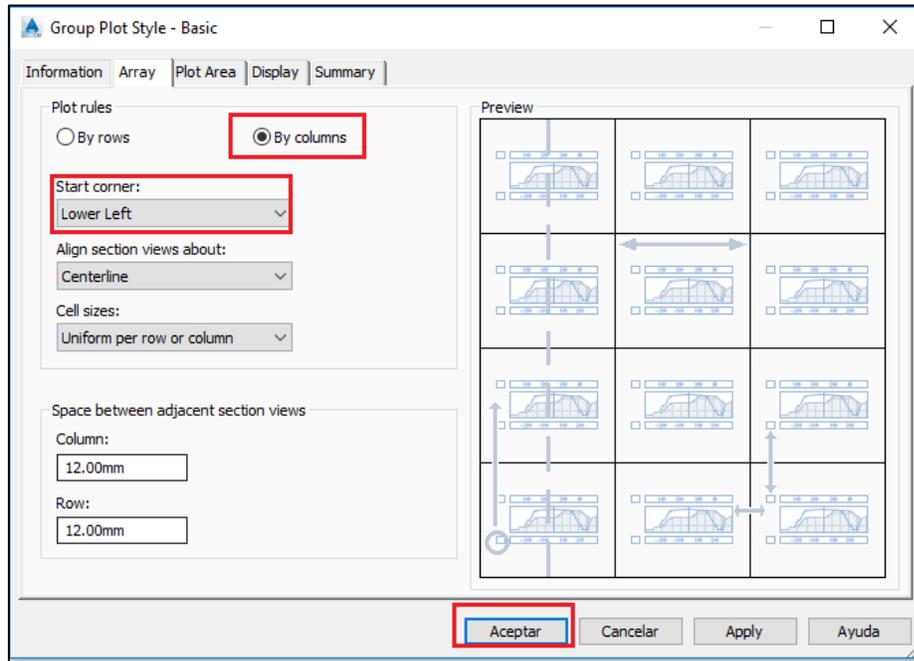


IMAGEN 68 EDICIÓN DE VISTA DE SECCIONES

❖ *Exportar alineamiento a HEC-RAS*

Para la exportación del alineamiento, se procedía a exportar los datos de Civil 3D a HEC-RAS, lo cual es necesario tener el programa de HEC-RAS instalado previamente. Si el programa se encontraba instalado en la misma plataforma de trabajo, AutoCAD Civil 3D lo reconoce y crea un acceso directo para exportar los datos en la pestaña de “Output”.

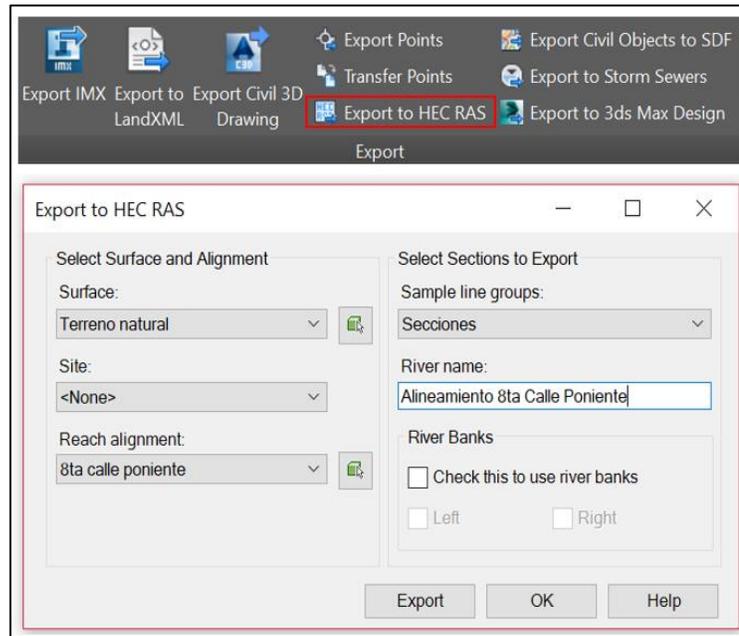


IMAGEN 69 EXPORTAR A HEC-RAS

Dentro de la pestaña se buscaba la viñeta de “Export” y por último “Export to HEC-RAS”. Antes de la exportación, era necesario corroborar los datos que se exportaran pertenezcan al área de estudio, por último se seleccionaba “Export” y el programa lo convertía en un archivo “.geo”.

❖ *Creación de parteaguas*

❖ **PASO 1: Editar estilo de superficie**

Primero se dirigían a propiedades en el costado izquierdo de la pantalla, se buscaba la opción “Superficie”, luego de ello, se seleccionaba la superficie que se deseaba editar, en este caso “8.ª calle poniente”, se daba clic derecho y por último se daba clic sobre “Editar estilo de superficie”. Aparecía una ventana emergente en la cual, se seleccionaba la opción “Visualización”, para activar las opciones de “Borde”,

“Curvas mayores”, “Curvas menores”, “Triángulos” y “Slope arrows”. Por último, se dará clic en “Aplicar” y “Aceptar”.

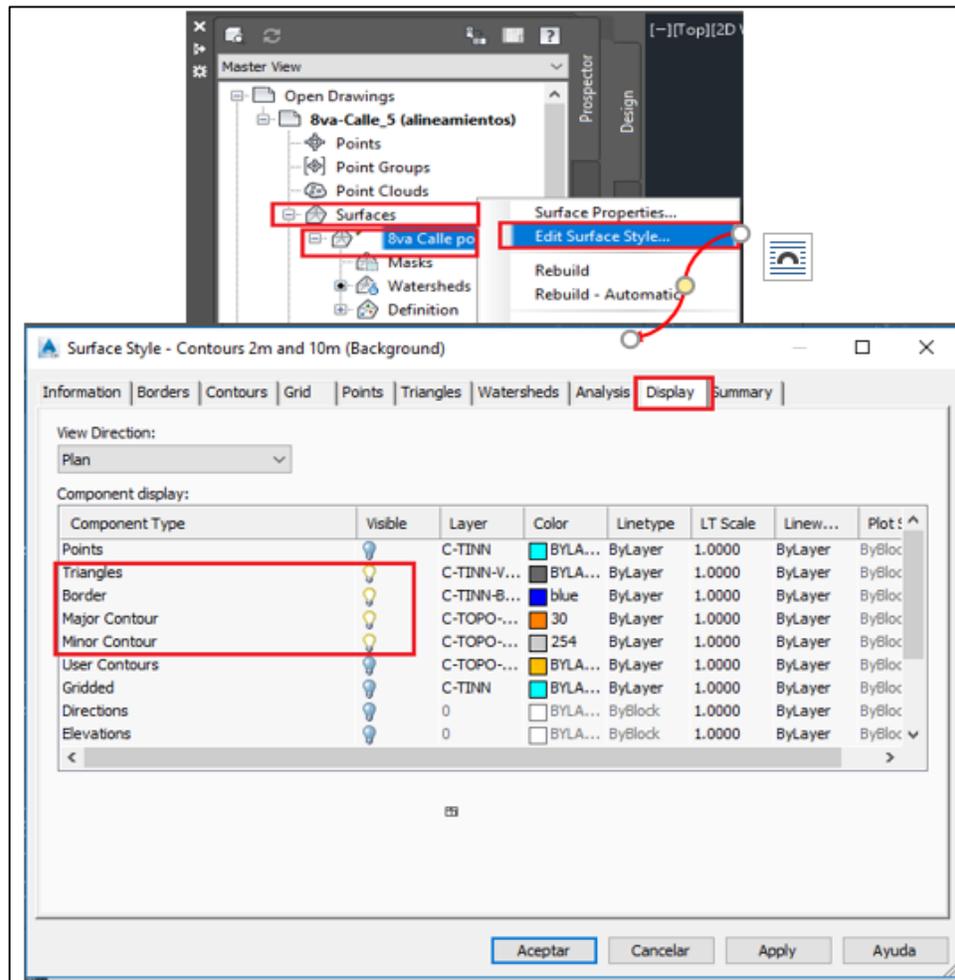


IMAGEN 70 EDICIÓN DE ESTILO DE SUPERFICIE

❖ PASO 2: Moldear el parteaguas

Se procedía a moldear el parteaguas de acuerdo a la dirección de las flechas, dando clic sobre el borde, lo cual aparecía otras opciones en la barra superior. Se daba clic sobre “Editar superficie” y luego “Eliminar líneas”, se eliminaban de acuerdo a lo mencionado anteriormente.

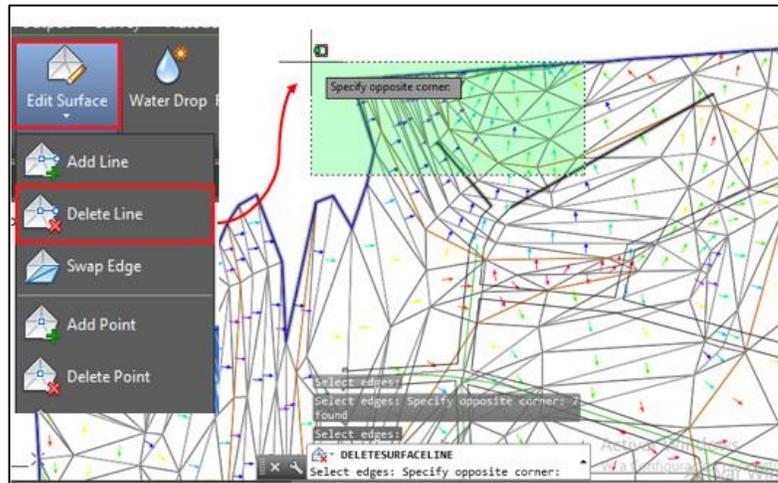


IMAGEN 71 MOLDEADO DEL PARTEAGUAS

4.2.2.2 Cálculo de caudales

❖ *Estimación de Caudales Máximos*

Para la determinación de los caudales máximos que se presentaban en diferentes períodos de retorno se utiliza el **Método Racional** ya que este es el que mejor se adapta a las condiciones que presenta el área objeto de estudio.

El Método Racional presentaba varias fórmulas que depende las unidades con las cuales se esté tratando, para el estudio se utiliza la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{CIA}{3600}$$

Dónde:

Q = Caudal en litros por segundo l/s

C = coeficiente de escorentia (adimencional)

i = cantidad de lluvia en milímetros por hors mm/h

A = superficie en metros cuadrados m^2

❖ *Período de Retorno*

Para la estimación de los caudales para la presente investigación se usaron períodos de retorno de 2, 5, 10 y 25 años.

❖ *Determinación de Coeficiente de Escorrentía*

Para la estimación de los coeficientes de escorrentía para las diferentes superficies que presenta el área objeto de estudio se utilizaron la **tabla 5**: Datos obtenidos de SNET (Sistema Nacional de Estudios Territoriales) ahora el Observatorio Ambiental (**Ver Tabla 3**). Los Datos de los Coeficientes de Escorrentía que se utilizaron en este caso son:

Coeficiente de escorrentía (C)				
Superficie	Período de Retorno (años)			
	2	5	10	25
Asfato	0.73	0.77	0.81	0.86
Concreto/techo	0.75	0.80	0.83	0.88
Zonas verdes	0.25	0.28	0.30	0.34

TABLA 5 COEFICIENTES DE ESCORRENTÍA

NOTA: para los valores de zonas verdes se tomaron a consideración lo siguiente:

- Condición promedio (cubierta de pasto del 50 al 75% del área)
- Terreno plano 0 - 2%

❖ *Intensidades de Lluvia*

Las intensidades de lluvia se calcularon a partir de las curvas de Intensidad Duración y Frecuencia (IDF) proporcionadas por el MARN (Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales) (Ver Anexo 2), para una duración de 60 minutos. Las intensidades de Lluvia que se utilizaron para este caso son las siguientes:

Intensidades de Lluvia (I)		
Período de Retorno (años)	Intensidad mm/min (60 min)	mm/h
2	0.75	45.00
5	1.00	60.00
10	1.15	69.00
25	1.38	82.80

TABLA 6 INTENSIDADES DE LLUVIAS

❖ *Área de Análisis*

Para el cálculo de las áreas que se utilizaron para la estimación de los caudales se utilizó el mapa de la distribución de lotes, calles y aceras de San Miguel proporcionado por el Departamento de Ingeniería de la Alcaldía Municipal de San Miguel. Las áreas que se utilizan son las siguientes:

Área de Análisis (A)			
Superficie	Área (m2)	Área (km2)	Área (ha)
Techo	67772.01	0.07	6.78
Jardín	45181.34	0.05	4.52
Calles	14208.07	0.01	1.42
Aceras	11584.77	0.01	1.16

TABLA 7 ÁREAS DE ANÁLISIS

NOTA: para las viviendas se usó el siguiente criterio:

- 60% del total del área es considerada de techo
- 40% del total del área es considerada de jardín

❖ *Cálculos de Caudales*

Tipo de Superficie: Techo

Período de retorno: 2 años

$$Q = \frac{CIA}{3600}$$

$$Q = \frac{(0.75)(45 \frac{\text{mm}}{\text{h}})(67772.01 \text{ m}^2)}{3600}$$

$$Q = \left(635.36 \frac{\text{l}}{\text{s}}\right) * \left(\frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}}\right) = \mathbf{0.64 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}$$

Para los demás caudales se hace el mismo procedimiento dando como resultados los siguientes:

Período de Retorno	Caudales (m3/s)			
	2	5	10	25
Techo	0.64	0.90	1.08	1.37
Jardín	0.14	0.21	0.26	0.35
Calles	0.13	0.18	0.22	0.28
Aceras	0.11	0.15	0.18	0.23

TABLA 8 CAUDALES MÁXIMOS

Cantidad mínima que se necesita para que la tubería existente colapse

$$Q_{max} = 2.23 \text{ m}^3/\text{s}$$

Diámetro de la tubería= 24 pulg \approx 0.6096 m = 60.96cm

➤ Calcular área de la tubería

$$A = \pi * r^2$$

Donde:

A = Área

r = Radio

$$A = \pi * r^2$$

$$A = \pi * (0.3048 \text{ m})^2$$

$$A = 0.2919 \text{ m}^2$$

Se considera que una tubería de 24" genera una velocidad para el periodo de retorno de 2 años 0.9 m/s con intensidad de 0.75 mm/min y para el periodo de retorno de 25 años 1.1 m/s con intensidad de 1.38 mm/min .

$$Q = V * A$$

Donde:

A = Área

V = Velocidad

$$Q = V * A$$

$$Q = 1.1 \text{ m/s} * 0.2919 \text{ m}^2$$

$$Q = 0.3211 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para determinar el caudal máximo para que empiece a inundarse, se hizo el uso de una interpolación de tres datos:

$$1.38 \text{ mm/min} \rightarrow 2.23 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$X \text{ mm/min} \rightarrow 0.3211 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\frac{1.38}{2.23} = \frac{X}{0.3211}$$

$$\frac{(1.38)(0.3211)}{2.23} = X$$

$$0.1987 \text{ mm/min} = X$$

En conclusión, el caudal máximo que se necesita para que la tubería no de abastecimiento a desalojar el agua es de $0.3211 \text{ m}^3/\text{s}$, el resto de caudal se va acumulando formando la inundación la intensidad mínima que se necesita es de 0.1987 mm/min .

4.2.2.3 Cálculo de pendiente media

La pendiente media, se calculaba con la diferencia de la máxima altura del cauce y la mínima altura, dividida entre la distancia total. Dato que fue necesario en HEC-RAS.

$$\text{Pendiente Media} = \frac{\text{altura maxima del cauce} - \text{altura minima del cauce}}{\text{longitud del cauce}}$$

$$\text{Pendiente Media} = \frac{147.48 \text{ m} - 129.69 \text{ m}}{728 \text{ m}} = 0.024436 \approx 2.44\%$$

4.2.2.4 Uso de HEC-RAS

❖ *Crear proyecto*

Antes de crear una simulación del objeto de estudio, en el programa de HEC-RAS se debe crear una carpeta exclusiva para el proyecto, esto con el fin que el programa va creando archivos durante la ejecución del mismo y los va guardando en la misma ubicación, si uno de estos archivos se encuentra fuera de la carpeta, el programa no lo reconocerá inmediatamente cuando se reanude la simulación.

Primero se deja claro las unidades, el programa por defecto demuestra las estadounidenses, por lo que en la pestaña de “options” se cambiaron las unidades a métricas internacionales y se dejaron como predeterminadas.

Segundo se seleccionó en la pestaña “File-New Project”, donde aparecía un cuadro que preguntaba en que carpeta se guardarán los archivos que vaya creando.

Tercero se ubicó la carpeta, no obstante, se había configurado una carpeta por default y se oprimía “Default Project Name” y aparecía dentro de dicha carpeta.

Cuarto se escribió el nombre del proyecto y se oprimió en “ok”.

❖ *Crear geometría de la 8 calle poniente*

➤ *Importar geometría*

Una vez creado el proyecto se importó la geometría creada a partir Geometric data>File>Import Geometry Data>Gis Format> se buscaba el archivo geo exportado.

Después de haber seleccionado el archivo aparecían tres tablas que demostraron los datos del alineamiento importado.

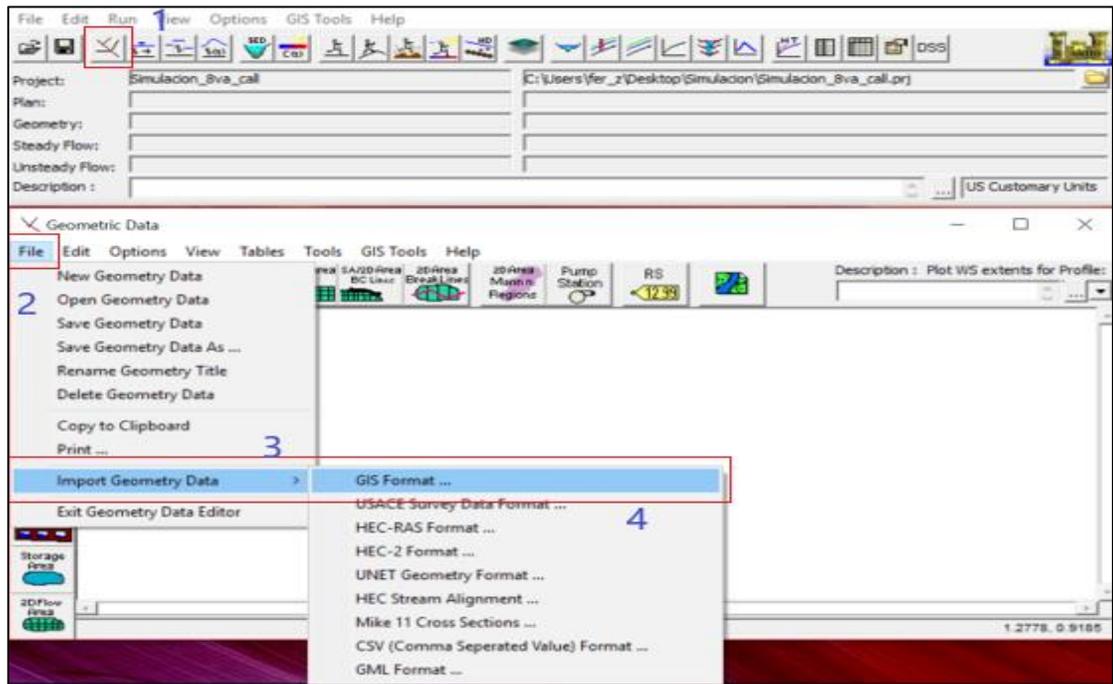


IMAGEN 72 IMPORTAR DE LA GEOMETRÍA

Las tablas mostradas demostraron la información del alineamiento como sus parámetros, en caso que todo correspondiera se presionaba el botón “Finish to Import”.

➤ Crear sección de la 8.^a calle poniente

Teniendo los datos del alineamiento en el eje principal se debía proseguir en la creación y edición de las secciones del canal.

Primero se presionaba en la opción de “Cross section” donde abría un nuevo cuadro con muchos espacios vacíos que debían ser llenados con datos obtenidos de campo

y determinados en oficina para cada una de las secciones, si estas no varían de una a otra, varios datos podían repetirse a lo largo del canal.

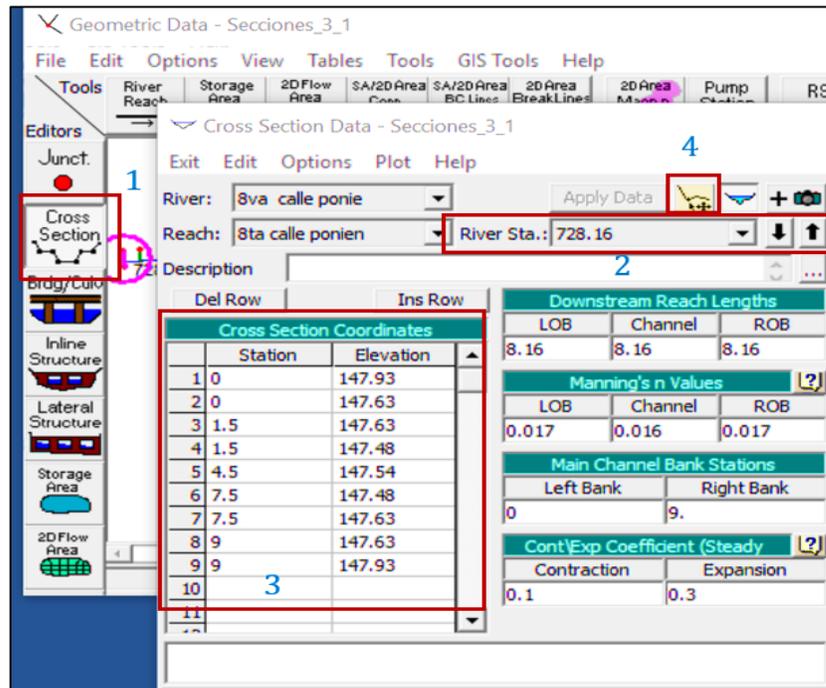


IMAGEN 73 CREAR SECCIÓN TRANSVERSAL DEL CAUCE

Segundo en la sección “River Sta” permite ver las secciones creadas por el programa y que por medio de dos flechas se puede ir bajando o subiendo de estación, en caso de ser necesario crear una nueva sección se buscaba en la pestaña de “options” luego en “add new cross section” para que se pudiera agregar una nueva sección por medio del número de estación.

Tercero en la parte de “Cross section coordinates” se creaba la forma de la sección a través de coordenadas, siendo el origen 0, se creaba el canal de manera manual en caso de que no se halla exportado del programa de AutoCAD, primero se escribía la

coordenada de la estación y a la par la elevación. Los puntos creados dibujaron un polígono que proyecto la sección y se repitió para todas las secciones.

Cuarto luego de definir la sección se elegía el boton “Jump to the Grafical Section Editor” donde se abría un cuadro que mostraba la sección de una estación, sin embargo, el usuario podía desplazarse libremente a través de las estaciones.

En este cuadro se configuraron los puntos de banco en “Set the Bank Stations”, esta opción permitio crear las delimitaciones que existe entre el contacto del agua con los objetos, paredes o la superficie, dividiendo la sección en tres partes. Lo único que se hizo fue presionar esta opción y eligió los puntos de la sección donde se ubicaron los bancos.

➤ Ingresar coeficiente de Manning

Downstream Reach Lengths		
LOB	Channel	ROB
20.	20.	20.
Manning's n Values		
LOB	Channel	ROB
0.017	0.016	0.017
Main Channel Bank Stations		
Left Bank	Right Bank	
0	9.	
Cont\Exp Coefficient (Steady)		
Contraction	Expansion	
0.1	0.3	

IMAGEN 74 INGRESAR COEFICIENTES DE MANNING A HEC-RAS

Para el ingreso del coeficiente de Manning solo fue necesario colocar los valores en “Manning’s Values” de izquierda a derecha respectivamente según el material que se encontraba, cada material común tiene un rango preestablecido en algunas tablas en los libros de hidráulica o fluidos, por ejemplo, para algunas zonas de estudios existen canales de concreto uniformes, canales de sección

variable con vegetación, canales con depósitos de piedras y los laterales de igual manera varían de acuerdo la zona.

Por último, después de haber configurado las secciones se guardó la geometría dentro de la misma carpeta del proyecto en “File” y “Save Geometry Data as”.

❖ Creación del flujo

Para la creación del flujo se presiono en el botón de “Steady/view edit flow data” de la barra principal.



IMAGEN 75 EDITAR FLUJO PERMANENTE

Primero aparecía un nuevo cuadro en el cual se configuraron los periodos de diseño, ver imagen 76, en la viñeta “Options”>Edit Profile Names..., al final se colocó respectivamente los nombres clave de su estudio, por último, se oprimió en “OK”. Aparecieron columnas nuevas en la tabla donde cada uno tenía por tema el tiempo de retorno escrito con anterioridad.

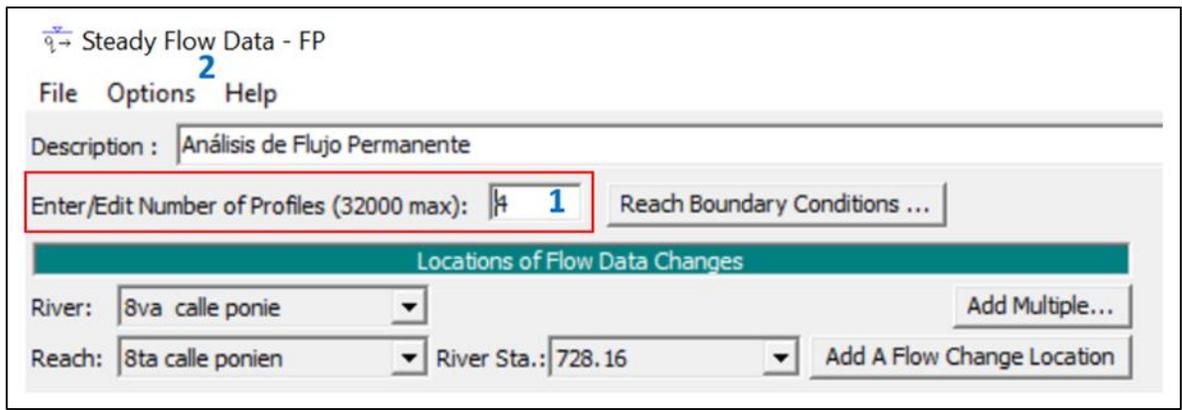


IMAGEN 76 INGRESAR PERIODOS DE RETORNO

Segundo se seleccionó “Reach Boundary Conditions...” en la cual apareció una nueva tabla pidiendo las condiciones de contorno. Se seleccionaba la opción “Set boundary for all profiles” que permitía agregar los datos en todo el alineamiento debido a su uniformidad, la opción “Set boundary for one profile at a time” permitía agregar datos por cada sección.

Tercero de las opciones “Available External Boundary Condition Types” se revisaba que datos predispone en el alineamiento, es decir, se podía conocer con anticipación la altura de la superficie del fluido, el tirante crítico, la pendiente aguas arriba y abajo o la curva de gasto.

Al no disponer de algún dato se puede optar por medir la pendiente aguas arribas y aguas abajo suponiendo un flujo uniforme de régimen mixto en el tramo de análisis.

Luego de introducir los datos necesarios que se disponía se oprimía el botón “ok”.

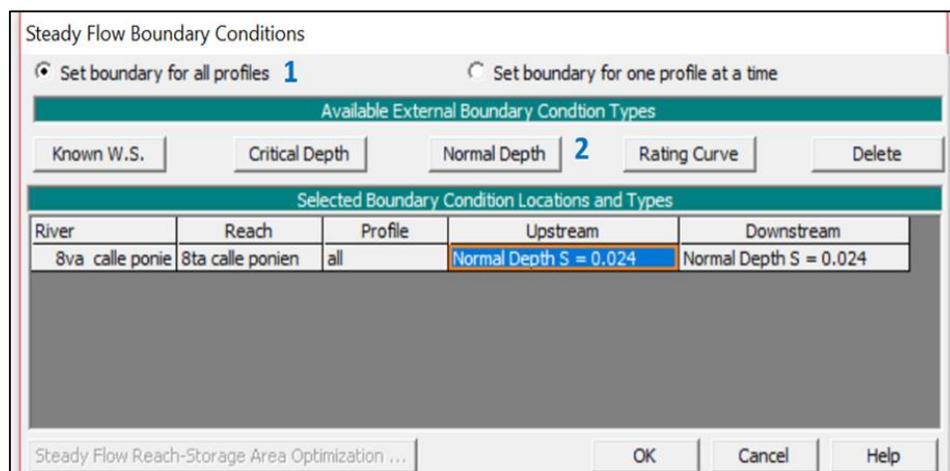


IMAGEN 77 INGRESAR PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE

Cuarto para finalizar se debía escribir para cada año de diseño y sección el caudal generado respectivamente en “Profile Names and Flow Rates” los cuales fueron calculados con anterioridad y el programa trabaje la iteración de las fórmulas por cada sección.

Por último, se guardaron los datos en la misma carpeta del proyecto en la opción “File” y “Save Flow Data AS”.

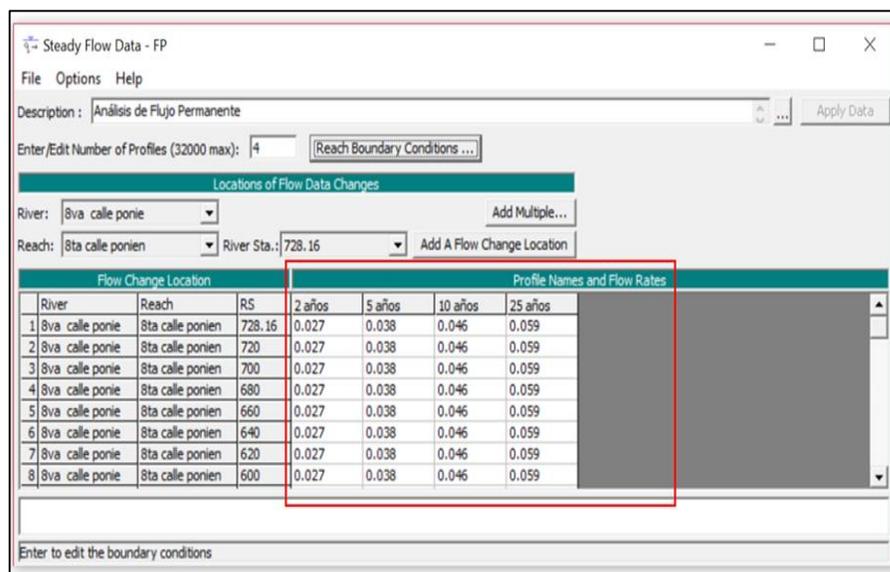


IMAGEN 78 INGRESAR CAUDALES DE DISEÑO, POR CADA SECCIÓN TRANSVERSAL

❖ *Modelación hidráulica*

Para finalizar la modelación hidráulica en el programa de HEC-RAS se regresó a la barra principal y se buscó la opción de “Perform a steady Flow simulation”.



IMAGEN 79 ICONO PARA INGRESAR DATOS PARA SIMULACIÓN DE UN FLUJO PERMANENTE

Aparecía una nueva tabla demostrando los nombres de los archivos antes guardados (datos de la geometría e hidráulicos).

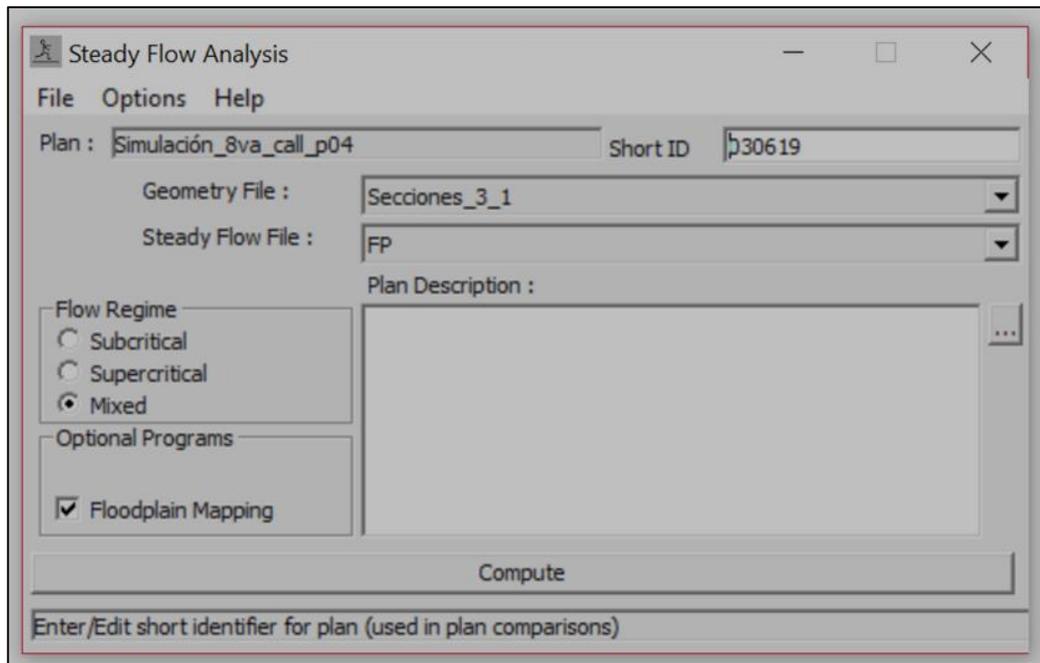


IMAGEN 80 ANÁLISIS DE UN FLUJO PERMANENTE

En esta parte bastaba aclarar al programa que tipo de régimen de flujo esperamos, subcrítico, supercrítico o mixto, que según las condiciones de contorno se esperó un régimen mixto, para mixto, se debía configurar en la creación del flujo paso 3 las condiciones hidráulicas aguas arriba y aguas abajo.

Por último, basto en oprimir “Compute” para esperar que el programa empezara el análisis hidráulico de la zona y luego guardarlo.

❖ *Perfil longitudinal, secciones transversal y vista 3D*

➤ *Perfil Longitudinal*

Para observar el perfil longitudinal de la zona de estudio, se oprimía en la viñeta “View” de la barra principal del programa seguidamente se oprimía la opción “Water Surface Profiles”.

En opciones del cuadro “Profile Plot” se configuraban las líneas y las leyendas a manera de conveniencia para que la información pudiera ser impresa a través de “File” y seguidamente de “Print”.

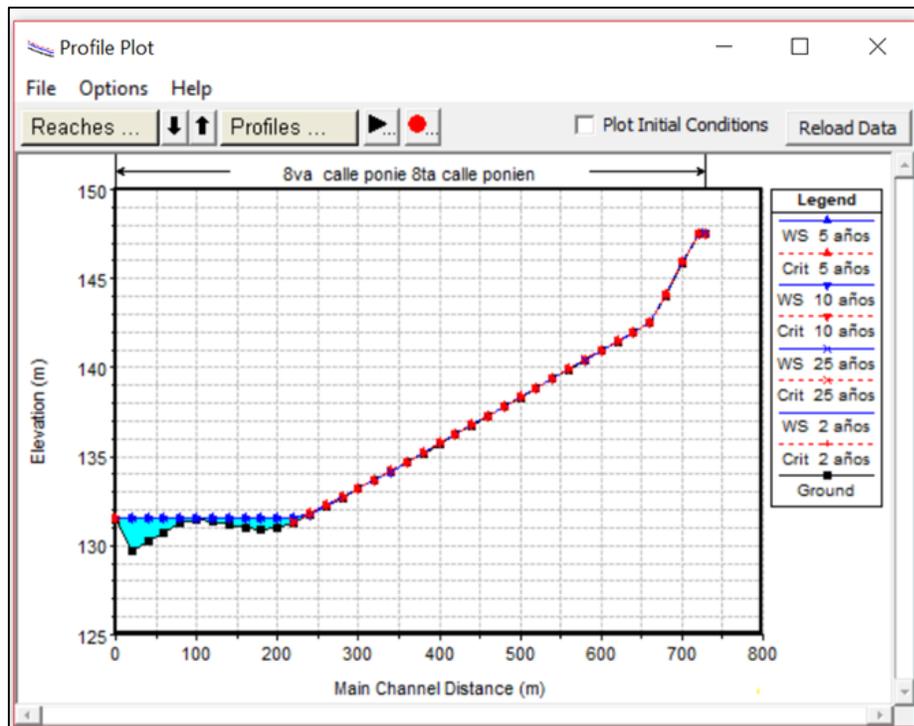


IMAGEN 81 PERFIL LONGITUDINAL DE LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA

➤ Secciones transversales

Para observar las secciones transversales de la zona de estudio, se oprimía en la viñeta “View” de la barra principal del programa seguidamente se oprimía la opción “Cross Sections”.

En opciones del cuadro “Cross Section” se configuraban las líneas y las leyendas a manera de conveniencia para que la información pudiera ser impresa a través de “File” y seguidamente de “Print”.

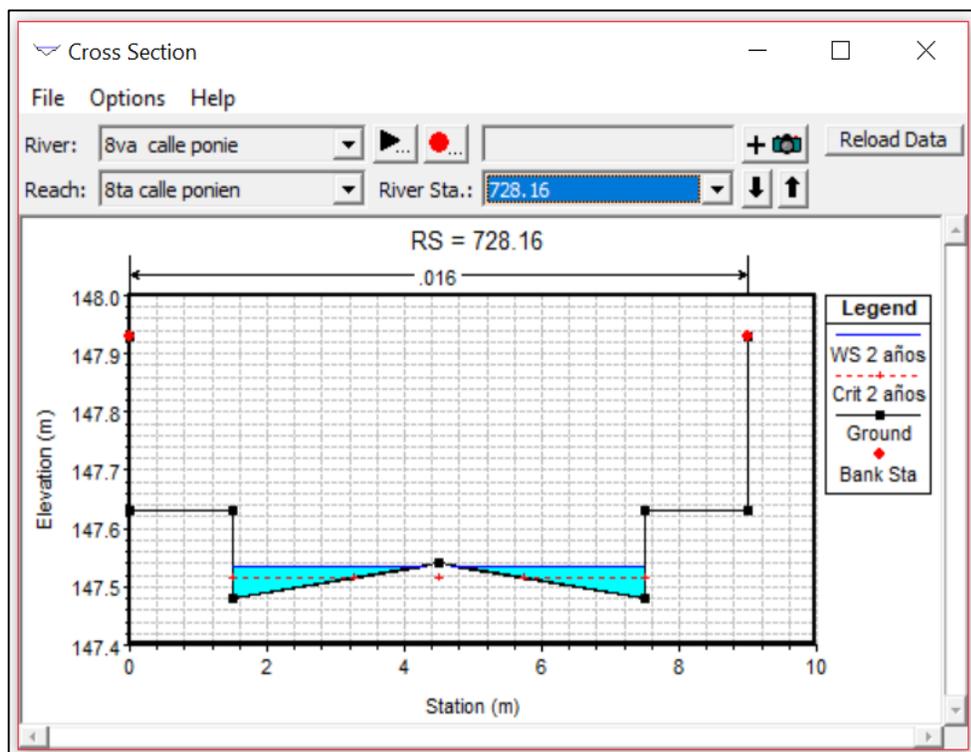


IMAGEN 82 SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA

➤ Vista 3D

Para observar la vista 3D de la zona de estudio, se oprimía en la viñeta “View” de la barra principal del programa seguidamente se oprimía la opción “X-Y-Z Perspective Plot”.

En opciones del cuadro “X-Y-Z Perspective Plot” se configuraban las líneas y las leyendas a manera de conveniencia para que la información pudiera ser impresa a través de “File” y seguidamente de “Print”.

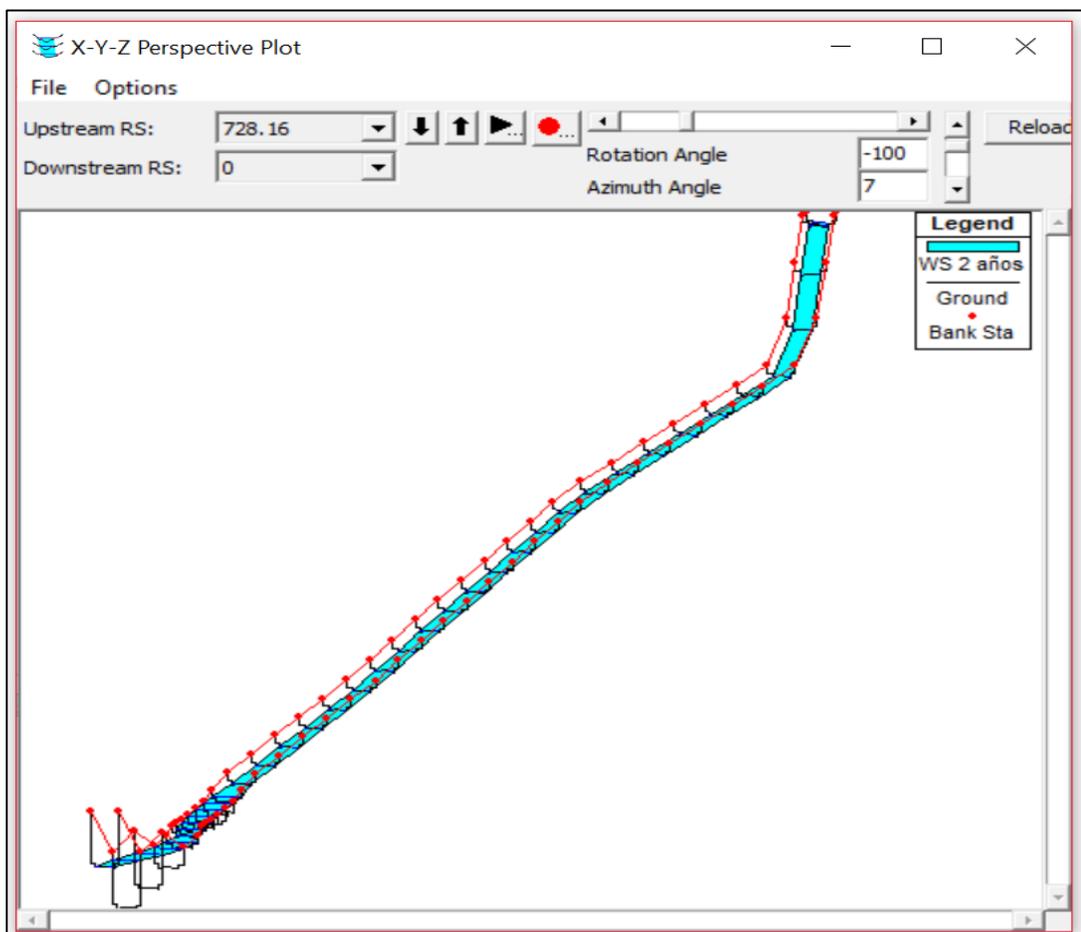


IMAGEN 83 VISTA 3D DEL CANAL DE LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA

4.2.2.5 Creación de tablas

❖ *Tabla detallada de los datos.*

La vista detallada de los datos por sección se seleccionaba en la barra principal, “View detailed output at XS, culverts, bridges, weirs, etc”.



IMAGEN 84 ICONO PARA OBTENER TABLA DETALLADA POR SECCIÓN

❖ *Tabla resumen de los datos.*

La tabla resumen de los datos por perfil (año de diseño) se seleccionaba en la barra principal, “View summary output tables by profile”.



IMAGEN 85 ICONO PARA OBTENER TABLAS RESUMEN

4.2.3 Mapa de riesgo por inundación

Criterios para determinar el área afectada en los mapas de peligro, vulnerabilidad y riesgo

❖ **Paso 1:** Longitud del área afectada.

Primero se determinaba el largo de las secciones del alineamiento, dicho proceso se realizó previamente cuando se crearon las líneas de muestreo a cada 20 m, por lo tanto, se dividió el alineamiento en sección longitudinales. Para el caso de los lotes

se toma a bien que la longitud del análisis sea paralela a la de las secciones es decir que, si cada sección tiene de longitud 20 m, se tomaron en cuenta el número de lotes comprendidos en esos 20 m. Se delimito con polilíneas.

❖ **Paso 2:** Ancho del área afectada

Para el ancho del alineamiento, se incluye la sección transversal diseñada en el ensamblaje que incluye los carriles, la cuneta y la acera, sumando todos estos elementos se obtiene 9 m, ya que se tomaron de ambos lados. Los lotes también son afectados, por lo tanto, al ancho del alineamiento se sumó el largo del lote de ambos lados como se muestra en la **imagen 53**. Se delimitaba con polilíneas y se unían con las polilíneas creadas en el paso 1, y acuerdo al peligro, vulnerabilidad o riesgo, finalmente se le aplicaba un relleno de acuerdo a su nivel con una transparencia del 60% para que se visualizara en la ortofoto (ver planos del 1/33 al 12/33).

4.2.3.1 Mapa de peligrosidad por inundación

Para este paso, se basaba en la altura del agua en la calle, por el volcamiento y por el deslizamiento causado por la velocidad del agua. Se hizo un ejemplo para un periodo de retorno de 2 años, luego se resumen en tablas para todas las secciones y para todos los periodos de retorno 2, 5, 10 y 25 años.

DATOS

Zona: 8.^a calle poniente
Abscisa inicial: 0 + 040
Abscisa final: 0 + 060
Área de muestreo: 40 m²

Periodo de retorno: 2 años

Fecha:

Datos obtenidos de simulación:

Tirante: 131.53 m

Velocidad: 0.00 m/s

❖ Altura de la lámina del agua

Para calcular la altura del agua en cada sección era necesario conocer la cota de la rasante de la calle, ya que HEC-RAS generaba datos basados en la cota de la rasante.

Para conocer la altura del tirante, se restó la cota del terreno más baja, de la lámina del agua obtenida en la simulación. Para ver las alturas mínimas de cada sección ver el **anexo 7**.

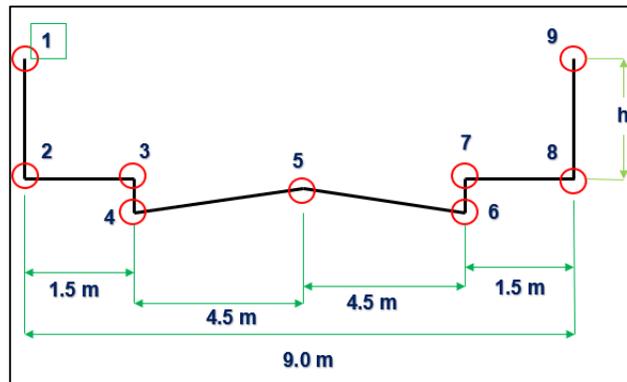


IMAGEN 86 PUNTOS DE ALTURA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA 8.ª CALLE

SECCIÓN	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0 + 040	132.37	130.37	130.37	130.22	130.28	130.22	130.37	130.37	132.37

$H = \text{altura del agua} - \text{altura mínima de la sección}$

$$H = 131.53 \text{ m} - 130.22 = 1.31 \text{ m}$$

Rangos de Altura	Nivel de Peligrosidad
$0.5 \geq h < 1.5 \text{ m}$	Medio

De acuerdo a la **tabla 3**, la peligrosidad conforme al tirante obtenido por la simulación es media, ya que está en el rango comprendido entre $0.5 \geq h < 1.5$ m.

❖ **Volcamiento**

El volcamiento es el producto de la velocidad por el tirante, es la capacidad que tiene la lámina del agua en derribar una persona de acuerdo a su velocidad.

Tirante = 1.31 m

Velocidad = 0.0 m/s

Volcamiento = Velocidad * Tirante

Volcamiento = $(0.0 \text{ m/s}) * (1.31 \text{ m}) = 0 \text{ m}^2/\text{s}$

Rangos de Volcamiento	Nivel de Peligrosidad
$v.h < 0.3 \text{ m}^2/\text{s}$	Nulo

Dado que la velocidad (v) obtenida en la simulación es de 0.0 m/s, el valor del volcamiento es de $0.0 \text{ m}^2/\text{s}$, de acuerdo a la **tabla 3**, el nivel de peligrosidad conforme al volcamiento es Nulo.

❖ **Deslizamiento**

Es la capacidad de la lámina del agua en hacer que una persona sufra un desplazamiento paralelo a la superficie. Se calculo con la multiplicación del tirante por la velocidad al cuadrado.

Tirante = 1.31 m

Velocidad = 0.0 m/s

$$\text{Deslizamiento} = v^2 \cdot h$$

$$\text{Deslizamiento} = (0 \text{ m/s})^2 * (1.31 \text{ m}) = \mathbf{0 \text{ m}^3/\text{s}^2}$$

Rangos de Deslizamiento	Nivel de Peligrosidad
$v^2 \cdot h < 0.3 \text{ m}^3/\text{s}^2$	Nulo

La velocidad (v) obtenida en la simulación era de 0.0 m/s, el valor del deslizamiento que se obtuvo es de 0.0 m³/s², de acuerdo a la **tabla 3**. El nivel de peligrosidad conforme al deslizamiento es NULO.

Conclusión: el nivel de peligrosidad dado por el tirante es “Medio”; el nivel de peligrosidad dado por volcamiento es “Nulo”; y el nivel de peligrosidad dado por el deslizamiento es “Nulo”. Por lo tanto, se tomó el nivel de peligrosidad más desfavorable para el análisis de peligro que en este caso es MEDIO.

4.2.3.2 Mapa de vulnerabilidad por inundación

Para este caso, según la teoría propuesta por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, se agregó un ítem más, porque la teoría abarca muy poco, así que, este paso se basa en buscar la vulnerabilidad vehicular y para viviendas. Y de esta manera buscar la vulnerabilidad más desfavorable.

❖ Vulnerabilidad vehicular

- Se investigó la altura promedio de vehículos tipo sedán a lo cual se obtuvo que altura promedio es de 1.43 m.
- Se investigó el radio promedio de llantas de vehículos tipo sedán, a lo cual se obtuvo 15 in.

$$15 \text{ in} \times 2 \times \frac{0.0254 \text{ m}}{1 \text{ in}} = 0.762 \text{ m}$$

Por lo tanto, la altura promedio del neumático de un vehículo tipo sedán es de 0.762 m.

- Se procedió a medir altura de vehículos y diámetro de neumáticos de forma manual, a lo que se obtuvo 1.45 m y 0.75 m respectivamente.

Conociendo los datos mencionados anteriormente, se dedujo una clasificación de vulnerabilidad vehicular.

Rango de altura	Vulnerabilidad vehicular
$h < 0.1 \text{ m}$	Nulo
$0.1 \text{ m} \leq h < 0.2 \text{ m}$	Baja
$0.2 \text{ m} \leq h < 0.4 \text{ m}$	Media
$h > 0.4 \text{ m}$	Alta

TABLA 9 VULNERABILIDAD VEHICULAR

- **Vulnerabilidad nula:** Se considero que la vulnerabilidad es nula ya que cuando $h < 0.1 \text{ m}$, el vehículo no se ve afectado al movilizarse.

- **Vulnerabilidad baja:** Se considero que la vulnerabilidad es Baja ya que cuando $0.1 \text{ m} \leq h < 0.2 \text{ m}$, el vehículo empieza a tener dificultades al movilizarse, la dirección del carro se ve afectada y también presenta dificultades a la hora de frenar.
- **Vulnerabilidad media:** Se considero que la vulnerabilidad es media ya que cuando $0.2 \text{ m} \leq h < 0.4 \text{ m}$, el vehículo presenta dificultades al moverse y se debe de disminuir la velocidad ya que si se sigue aumentando la velocidad el vehículo puede presentar fallas motrices.
- **Vulnerabilidad alta:** Se considero que la vulnerabilidad es alta ya que cuando $h > 0.4 \text{ m}$, el vehículo ya no puede seguir avanzando y puede presentar desperfectos mecánicos.
- **DATOS**
 - Zona: 8.^a calle poniente
 - Abscisa inicial: 0 + 040
 - Abscisa final: 0 + 060
 - Área de muestreo: 40 m^2
 - Periodo de retorno: 2 años
 - Tirante = 1.31 m

Conclusión: Obtenido el tirante del agua, se obtenía un nivel de vulnerabilidad vehicular “Alta”, de acuerdo a la **tabla 9**.

❖ **Vulnerabilidad en viviendas**

Datos obtenidos de visitas de campo:

Viviendas totales: 8 viviendas

Tipo de viviendas	Cantidad	Vulnerabilidad
Tipo III	5	Baja

Conclusión: Debido a que la vivienda predominante en el tramo de estudio es la vivienda “Tipo III”, se asumió una vulnerabilidad “**Baja**” de acuerdo a la **tabla 4**.

4.2.3.3 Elaboración de mapa de riesgos por inundación

Para calcular el mapa de riesgo por inundación, se hizo la comparación entre la vulnerabilidad y el peligro; si el peligro es nulo, aunque la vulnerabilidad sea alta el riesgo será nulo.

Vulnerabilidad	Peligro			
	Nulo	Bajo	Medio	Alto
Alta	RN	RM	RA	RA

Donde:

RN: Riesgo nulo

RM: Riesgo medio

RA: Riesgo alto

Conclusión: Obtenido los resultados, se obtuvo un nivel de peligro “**Medio**” y un nivel de vulnerabilidad “**Alta**”. Conforme a la **tabla 5**, se obtuvo que el nivel de riesgo para el tramo comprendido entre la abscisa 0+040 y la abscisa 0+060 es “**Alto**”.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Como resultado del trabajo de investigación, y como puntos más relevantes, se concluye lo siguiente:

- ❖ Que la caracterización de cuencas hidrográficas usando dron en el levantamiento topográfico, permite a los usuarios poder detallar de forma más precisa los parámetros que poseen en la realidad, esto también da una facilidad de poder expresar información con un mejor esquema ya que se logra delimitar las zonas según sea la actividad, por ejemplo, las zonas verdes, las zonas de residencia poblacional entre otras.
- ❖ Las incidencias socio-ambientales de la microcuenca hidrográfica de la octava calle poniente de la ciudad de San Miguel es uno de los problemas más graves que afecta en la población en época lluviosa, y que pueden subsanarse mediante la implementación de un plan de manejo de cuencas hidrográficas.
- ❖ Para poder entender el comportamiento de una microcuenca y anticipar los posibles riesgos que esta pueda ocasionar es indispensable la elaboración de un plan de manejo de cuencas hidrográficas, con lo cual se tendrá un mejor conocimiento de su estructura y función y así se puede zonificar el territorio de influencia de la cuenca poniendo mayor énfasis en las zonas de mayor riesgo.

- ❖ Que la caracterización de una microcuenca debe contener datos cualitativos y cuantitativos para describir su estructura física y delimitar toda su extensión territorial para que de este modo se pueda identificar los problemas que presenta, y al momento de presentar esta información sea fácilmente comprendida y poder analizar todos los parámetros que la definen y así proponer soluciones a las vulnerabilidades, peligros y riesgos que esta implique.
- ❖ Que el levantamiento topográfico con dron, es de gran exactitud si se toman puntos de referencia con GPS o estación total, en futuras generaciones de dron no se necesitaran estos instrumentos, la importancia del levantamiento topográfico por medio de un dron es que se puede visualizar el uso de suelos y se obtiene un mayor número de puntos en comparación con otros instrumentos. Al momento de la fotogrametría en el software Agisoft PhotoScan, es lento y tarda muchos días debido al tamaño del área, sin embargo, los datos topográficos que proporciona son exactos, tomando en cuenta que obtiene los puntos del terreno natural, y elimina los puntos de edificaciones y árboles.
- ❖ Los puntos críticos que presentaron riesgo alto, medio y bajo de acuerdo al análisis realizado fueron las siguientes; para un periodo de retorno de dos años: el punto crítico A comprendido entre la sección 0+020 a 0+060 presenta un riesgo alto, en cambio en el punto crítico B comprendido entre la sección

0+140 a 0+160 presenta un riesgo bajo; el punto crítico C comprendido entre la sección 0+160 a 0+180 presenta un riesgo medio; el punto crítico D comprendido entre la sección 0+180 a 0+200 presenta un riesgo alto; el punto crítico E comprendido entre la sección 0+200 a 0+220 presenta un riesgo medio, finalmente el punto crítico F comprendido entre la sección 0+640 a 0+660 presenta un riesgo alto; en los distintos periodos de retorno no hay mucha variación y en la trayectoria del cauce tienen a mantener el mismo riesgo en los puntos críticos.

5.2 RECOMENDACIONES

Como resultado del trabajo de investigación, tomando en consideración los puntos más relevantes, se recomienda lo siguiente:

- ❖ Que la implementación de nuevas tecnologías para estudios de cuencas hidrográficas tiene su costo inicial elevado debido a los costes que se presentan al conseguir estos aparatos y por el poco personal apto para su uso, vale la pena considerar desde un inicio porque reduce considerablemente los tiempos de análisis y muchas veces reduce los costos a largo plazo.
- ❖ Que la resolución de la cámara del dron sea alta (1920 x 1080 píxeles) para obtener puntos con mayor exactitud, y al momento de ubicar la siguiente cuadrícula debe tomarse 5 metros sobre la primera cuadrícula, para evitar huecos en la ortofoto. Para la fotogrametría se recomienda el uso del software Pix4Dmapper si se quiere un trabajo más rápido, ya que es de uso en línea, tomar en cuenta que es un software de pago. En cambio, el uso del software Agisoft PhotoScan, es un proceso lento, que toma días poder obtener los datos deseados.
- ❖ Establecer más parámetros para determinar el área en riesgo por la inundación pluvial, dado que los parámetros establecidos están regidos solamente por las secciones en las que se dividió el alineamiento y por las pendientes de los pasajes que desembocan en la calle de interés.

- ❖ Que en futuras investigaciones, se puede proponer un sistema de drenaje pluvial sobre la intersección entre la octava calle poniente y la avenida Roosevelt del municipio de San Miguel, departamento de San Miguel, que evacue toda el agua pluvial durante una tormenta de máxima intensidad sin causar riesgo alguno o un sistema de drenaje pluvial sobre la octava calle poniente del municipio de San Miguel, departamento de San Miguel, considerando el caudal para un periodo de retorno de 25 años el cual es de $2.23 \text{ m}^3/\text{s}$, y elegir la más factible.

BIBLIOGRAFÍA

- Global Mediterránea Geomática. Drones y Topografía la combinación perfecta [En Línea]. Velencia, España, junio 2018. [Consulta junio 2019]. Disponible en: <https://www.globalmediterranea.es/drones-topografia-la-combinacion-perfecta/>
- Aerial Insights. Topografía con Drones: qué es y cómo realizarla [En Línea]. [Consulta junio 2019]. Disponible en: <https://www.aerial-insights.co/blog/topografia-con-drones/>
- Diego José Cabrera Aguirre, José Oscar Huezo Guevara, Luis Miguel Linares Castro. Propuesta Metodológica de Evaluación del Comportamiento Hidráulico de Sistemas de Drenaje Pluvial ante el aumento de zonas impermeabilizadas en El Salvador [Tesis]. Santa Ana, El Salvador, septiembre 2013, pág. 18-24
- Tutoriales Ingeniería Civil. Todo lo que necesitas saber sobre el coeficiente de escorrentía [En Línea]. [Consulta junio 2019]. Disponible en: <http://ingenieriacivil.tutorialesaldia.com/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-el-coeficiente-de-escorrentia/?fbclid=IwAR1k-bCzEir2vJcpQA8pkmVmTsWJLopKsE6Kbqify3ztJPCdO3TQqpoLjaw>
- Coeficientes de Escorrentía para ser usado en el método racional. [Consulta junio 2019]. Disponible en: <http://portafolio.snet.gob.sv/digitalizacion/pdf/spa/doc00245/doc00245-seccion%20h%203.pdf?fbclid=IwAR1eFuunm5om8QZiGY8QuraQBH-W98jM32P43oiZJFcPJbTSWBiYsC-Wqik>

- Emilio Renda. MANUAL DE ELABORACIÓN DE MAPAS DE RIESGO. Ministerio de Seguridad de la Nación (Buenos Aires, Argentina, 2017). [Consulta junio 2019]. Disponible en:
<https://www.mininterior.gov.ar/planificacion/pdf/Manual-elaboracion-mapas-riesgo.pdf?fbclid=IwAR1zViXEuAH4sSRbmpgrloqCrjKvS6TkVEMfjNxwFehXc5PBnEQck2I5M-Q>
- Scielo. Tecnología y Ciencia del Agua. Metodología para la elaboración de mapas de riesgo por inundación en zonas urbanas. [En Línea]. Morelos, MX, enero 2016. [Consulta junio 2019]. Disponible en:
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222016000500033&fbclid=IwAR37iF8r4MAMuPQRU8JemyN0ewQRlxJCR8HLu7QG6LxxlJbVaNc36ZkzuFY
- Scielo. Tecnología y Ciencia del Agua. Análisis de riesgo por inundación: Metodología y Aplicación a la cuenca Atemajac. [En Línea]. Morelos, MX, octubre 2016. [Consulta junio 2019]. Disponible en:
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222017000300005&fbclid=IwAR3MzybrSsCyIbdSWdJalHppaRhMERM4vnBQHQod8syTugscVttKQpzDSI
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Caracterización de cuencas. [En Línea]. San Rafael, Mendoza, junio 2018. [Consulta agosto 2019]. Disponible en:
https://inta.gov.ar/sites/default/files/caracterizacion_de_cuencas_0.pdf

- RAC VANT. Regulación de los Vehículos Aéreos No Tripulados [Reglamento de Autoridad de Aviación Civil de El Salvador]. Julio del 2018, pág. 1-C-1 – 1-C-2.
- FUNDESYRAM. Biblioteca Agroecológica. Caracterización y diagnóstico de la cuenca hidrológica. [En Línea]. [Consulta agosto 2019]. Disponible en: <http://www.fundesyram.info/biblioteca.php?id=3669>

ANEXOS

ANEXO 1-A: Datos obtenidos de la simulación hidráulica (periodo de retorno 2 años)

Estación del río	Q Total (m3/s)	Rasante (m)	Elevación de Lámina de Agua (m)	Tirante Crítico (m)	Cota de Línea de Energía (m)	Pendiente de la Línea de Energía (m/m)	Velocidad del canal (m/s)	Área de Flujo (m2)	Ancho de Lámina de agua (m)
0+728	0.03	147.48	0.06	0.04	0.06	0.000900	0.17	0.16	5.62
0+720	0.03	147.48	0.04	0.04	0.04	0.011052	0.44	0.06	3.51
0+700	0.03	145.89	0.01	0.04	0.76	3.62	3.84	0.01	1.19
0+680	0.03	144.03	0.03	0.03	0.05	0.04	0.68	0.04	2.82
0+660	0.03	142.49	0.02	0.04	0.12	0.23	1.37	0.02	1.98
0+640	0.03	141.96	0.01	0.04	7.62	79.09	12.22	0.00	0.66
0+620	0.03	141.44	0.02	0.04	0.07	0.08	0.91	0.03	2.44
0+600	0.03	140.92	0.03	0.04	0.05	0.01	0.47	0.06	3.38
0+580	0.03	140.40	0.03	0.04	0.06	0.06	0.85	0.03	2.53
0+560	0.03	139.87	0.03	0.04	0.05	0.02	0.49	0.05	3.31
0+540	0.03	139.35	0.03	0.04	0.06	0.05	0.78	0.03	2.62
0+520	0.03	138.83	0.03	0.04	0.05	0.02	0.50	0.05	3.27
0+500	0.03	138.31	0.03	0.04	0.06	0.05	0.75	0.04	2.68
0+480	0.03	137.79	0.03	0.04	0.05	0.02	0.51	0.05	3.24
0+460	0.03	137.26	0.03	0.04	0.06	0.05	0.75	0.04	2.69
0+440	0.03	136.74	0.03	0.04	0.05	0.02	0.52	0.05	3.23
0+420	0.03	136.22	0.03	0.04	0.05	0.04	0.72	0.04	2.73
0+400	0.03	135.72	0.03	0.04	0.05	0.02	0.51	0.05	3.25
0+380	0.03	135.18	0.03	0.04	0.06	0.05	0.76	0.04	2.67
0+360	0.03	134.66	0.03	0.04	0.05	0.02	0.51	0.05	3.24
0+340	0.03	134.14	0.03	0.04	0.05	0.04	0.73	0.04	2.72
0+320	0.03	133.65	0.03	0.04	0.05	0.02	0.51	0.05	3.27
0+300	0.03	133.17	0.03	0.03	0.05	0.04	0.70	0.04	2.78
0+280	0.03	132.69	0.03	0.04	0.05	0.02	0.52	0.05	3.24
0+260	0.03	132.21	0.03	0.04	0.05	0.03	0.66	0.04	2.85
0+240	0.03	131.74	0.03	0.04	0.05	0.02	0.53	0.05	3.20
0+220	0.03	131.31	0.22	0.04	0.22	0.00	0.02	1.32	9.00
0+200	0.03	131.04	0.49	0.00	0.49	0.00	0.01	3.75	9.00
0+180	0.03	130.95	0.58	0.00	0.58	0.00	0.01	4.56	9.00
0+160	0.03	131.04	0.49	0.00	0.49	0.00	0.01	3.75	9.00
0+140	0.03	131.18	0.35	0.00	0.35	0.00	0.01	2.49	9.00
0+120	0.03	131.32	0.21	0.00	0.21	0.00	0.02	1.23	9.00
0+100	0.03	131.45	0.08	0.00	0.08	0.00	0.10	0.28	6.00
0+80	0.03	131.28	0.25	0.00	0.25	0.00	0.02	1.59	9.00
0+60	0.03	130.76	0.77	0.00	0.77	0.00	0.00	6.27	9.00
0+40	0.03	130.22	1.31	0.00	1.31	0.00	0.00	11.13	9.00
0+20	0.03	129.69	1.84	0.00	1.84	0.00	0.00	15.90	9.00
0+00	0.03	131.48	0.03	0.03	0.05	0.012304	0.46	0.06	3.44

ANEXO 1-B: Datos obtenidos de la simulación hidráulica (periodo de retorno 5 años)

Estación del río	Q Total (m3/s)	Rasante (m)	Elevación de Lámina de Agua (m)	Tirante Crítico (m)	Cota de Línea de Energía (m)	Pendiente de la Línea de Energía (m/m)	Velocidad del canal (m/s)	Área de Flujo (m2)	Ancho de Lámina de agua (m)
0+728	0.04	147.48	0.06	0.05	0.06	0.000934	0.19	0.20	6.00
0+720	0.04	147.48	0.05	0.05	0.06	0.003084	0.30	0.13	5.07
0+700	0.04	145.89	0.01	0.05	1.29	5.81	5.00	0.01	1.23
0+680	0.04	144.03	0.03	0.05	0.06	0.04	0.77	0.05	3.14
0+660	0.04	142.49	0.02	0.05	0.12	0.18	1.36	0.03	2.36
0+640	0.04	141.96	0.04	0.05	0.05	0.01	0.48	0.08	3.98
0+620	0.04	141.44	0.03	0.05	0.08	0.09	1.03	0.04	2.71
0+600	0.04	140.92	0.04	0.05	0.05	0.01	0.50	0.08	3.88
0+580	0.04	140.40	0.03	0.05	0.07	0.07	0.94	0.04	2.85
0+560	0.04	139.87	0.04	0.05	0.05	0.01	0.53	0.07	3.79
0+540	0.04	139.35	0.03	0.05	0.07	0.05	0.86	0.04	2.96
0+520	0.04	138.83	0.04	0.05	0.05	0.02	0.54	0.07	3.76
0+500	0.04	138.31	0.03	0.05	0.07	0.05	0.84	0.05	3.01
0+480	0.04	137.79	0.04	0.05	0.05	0.02	0.55	0.07	3.72
0+460	0.04	137.26	0.03	0.05	0.06	0.05	0.82	0.05	3.04
0+440	0.04	136.74	0.04	0.05	0.05	0.02	0.56	0.07	3.70
0+420	0.04	136.22	0.03	0.05	0.06	0.05	0.81	0.05	3.06
0+400	0.04	135.72	0.04	0.05	0.05	0.02	0.55	0.07	3.72
0+380	0.04	135.18	0.03	0.05	0.07	0.05	0.83	0.05	3.03
0+360	0.04	134.66	0.04	0.05	0.05	0.02	0.56	0.07	3.68
0+340	0.04	134.14	0.03	0.05	0.06	0.04	0.80	0.05	3.08
0+320	0.04	133.65	0.04	0.05	0.05	0.02	0.55	0.07	3.71
0+300	0.04	133.17	0.03	0.05	0.06	0.04	0.76	0.05	3.16
0+280	0.04	132.69	0.04	0.05	0.05	0.02	0.56	0.07	3.71
0+260	0.04	132.21	0.03	0.05	0.06	0.04	0.75	0.05	3.19
0+240	0.04	131.74	0.04	0.05	0.05	0.02	0.56	0.07	3.69
0+220	0.04	131.31	0.23	0.05	0.23	0.00	0.03	1.40	9.00
0+200	0.04	131.04	0.50	0.00	0.50	0.00	0.01	3.83	9.00
0+180	0.04	130.95	0.59	0.00	0.59	0.00	0.01	4.64	9.00
0+160	0.04	131.04	0.50	0.00	0.50	0.00	0.01	3.83	9.00
0+140	0.04	131.18	0.36	0.00	0.36	0.00	0.01	2.57	9.00
0+120	0.04	131.32	0.22	0.00	0.22	0.00	0.03	1.31	9.00
0+100	0.04	131.45	0.08	0.00	0.08	0.00	0.12	0.33	6.00
0+80	0.04	131.28	0.25	0.00	0.25	0.00	0.02	1.66	9.00
0+60	0.04	130.76	0.77	0.00	0.77	0.00	0.01	6.34	9.00
0+40	0.04	130.22	1.31	0.00	1.31	0.00	0.00	11.20	9.00
0+20	0.04	129.69	1.84	0.00	1.84	0.00	0.00	15.97	9.00
0+00	0.04	131.48	0.05	0.05	0.05	0.003815	0.32	0.12	4.87

ANEXO 1- C: Datos obtenidos de la simulación hidráulica (periodo de retorno 10 años)

Estación del río	Q Total (m3/s)	Rasante (m)	Elevación de Lámina de Agua (m)	Tirante Crítico (m)	Cota de Línea de Energía (m)	Pendiente de la Línea de Energía (m/m)	Velocidad del canal (m/s)	Área de Flujo (m2)	Ancho de Lámina de agua (m)
0+728	0.05	147.48	0.07	0.05	0.07	0.000704	0.19	0.24	6.00
0+720	0.05	147.48	0.05	0.05	0.06	0.004519	0.36	0.13	5.07
0+700	0.05	145.89	0.01	0.05	1.19	4.60	4.81	0.01	1.38
0+680	0.05	144.03	0.03	0.05	0.07	0.04	0.81	0.06	3.38
0+660	0.05	142.49	0.03	0.05	0.13	0.18	1.43	0.03	2.53
0+640	0.05	141.96	0.04	0.05	0.06	0.01	0.50	0.09	4.27
0+620	0.05	141.44	0.03	0.05	0.09	0.08	1.07	0.04	2.94
0+600	0.05	140.92	0.04	0.05	0.06	0.01	0.54	0.09	4.13
0+580	0.05	140.40	0.03	0.05	0.08	0.06	0.95	0.05	3.12
0+560	0.05	139.87	0.04	0.05	0.06	0.02	0.57	0.08	4.03
0+540	0.05	139.35	0.03	0.05	0.07	0.05	0.87	0.05	3.24
0+520	0.05	138.83	0.04	0.05	0.06	0.02	0.58	0.08	3.98
0+500	0.05	138.31	0.03	0.05	0.07	0.05	0.85	0.05	3.29
0+480	0.05	137.79	0.04	0.05	0.06	0.02	0.59	0.08	3.96
0+460	0.05	137.26	0.03	0.05	0.07	0.04	0.84	0.05	3.31
0+440	0.05	136.74	0.04	0.05	0.06	0.02	0.59	0.08	3.94
0+420	0.05	136.22	0.03	0.05	0.07	0.04	0.82	0.06	3.34
0+400	0.05	135.72	0.04	0.05	0.06	0.02	0.59	0.08	3.96
0+380	0.05	135.18	0.03	0.05	0.07	0.04	0.85	0.05	3.30
0+360	0.05	134.66	0.04	0.05	0.06	0.02	0.59	0.08	3.93
0+340	0.05	134.14	0.03	0.05	0.07	0.04	0.82	0.06	3.35
0+320	0.05	133.65	0.04	0.05	0.06	0.02	0.58	0.08	3.97
0+300	0.05	133.17	0.03	0.05	0.07	0.04	0.78	0.06	3.43
0+280	0.05	132.69	0.04	0.05	0.06	0.02	0.59	0.08	3.96
0+260	0.05	132.21	0.03	0.05	0.07	0.04	0.77	0.06	3.45
0+240	0.05	131.74	0.04	0.05	0.06	0.02	0.59	0.08	3.95
0+220	0.05	131.31	0.23	0.05	0.23	0.00	0.03	1.42	9.00
0+200	0.05	131.04	0.50	0.00	0.50	0.00	0.01	3.85	9.00
0+180	0.05	130.95	0.59	0.00	0.59	0.00	0.01	4.66	9.00
0+160	0.05	131.04	0.50	0.00	0.50	0.00	0.01	3.85	9.00
0+140	0.05	131.18	0.36	0.00	0.36	0.00	0.02	2.59	9.00
0+120	0.05	131.32	0.22	0.00	0.22	0.00	0.03	1.33	9.00
0+100	0.05	131.45	0.09	0.00	0.09	0.00	0.14	0.34	6.00
0+80	0.05	131.28	0.26	0.00	0.26	0.00	0.03	1.68	9.00
0+60	0.05	130.76	0.78	0.00	0.78	0.00	0.01	6.36	9.00
0+40	0.05	130.22	1.32	0.00	1.32	0.00	0.00	11.22	9.00
0+20	0.05	129.69	1.85	0.00	1.85	0.00	0.00	16.00	9.00
0+00	0.05	131.48	0.05	0.05	0.06	0.005590	0.39	0.12	4.87

ANEXO 1- D: Datos obtenidos de la simulación hidráulica (periodo de retorno 25 años)

Estación del río	Q Total (m3/s)	Rasante (m)	Elevación de Lámina de Agua (m)	Tirante Crítico (m)	Cota de Línea de Energía (m)	Pendiente de la Línea de Energía (m/m)	Velocidad del canal (m/s)	Área de Flujo (m2)	Ancho de Lámina de agua (m)
0+728	0.06	147.48	0.08	0.05	0.08	0.000661	0.21	0.28	6.00
0+720	0.06	147.48	0.05	0.05	0.06	0.006287	0.43	0.14	5.23
0+700	0.06	145.89	0.02	0.05	1.08	3.41	4.57	0.01	1.61
0+680	0.06	144.03	0.04	0.05	0.07	0.04	0.86	0.07	3.71
0+660	0.06	142.49	0.03	0.05	0.14	0.18	1.51	0.04	2.79
0+640	0.06	141.96	0.05	0.05	0.06	0.01	0.54	0.11	4.67
0+620	0.06	141.44	0.03	0.05	0.10	0.08	1.11	0.05	3.26
0+600	0.06	140.92	0.05	0.05	0.06	0.01	0.57	0.10	4.53
0+580	0.06	140.40	0.03	0.05	0.08	0.06	0.99	0.06	3.44
0+560	0.06	139.87	0.04	0.05	0.06	0.02	0.61	0.10	4.40
0+540	0.06	139.35	0.04	0.05	0.08	0.05	0.93	0.06	3.57
0+520	0.06	138.83	0.04	0.05	0.06	0.02	0.62	0.10	4.37
0+500	0.06	138.31	0.04	0.05	0.08	0.05	0.90	0.07	3.61
0+480	0.06	137.79	0.04	0.05	0.06	0.02	0.63	0.09	4.34
0+460	0.06	137.26	0.04	0.05	0.08	0.04	0.89	0.07	3.64
0+440	0.06	136.74	0.04	0.05	0.06	0.02	0.64	0.09	4.31
0+420	0.06	136.22	0.04	0.05	0.08	0.04	0.86	0.07	3.69
0+400	0.06	135.72	0.04	0.05	0.06	0.02	0.63	0.09	4.33
0+380	0.06	135.18	0.04	0.05	0.08	0.04	0.89	0.07	3.64
0+360	0.06	134.66	0.04	0.05	0.06	0.02	0.64	0.09	4.30
0+340	0.06	134.14	0.04	0.05	0.07	0.04	0.86	0.07	3.70
0+320	0.06	133.65	0.04	0.05	0.06	0.02	0.63	0.09	4.34
0+300	0.06	133.17	0.04	0.05	0.07	0.03	0.82	0.07	3.79
0+280	0.06	132.69	0.04	0.05	0.06	0.02	0.63	0.09	4.34
0+260	0.06	132.21	0.04	0.05	0.07	0.03	0.81	0.07	3.81
0+240	0.06	131.74	0.04	0.05	0.06	0.02	0.63	0.09	4.31
0+220	0.06	131.31	0.24	0.05	0.24	0.00	0.04	1.53	9.00
0+200	0.06	131.04	0.51	0.00	0.51	0.00	0.01	3.96	9.00
0+180	0.06	130.95	0.60	0.00	0.60	0.00	0.01	4.77	9.00
0+160	0.06	131.04	0.51	0.00	0.51	0.00	0.01	3.96	9.00
0+140	0.06	131.18	0.37	0.00	0.37	0.00	0.02	2.70	9.00
0+120	0.06	131.32	0.23	0.00	0.23	0.00	0.04	1.43	9.00
0+100	0.06	131.45	0.10	0.00	0.10	0.00	0.14	0.41	6.00
0+80	0.06	131.28	0.27	0.00	0.27	0.00	0.03	1.79	9.00
0+60	0.06	130.76	0.79	0.00	0.79	0.00	0.01	6.47	9.00
0+40	0.06	130.22	1.33	0.00	1.33	0.00	0.01	11.33	9.00
0+20	0.06	129.69	1.86	0.00	1.86	0.00	0.00	16.10	9.00
0+00	0.06	131.48	0.04	0.04	0.07	0.022875	0.70	0.08	4.11

ANEXO 2: curvas IDF proporcionadas por le MARN

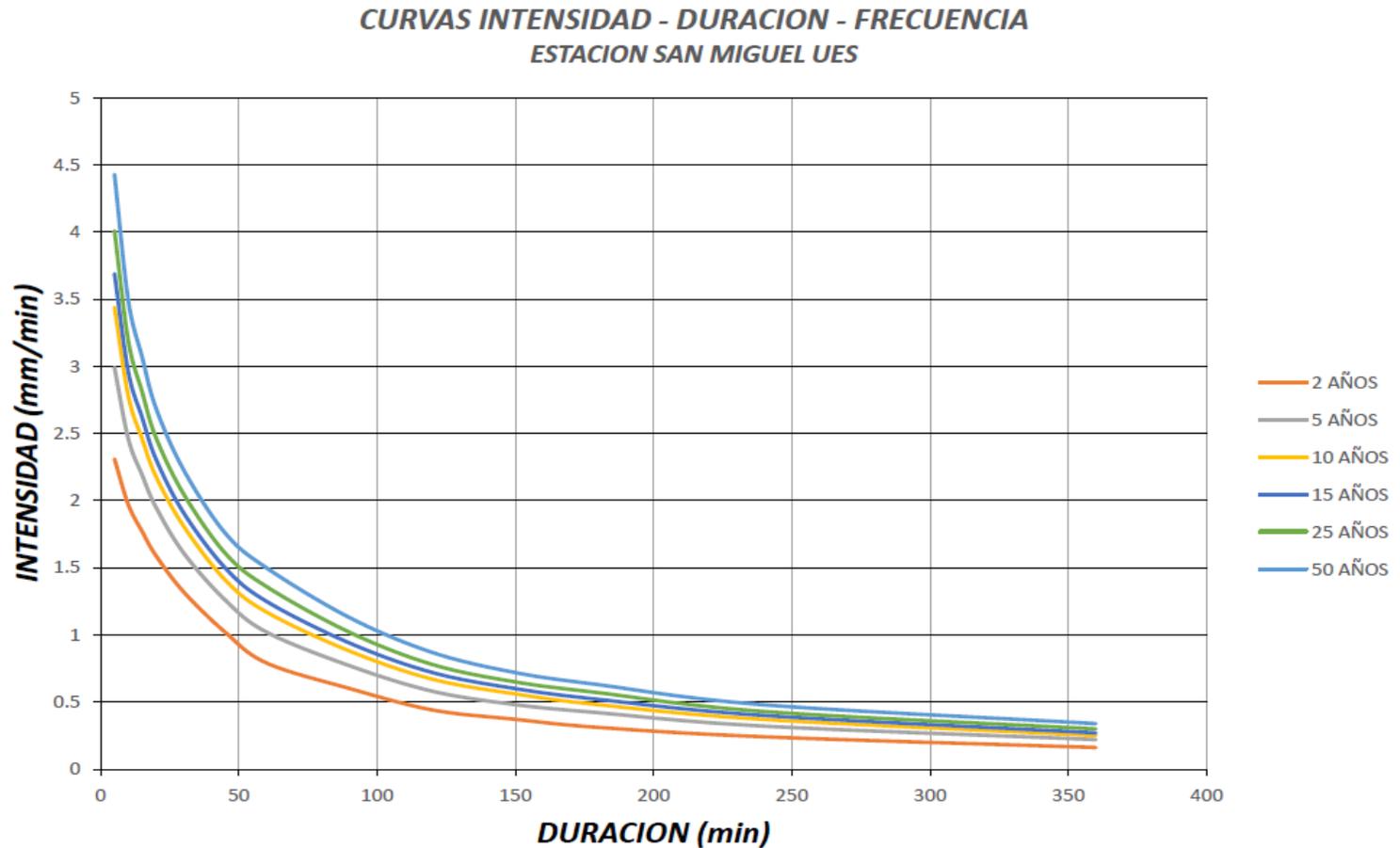


Gráfico 4. Curvas IDF Estación San Miguel UES M-24 Escala Aritmética.

ANEXO 3: Formato de evaluación de riesgo

FORMATO DE EVALUACIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN				
ZONA	ABSCISA INICIAL	ABSCISA FINAL		
8. ^a calle poniente	0+040	0+060		
	PERIODO DE RETORNO	FECHA		
	2 AÑOS	1/7/2019		
A - ANÁLISIS DE PELIGROSIDAD				
DATOS OBTENIDOS DE SIMULACIÓN				
TIRANTE				VELOCIDAD
1.31 m				0 m/s
NIVEL DE PELIGRO	ALTURA (m)	VOLCAMIENTO (m ² /s)	DESLIZAMIENTO (m ³ /s ²)	
NULO	$h < 0.3$	$vh < 0.3$	$v^2h < 0.3$	
BAJO	$0.3 \geq h < 0.5$	$0.3 \geq vh < 0.5$	$0.3 \geq v^2h < 0.5$	
MEDIO	$0.5 \geq h < 1.5$	$0.5 \geq vh < 1.5$	$0.5 \geq v^2h < 1.23$	
ALTO	$h \geq 1.5$	$vh \geq 1.5$	$v^2h \geq 1.23$	
ALTURA	1.31 m	MEDIO		
VOLCAMIENTO	0.00 m ² /s	NULO		
DESLIZAMIENTO	0.00 m ³ /s ²	NULO		
				MEDIO
B - ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD				
VULNERABILIDAD POR TIPO DE VIVIENDA				
VIVIENDA	CANTIDAD	VULNERABILIDAD		
TIPO I	0	ALTA		
TIPO II	2	MEDIA		
TIPO III	5	BAJA		
TIPO IV	1	NULA		
VULNERABILIDAD VEHICULAR				
CONDICIÓN	VULNERABILIDAD			
$h < 0.1$ m	NULA			
$0.1 \text{ m} \leq h < 0.2$ m	BAJA			
$0.2 \text{ m} \leq h < 0.4$ m	MEDIA			
$h > 0.4$ m	ALTA			
C - ANÁLISIS DE RIESGO				
VULNERABILIDAD	PELIGRO			
	NULO	BAJO	MEDIO	ALTO
NULA	RN	RN	RB	RM
BAJA	RN	RB	RM	RA
MEDIA	RN	RB	RM	RA
ALTA	RN	RM	RA	RA

Nota: se tomará el más desfavorable

MEDIO

Nota: se tomará la moda

ALTA

ANEXO 4-A: Análisis de peligro (tiempo de retorno 2 años)

Abscisa inicial	Unidad de muestreo	Deslizamiento	Volcamiento	Peligro	Puntos Críticos
0+000	1	0.01	0.01	Nulo	
0+020	2	0.00	0.00	Alto	Punto A
0+040	3	0.00	0.00	Medio	Punto B
0+060	4	0.00	0.00	Medio	
0+080	5	0.01	0.05	Nulo	
0+100	6	0.00	0.01	Nulo	
0+120	7	0.00	0.00	Nulo	
0+140	8	0.00	0.00	Bajo	Punto C
0+160	9	0.00	0.00	Bajo	
0+180	10	0.00	0.01	Medio	Punto D
0+200	11	0.00	0.00	Bajo	Punto E
0+220	12	0.00	0.00	Nulo	
0+240	13	0.01	0.02	Nulo	
0+260	14	0.01	0.02	Nulo	
0+280	15	0.01	0.02	Nulo	
0+300	16	0.01	0.02	Nulo	
0+320	17	0.01	0.02	Nulo	
0+340	18	0.02	0.02	Nulo	
0+360	19	0.01	0.02	Nulo	
0+380	20	0.02	0.02	Nulo	
0+400	21	0.01	0.02	Nulo	
0+420	22	0.02	0.02	Nulo	
0+440	23	0.01	0.02	Nulo	
0+460	24	0.02	0.02	Nulo	
0+480	25	0.01	0.02	Nulo	
0+500	26	0.02	0.02	Nulo	
0+520	27	0.01	0.02	Nulo	
0+540	28	0.02	0.02	Nulo	
0+560	29	0.01	0.01	Nulo	
0+580	30	0.02	0.03	Nulo	
0+600	31	0.01	0.01	Nulo	
0+620	32	0.02	0.02	Nulo	
0+640	33	1.49	0.12	Alto	Punto F
0+660	34	0.04	0.03	Nulo	
0+680	35	0.01	0.02	Nulo	
0+700	36	0.15	0.04	Nulo	
0+720	37	0.01	0.02	Nulo	
0+728	38	0.00	0.01	Nulo	

ANEXO 4-B: Análisis de peligro (tiempo de retorno 5 años)

Abscisa inicial	Unidad de muestreo	Deslizamiento	Volcamiento	Peligro	Puntos Críticos
0+000	1	0.01	0.02	Nulo	
0+020	2	0.00	0.00	Alto	Punto A
0+040	3	0.00	0.00	Media	Punto B
0+060	4	0.00	0.01	Media	
0+080	5	0.00	0.01	Nulo	
0+100	6	0.00	0.01	Nulo	
0+120	7	0.00	0.01	Nulo	
0+140	8	0.00	0.00	Bajo	Punto C
0+160	9	0.00	0.01	Media	Punto D
0+180	10	0.00	0.01	Media	
0+200	11	0.00	0.01	Media	
0+220	12	0.00	0.01	Nulo	
0+240	13	0.01	0.02	Nulo	
0+260	14	0.02	0.02	Nulo	
0+280	15	0.01	0.02	Nulo	
0+300	16	0.02	0.02	Nulo	
0+320	17	0.01	0.02	Nulo	
0+340	18	0.02	0.02	Nulo	
0+360	19	0.01	0.02	Nulo	
0+380	20	0.02	0.02	Nulo	
0+400	21	0.01	0.02	Nulo	
0+420	22	0.02	0.02	Nulo	
0+440	23	0.01	0.02	Nulo	
0+460	24	0.02	0.02	Nulo	
0+480	25	0.01	0.02	Nulo	
0+500	26	0.02	0.03	Nulo	
0+520	27	0.01	0.02	Nulo	
0+540	28	0.02	0.03	Nulo	
0+560	29	0.01	0.02	Nulo	
0+580	30	0.03	0.03	Nulo	
0+600	31	0.01	0.02	Nulo	
0+620	32	0.03	0.03	Nulo	
0+640	33	0.01	0.02	Nulo	
0+660	34	0.04	0.03	Nulo	
0+680	35	0.02	0.02	Nulo	
0+700	36	0.75	0.15	Medio	Punto E
0+720	37	0.00	0.02	Nulo	
0+728	38	0.00	0.01	Nulo	

ANEXO 4-C: Análisis de peligro (tiempo de retorno 10 años)

Abscisa inicial	Unidad de muestreo	Deslizamiento	Volcamiento	Peligro	Puntos Críticos
0+000	1	0.01	0.02	Nulo	
0+020	2	0.00	0.00	Alto	Punto A
0+040	3	0.00	0.00	Medio	Punto B
0+060	4	0.00	0.01	Medio	
0+080	5	0.00	0.01	Nulo	
0+100	6	0.00	0.01	Nulo	
0+120	7	0.00	0.01	Nulo	
0+140	8	0.00	0.01	Bajo	Punto C
0+160	9	0.00	0.01	Medio	Punto D
0+180	10	0.00	0.01	Medio	
0+200	11	0.00	0.01	Medio	
0+220	12	0.00	0.01	Nulo	
0+240	13	0.01	0.02	Nulo	
0+260	14	0.02	0.02	Nulo	
0+280	15	0.01	0.02	Nulo	
0+300	16	0.02	0.02	Nulo	
0+320	17	0.01	0.02	Nulo	
0+340	18	0.02	0.02	Nulo	
0+360	19	0.01	0.02	Nulo	
0+380	20	0.02	0.03	Nulo	
0+400	21	0.01	0.02	Nulo	
0+420	22	0.02	0.02	Nulo	
0+440	23	0.01	0.02	Nulo	
0+460	24	0.02	0.03	Nulo	
0+480	25	0.01	0.02	Nulo	
0+500	26	0.02	0.03	Nulo	
0+520	27	0.01	0.02	Nulo	
0+540	28	0.02	0.03	Nulo	
0+560	29	0.01	0.02	Nulo	
0+580	30	0.03	0.03	Nulo	
0+600	31	0.01	0.02	Nulo	
0+620	32	0.03	0.03	Nulo	
0+640	33	0.01	0.02	Nulo	
0+660	34	0.06	0.04	Nulo	
0+680	35	0.02	0.02	Nulo	
0+700	36	0.23	0.05	Nulo	
0+720	37	0.01	0.02	Nulo	
0+728	38	0.00	0.01	Nulo	

ANEXO 4-D: Análisis de peligro (tiempo de retorno 25 años)

Abscisa inicial	Unidad de muestreo	Deslizamiento	Volcamiento	Peligro	Puntos Críticos
0+000	1	0.02	0.03	Nulo	
0+020	2	0.00	0.00	Alto	Punto A
0+040	3	0.00	0.01	Medio	Punto B
0+060	4	0.00	0.01	Medio	
0+080	5	0.00	0.01	Nulo	
0+100	6	0.00	0.01	Nulo	
0+120	7	0.00	0.01	Nulo	
0+140	8	0.00	0.01	Bajo	Punto C
0+160	9	0.00	0.01	Medio	Punto D
0+180	10	0.00	0.01	Medio	
0+200	11	0.00	0.01	Medio	
0+220	12	0.00	0.01	Nulo	
0+240	13	0.02	0.03	Nulo	
0+260	14	0.03	0.03	Nulo	
0+280	15	0.02	0.03	Nulo	
0+300	16	0.03	0.03	Nulo	
0+320	17	0.02	0.03	Nulo	
0+340	18	0.03	0.03	Nulo	
0+360	19	0.02	0.03	Nulo	
0+380	20	0.03	0.04	Nulo	
0+400	21	0.02	0.03	Nulo	
0+420	22	0.03	0.03	Nulo	
0+440	23	0.02	0.03	Nulo	
0+460	24	0.03	0.04	Nulo	
0+480	25	0.02	0.03	Nulo	
0+500	26	0.03	0.04	Nulo	
0+520	27	0.02	0.02	Nulo	
0+540	28	0.03	0.04	Nulo	
0+560	29	0.01	0.02	Nulo	
0+580	30	0.03	0.03	Nulo	
0+600	31	0.02	0.03	Nulo	
0+620	32	0.04	0.03	Nulo	
0+640	33	0.01	0.03	Nulo	
0+660	34	0.07	0.05	Nulo	
0+680	35	0.03	0.03	Nulo	
0+700	36	0.42	0.09	Bajo	Punto E
0+720	37	0.01	0.02	Nulo	
0+728	38	0.00	0.02	Nulo	

ANEXO 5-A: Análisis de vulnerabilidad (tiempo de retorno 2 años)

Abscisa inicial	Unidad de muestreo	Viviendas	Vehicular	Vulnerabilidad	Puntos Críticos
0+000	1	Media	Nula	Media	Punto A
0+020	2	Media	Alta	Alta	Punto B
0+040	3	Media	Alta	Alta	
0+060	4	Media	Alta	Alta	
0+080	5	Media	Media	Media	Punto C
0+100	6	Media	Nula	Media	
0+120	7	Media	Media	Media	
0+140	8	Media	Media	Media	
0+160	9	Media	Alta	Alta	Punto D
0+180	10	Media	Alta	Alta	
0+200	11	Media	Alta	Alta	
0+220	12	Media	Media	Media	Punto E
0+240	13	Media	Nula	Media	
0+260	14	Media	Nula	Media	
0+280	15	Media	Nula	Media	
0+300	16	Media	Nula	Media	
0+320	17	Media	Nula	Media	
0+340	18	Media	Nula	Media	
0+360	19	Media	Nula	Media	
0+380	20	Media	Nula	Media	
0+400	21	Media	Nula	Media	
0+420	22	Media	Nula	Media	
0+440	23	Media	Nula	Media	
0+460	24	Media	Nula	Media	
0+480	25	Media	Nula	Media	
0+500	26	Media	Nula	Media	
0+520	27	Media	Nula	Media	
0+540	28	Media	Nula	Media	
0+560	29	Media	Nula	Media	
0+580	30	Media	Nula	Media	
0+600	31	Media	Nula	Media	
0+620	32	Media	Nula	Media	
0+640	33	Media	Nula	Media	
0+660	34	Media	Nula	Media	
0+680	35	Media	Nula	Media	
0+700	36	Media	Nula	Media	
0+720	37	Media	Nula	Media	
0+728	38	Media	Nula	Media	

ANEXO 5-B: Análisis de vulnerabilidad (tiempo de retorno 5 años)

Abscisa inicial	Unidad de muestreo	Viviendas	Vehicular	Vulnerabilidad	Puntos Críticos
0+000	1	Media	Nula	Media	Punto A
0+020	2	Media	Alta	Alta	Punto B
0+040	3	Media	Alta	Alta	
0+060	4	Media	Alta	Alta	
0+080	5	Media	Media	Media	Punto C
0+100	6	Media	Nula	Media	
0+120	7	Media	Media	Media	
0+140	8	Media	Media	Media	
0+160	9	Media	Alta	Alta	Punto D
0+180	10	Media	Alta	Alta	
0+200	11	Media	Alta	Alta	
0+220	12	Media	Media	Media	Punto E
0+240	13	Media	Nula	Media	
0+260	14	Media	Nula	Media	
0+280	15	Media	Nula	Media	
0+300	16	Media	Nula	Media	
0+320	17	Media	Nula	Media	
0+340	18	Media	Nula	Media	
0+360	19	Media	Nula	Media	
0+380	20	Media	Nula	Media	
0+400	21	Media	Nula	Media	
0+420	22	Media	Nula	Media	
0+440	23	Media	Nula	Media	
0+460	24	Media	Nula	Media	
0+480	25	Media	Nula	Media	
0+500	26	Media	Nula	Media	
0+520	27	Media	Nula	Media	
0+540	28	Media	Nula	Media	
0+560	29	Media	Nula	Media	
0+580	30	Media	Nula	Media	
0+600	31	Media	Nula	Media	
0+620	32	Media	Nula	Media	
0+640	33	Media	Nula	Media	
0+660	34	Media	Nula	Media	
0+680	35	Media	Nula	Media	
0+700	36	Media	Nula	Media	
0+720	37	Media	Nula	Media	
0+728	38	Media	Nula	Media	

ANEXO 5-C : Análisis de vulnerabilidad (tiempo de retorno 10 años)

Abscisa inicial	Unidad de muestreo	Viviendas	Vehicular	Vulnerabilidad	Puntos Críticos
0+000	1	Media	Nula	Media	Punto A
0+020	2	Media	Alta	Alta	Punto B
0+040	3	Media	Alta	Alta	
0+060	4	Media	Alta	Alta	
0+080	5	Media	Media	Media	Punto C
0+100	6	Media	Nula	Media	
0+120	7	Media	Media	Media	
0+140	8	Media	Media	Media	
0+160	9	Media	Alta	Alta	Punto D
0+180	10	Media	Alta	Alta	
0+200	11	Media	Alta	Alta	
0+220	12	Media	Media	Media	Punto E
0+240	13	Media	Nula	Media	
0+260	14	Media	Nula	Media	
0+280	15	Media	Nula	Media	
0+300	16	Media	Nula	Media	
0+320	17	Media	Nula	Media	
0+340	18	Media	Nula	Media	
0+360	19	Media	Nula	Media	
0+380	20	Media	Nula	Media	
0+400	21	Media	Nula	Media	
0+420	22	Media	Nula	Media	
0+440	23	Media	Nula	Media	
0+460	24	Media	Nula	Media	
0+480	25	Media	Nula	Media	
0+500	26	Media	Nula	Media	
0+520	27	Media	Nula	Media	
0+540	28	Media	Nula	Media	
0+560	29	Media	Nula	Media	
0+580	30	Media	Nula	Media	
0+600	31	Media	Nula	Media	
0+620	32	Media	Nula	Media	
0+640	33	Media	Nula	Media	
0+660	34	Media	Nula	Media	
0+680	35	Media	Nula	Media	
0+700	36	Media	Nula	Media	
0+720	37	Media	Nula	Media	
0+728	38	Media	Nula	Media	

ANEXO 5-D: Análisis de vulnerabilidad (tiempo de retorno 25 años)

Abscisa inicial	Unidad de muestreo	Viviendas	Vehicular	Vulnerabilidad	Puntos Críticos
0+000	1	Media	Nula	Media	Punto A
0+020	2	Media	Alta	Alta	Punto B
0+040	3	Media	Alta	Alta	
0+060	4	Media	Alta	Alta	
0+080	5	Media	Media	Media	Punto C
0+100	6	Media	Baja	Media	
0+120	7	Media	Media	Media	
0+140	8	Media	Media	Media	Punto D
0+160	9	Media	Alta	Alta	
0+180	10	Media	Alta	Alta	
0+200	11	Media	Alta	Alta	Punto E
0+220	12	Media	Media	Media	
0+240	13	Media	Nula	Media	
0+260	14	Media	Nula	Media	
0+280	15	Media	Nula	Media	
0+300	16	Media	Nula	Media	
0+320	17	Media	Nula	Media	
0+340	18	Media	Nula	Media	
0+360	19	Media	Nula	Media	
0+380	20	Media	Nula	Media	
0+400	21	Media	Nula	Media	
0+420	22	Media	Nula	Media	
0+440	23	Media	Nula	Media	
0+460	24	Media	Nula	Media	
0+480	25	Media	Nula	Media	
0+500	26	Media	Nula	Media	
0+520	27	Media	Nula	Media	
0+540	28	Media	Nula	Media	
0+560	29	Media	Nula	Media	
0+580	30	Media	Nula	Media	
0+600	31	Media	Nula	Media	
0+620	32	Media	Nula	Media	
0+640	33	Media	Nula	Media	
0+660	34	Media	Nula	Media	
0+680	35	Media	Nula	Media	
0+700	36	Media	Nula	Media	
0+720	37	Media	Nula	Media	
0+728	38	Media	Nula	Media	

ANEXO 6-A: Análisis de riesgo (tiempo de retorno 2 años)

Abscisa inicial	Peligro	Vulnerabilidad	Riesgo	Puntos Críticos
0+000	Nulo	Medio	Nulo	
0+020	Alto	Alto	Alto	Punto A
0+040	Medio	Alto	Alto	
0+060	Medio	Alto	Alto	
0+080	Nulo	Medio	Nulo	
0+100	Nulo	Medio	Nulo	
0+120	Nulo	Medio	Nulo	
0+140	Bajo	Medio	Bajo	Punto B
0+160	Bajo	Alto	Medio	Punto C
0+180	Medio	Alto	Alto	Punto D
0+200	Bajo	Alto	Medio	Punto E
0+220	Nulo	Medio	Nulo	
0+240	Nulo	Medio	Nulo	
0+260	Nulo	Medio	Nulo	
0+280	Nulo	Medio	Nulo	
0+300	Nulo	Medio	Nulo	
0+320	Nulo	Medio	Nulo	
0+340	Nulo	Medio	Nulo	
0+360	Nulo	Medio	Nulo	
0+380	Nulo	Medio	Nulo	
0+400	Nulo	Medio	Nulo	
0+420	Nulo	Medio	Nulo	
0+440	Nulo	Medio	Nulo	
0+460	Nulo	Medio	Nulo	
0+480	Nulo	Medio	Nulo	
0+500	Nulo	Medio	Nulo	
0+520	Nulo	Medio	Nulo	
0+540	Nulo	Medio	Nulo	
0+560	Nulo	Medio	Nulo	
0+580	Nulo	Medio	Nulo	
0+600	Nulo	Medio	Nulo	
0+620	Nulo	Medio	Nulo	
0+640	Alto	Medio	Alto	Punto F
0+660	Nulo	Medio	Nulo	
0+680	Nulo	Medio	Nulo	
0+700	Nulo	Medio	Nulo	
0+720	Nulo	Medio	Nulo	
0+728	Nulo	Medio	Nulo	

ANEXO 6-B: Análisis de riesgo (tiempo de retorno 5 años)

Abscisa inicial	Peligro	Vulnerabilidad	Riesgo	Puntos Críticos
0+000	Nulo	Medio	Nulo	
0+020	Alto	Alto	Alto	Punto A
0+040	Medio	Alto	Alto	
0+060	Medio	Alto	Alto	
0+080	Nulo	Medio	Nulo	
0+100	Nulo	Medio	Nulo	
0+120	Nulo	Medio	Nulo	
0+140	Bajo	Medio	Bajo	Punto B
0+160	Medio	Alto	Alto	Punto C
0+180	Medio	Alto	Alto	
0+200	Medio	Alto	Alto	
0+220	Nulo	Medio	Nulo	
0+240	Nulo	Medio	Nulo	
0+260	Nulo	Medio	Nulo	
0+280	Nulo	Medio	Nulo	
0+300	Nulo	Medio	Nulo	
0+320	Nulo	Medio	Nulo	
0+340	Nulo	Medio	Nulo	
0+360	Nulo	Medio	Nulo	
0+380	Nulo	Medio	Nulo	
0+400	Nulo	Medio	Nulo	
0+420	Nulo	Medio	Nulo	
0+440	Nulo	Medio	Nulo	
0+460	Nulo	Medio	Nulo	
0+480	Nulo	Medio	Nulo	
0+500	Nulo	Medio	Nulo	
0+520	Nulo	Medio	Nulo	
0+540	Nulo	Medio	Nulo	
0+560	Nulo	Medio	Nulo	
0+580	Nulo	Medio	Nulo	
0+600	Nulo	Medio	Nulo	
0+620	Nulo	Medio	Nulo	
0+640	Nulo	Medio	Nulo	
0+660	Nulo	Medio	Nulo	
0+680	Nulo	Medio	Nulo	
0+700	Medio	Medio	Medio	Punto D
0+720	Nulo	Medio	Nulo	
0+728	Nulo	Medio	Nulo	

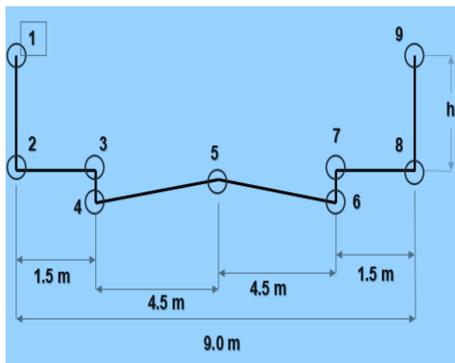
ANEXO 6-C: Análisis de riesgo (tiempo de retorno 10 años)

Abscisa inicial	Peligro	Vulnerabilidad	Riesgo	Puntos Críticos
0+000	Nulo	Medio	Nulo	
0+020	Alto	Alto	Alto	Punto A
0+040	Medio	Alto	Alto	
0+060	Medio	Alto	Alto	
0+080	Nulo	Medio	Nulo	
0+100	Nulo	Medio	Nulo	
0+120	Nulo	Medio	Nulo	
0+140	Bajo	Medio	Bajo	Punto B
0+160	Medio	Alto	Alto	Punto C
0+180	Medio	Alto	Alto	
0+200	Medio	Alto	Alto	
0+220	Nulo	Medio	Nulo	
0+240	Nulo	Medio	Nulo	
0+260	Nulo	Medio	Nulo	
0+280	Nulo	Medio	Nulo	
0+300	Nulo	Medio	Nulo	
0+320	Nulo	Medio	Nulo	
0+340	Nulo	Medio	Nulo	
0+360	Nulo	Medio	Nulo	
0+380	Nulo	Medio	Nulo	
0+400	Nulo	Medio	Nulo	
0+420	Nulo	Medio	Nulo	
0+440	Nulo	Medio	Nulo	
0+460	Nulo	Medio	Nulo	
0+480	Nulo	Medio	Nulo	
0+500	Nulo	Medio	Nulo	
0+520	Nulo	Medio	Nulo	
0+540	Nulo	Medio	Nulo	
0+560	Nulo	Medio	Nulo	
0+580	Nulo	Medio	Nulo	
0+600	Nulo	Medio	Nulo	
0+620	Nulo	Medio	Nulo	
0+640	Nulo	Medio	Nulo	
0+660	Nulo	Medio	Nulo	
0+680	Nulo	Medio	Nulo	
0+700	Nulo	Medio	Nulo	
0+720	Nulo	Medio	Nulo	
0+728	Nulo	Medio	Nulo	

ANEXO 6-D: Análisis de riesgo (tiempo de retorno 25 años)

Abscisa inicial	Peligro	Vulnerabilidad	Riesgo	Puntos Críticos
0+000	Nulo	Medio	Nulo	
0+020	Alto	Alto	Alto	Punto A
0+040	Medio	Alto	Alto	
0+060	Medio	Alto	Alto	
0+080	Nulo	Medio	Nulo	
0+100	Nulo	Medio	Nulo	
0+120	Nulo	Medio	Nulo	
0+140	Bajo	Medio	Bajo	Punto B
0+160	Medio	Alto	Alto	Punto C
0+180	Medio	Alto	Alto	
0+200	Medio	Alto	Alto	
0+220	Nulo	Medio	Nulo	
0+240	Nulo	Medio	Nulo	
0+260	Nulo	Medio	Nulo	
0+280	Nulo	Medio	Nulo	
0+300	Nulo	Medio	Nulo	
0+320	Nulo	Medio	Nulo	
0+340	Nulo	Medio	Nulo	
0+360	Nulo	Medio	Nulo	
0+380	Nulo	Medio	Nulo	
0+400	Nulo	Medio	Nulo	
0+420	Nulo	Medio	Nulo	
0+440	Nulo	Medio	Nulo	
0+460	Nulo	Medio	Nulo	
0+480	Nulo	Medio	Nulo	
0+500	Nulo	Medio	Nulo	
0+520	Nulo	Medio	Nulo	
0+540	Nulo	Medio	Nulo	
0+560	Nulo	Medio	Nulo	
0+580	Nulo	Medio	Nulo	
0+600	Nulo	Medio	Nulo	
0+620	Nulo	Medio	Nulo	
0+640	Nulo	Medio	Nulo	
0+660	Nulo	Medio	Nulo	
0+680	Nulo	Medio	Nulo	
0+700	Bajo	Medio	Bajo	Punto D
0+720	Nulo	Medio	Nulo	
0+728	Nulo	Medio	Nulo	

ANEXO 7: Alturas de cada sección transversal



SECCIÓN	1 y 9	2 y 8	3 y 7	4 y 6	5
0+000	133.63	131.63	131.63	131.48	131.54
0+020	131.84	129.84	129.84	129.69	129.75
0+040	132.37	130.37	130.37	130.22	130.28
0+060	131.21	130.91	130.91	130.76	130.82
0+080	131.73	131.43	131.43	131.28	131.34
0+100	131.90	131.60	131.60	131.45	131.51
0+120	131.77	131.47	131.47	131.32	131.38
0+140	131.63	131.33	131.33	131.18	131.24
0+160	131.49	131.19	131.19	131.04	131.10
0+180	131.40	131.10	131.10	130.95	131.01
0+200	131.49	131.19	131.19	131.04	131.10
0+220	131.76	131.46	131.46	131.31	131.37
0+240	132.19	131.89	131.89	131.74	131.80
0+260	132.66	132.36	132.36	132.21	132.27
0+280	133.14	132.84	132.84	132.69	132.75
0+300	133.62	133.32	133.32	133.17	133.23
0+320	134.10	133.80	133.80	133.65	133.71
0+340	134.59	134.29	134.29	134.14	134.20
0+360	135.11	134.81	134.81	134.66	134.72
0+380	135.63	135.33	135.33	135.18	135.24
0+400	136.17	135.87	135.87	135.72	135.78
0+420	136.67	136.37	136.37	136.22	136.28
0+440	137.19	136.89	136.89	136.74	136.80
0+460	137.71	137.41	137.41	137.26	137.32
0+480	138.24	137.94	137.94	137.79	137.85
0+500	138.76	138.46	138.46	138.31	138.37
0+520	139.28	138.98	138.98	138.83	138.89
0+540	139.80	139.50	139.50	139.35	139.41
0+560	140.32	140.02	140.02	139.87	139.93
0+580	140.85	140.55	140.55	140.40	140.46
0+600	141.37	141.07	141.07	140.92	140.98
0+620	141.89	141.59	141.59	141.44	141.50
0+640	142.41	142.11	142.11	141.96	142.02
0+660	142.94	142.64	142.64	142.49	142.55
0+680	144.48	144.18	144.18	144.03	144.09
0+700	146.34	146.04	146.04	145.89	145.95
0+720	147.93	147.63	147.63	147.48	147.54
0+728	147.93	147.63	147.63	147.48	147.54

ANEXO 9: Guía metodológica para el cálculo de la compensación ambiental para proyectos ambientales viales

GUÍA METODOLÓGICA PARA EL CÁLCULO DE LA COMPENSACIÓN AMBIENTAL PARA PROYECTOS AMBIENTALES VIALES

1. INTRODUCCIÓN

La ley del Medio Ambiente contempla entre algunos de sus conceptos y definiciones básicas:

Art. 5.- Para los efectos de esta ley y su reglamento, se entenderá por:

COMPENSACIÓN AMBIENTAL: conjunto de mecanismos que el Estado y la población puede adoptar conforme a la ley para reponer o compensar los impactos inevitables efectuados en forma directa o a través de agentes especializados, en el sitio del impacto, en zonas aledañas o en zonas más propicias para su reposición o recuperación.

OBLIGACIÓN DE REPARAR EL DAÑO: como deber legal de reestablecer el medio ambiente o ecosistema, a la situación anterior al hecho, que lo contaminó, deterioró o destruyó, cuando sea posible, o en dar una compensación a la sociedad en su conjunto, que sustituya de la forma más adecuada y equitativa el daño, además de indemnizar a los particulares por perjuicios conexos con el daño ambiental, según corresponda.

1. GUÍA PARA LA REALIZACIÓN DE LA COMPENSACIÓN AMBIENTAL

La compensación ambiental depende y está en función de los impactos negativos actuales o potenciales de las actividades, obras o proyectos hacia el medio ambiente.

Comprende tres componentes:

- I) Identificación de los impactos,
- II) Cuantificación de los impactos y
- III) Cálculo de la compensación ambiental en correspondencia a la reparación, conservación, recuperación de los impactos al ambiente y a la sociedad.

DESARROLLO DE LOS COMPONENTES:

I. Identificación de los impactos:

A la vegetación arbórea y arbustiva, agua, suelo, paisaje y fauna silvestre, otros (si los hubiera).

II. Cuantificación de impactos:

La cuantificación de cada impacto debe hacerse en función del recurso natural al cual el proyecto afecta o afectará, habiendo analizado para cada uno de los recursos identificados, según el caso considerar lo siguiente:

1. Pérdida de cobertura vegetal, número de árboles y/o árboles a talar.
2. Identificación del suelo, área a impermeabilizarse (ha) por infraestructura, calles, aceras, estacionamientos, otros.
3. Aprovechamiento del recurso agua:

- a) Volumen de agua por la población actual o futura (m^3 anuales). Corresponde a la extracción de agua subterránea (pozos) y superficiales (ríos, lagos, etc.)
 - b) Volumen de agua por aprovechamiento o consumo de la actividad productiva actual o futura (m^3 anuales). Uso del agua con fines industriales, riego agrícola y otros que generan beneficios económicos.
4. Al paisaje y a la vida silvestre. Área total o parcial impactada o a impactar por el proyecto (ha).

Cambios drásticos a la fisiografía del lugar y alteraciones a la vida silvestre: impactos al ecosistema; vegetación y suelo, como refugio y desarrollo de la fauna aérea y terrestre.

III. COMPENSACIÓN AMBIENTAL TOTAL. Pasos para su determinación.

Por tala a vegetación. De manera general

Plantación de 10 árboles talados por cada árbol talado:

Tala de 50 árboles. Compensación 500 arboles

- Distanciamiento: $4 m * 4 m = 16 m^2 * 500 = 8,000 m^2 = 0.8 ha$

Plantación de un arbusto por cada arbusto talado:

Tala de 250 arbustos. Compensación: 250 arbusto

- Distanciamiento: $3 m * 3 m = 9 m^2 * 250 = 2,250 m^2 = 0.225 ha$

Total, de área impermeabilizada: 2.58 ha

Total, de área a compensar: 2.58 ha.

Por aprovechamiento del recurso hídrico. (Consumo doméstico):

Número de lotes: 11.30 ha / lotes de 0.02 ha (200 m²) = 565 lotes

Número de personas por lote (4): 2260 personas

Dotación de agua por persona: 150 litros/día

Volumen anual de agua por consumo 240 m³/día = 87,600 m³/año

Para efectos cálculo de compensación, realizar balance hídrico del lugar

Lluvia = evapotranspiración real (ETR) + Escurrimiento (C) + infiltración (I)

Lluvia y evapotranspiración real. Esta información puede ser obtenida en el MARN

Escurrimiento: puede usarse tablas o gráficos que consideren cobertura vegetal, pendientes, permeabilidad del área del proyecto

Infiltración = Lluvia – ETR – Escurrimiento

CALCULO DEL COSTO DE COMPENSACIÓN.

Ejemplo

Lugar: en área fuera del proyecto:

Describir las características biofísicas actuales del área en donde se realizará la compensación, considerando las condiciones climáticas y edáficas del lugar y realizar un nuevo balance hídrico en el lugar de compensación.

Vegetación

Costos. De acuerdo a modulo 10 ha MARN. Corresponde a plantación, mantenimiento/3años, imprevistos, administración y asistencia técnica.

\$ 4,721.00/ha para arboles forestales. Plantación y mantenimiento/3años

\$6,915.00/ha para arbustos. Plantación y mantenimiento/3años

Por tala de 50 árboles. Compensación: 500 árboles. Distanciamiento: 4 m x 4 m = 0.8 ha (625/ha)

Costo: 0.8 ha x \$ 4,721.00/ha = \$3,776.80

Por tala de 250 arbustos. Compensación: 250 arbustos. Distanciamiento: 3 m x 3 m = 0.225 ha (1111/ha)

Costo: 0.225 ha x \$6,915.00/ha = \$ 1,555.88

Impermeabilización del suelo

Total, área a impermeabilizar = 2.58 ha.

Área a compensar: 2.58 ha

Costo: 2.58 ha x \$ 4,721.00 = \$ 12,180.18

Recurso agua

Consumo agua: 87,600 m³/año

Compensación

De balance hídrico del lugar

Lluvia: 1900 mm

Infiltración: 475 mm = 4750 m³/ha

Compensación (ha) = afectación agua m³ año / infiltración m³ ha

Compensación: 87,600 m³ año/4,750 m³ ha = 18.4421 ha = \$ 87,065.15

Afectación al paisaje y vida silvestre, Se tiene dos opciones

1. Propuesta de titular, mediante la utilización de una metodología válida para su calculo
2. Utilizar el valor de \$ 980. 00/ha (fuente: Méndez Rodríguez, Colombia, 2011)

Tala de árboles y arbustos: 1.025 ha

Impermeabilización: 2.58 ha

Total: 3.605 ha

Costo: 3.605 ha x \$ 980. 00/ha = \$ 3,532.90

VALOR TOTAL DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL

Tala árboles: \$ 3,776.80

Tala de arbustos: \$ 1,555.88

Impermeabilización: \$ 12,180.18

Agua: \$ 87,065.15

Paisaje y vida silvestre: \$ 3,532.90

TOTAL: \$ 108,110.91 (para 3 años)

MÓDULO BASE DE CÁLCULO: 10 HECTÁREAS CON ÁRBOLES FORESTALES

Esta plantación preferentemente no debe ser de la misma especie, sino que, con diversas especies adaptadas a los sitios a reforestar, o sea que sean de carácter mixto.

Condicionantes

Distanciamiento de siembra de árboles: 4x4 metros

Número de árboles por hectárea: 625; 6250 Árboles/10 hectáreas

Cálculos

Precio de plántula de un metro de altura: \$2.50

Precio de 6250 plántulas: \$ 15,625.00

Trazo y estaquillado a nivel de campo (4 días): \$ 1,000.00

Transporte de 6250 plántulas (1 viaje: 200 plántulas); 32 viajes

1 viaje: \$ 50.00; costo 32 viajes: \$ 1,600.00

Plantación

Ahoyado de 0.40 m x 0.40 m x 0.40 m (0.064 m³)

Abonado: aplicación de 1 onza de abono orgánico por planta

Precio abonado orgánico: \$15.00 qq

Aplicación: 1 onza/planta: 16 plantas/libra: 1 600 plantas/qq

Costo de abono orgánico: $6\ 250/1\ 600 = 3.91\ qq \approx 4.0\ qq$: \$60.00

Tarea/día: 20 plántulas cada trabajador

(Longitud de 80 metros, remoción y relleno de 1.28 m³ de suelo)

Días/hombres necesarios: 6250 plántulas/20 plantas día: 312.5 días hábiles

Tiempo de ejecución: 28 días calendarios

(20 días de trabajo y 8 días fines de semana no trabajados)

Número de trabajadores: 312.5 días hábiles/20 días trabajados: 15.625

Costo jornales:

Salario mínimo diario rural: \$ 3.50 actual; \$3.64 futuro (4% mayor): con ISSS: 10%≈16

$x\ 3.64\ x\ 28 = \$\ 1\ 631 + \$\ 163 = \$\ 1\ 794.00$

Herramientas: \$640.00

16 piochas, \$ 15 c/u: \$ 240

16 palas dúplex, \$25 c/u: \$ 400

TOTAL, PLANTACIÓN = \$20 719.00

MANTENIMIENTO 3 años: \$11 395.00

Remoción maleza alrededor de la plántula

Resiembra de plantas perdidas

Control de plagas y enfermedades

Mantenimiento año 1 (25%)

Mantenimiento año 2 (15%)

Mantenimiento año 3 (15%)

COSTO DE PLANTACIÓN Y MANTENIMIENTO POR 3 AÑOS: \$32 114.00

COSTOS DE EJECUCIÓN

Imprevistos en planeación (10%): \$3 210.00

Gastos de administración (12%): \$3 854.00

Asistencia técnica (25%): \$8 029.00

GRAN TOTAL, módulo de 10 hectáreas forestales=\$47 208.00

Costo por hectárea = \$4 721.00

OPCIONES PARA EL CUMPLIMIENTO DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL

COSTO DE COMPENSACIÓN AMBIENTAL EQUIVALENTE

Base técnica de cálculo de los costos: Módulos de reforestación con árboles forestales de

10 ha del MARN. Costo por hectárea: \$ 4 721.00

Costo de compensación equivalente a todas las opciones: \$ 4 721.00/ha

La compensación ambiental puede ser ejecutada ya sea por medio del Titular o por medio de Fondo de la Iniciativa para las América (FIAES) o Fondo Ambiental de El Salvador (FONAES).

Si la compensación ambiental será ejecutada por FIAES o FONAES, no se requiere la realización del balance hídrico elemental. Para efectos de cálculos de la compensación será utilizada el valor de la infiltración media nacional de 295 mm/año equivalente a 2 950 m³/ha.

OPCIONES:

1. REFORESTACIÓN.

Número de hectáreas a compensar y los costos correspondientes, incluyendo los nombres comunes y técnicos de las especies, distanciamientos de la siembra y 3 años de mantenimiento para asegurar el establecimiento de la plantación.

El área donde sea realizada la compensación ambiental a través de reforestación, implica que este nuevo uso del suelo no podrá ser modificado a través del tiempo, para mantener su función eco sistemática permanente.

2. MEDIDAS DE RECARGA HÍDRICA

En áreas de producción agrícola o en otras que permiten la infiltración de aguas lluvias y la correspondiente recarga hídrica, para la protección de los recursos naturales, agua, suelo y biodiversidad.

Pueden ser obras mecánicas o vegetativas para la captación e infiltración de aguas lluvias que realicen carga hídrica ya sea en la forma superficial o subterránea, de tal manera que sirvan para enriquecer nacimientos de agua y mantos acuíferos.

Estas obras pueden ser:

- Acequias de absorción (a nivel), para infiltración de aguas lluvias ya sea para recarga hídrica acuífera o superficial.
- Puntos de absorción de aguas lluvias para recarga hídrica acuífera o subsuperficial.
- Cajuelas (similar al hecho en cafetales) para recolectar aguas lluvias y su subsiguiente infiltración para recarga hídrica acuífera o subsuperficial.
- Las obras de captación de aguas lluvias que tengan la misma finalidad
- Barreras de piedra. Obviamente, esta práctica es recomendable en terrenos con presencia d piedra sueltas en su superficie.
- Otras obras de captación e infiltración de aguas lluvias.

3. ACCIONES PARA BENEFICIO SOCIAL, relacionado con la gestión de riesgos

- a) En sitios inestables susceptibles a que puedan realizarse movimientos masivos de tierra hacia las partes bajas
- b) En sitios ubicados en partes bajas y que son vulnerables a recibir suelo erosionado, proveniente de lugares inestables ubicados en las partes altas

Para ello, pueden ser diseñadas y construidas obras para la estabilización de taludes, zanjones y cárcavas, mediante la ejecución de medidas conservacionistas de naturaleza mecánica y/o vegetativa.

Las medidas mecánicas pueden ser muros o diques de retención (guardaniveles transversales), laterales (deflectores) o de contención. Para lechos y taludes de cárcavas o zanjones inestables pueden ser usados los de tipo gavionado y para sitios estables, de tipo mampostería hidráulica.

c) En planicies de inundación o sitios de desbordamientos de ríos, pueden ser diseñadas y construidas medidas de control como:

- Canales de desviación de aguas lluvias o de cursos de agua a sitios estables
- Borda de tierra debidamente reforzadas, para la conducción de las aguas lluvias hacia sitios estabilizados
- Pozos de absorción de aguas lluvias, ubicados aguas arriba de los sitios de inundación, los cuales deben ser debidamente diseñados, de tal manera que no haya posibles movimientos masivos de suelo (deslizamientos).
- Establecimiento de bosques de galería en márgenes de ríos inestables, utilizando especies forestales adaptadas a las condiciones edáficas (es una rama de la ciencia que estudia la composición y naturaleza del suelo en su relación con las plantas y el entorno que le rodea) y climáticas de la zona.

4. Apoyo a la investigación

- a) Investigaciones hidrogeológicas relacionadas con temas de contaminación del agua subterránea, vulnerabilidad acuífera, delimitación de zonas de recarga acuífera, agotamiento de acuíferos, interacción de agua superficial.
- b) Perforación y equipamiento de pozos de monitoreo de acuíferos, como apoyo a la investigación de acuíferos de alta importancia en términos de sostenibilidad del recurso. Esta medida de compensación debe ser previamente discutida con el MARN para evaluar su viabilidad. No se considera medida de compensación por extracción de recurso hídrico un pozo de monitoreo que sea necesario como medida de control propio del funcionamiento del proyecto.

COMPENSACIÓN AMBIENTAL POR APROVECHAMIENTO PERMANENTE DE AGUA PARA PROYECTOS DE VIDA ÚTIL DE 20 AÑOS CON OPCIÓN DE REFORESTACIÓN CON ARBOLES FORESTALES

Aplicables a actividades, obras o proyecto que utilizan agua como materia prima o insumo para transformación o elaboración de productos comerciales.

Base técnica de costos: según módulos de reforestación de 10 ha del MARN:

Distancia de siembra 4x4= 16 m²=6225 árboles/ha

1) Años 1 a 3. Plan de reforestación. Establecimiento

- a) Costo de plantación y mantenimiento 3 años: **\$3 211.40/ha**
- b) Costos de ejecución del plan: imprevistos (10%), administración (12%) y asistencia técnica (25%) = \$1 509.36

c) **Total: \$4 721.00/ha.**

2) **Periodo anos 4 al 20 (17 años).** Manejo de la plantación ya establecida:

Base de compensación requerida: costos de administración (12%) y asistencia técnica (25%) = 37% de los costos de plantación y mantenimiento/3 años:

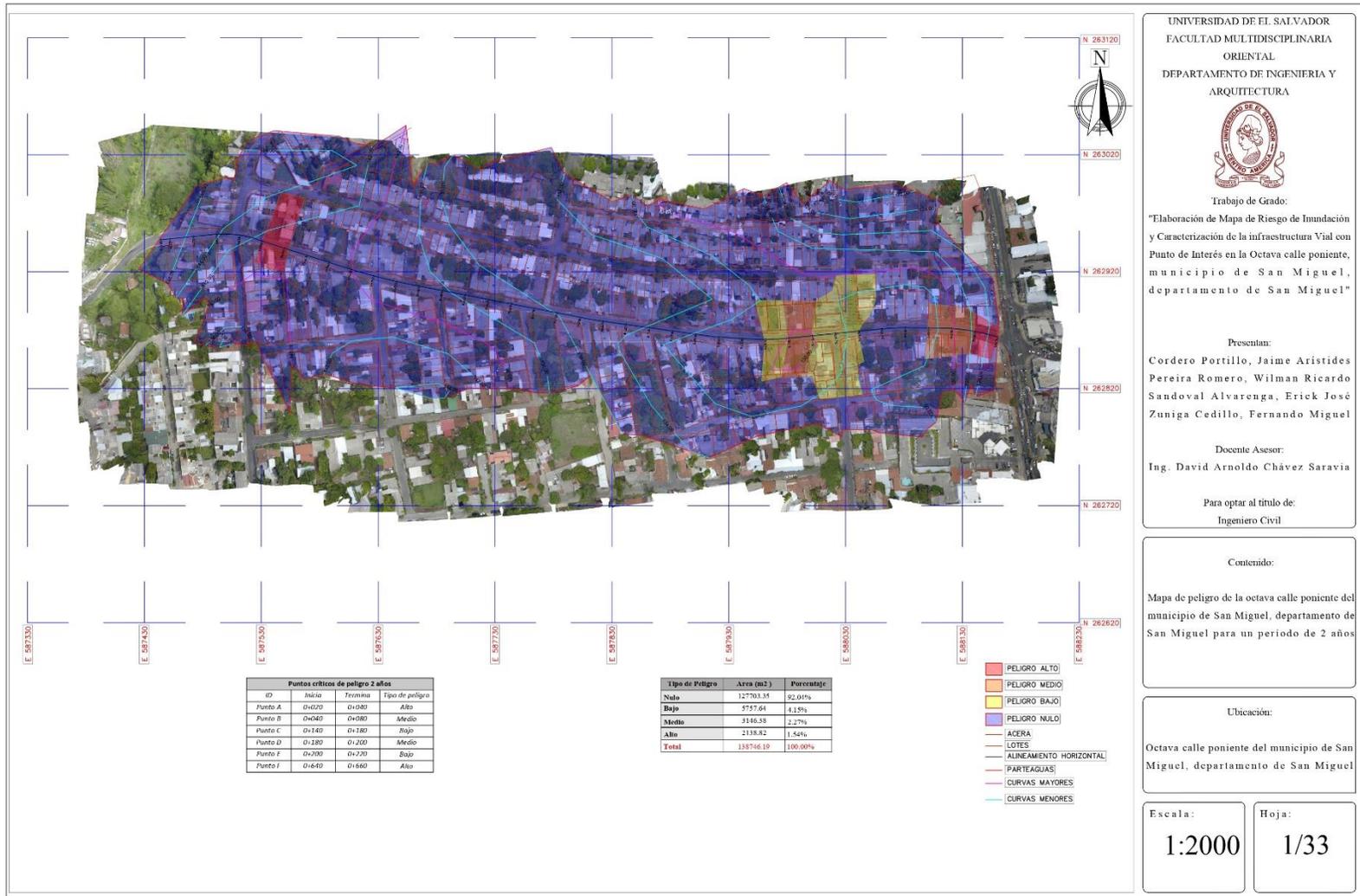
a) Costo de plantación y mantenimiento 3 años: **\$3 211.40/ha.**

b) Administración (12%) + asistencia técnica (25%) = 37%

Compensación para periodo 4-20 años: $\$3\,211.40/\text{ha} \times 0.37 = \$1\,188.22/\text{ha/año}$

Costo total periodo 4 – 20 años = $\$1\,188.22/\text{ha/año} \times 17 \text{ años} = \$20\,199.74/\text{ha}$

PLANOS



N 263120
N 263020
N 262920
N 262820
N 262720
N 262620
N 262520

E 587730

E 587630

E 587530

E 587430

E 587330

E 587230

E 587130

E 587030

E 586930

E 586830

Puntos críticos de peligro 2 años			
ID	Inicia	Termina	Tipo de peligro
Punto A	0+020	0+080	Alto
Punto B	0+080	0+080	Medio
Punto C	0+140	0+180	Bajo
Punto D	0+180	0+200	Medio
Punto E	0+200	0+220	Bajo
Punto F	0+640	0+660	Alto

Tipo de Peligro	Area (m2)	Porcentaje
Nulo	127703.35	92.01%
Bajo	5757.64	4.15%
Medio	3186.38	2.27%
Alto	2118.82	1.54%
Total	138716.19	100.00%

- PELIGRO ALTO
- PELIGRO MEDIO
- PELIGRO BAJO
- PELIGRO NULO
- ACERA
- LOTES
- ALINEAMIENTO HORIZONTAL
- PARTEAGUAS
- CURVAS MAYORES
- CURVAS MENORES

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA
ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y
ARQUITECTURA



Trabajo de Grado:
"Elaboración de Mapa de Riesgo de Inundación
y Caracterización de la Infraestructura Vial con
Punto de Interés en la Octava calle poniente,
municipio de San Miguel,
departamento de San Miguel"

Presentan:
Cordero Portillo, Jaime Aristides
Pereira Romero, Wilman Ricardo
Sandoval Alvarenga, Erick José
Zuniga Cedillo, Fernando Miguel

Docente Asesor:
Ing. David Arnoldo Chávez Saravia

Para optar al título de:
Ingeniero Civil

Contenido:

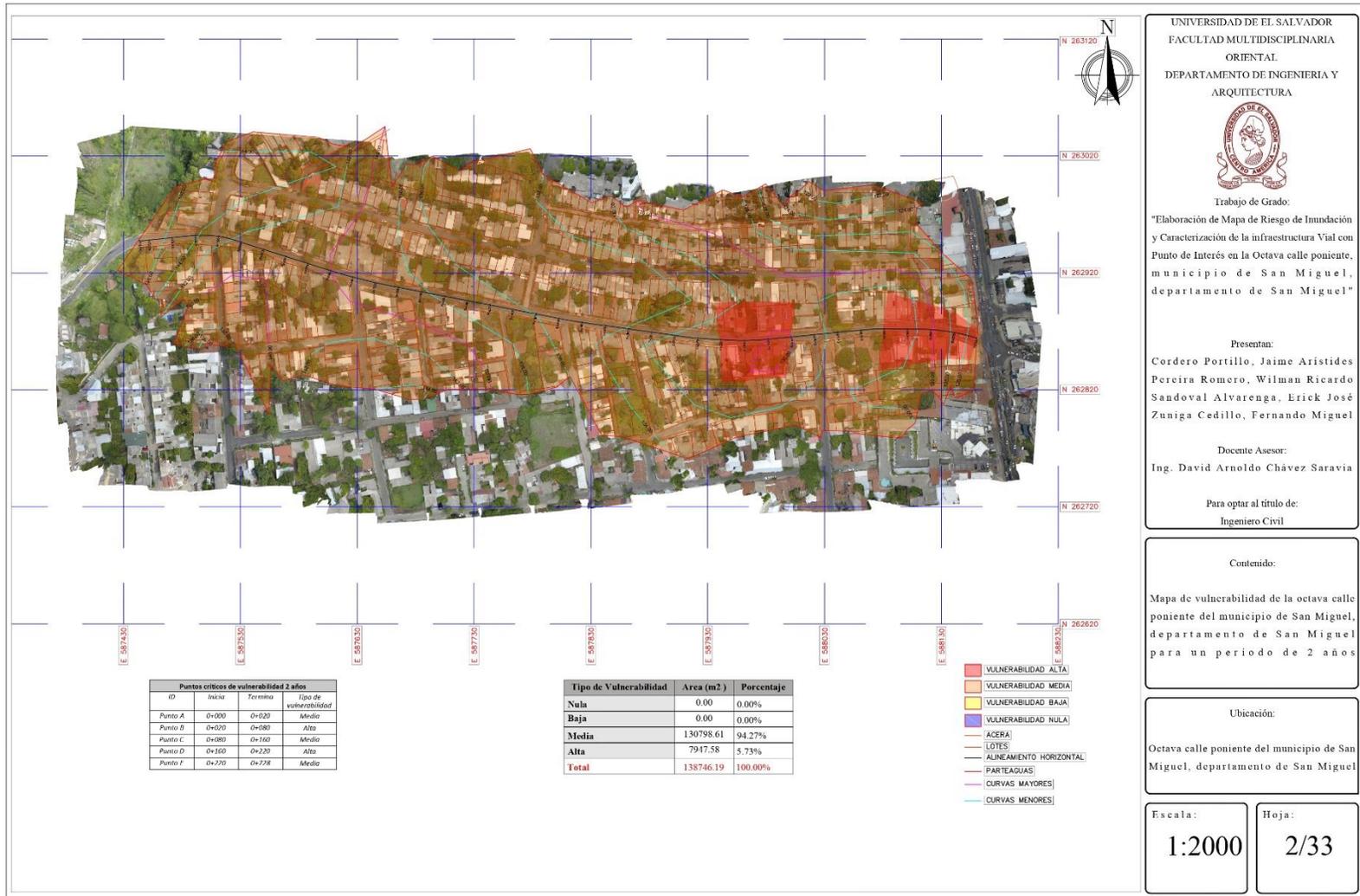
Mapa de peligro de la octava calle poniente del
municipio de San Miguel, departamento de
San Miguel para un periodo de 2 años

Ubicación:

Octava calle poniente del municipio de San
Miguel, departamento de San Miguel

Escala:
1:2000

Hoja:
1/33



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA
 ORIENTAL
 DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y
 ARQUITECTURA



Trabajo de Grado:
 "Elaboración de Mapa de Riesgo de Inundación
 y Caracterización de la infraestructura Vial con
 Punto de Interés en la Octava calle poniente,
 municipio de San Miguel,
 departamento de San Miguel"

Presentan:
 Cordero Portillo, Jaime Aristides
 Pereira Romero, Wilman Ricardo
 Sandoval Alvarenga, Erick José
 Zuniga Cedillo, Fernando Miguel

Docente Asesor:
 Ing. David Arnoldo Chávez Saravia

Para optar al título de:
 Ingeniero Civil

Contenido:
 Mapa de vulnerabilidad de la octava calle
 poniente del municipio de San Miguel,
 departamento de San Miguel
 para un periodo de 2 años

Ubicación:
 Octava calle poniente del municipio de San
 Miguel, departamento de San Miguel

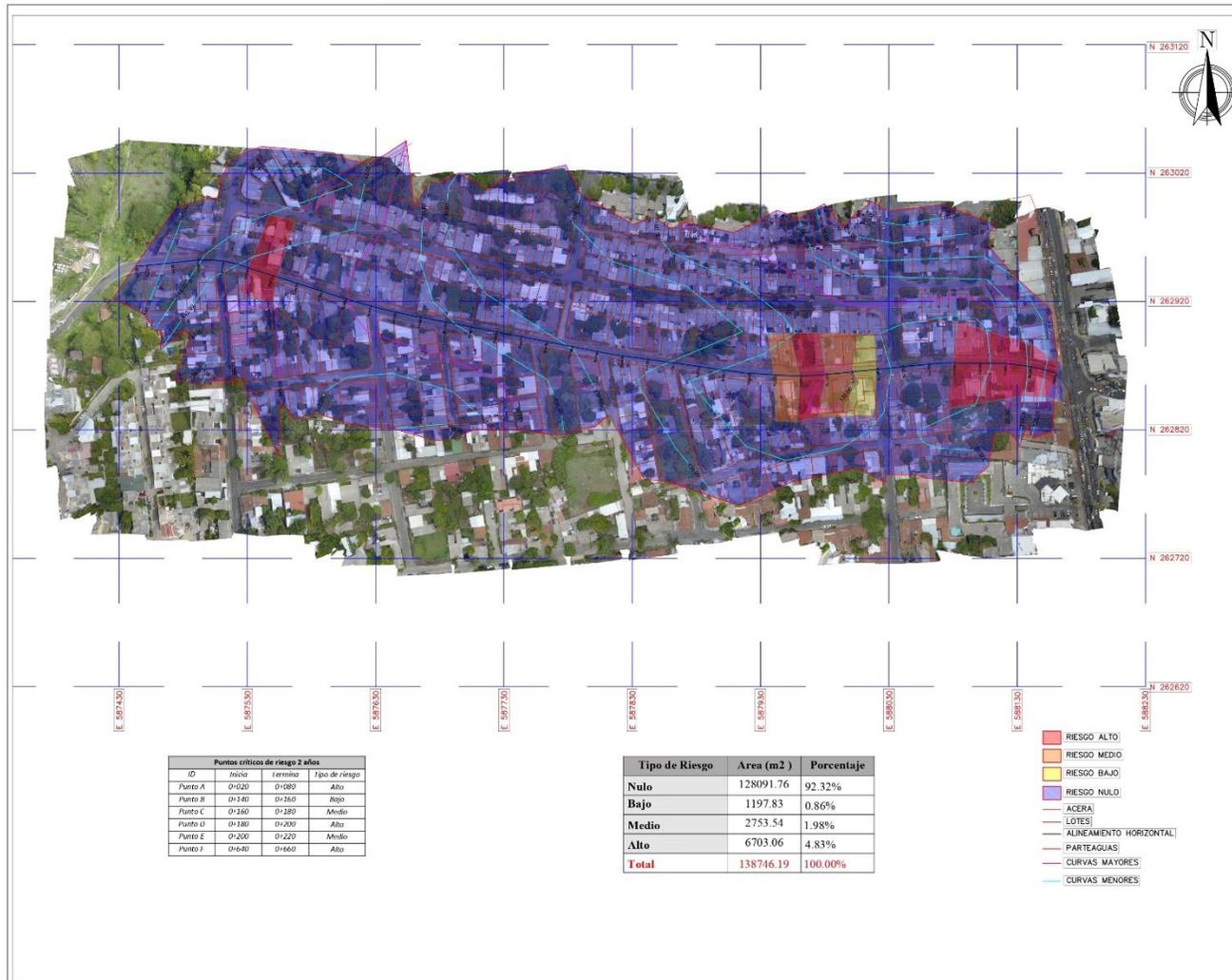
Escala:
 1:2000

Hoja:
 2/33

Puntos críticos de vulnerabilidad 2 años			
ID	Inicia	Termina	Tipo de vulnerabilidad
Punto A	0+000	0+020	Media
Punto B	0+020	0+080	Alto
Punto C	0+080	0+160	Media
Punto D	0+160	0+220	Alto
Punto F	0+220	0+272	Media

Tipo de Vulnerabilidad	Area (m2)	Porcentaje
Nula	0.00	0.00%
Baja	0.00	0.00%
Media	130798.61	94.27%
Alta	7947.58	5.73%
Total	138746.19	100.00%

- VULNERABILIDAD ALTA
- VULNERABILIDAD MEDIA
- VULNERABILIDAD BAJA
- VULNERABILIDAD NULA
- ACERA
- LOTES
- ALINEAMIENTO HORIZONTAL
- PARTEAGUAS
- CURVAS MAYORES
- CURVAS MENORES



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA
 ORIENTAL
 DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y
 ARQUITECTURA



Trabajo de Grado:
 "Elaboración de Mapa de Riesgo de Inundación
 y Caracterización de la infraestructura Vial con
 Punto de Interés en la Octava calle poniente,
 municipio de San Miguel,
 departamento de San Miguel"

Presentan:
 Cordero Portillo, Jaime Aristides
 Pereira Romero, Wilman Ricardo
 Sandoval Alvarenga, Erick José
 Zuniga Cedillo, Fernando Miguel

Docente Asesor:
 Ing. David Arnoldo Chávez Saravia

Para optar al título de:
 Ingeniero Civil

Contenido:
 Mapa de riesgo de la octava calle poniente del
 municipio de San Miguel, departamento de
 San Miguel para un periodo de 2 años

Ubicación:
 Octava calle poniente del municipio de San
 Miguel, departamento de San Miguel

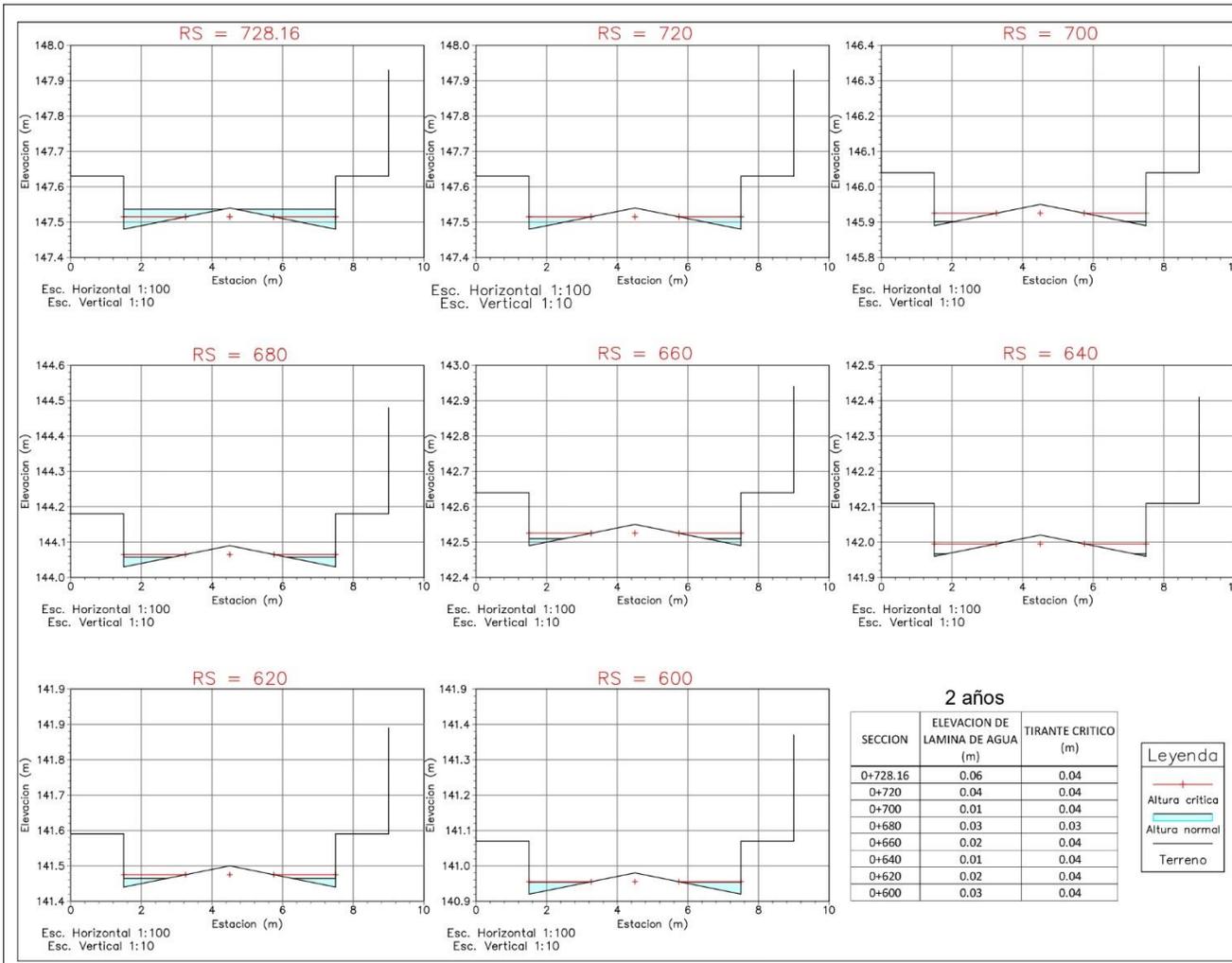
Escala:
 1:2000

Hoja:
 3/33

Puntos críticos de riesgo 2 años			
ID	Inicio	Termino	Nivel de riesgo
Punto A	0+120	0+180	Alto
Punto B	0+140	0+160	Rajo
Punto C	0+160	0+180	Medio
Punto D	0+180	0+200	Alto
Punto E	0+200	0+220	Medio
Punto F	0+640	0+660	Alto

Tipo de Riesgo	Area (m2)	Porcentaje
Nulo	128091.76	92.32%
Bajo	1197.83	0.86%
Medio	2753.54	1.98%
Alto	6703.06	4.83%
Total	138746.19	100.00%

- RIESGO ALTO
- RIESGO MEDIO
- RIESGO BAJO
- RIESGO NULO
- ACERA
- LOTES
- ALINEAMIENTO HORIZONTAL
- PARTEAGUIAS
- CURVAS MAYORES
- CURVAS MENORES



2 años

SECCION	ELEVACION DE LAMINA DE AGUA (m)	TIRANTE CRITICO (m)
0+728.16	0.06	0.04
0+720	0.04	0.04
0+700	0.01	0.04
0+680	0.03	0.03
0+660	0.02	0.04
0+640	0.01	0.04
0+620	0.02	0.04
0+600	0.03	0.04

Leyenda

- + Altura critica
- Altura normal
- Terreno

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA
 O R I E N T A L
 DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y
 A R Q U I T E C T U R A



Trabajo de Grado:
 "Elaboración de mapa de riesgo de inundación y caracterización de la infraestructura vial con punto de interés en la octava calle poniente, municipio de San Miguel, departamento de San Miguel"

Presentan:
 Cordero Portillo, Jaime Aristides
 Pereira Romero, Wilman Ricardo
 Sandoval Alvarenga, Erick José
 Zuniga Cedillo, Fernando Miguel

Docente Asesor:
 Ing. David Arnoldo Chávez Saravia

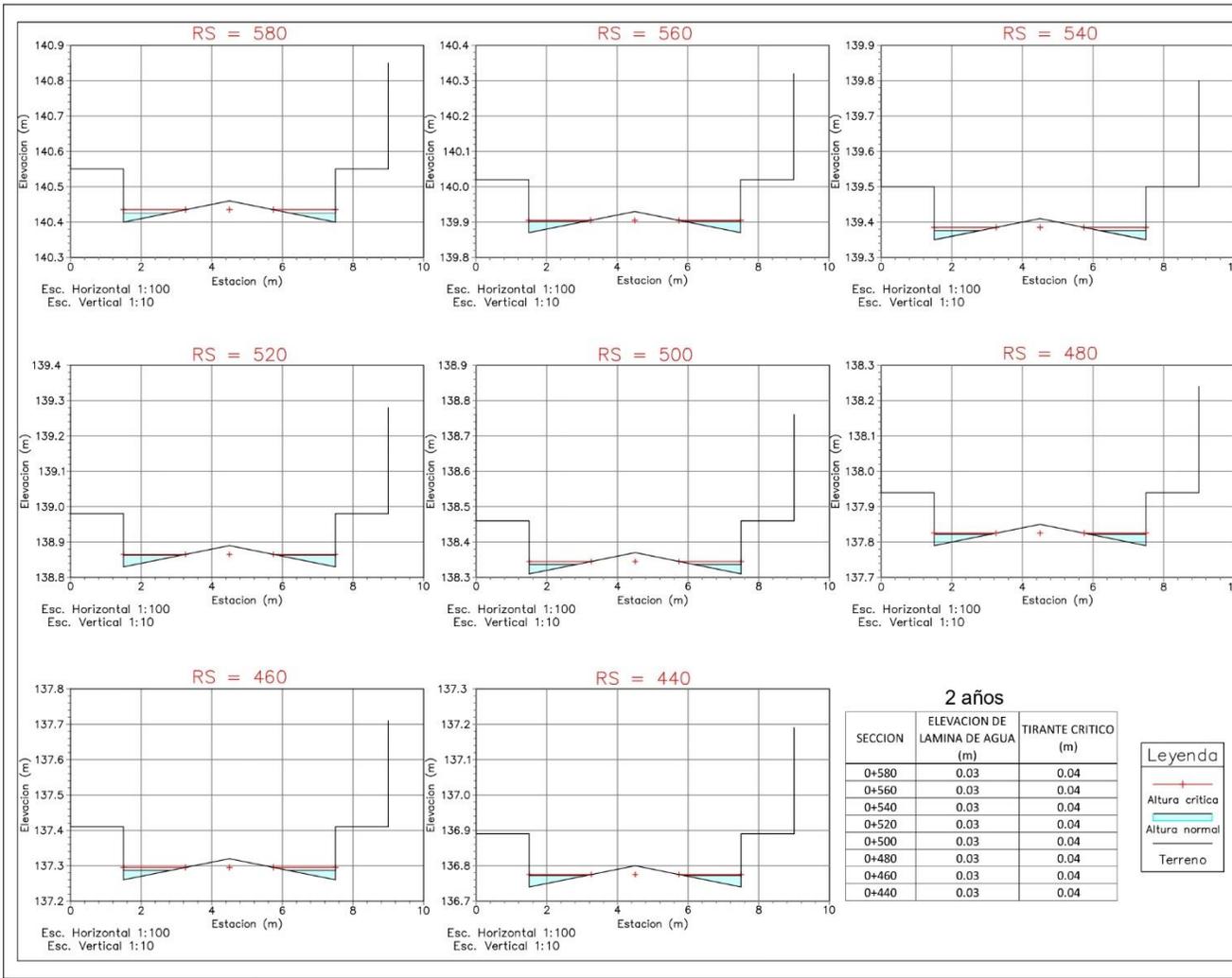
Para optar al Título de:
 Ingeniero Civil

Contenido:
 Secciones transversales obtenidas de la simulación hidráulica en la 8a calle poniente de San Miguel, San Miguel

Ubicación:
 8a calle poniente del municipio de San Miguel, departamento de San Miguel.

ESCALA:
INDICADA

HOJA:
4/33



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA
ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y
ARQUITECTURA



Trabajo de Grado:
"Elaboración de mapa de riesgo de inundación y caracterización de la infraestructura vial con punto de interés en la octava calle poniente, municipio de San Miguel, departamento de San Miguel"

Presentan:
Cordero Portillo, Jaime Aristides
Pereira Romero, Wilman Ricardo
Sandoval Alvarenga, Erick José
Zuniga Cedillo, Fernando Miguel

Docente Asesor:
Ing. David Arnoldo Chávez Saravia

Para optar al Título de:
Ingeniero Civil

Contenido:
Secciones transversales obtenidas de la simulación hidráulica en la 8a calle poniente de San Miguel, San Miguel

Ubicación:
8a calle poniente del municipio de San Miguel, departamento de San Miguel.

ESCALA:
INDICADA

HOJA:
5/33



Trabajo de Grado:

"Elaboración de mapa de riesgo de inundación y caracterización de la infraestructura vial con punto de interés en la octava calle poniente, municipio de San Miguel, departamento de San Miguel"

Presentan:

Cordero Portillo, Jaime Aristides
 Pereira Romero, Wilman Ricardo
 Sandoval Alvarenga, Erick José
 Zuniga Cedillo, Fernando Miguel

Docente Asesor:

Ing. David Arnoldo Chávez Saravia

Para optar al Título de:

Ingeniero Civil

Contenido:

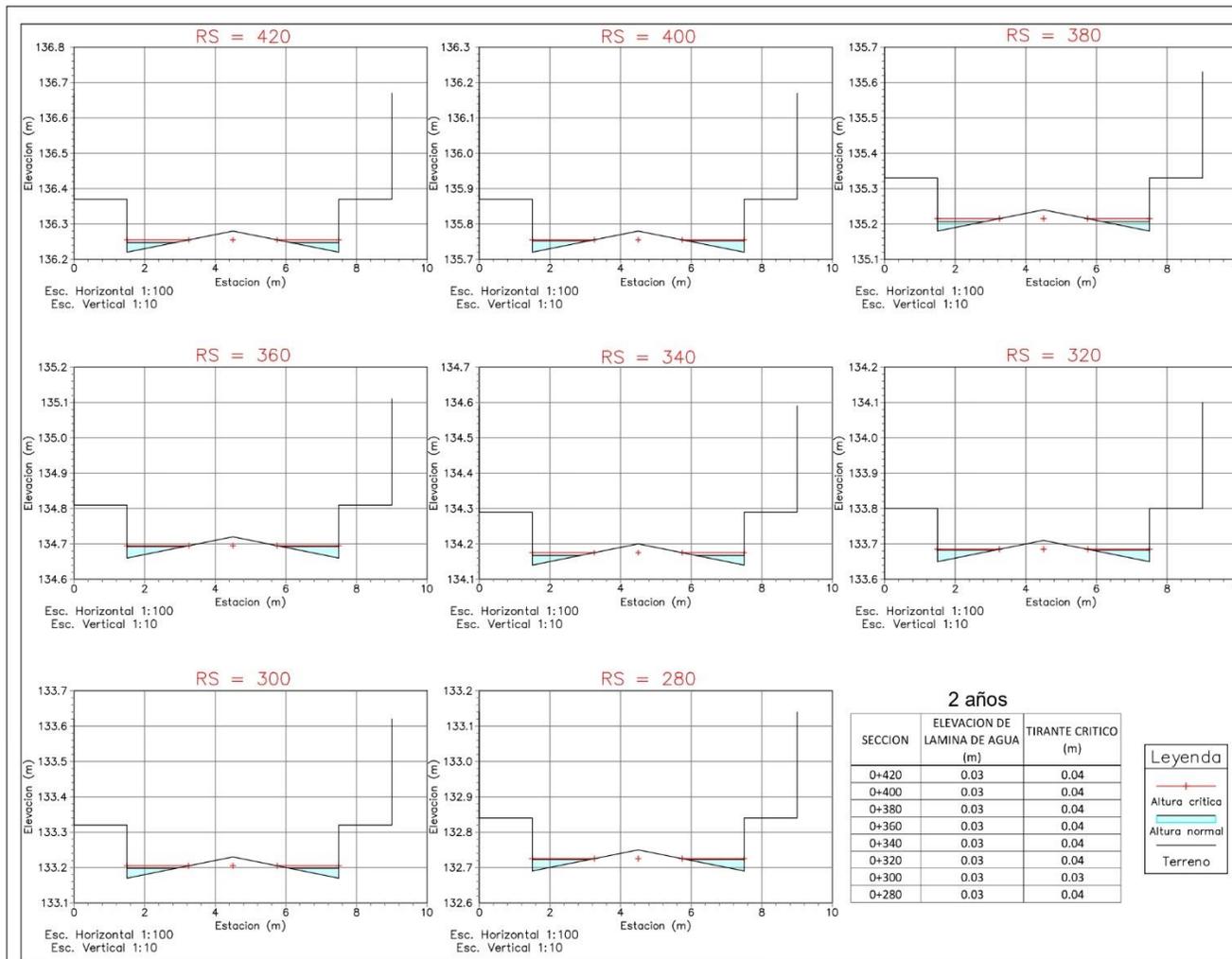
Secciones transversales obtenidas de la simulación hidráulica en la 8a calle poniente de San Miguel, San Miguel

Ubicación:

8a calle poniente del municipio de San Miguel, departamento de San Miguel.

ESCALA:
INDICADA

HOJA:
6/33



2 años

SECCION	ELEVACION DE LAMINA DE AGUA (m)	TIRANTE CRITICO (m)
0+420	0.03	0.04
0+400	0.03	0.04
0+380	0.03	0.04
0+360	0.03	0.04
0+340	0.03	0.04
0+320	0.03	0.04
0+300	0.03	0.03
0+280	0.03	0.04

Leyenda

- Altura critica
- Altura normal
- Terreno



Trabajo de Grado:

"Elaboración de mapa de riesgo de inundación y caracterización de la infraestructura vial con punto de interés en la octava calle poniente, municipio de San Miguel, departamento de San Miguel"

Presentan:

Cordero Portillo, Jaime Aristides
 Pereira Romero, Wilman Ricardo
 Sandoval Alvarenga, Erick José
 Zuniga Cedillo, Fernando Miguel

Docente Asesor:

Ing. David Arnoldo Chávez Saravia

Para optar al Título de:

Ingeniero Civil

Contenido:

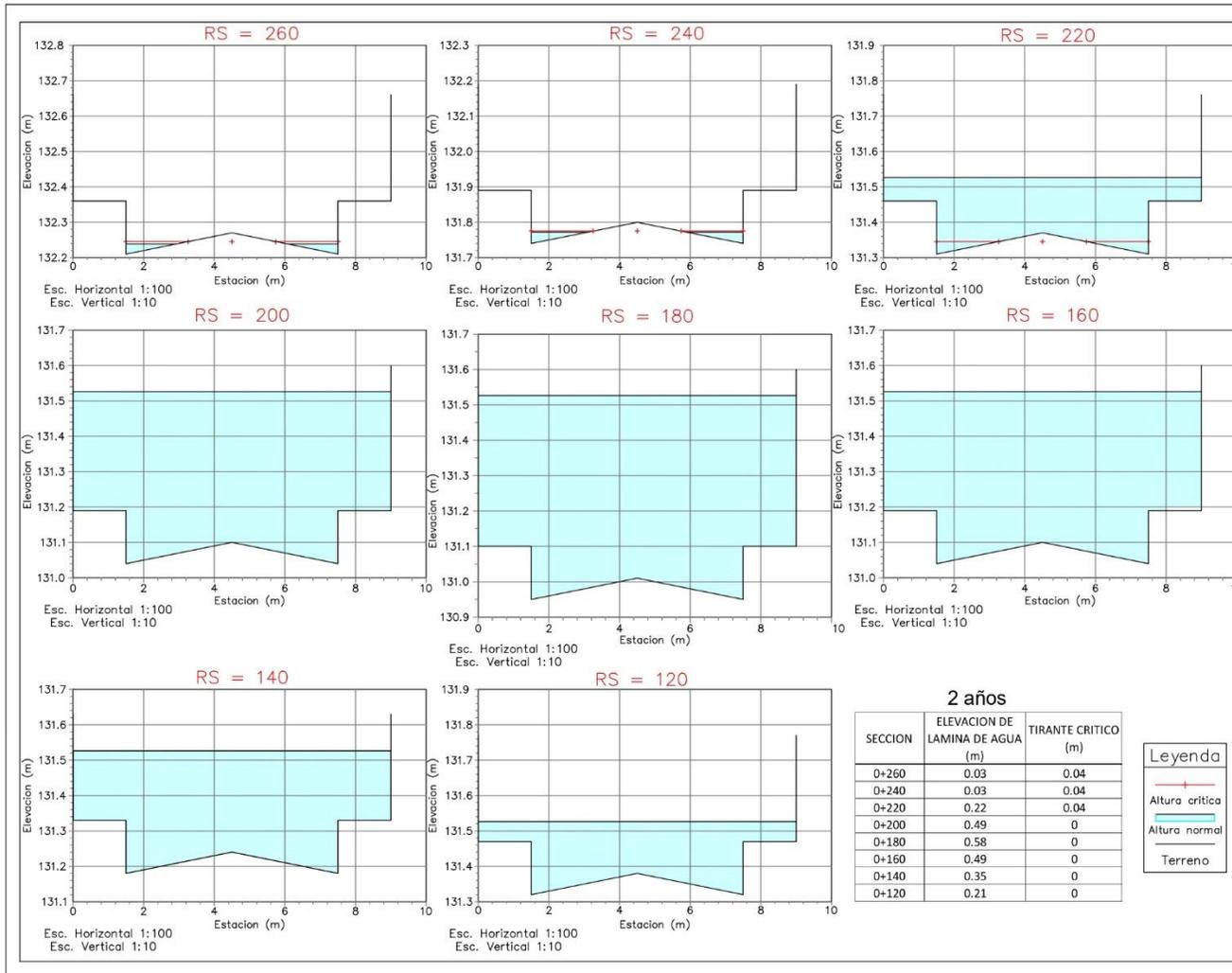
Secciones transversales obtenidas de la simulación hidráulica en la 8a calle poniente de San Miguel, San Miguel

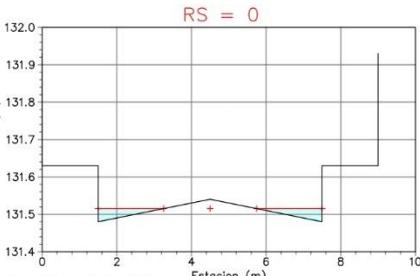
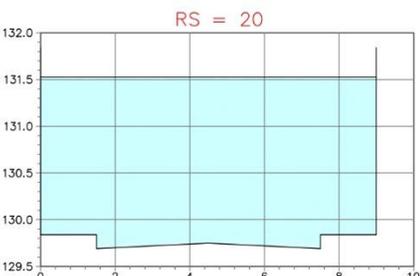
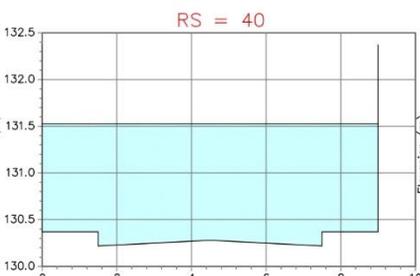
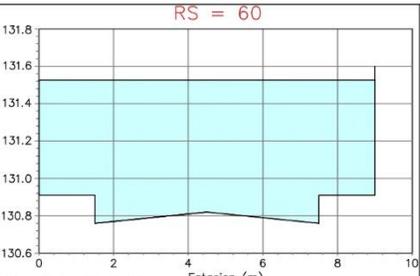
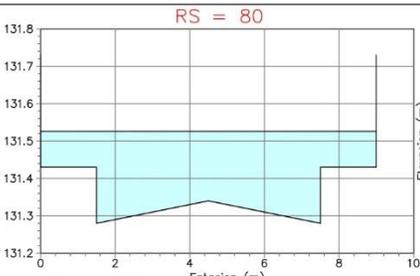
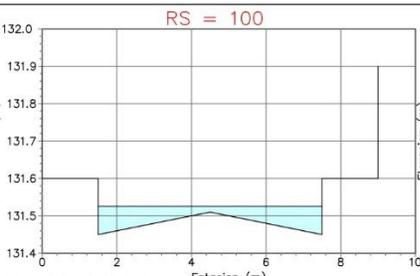
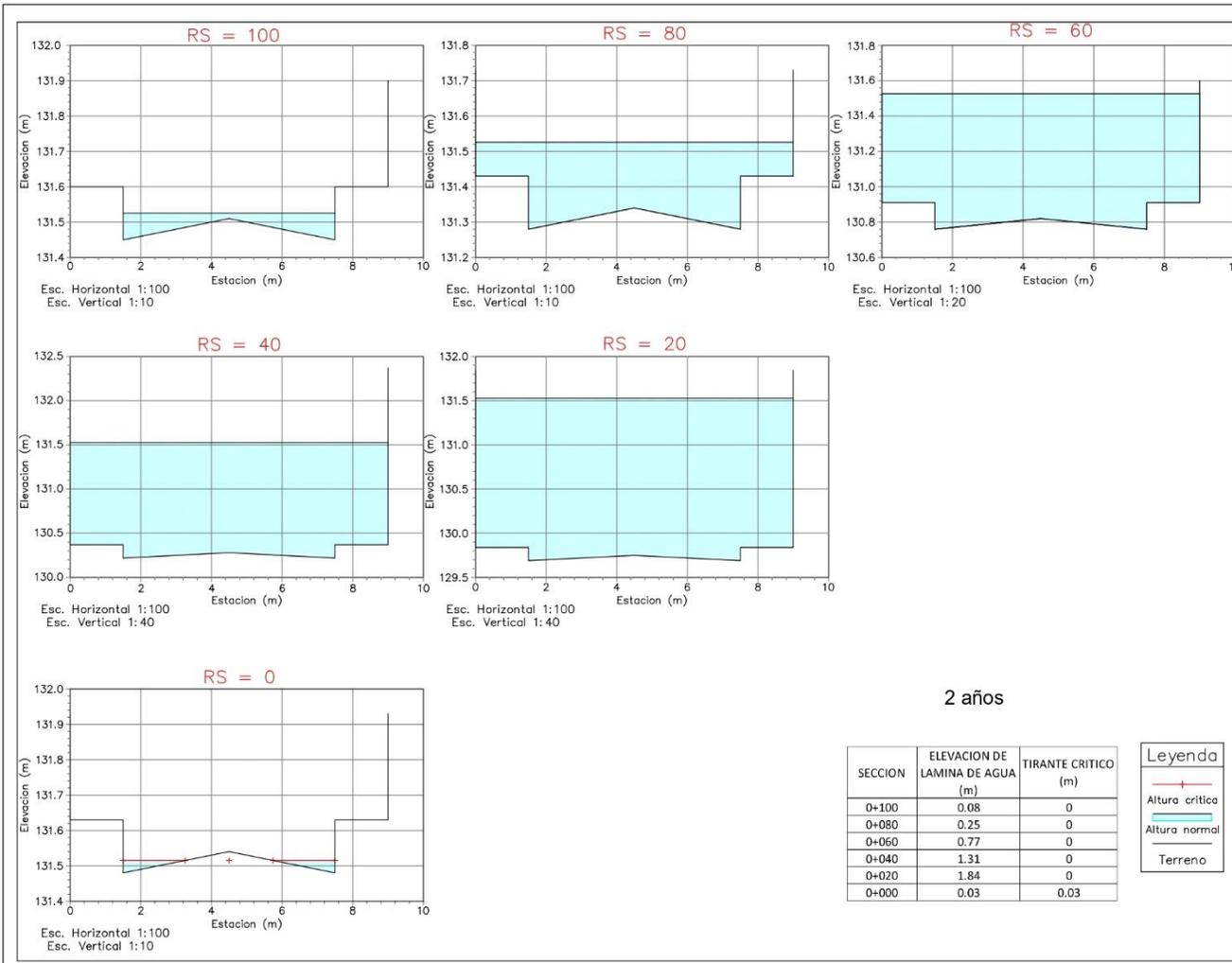
Ubicación:

8a calle poniente del municipio de San Miguel, departamento de San Miguel.

ESCALA:
INDICADA

HOJA:
7/33





2 años

SECCION	ELEVACION DE LAMINA DE AGUA (m)	TIRANTE CRITICO (m)
0+100	0.08	0
0+080	0.25	0
0+060	0.77	0
0+040	1.31	0
0+020	1.84	0
0+000	0.03	0.03

Leyenda

- + Altura crítica
- Altura normal
- Terreno

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA
O R I E N T A L
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y
A R Q U I T E C T U R A



Trabajo de Grado:
"Elaboración de mapa de riesgo de inundación y caracterización de la infraestructura vial con punto de interés en la octava calle poniente, municipio de San Miguel, departamento de San Miguel"

Presentan:
Cordero Portillo, Jaime Aristides
Pereira Romero, Wilman Ricardo
Sandoval Alvarenga, Erick José
Zuniga Cedillo, Fernando Miguel

Docente Asesor:
Ing. David Arnoldo Chávez Saravia

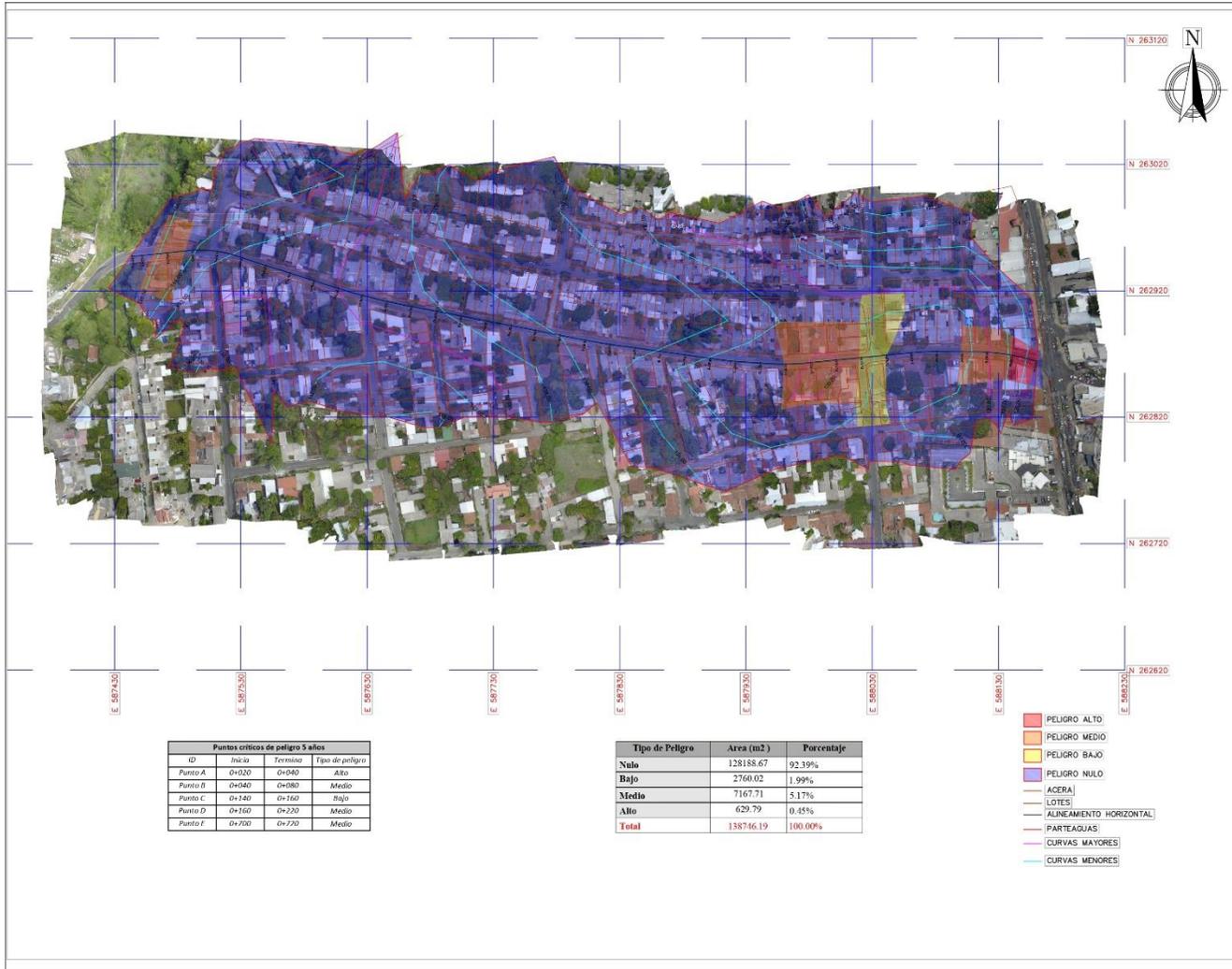
Para optar al Título de:
Ingeniero Civil

Contenido:
Secciones transversales obtenidas de la simulación hidráulica en la 8a calle poniente de San Miguel, San Miguel

Ubicación:
8a calle poniente del municipio de San Miguel, departamento de San Miguel.

ESCALA:
INDICADA

HOJA:
8/33



Puntos críticos de peligro 5 años

ID	Inicia	Termina	Tipo de peligro
Punto A	0+020	0+040	Alto
Punto B	0+040	0+080	Medio
Punto C	0+140	0+160	Bajo
Punto D	0+160	0+220	Medio
Punto E	0+700	0+720	Medio

Tipo de Peligro	Area (m ²)	Porcentaje
Nulo	128188.67	92.39%
Bajo	2760.02	1.99%
Medio	7167.71	5.17%
Alto	629.79	0.45%
Total	138746.19	100.00%

- PELIGRO ALTO
- PELIGRO MEDIO
- PELIGRO BAJO
- PELIGRO NULO
- ACERA
- LOTES
- ALINEAMIENTO HORIZONTAL
- PARTEAGUAS
- CURVAS MAYORES
- CURVAS MENORES

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA
 O R I E N T A L
 DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y
 A R Q U I T E C T U R A



Trabajo de Grado:

"Elaboración de Mapa de Riesgo de Inundación y Caracterización de la Infraestructura Vial con Punto de Interés en la Octava calle poniente, municipio de San Miguel, departamento de San Miguel"

Presentan:

Cordero Portillo, Jaime Aristides
 Pereira Romero, Wilman Ricardo
 Sandoval Alvarenga, Erick José
 Zuniga Cedillo, Fernando Miguel

Docente Asesor:

Ing. David Arnoldo Chávez Saravia

Pam optar al título de:

Ingeniería Civil

Contenido:

Mapa de Peligro de la Octava calle poniente del municipio de San Miguel, departamento de San Miguel para un periodo de 5 años

Ubicación:

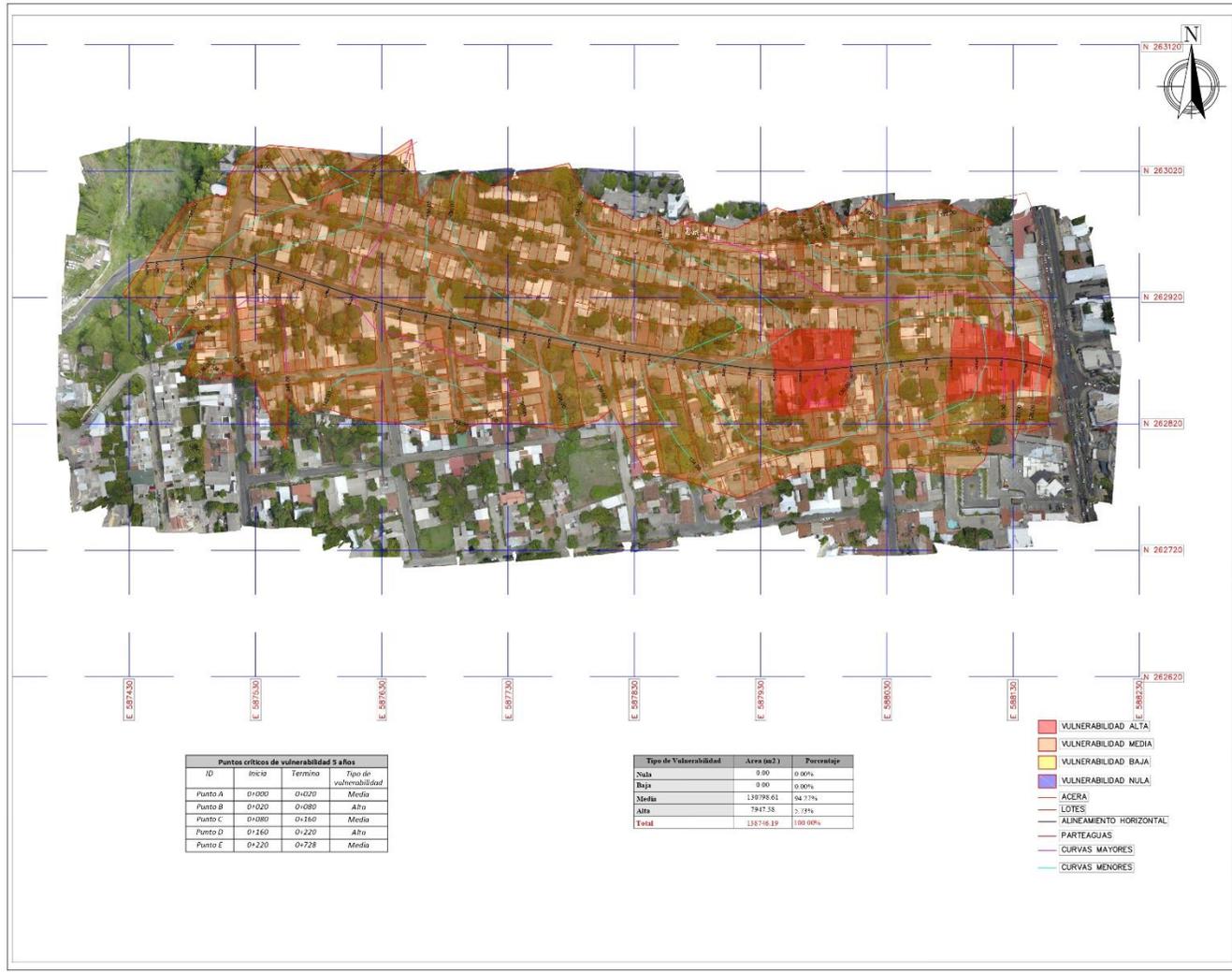
Octava calle poniente del municipio de San Miguel, departamento de San Miguel

Escala:

1:2000

Hoja:

9/33



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA
 O R I E N T A L
 DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y
 A R Q U I T E C T U R A



Trabajo de Grado:
 "Elaboración de Mapa de Riesgo de Inundación
 y Caracterización de la infraestructura Vial con
 Punto de Interés en la Octava calle poniente,
 municipio de San Miguel, departamento de
 S a n M i g u e l "

Presentan:
 Cordero Portillo, Jaime Aristides
 Pereira Romero, Wilman Ricardo
 Sandoval Alvarenga, Erick José
 Zuniga Cedillo, Fernando Miguel

Docente Asesor:
 Ing. David Arnoldo Chávez Saravia

Para optar al título de:
 Ingeniería Civil

Contenido:
 Mapa de vulnerabilidad de la octava calle
 poniente del municipio de San Miguel,
 departamento de San Miguel
 para un periodo de 5 años

Ubicación:
 Octava calle poniente del municipio de San
 Miguel, departamento de San Miguel

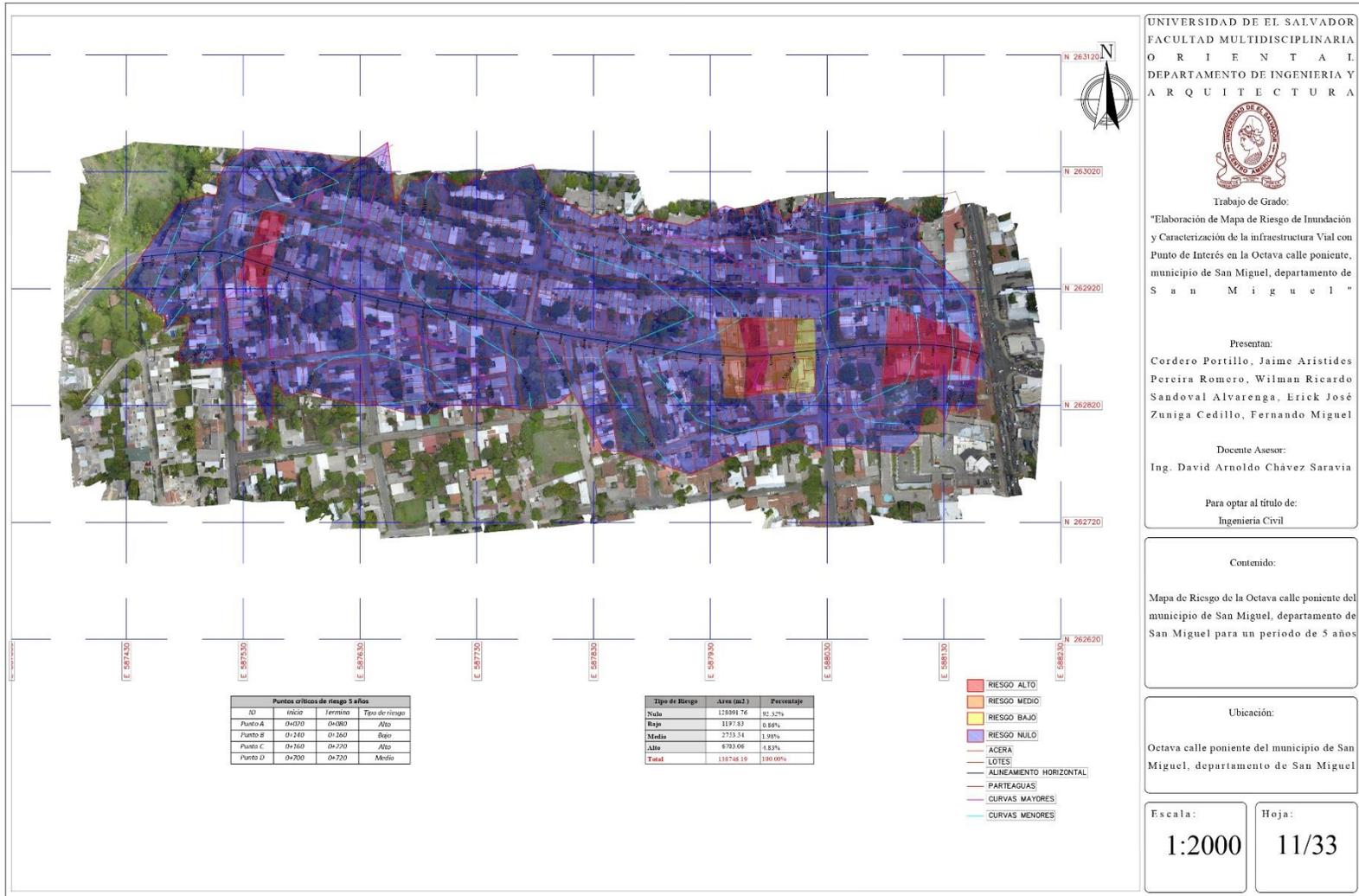
Escala:
 1:2000

Hoja:
 10/33

Puntos críticos de vulnerabilidad 5 años			
ID	Inicia	Termina	Tipo de vulnerabilidad
Punto A	0+000	0+020	Medio
Punto B	0+020	0+080	Alto
Punto C	0+080	0+140	Medio
Punto D	0+140	0+220	Alto
Punto E	0+220	0+228	Medio

Tipo de Vulnerabilidad	Area (m ²)	Porcentaje
Nula	0.00	0.00%
Baja	0.00	0.00%
Medio	139795.61	94.97%
Alto	7947.38	5.93%
Total	138743.19	100.00%

- VULNERABILIDAD ALTA
- VULNERABILIDAD MEDIA
- VULNERABILIDAD BAJA
- VULNERABILIDAD NULA
- ACERA
- LOTES
- ALINEAMIENTO HORIZONTAL
- PARTEAGUAS
- CURVAS MAYORES
- CURVAS MENORES



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA
 O R I E N T A L
 DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y
 A R Q U I T E C T U R A



Trabajo de Grado:
 "Elaboración de Mapa de Riesgo de Inundación
 y Caracterización de la infraestructura Vial con
 Punto de Interés en la Octava calle poniente,
 municipio de San Miguel, departamento de
 S a n M i g u e l "

Presentan:
 Cordero Portillo, Jaime Aristides
 Pereira Romero, Wilman Ricardo
 Sandoval Alvarenga, Erick José
 Zuniga Cedillo, Fernando Miguel

Docente Asesor:
 Ing. David Arnoldo Chávez Saravia

Para optar al título de:
 Ingeniería Civil

Contenido:
 Mapa de Riesgo de la Octava calle poniente del
 municipio de San Miguel, departamento de
 San Miguel para un periodo de 5 años

Ubicación:
 Octava calle poniente del municipio de San
 Miguel, departamento de San Miguel

Escala:
 1:2000

Hoja:
 11/33

Puntos críticos de riesgo 5 años			
ID	Inicio	Termino	Tipo de riesgo
Punto A	0+070	0+080	Alto
Punto B	0+240	0+260	Rajo
Punto C	0+360	0+370	Alto
Punto D	0+700	0+720	Medio

Tipo de Riesgo	Area (m ²)	Porcentaje
Nulo	128991.76	92.32%
Bajo	1197.83	0.86%
Medio	2733.34	1.98%
Alto	4793.66	3.83%
Total	138746.59	100.00%

- RIESGO ALTO
- RIESGO MEDIO
- RIESGO BAJO
- RIESGO NULO
- ACERA
- LOTES
- ALINEAMIENTO HORIZONTAL
- PARTEAGUAS
- CURVAS MAYORES
- CURVAS MENORES



Trabajo de Grado:

"Elaboración de mapa de riesgo de inundación y caracterización de la infraestructura vial con punto de interés en la octava calle poniente, municipio de San Miguel, departamento de San Miguel"

Presentan:

Cordero Portillo, Jaime Aristides
 Pereira Romero, Wilman Ricardo
 Sandoval Alvarenga, Erick José
 Zamiga Cedillo, Fernando Miguel

Docente Asesor:

Ing. David Arnoldo Chávez Saravia

Para optar al Título de:

Ingeniero Civil

Contenido:

Secciones transversales obtenidas de la simulación hidráulica en la 8a calle poniente de San Miguel, San Miguel

Ubicación:

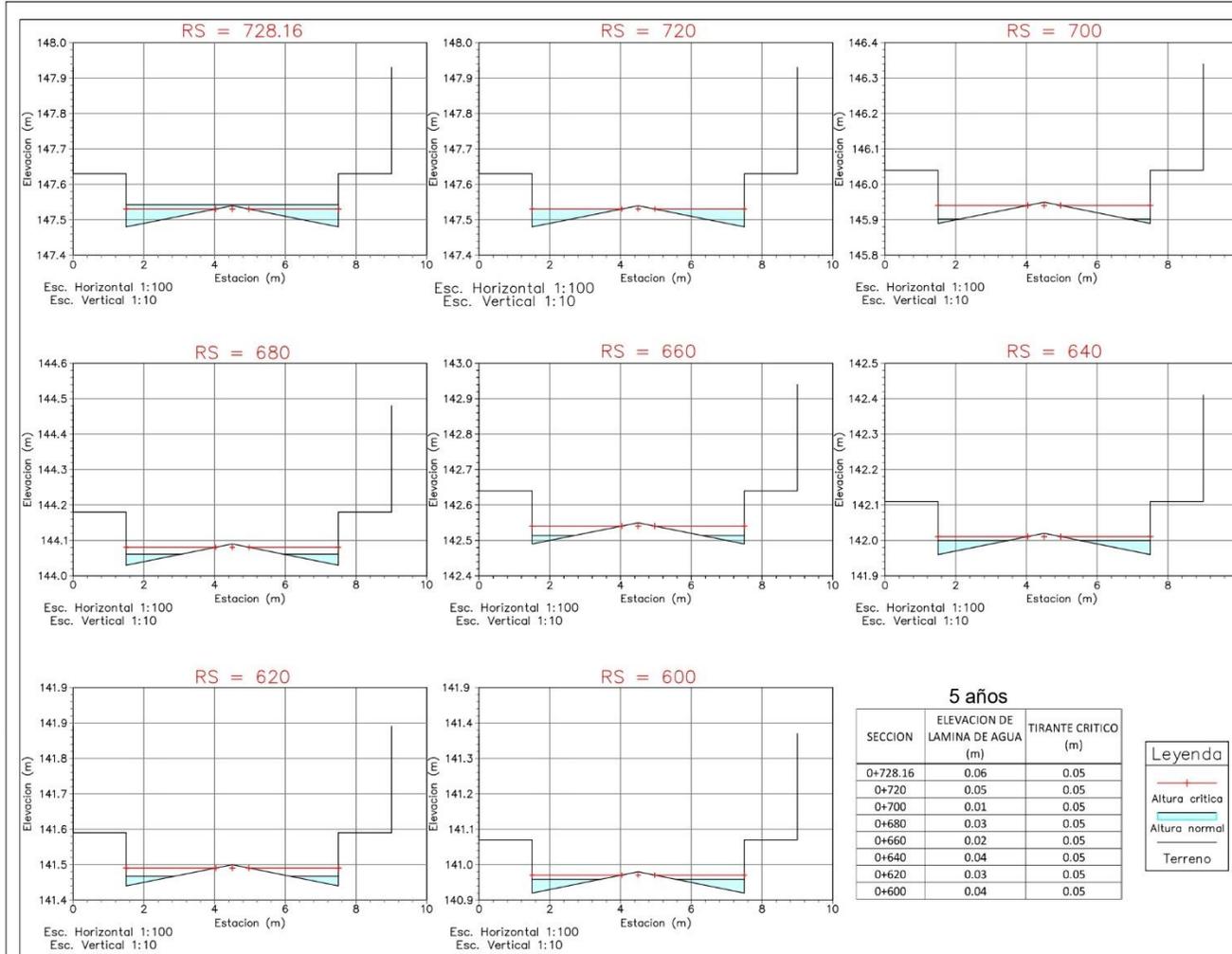
8a calle poniente del municipio de San Miguel, departamento de San Miguel.

ESCALA:

INDICADA

HOJA:

12/33





Trabajo de Grado:

"Elaboración de mapa de riesgo de inundación y caracterización de la infraestructura vial con punto de interés en la octava calle poniente, municipio de San Miguel, departamento de San Miguel"

Presentan:

Cordero Portillo, Jaime Aristides
 Pereira Romero, Wilman Ricardo
 Sandoval Alvarenga, Erick José
 Zuniga Cedillo, Fernando Miguel

Docente Asesor:

Ing. David Arnoldo Chávez Saravia

Para optar al Título de:

Ingeniero Civil

Contenido:

Secciones transversales obtenidas de la simulación hidráulica en la 8a calle poniente de San Miguel, San Miguel

Ubicación:

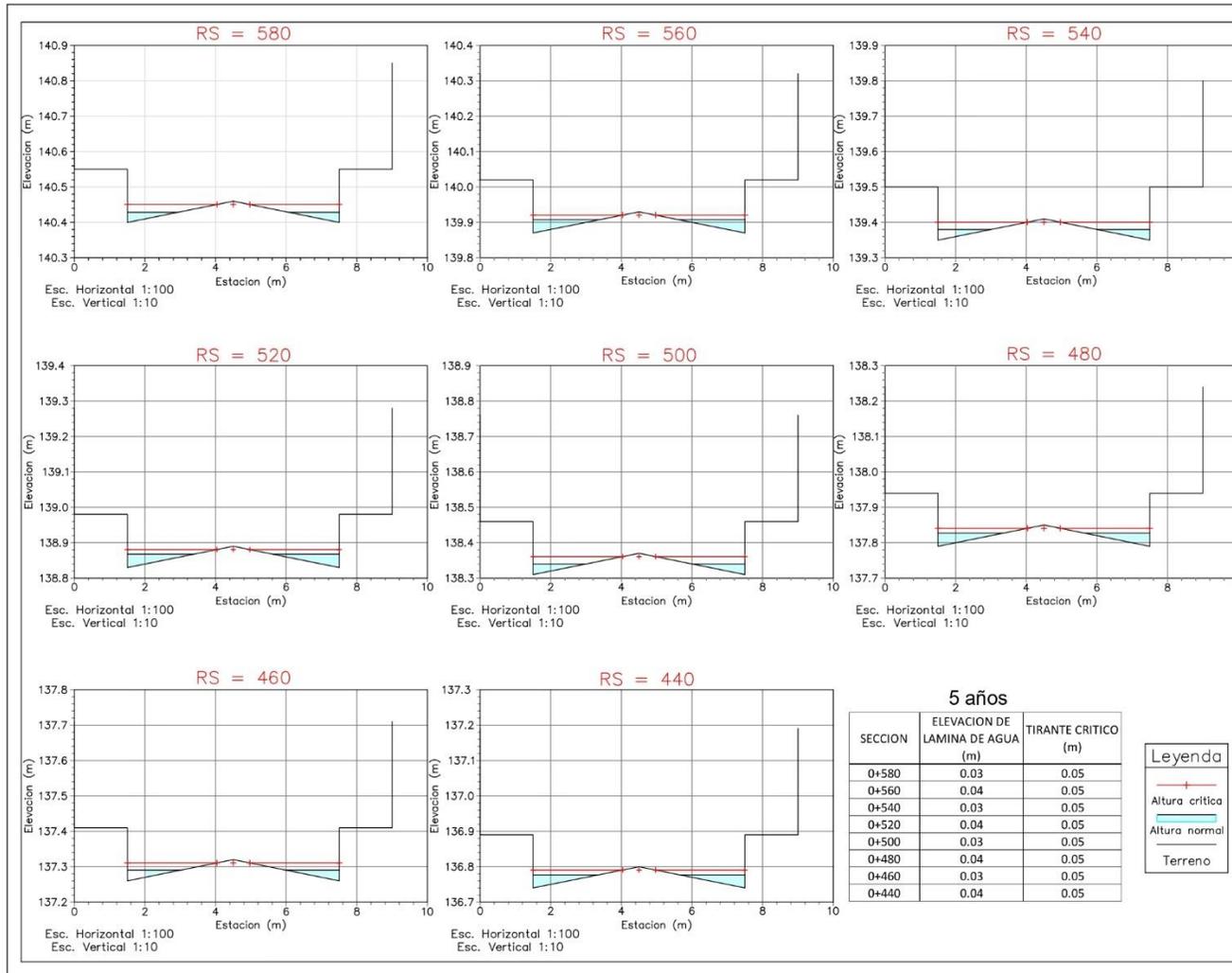
8a calle poniente del municipio de San Miguel, departamento de San Miguel.

ESCALA:

INDICADA

HOJA:

13/33





Trabajo de Grado:

"Elaboración de mapa de riesgo de inundación y caracterización de la infraestructura vial con punto de interés en la octava calle poniente, municipio de San Miguel, departamento de San Miguel"

Presentan:

Cordero Portillo, Jaime Aristides
 Pereira Romero, Wilman Ricardo
 Sandoval Alvarenga, Erick José
 Zuniga Cedillo, Fernando Miguel

Docente Asesor:

Ing. David Arnoldo Chávez Saravia

Para optar al Título de:

Ingeniero Civil

Contenido:

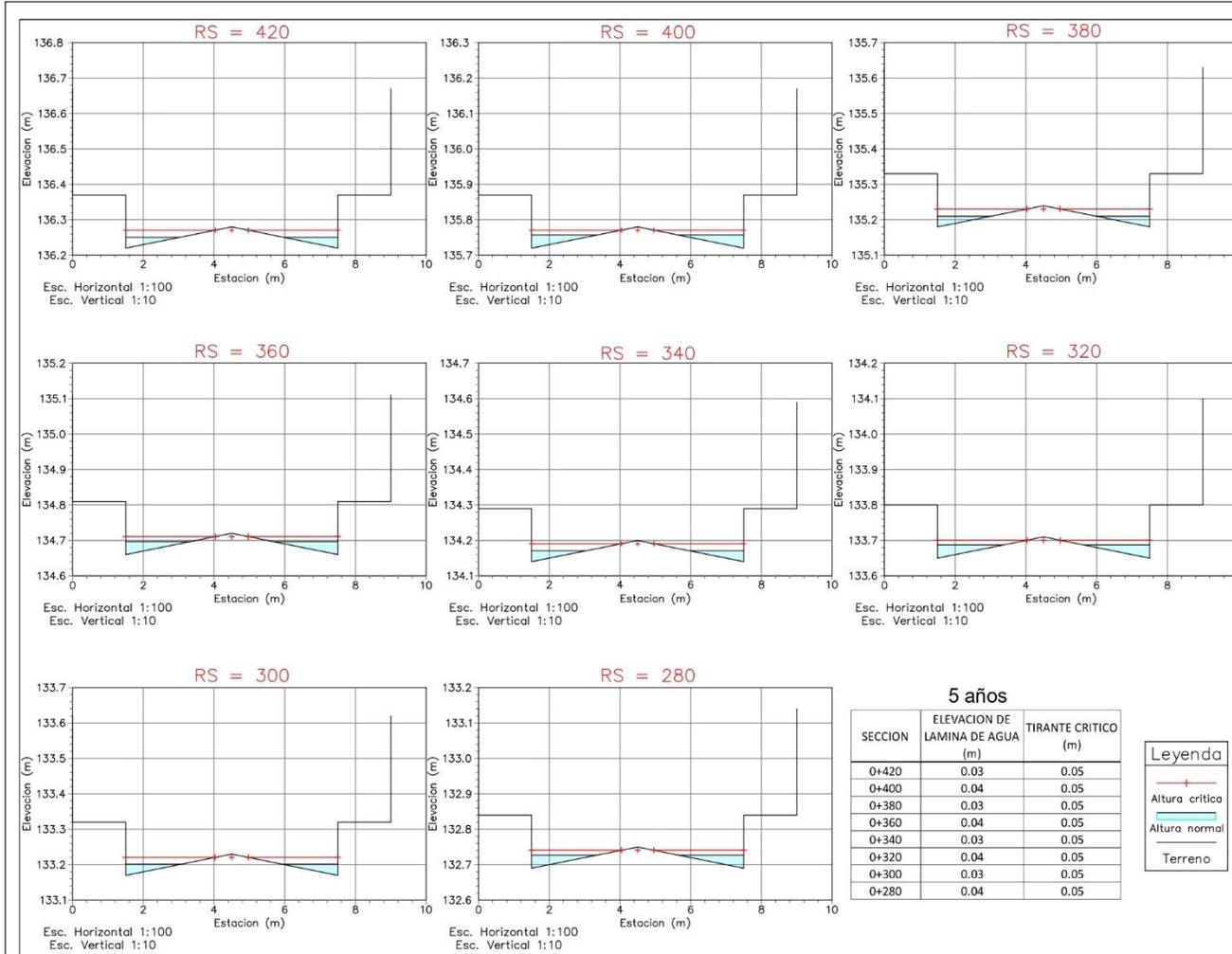
Secciones transversales obtenidas de la simulación hidráulica en la 8a calle poniente de San Miguel, San Miguel

Ubicación:

8a calle poniente del municipio de San Miguel, departamento de San Miguel.

ESCALA:
INDICADA

HOJA:
14/33





Trabajo de Grado:
 "Elaboración de mapa de riesgo de inundación y caracterización de la infraestructura vial con punto de interés en la octava calle poniente, municipio de San Miguel, departamento de San Miguel"

Presentan:
 Cordero Portillo, Jaime Aristides
 Pereira Romero, Wilman Ricardo
 Sandoval Alvarenga, Erick José
 Zuniga Cedillo, Fernando Miguel

Docente Asesor:
 Ing. David Arnoldo Chávez Saravia

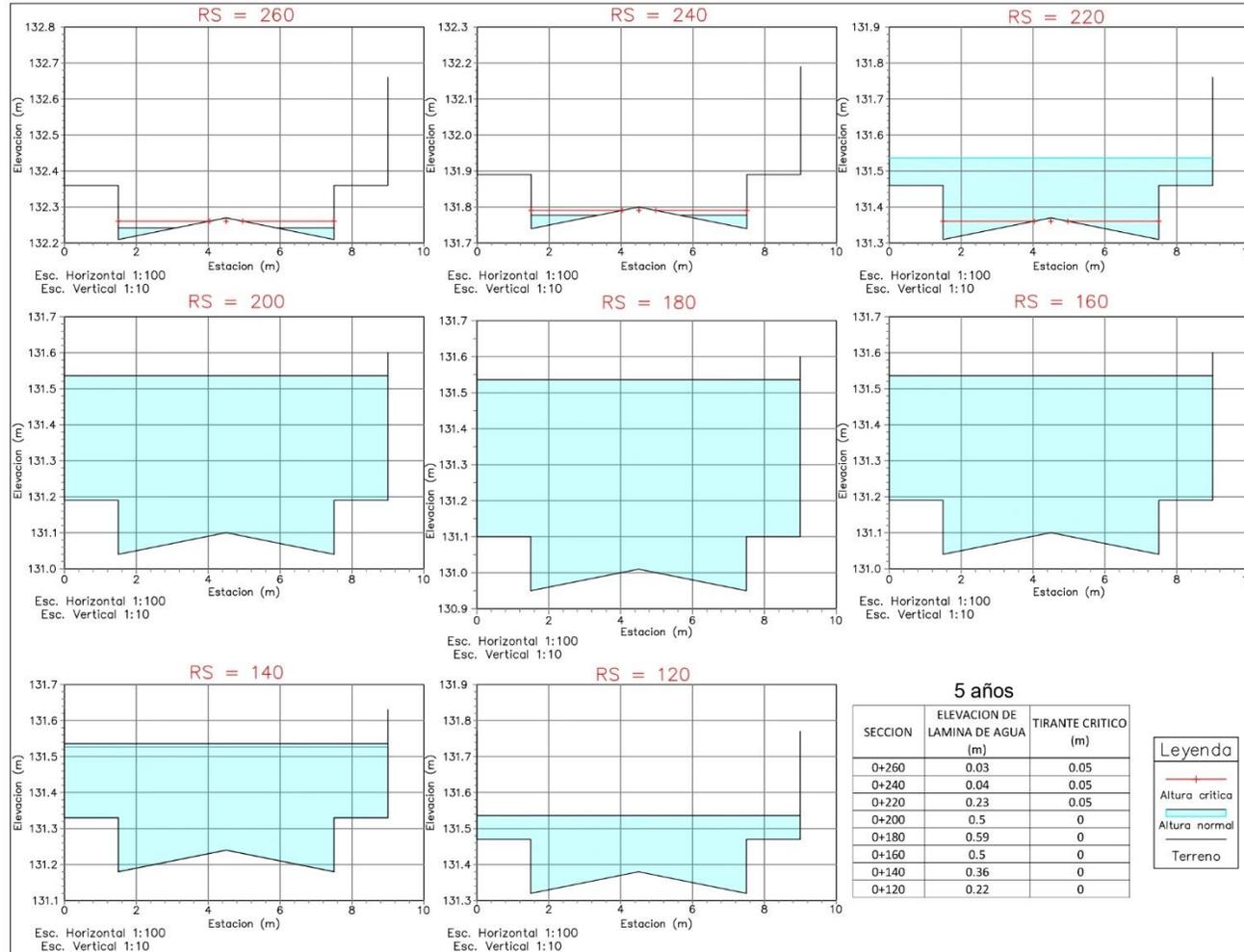
Para optar al Título de:
 Ingeniero Civil

Contenido:
 Secciones transversales obtenidas de la simulación hidráulica en la 8a calle poniente de San Miguel, San Miguel

Ubicación:
 8a calle poniente del municipio de San Miguel, departamento de San Miguel.

ESCALA:
INDICADA

HOJA:
15/33

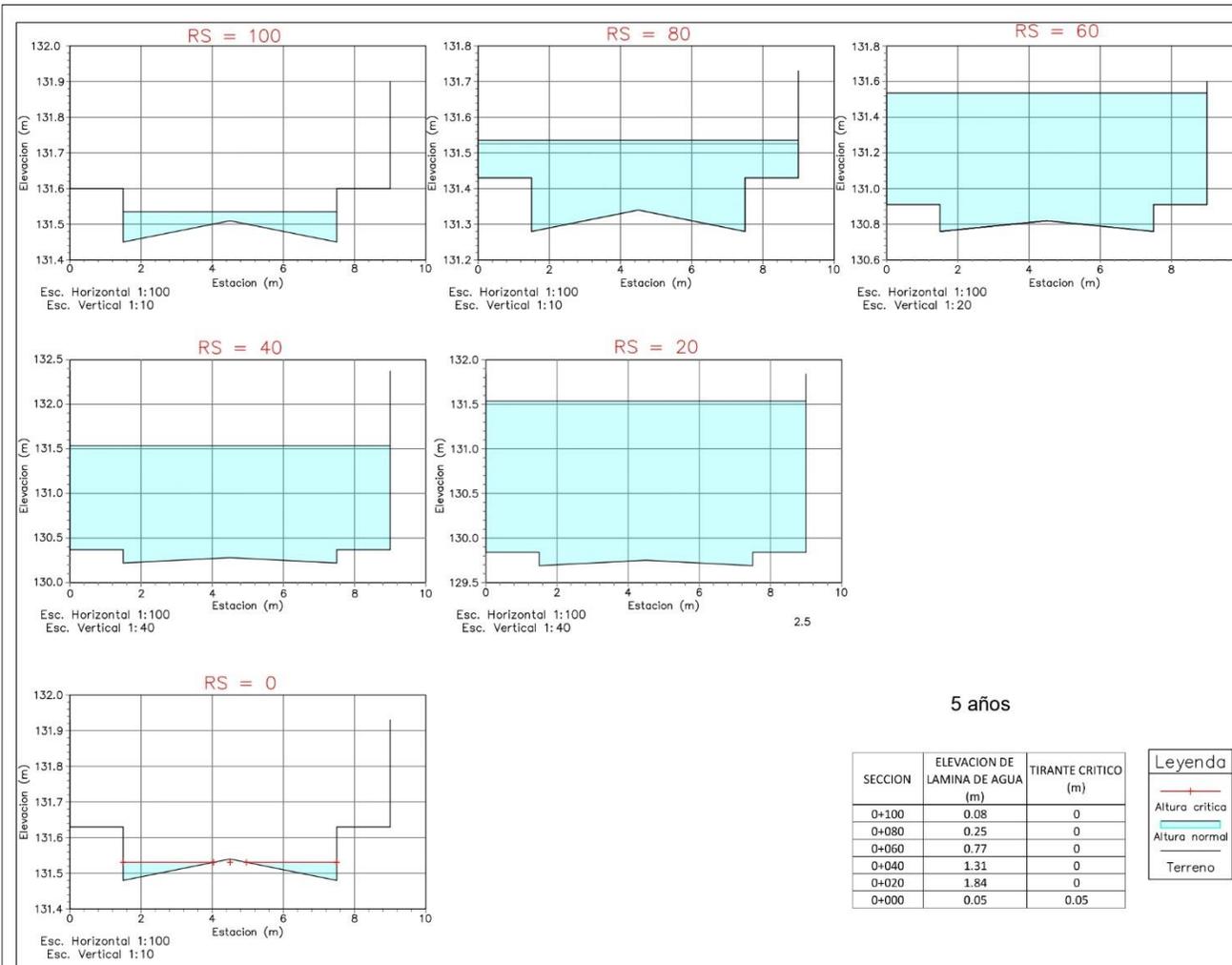


5 años

SECCION	ELEVACION DE LAMINA DE AGUA (m)	TIRANTE CRITICO (m)
0+260	0.03	0.05
0+240	0.04	0.05
0+220	0.23	0.05
0+200	0.5	0
0+180	0.59	0
0+160	0.5	0
0+140	0.36	0
0+120	0.22	0

Leyenda

- Altura critica
- Altura normal
- Terreno



5 años

SECCION	ELEVACION DE LAMINA DE AGUA (m)	TIRANTE CRITICO (m)
0+100	0.08	0
0+080	0.25	0
0+060	0.77	0
0+040	1.31	0
0+020	1.84	0
0+000	0.05	0.05

Leyenda

- Altura critica
- Altura normal
- Terreno

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA
 O R I E N T A L
 DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y
 A R Q U I T E C T U R A



Trabajo de Grado:
 "Elaboración de mapa de riesgo de inundación y caracterización de la infraestructura vial con punto de interés en la octava calle poniente, municipio de San Miguel, departamento de San Miguel"

Presentan:
 Cordero Portillo, Jaime Aristides
 Pereira Romero, Wilman Ricardo
 Sandoval Alvarenga, Erick José
 Zuniga Cedillo, Fernando Miguel

Docente Asesor:
 Ing. David Arnoldo Chávez Saravia

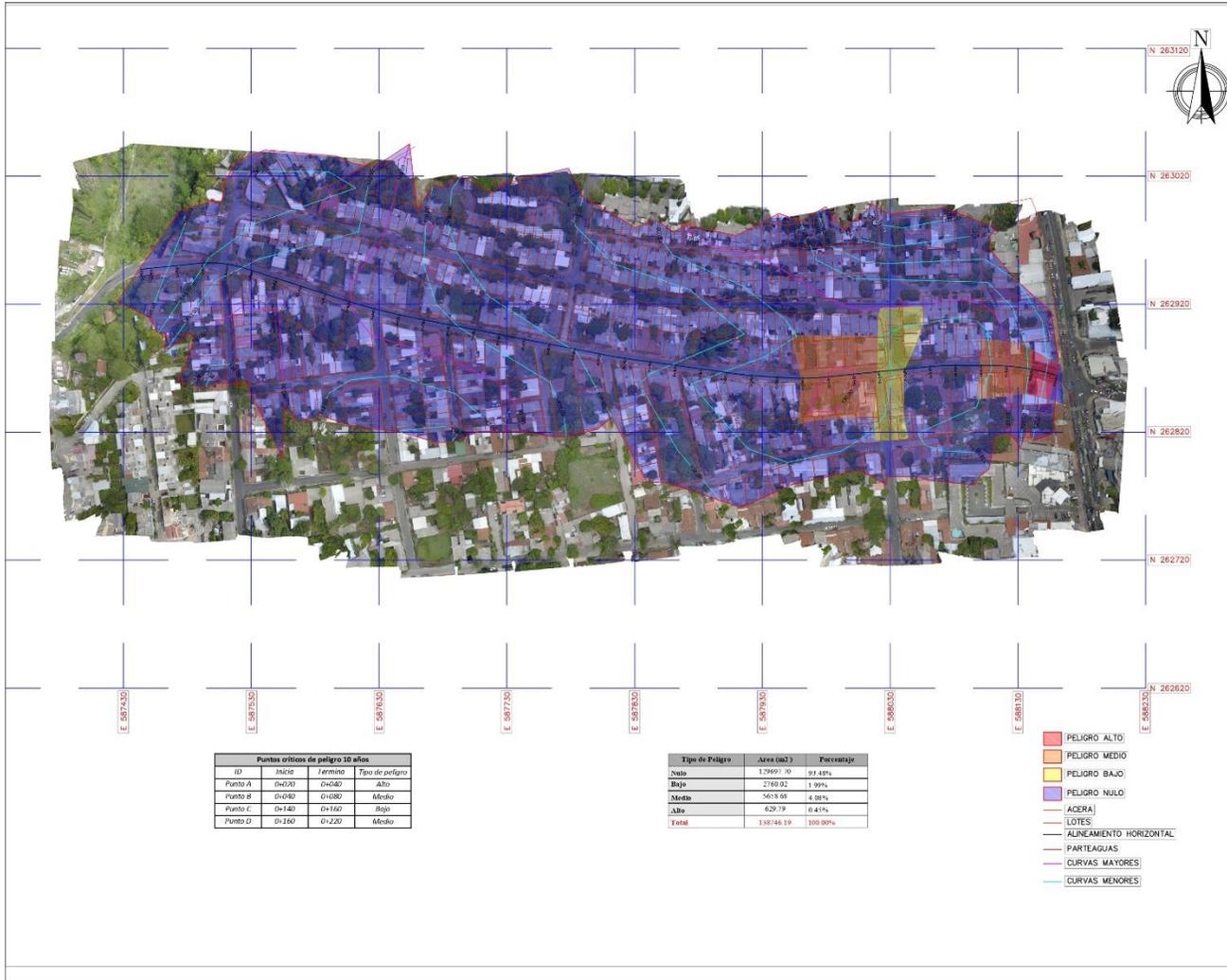
Para optar al Título de:
 Ingeniero Civil

Contenido:
 Secciones transversales obtenidas de la simulación hidráulica en la 8a calle poniente de San Miguel, San Miguel

Ubicación:
 8a calle poniente del municipio de San Miguel, departamento de San Miguel.

ESCALA:
INDICADA

HOJA:
16/33



Puntos críticos de peligro 10 años			
ID	Inicio	Termino	Tipo de peligro
Punto A	0+000	0+040	Alto
Punto B	0+040	0+080	Medio
Punto C	0+140	0+160	Bajo
Punto D	0+160	0+220	Medio

Tipo de Peligro	Area (m ²)	Porcentaje
Nada	1,399.79	91.48%
Bajo	276.92	1.99%
Medio	565.68	4.28%
Alto	629.79	0.43%
Total	138146.19	100.00%

- PELIGRO ALTO
- PELIGRO MEDIO
- PELIGRO BAJO
- PELIGRO NULO
- ACERA
- LOTES
- ALINEAMIENTO HORIZONTAL
- PARTIQUAS
- CURVAS MAYORES
- CURVAS MENORES

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA
 O R I E N T A L
 DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y
 A R Q U I T E C T U R A



Trabajo de Grado:
 "Elaboración de Mapa de Riesgo de Inundación
 y Caracterización de la infraestructura Vial con
 Punto de Interés en la Octava calle poniente,
 municipio de San Miguel, departamento de
 S a n M i g u e l "

Presentan:
 Cordero Portillo, Jaime Aristides
 Pereira Romero, Wilman Ricardo
 Sandoval Alvarenga, Erick José
 Zuniga Cedillo, Fernando Miguel

Docente Asesor:
 Ing. David Arnoldo Chávez Saravia

Para optar al título de:
 Ingeniería Civil

Contenido:
 Mapa de Peligro de la Octava calle poniente del
 municipio de San Miguel, departamento de
 San Miguel para un periodo de 10 años

Ubicación:
 Octava calle poniente del municipio de San
 Miguel, departamento de San Miguel

Escala:
1:2000

Hoja:
17/33



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA
 O R I E N T A L
 DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y
 A R Q U I T E C T U R A



Trabajo de Grado:
 "Elaboración de Mapa de Riesgo de Inundación
 y Caracterización de la infraestructura Vial con
 Punto de Interés en la Octava calle poniente,
 municipio de San Miguel, departamento de
 S a n M i g u e l "

Presentan:
 Cordero Portillo, Jaime Aristides
 Pereira Romero, Wilman Ricardo
 Sandoval Alvarenga, Erick José
 Zuniga Cedillo, Fernando Miguel

Docente Asesor:
 Ing. David Arnoldo Chávez Saravia

Para optar al título de:
 Ingeniería Civil

Contenido:
 Mapa de vulnerabilidad de la octava calle
 poniente del municipio de San Miguel,
 departamento de San Miguel
 para un periodo de 10 años

Ubicación:
 Octava calle poniente del municipio de San
 Miguel, departamento de San Miguel

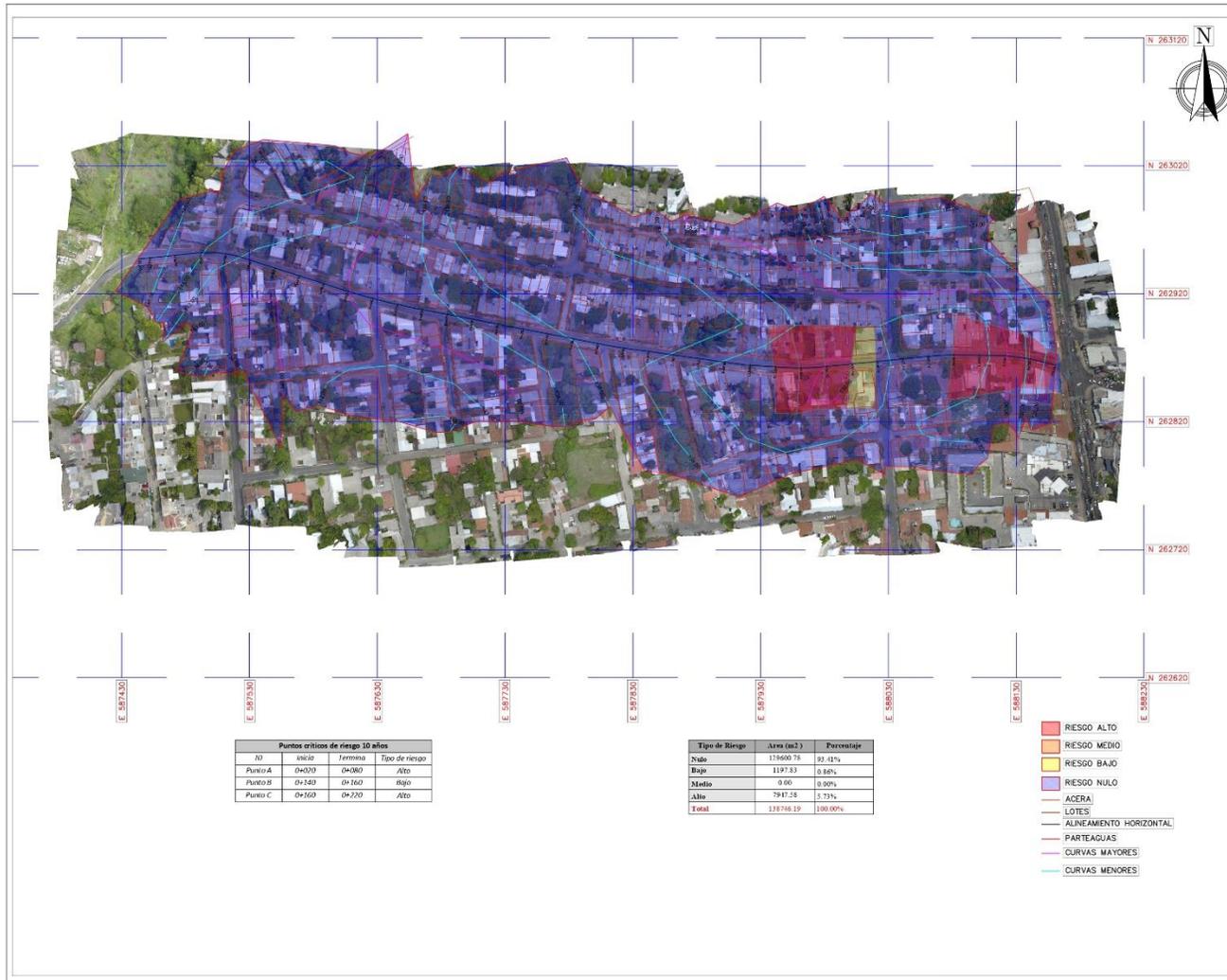
Escala:
 1:2000

Hoja:
 18/33

Puntos críticos de vulnerabilidad 10 años			
ID	Inicio	Termino	Tipo de vulnerabilidad
Punto A	0+000	0+020	Medio
Punto B	0+020	0+080	Alto
Punto C	0+080	0+160	Medio
Punto D	0+160	0+220	Alto
Punto E	0+220	0+228	Medio

Tipo de Vulnerabilidad	Area (m ²)	Porcentaje
Nula	0.00	0.00%
Baja	0.00	0.00%
Medio	110761.61	94.77%
Alto	7947.58	5.73%
Total	118709.19	100.00%

- VULNERABILIDAD ALTA
- VULNERABILIDAD MEDIA
- VULNERABILIDAD BAJA
- VULNERABILIDAD NULA
- ACERA
- LOTES
- ALINEAMIENTO HORIZONTAL
- PARTEAGUAS
- CURVAS MAYORES
- CURVAS MENORES



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA
 O R I E N T A L
 DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y
 A R Q U I T E C T U R A



Trabajo de Grado:
 "Elaboración de Mapa de Riesgo de Inundación
 y Caracterización de la infraestructura Vial con
 Punto de Interés en la Octava calle poniente,
 municipio de San Miguel, departamento de
 S a n M i g u e l "

Presentan:
 Cordero Portillo, Jaime Aristides
 Pereira Romero, Wilman Ricardo
 Sandoval Alvarenga, Erick José
 Zuniga Cedillo, Fernando Miguel

Docente Asesor:
 Ing. David Arnoldo Chávez Saravia

Para optar al título de:
 Ingeniería Civil

Contenido:
 Mapa de Riesgo de la Octava calle poniente del
 municipio de San Miguel, departamento de
 San Miguel para un periodo de 10 años

Ubicación:
 Octava calle poniente del municipio de San
 Miguel, departamento de San Miguel

Escala:
 1:2000

Hoja:
 19/33

Puntos críticos de riesgo 10 años			
ID	Inicio	Termino	Tipo de riesgo
Punto A	0+500	0+580	Alto
Punto B	0+140	0+160	Bajo
Punto C	0+160	0+220	Alto

Tipo de Riesgo	Area (m ²)	Porcentaje
Nulo	135600.76	93.41%
Bajo	1197.53	0.86%
Medio	0.00	0.00%
Alto	7941.28	5.73%
Total	138766.19	100.00%

- RIESGO ALTO
- RIESGO MEDIO
- RIESGO BAJO
- RIESGO NULO
- ACERA
- LOTES
- ALINEAMIENTO HORIZONTAL
- PARTEAGUAS
- CURVAS MAYORES
- CURVAS MENORES



Trabajo de Grado:
 "Elaboración de mapa de riesgo de inundación y caracterización de la infraestructura vial con punto de interés en la octava calle poniente, municipio de San Miguel, departamento de San Miguel"

Presentan:
 Cordero Portillo, Jaime Aristides
 Pereira Romero, Wilman Ricardo
 Sandoval Alvarenga, Erick José
 Zuniga Cedillo, Fernando Miguel

Docente Asesor:
 Ing. David Arnoldo Chávez Saravia

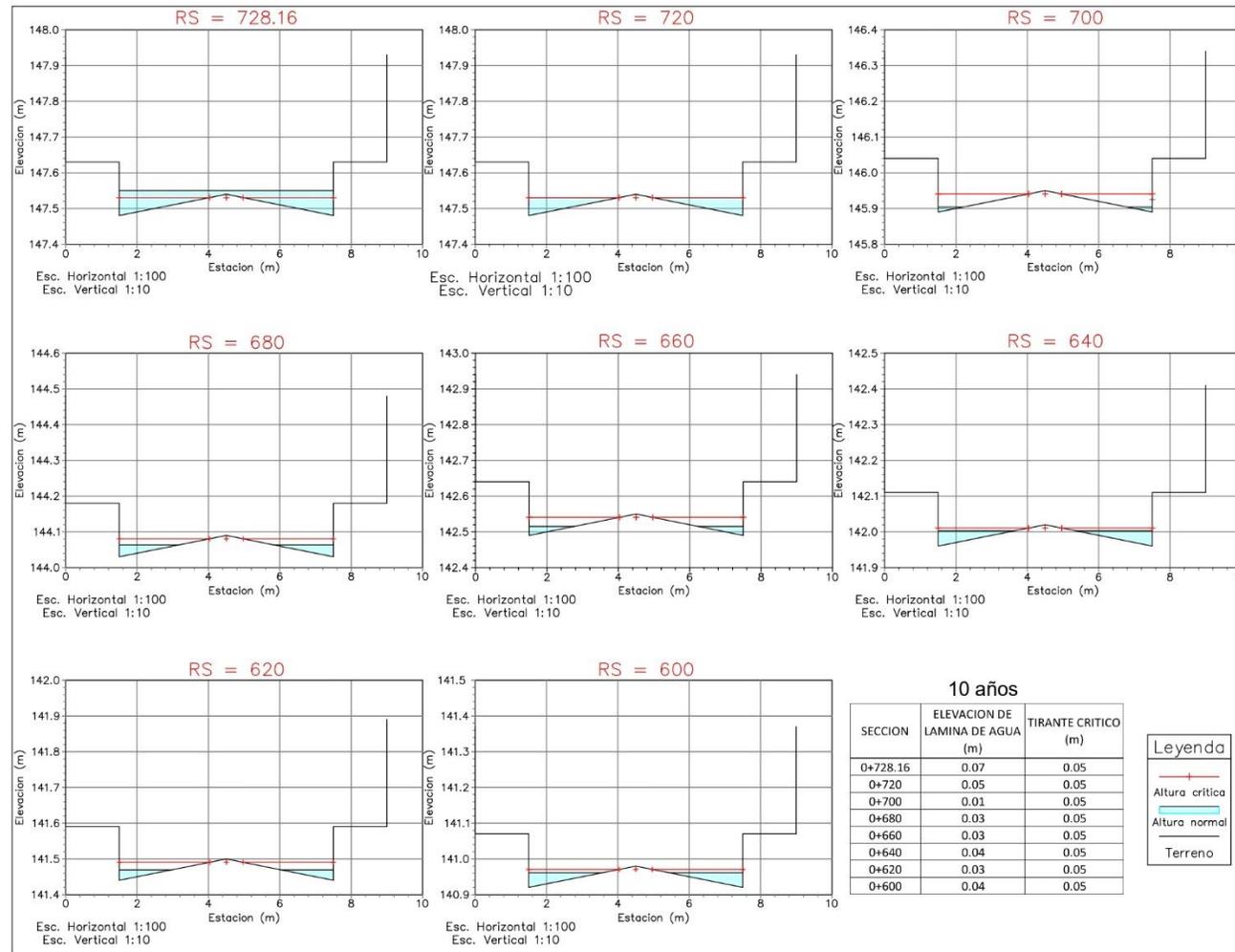
Para optar al Título de:
 Ingeniero Civil

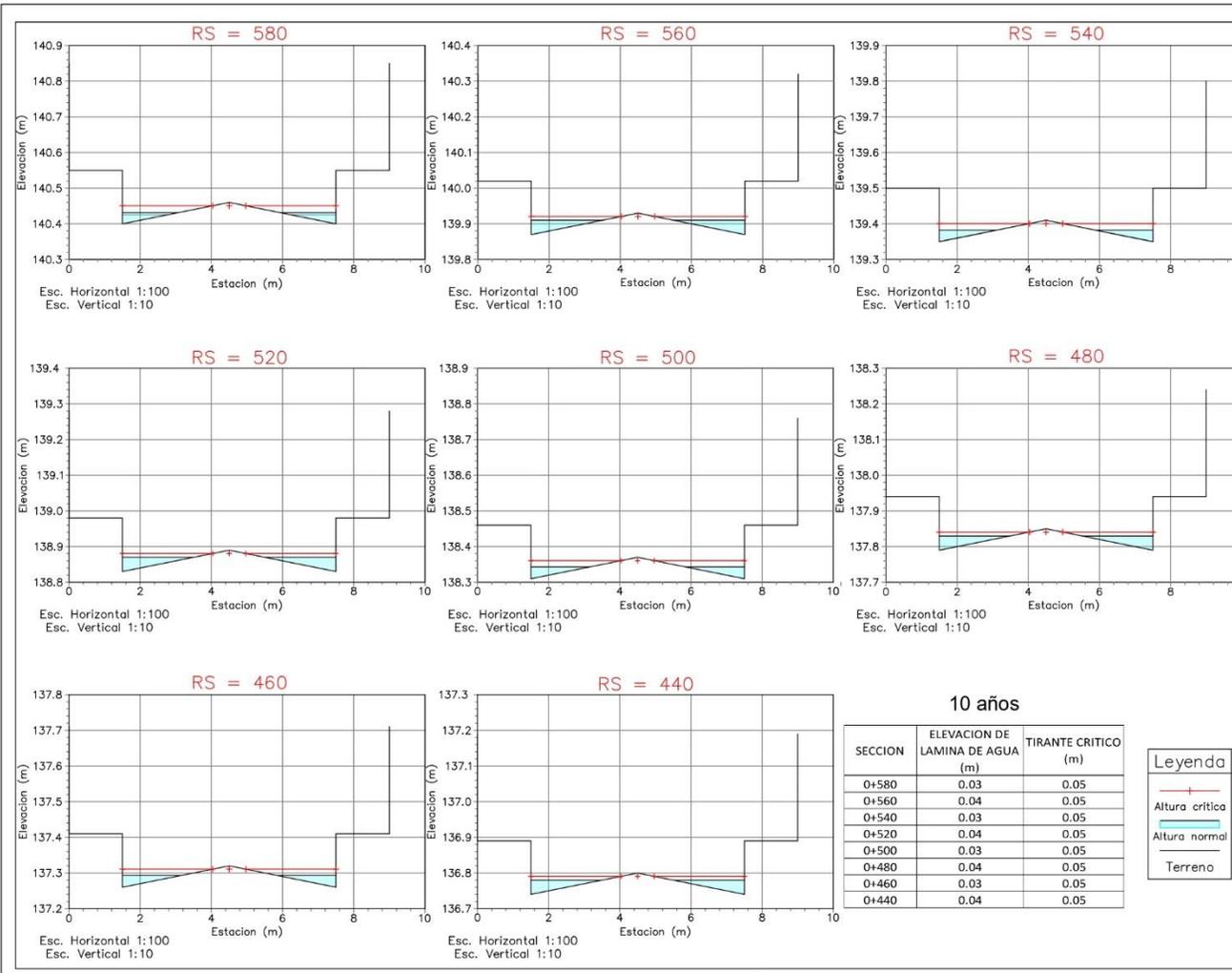
Contenido:
 Secciones transversales obtenidas de la simulación hidráulica en la 8a calle poniente de San Miguel, San Miguel

Ubicación:
 8a calle poniente del municipio de San Miguel, departamento de San Miguel.

ESCALA:
 INDICADA

HOJA:
 20/33





UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA
 O R I E N T A L
 DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y
 A R Q U I T E C T U R A



Trabajo de Grado:
 "Elaboración de mapa de riesgo de inundación y caracterización de la infraestructura vial con punto de interés en la octava calle poniente, municipio de San Miguel, departamento de San Miguel"

Presentan:
 Cordero Portillo, Jaime Aristides
 Pereira Romero, Wilman Ricardo
 Sandoval Alvarenga, Erick José
 Zuniga Cedillo, Fernando Miguel

Docente Asesor:
 Ing. David Arnoldo Chávez Saravia

Para optar al Título de:
 Ingeniero Civil

Contenido:
 Secciones transversales obtenidas de la simulación hidráulica en la 8a calle poniente de San Miguel, San Miguel

Ubicación:
 8a calle poniente del municipio de San Miguel, departamento de San Miguel.

ESCALA:
INDICADA

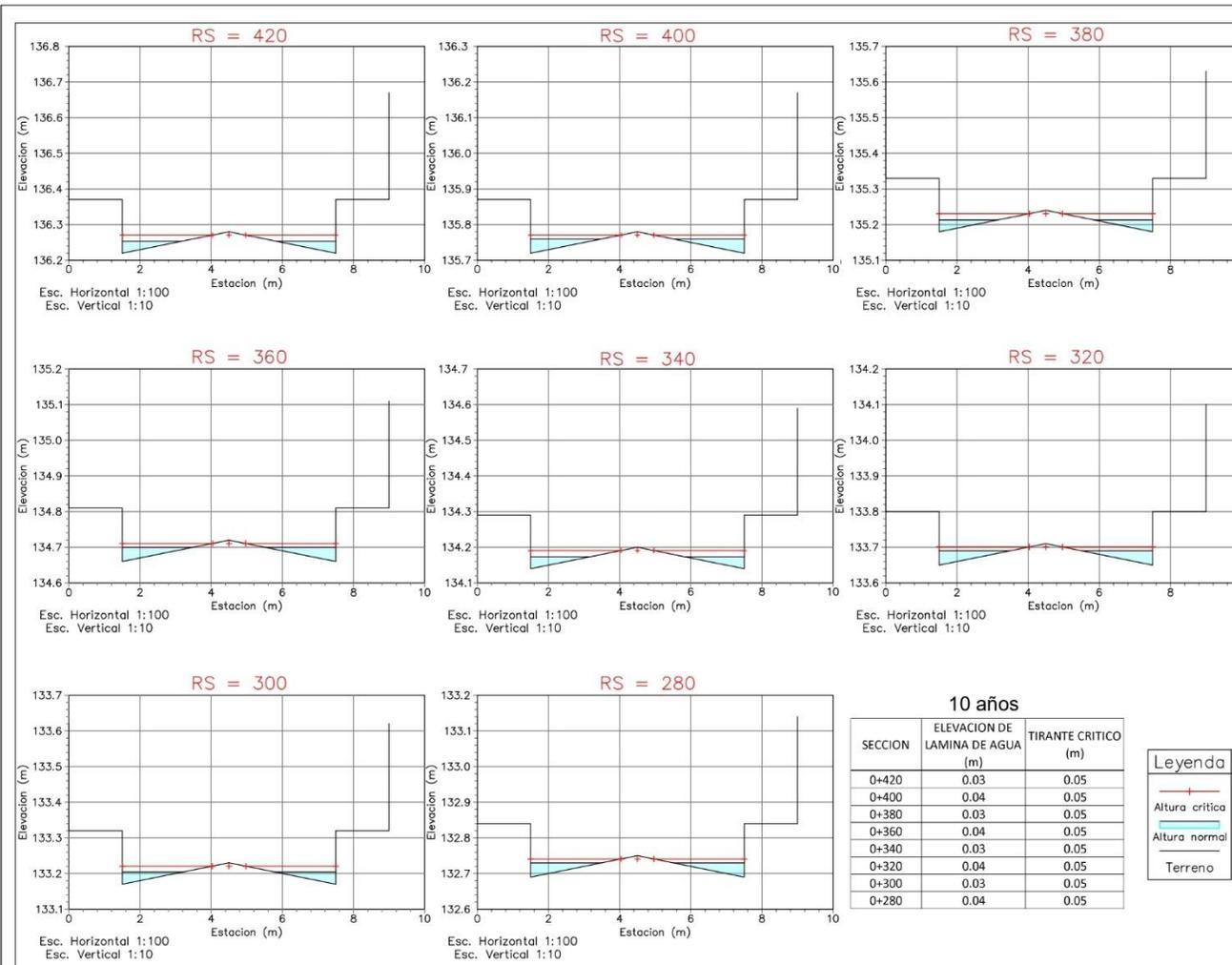
HOJA:
21/33

10 años

SECCION	ELEVACION DE LAMINA DE AGUA (m)	TIRANTE CRITICO (m)
+580	0.03	0.05
+560	0.04	0.05
+540	0.03	0.05
+520	0.04	0.05
+500	0.03	0.05
+480	0.04	0.05
+460	0.03	0.05
+440	0.04	0.05

Leyenda

- Altura crítica
- Altura normal
- Terreno



10 años

SECCION	ELEVACION DE LAMINA DE AGUA (m)	TIRANTE CRITICO (m)
0+420	0.03	0.05
0+400	0.04	0.05
0+380	0.03	0.05
0+360	0.04	0.05
0+340	0.03	0.05
0+320	0.04	0.05
0+300	0.03	0.05
0+280	0.04	0.05

Leyenda

- Altura critica
- Altura normal
- Terreno

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA
 O R I E N T A L
 DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y
 A R Q U I T E C T U R A



Trabajo de Grado:
 "Elaboración de mapa de riesgo de inundación y caracterización de la infraestructura vial con punto de interés en la octava calle poniente, municipio de San Miguel, departamento de San Miguel"

Presentan:
 Cordero Portillo, Jaime Aristides
 Pereira Romero, Wilman Ricardo
 Sandoval Alvarenga, Erick José
 Zuniga Cedillo, Fernando Miguel

Docente Asesor:
 Ing. David Arnoldo Chávez Saravia

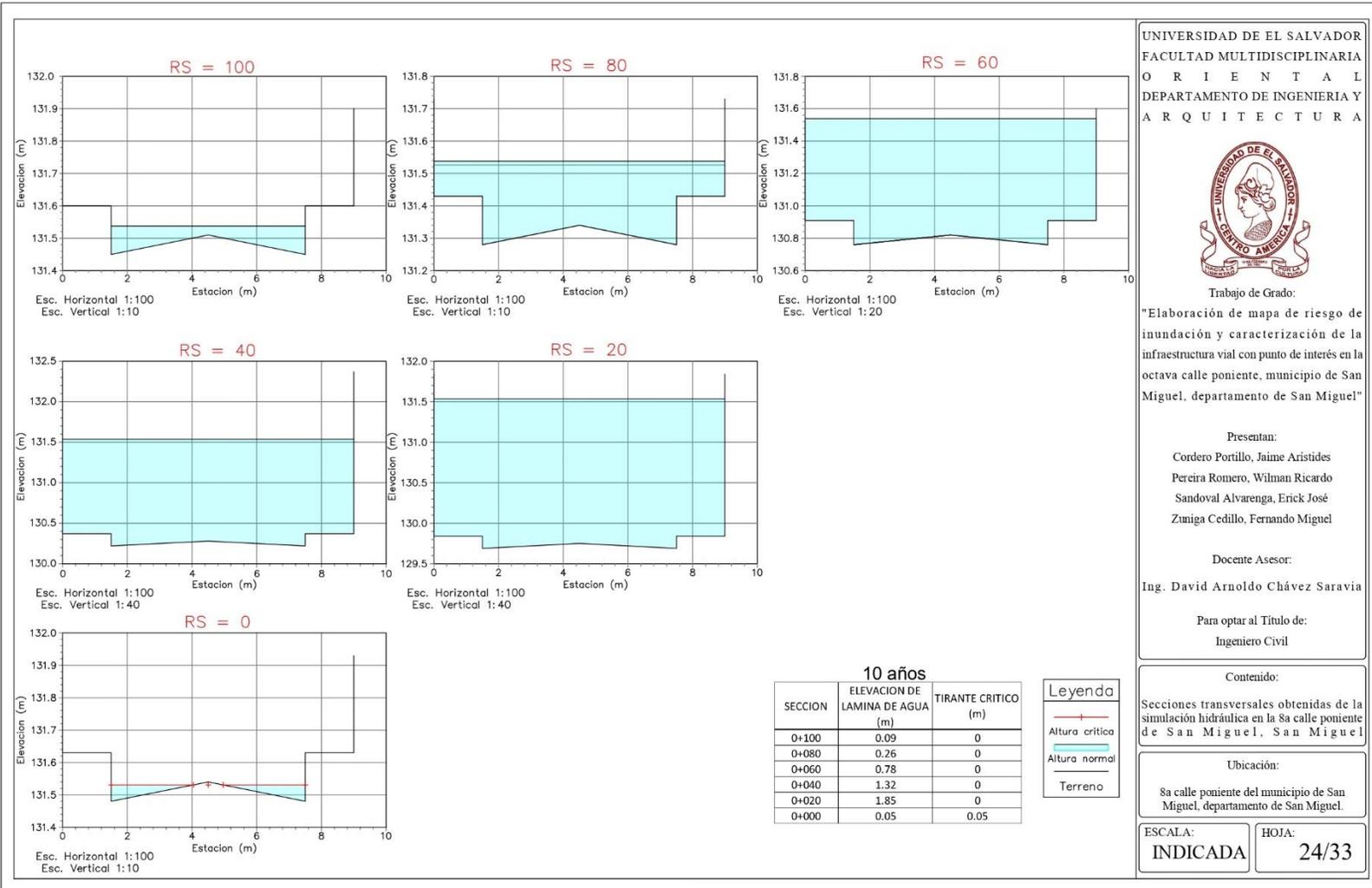
Para optar al Título de:
 Ingeniero Civil

Contenido:
 Secciones transversales obtenidas de la simulación hidráulica en la 8a calle poniente de San Miguel, San Miguel

Ubicación:
 8a calle poniente del municipio de San Miguel, departamento de San Miguel.

ESCALA:
INDICADA

HOJA:
22/33



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA
 O R I E N T A L
 DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y
 A R Q U I T E C T U R A



Trabajo de Grado:
 "Elaboración de mapa de riesgo de inundación y caracterización de la infraestructura vial con punto de interés en la octava calle poniente, municipio de San Miguel, departamento de San Miguel"

Presentan:
 Cordero Portillo, Jaime Aristides
 Pereira Romero, Wilman Ricardo
 Sandoval Alvarenga, Erick José
 Zuniga Cedillo, Fernando Miguel

Docente Asesor:
 Ing. David Arnoldo Chávez Saravia

Para optar al Título de:
 Ingeniero Civil

Contenido:
 Secciones transversales obtenidas de la simulación hidráulica en la 8a calle poniente de San Miguel, San Miguel

Ubicación:
 8a calle poniente del municipio de San Miguel, departamento de San Miguel.

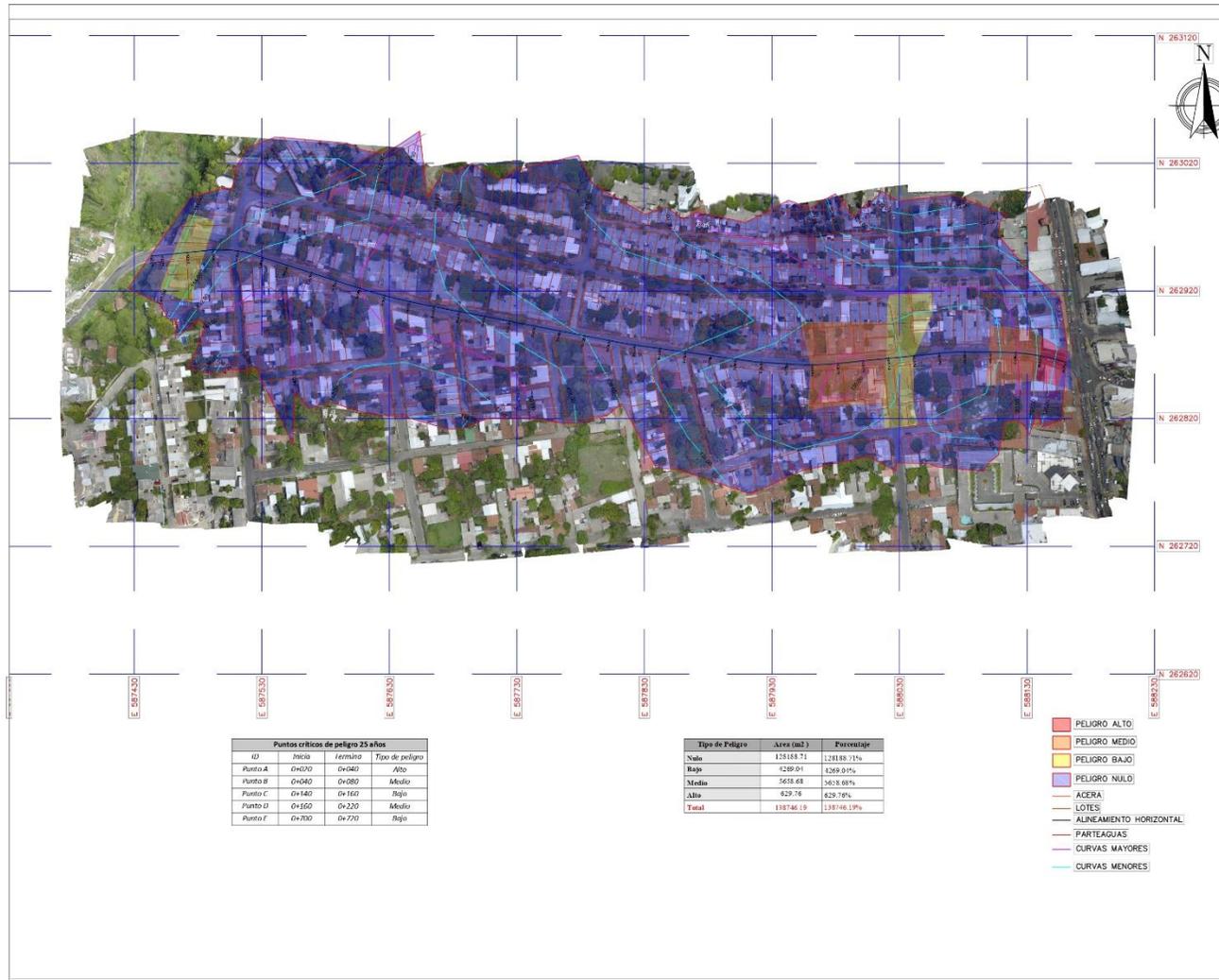
ESCALA: INDICADA HOJA: 24/33

10 años

SECCION	ELEVACION DE LAMINA DE AGUA (m)	TIRANTE CRITICO (m)
0+100	0.09	0
0+080	0.26	0
0+060	0.78	0
0+040	1.32	0
0+020	1.85	0
0+000	0.05	0.05

Leyenda

- Altura critica
- Altura normal
- Terreno



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA
 O R I E N T A L
 DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y
 A R Q U I T E C T U R A



Trabajo de Grado:

"Elaboración de Mapa de Riesgo de Inundación y Caracterización de la Infraestructura Vial con Punto de Interés en la Octava calle poniente, municipio de San Miguel, departamento de San Miguel"

Presentan:

Cordero Portillo, Jaime Aristides
 Pereira Romero, Wilman Ricardo
 Sandoval Alvarenga, Erick José
 Zuniga Cedillo, Fernando Miguel

Docente Asesor:

Ing. David Arnoldo Chávez Saravia

Para optar al título de:

Ingeniería Civil

Contenido:

Mapa de Peligro de la Octava calle poniente del municipio de San Miguel, departamento de San Miguel para un periodo de 25 años

Ubicación:

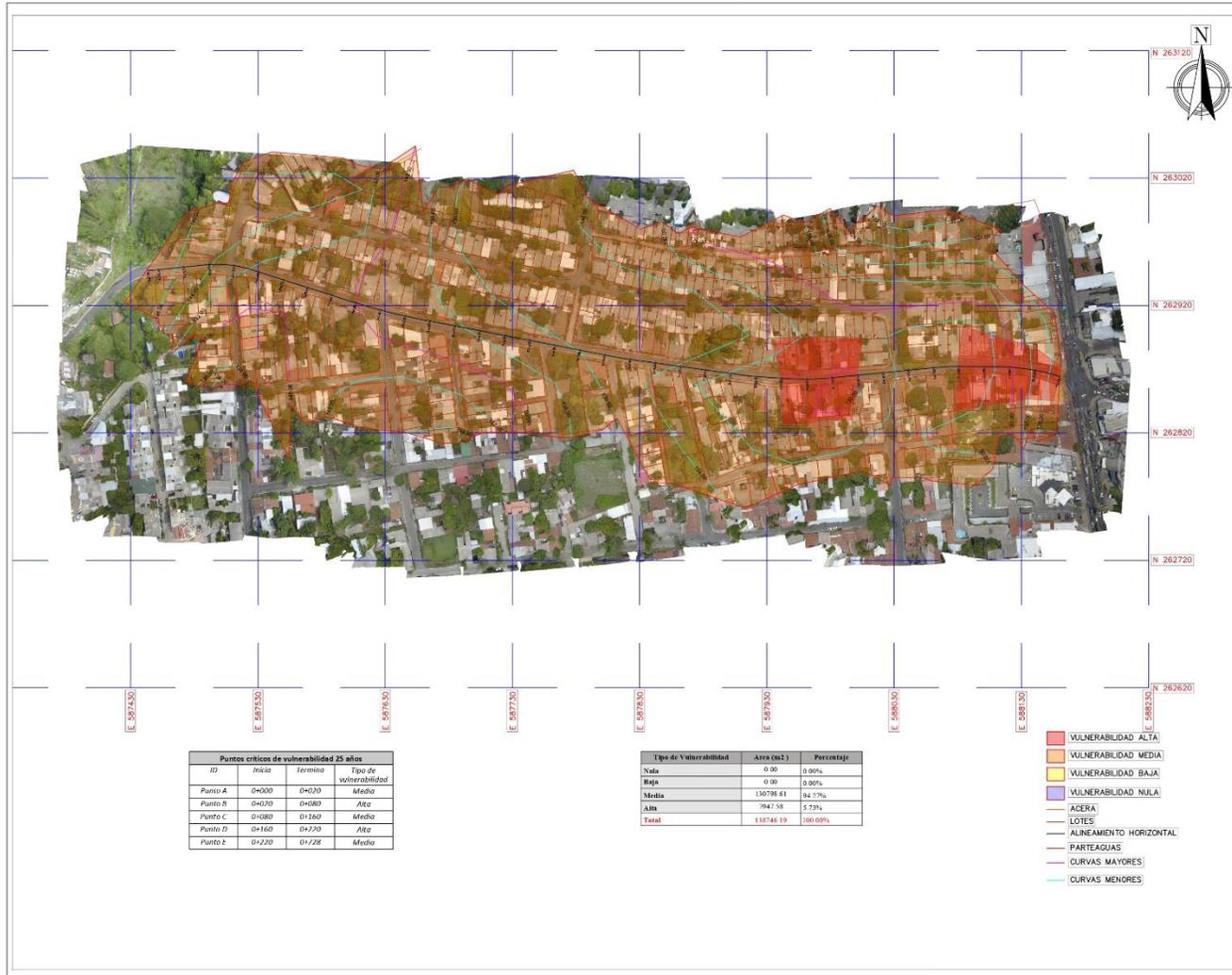
Octava calle poniente del municipio de San Miguel, departamento de San Miguel

Escala:

1:2000

Hoja:

25/33



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA
 O R I E N T A L
 DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y
 A R Q U I T E C T U R A



Trabajo de Grado:
 "Elaboración de Mapa de Riesgo de Inundación
 y Caracterización de la infraestructura Vial con
 Punto de Interés en la Octava calle poniente,
 municipio de San Miguel, departamento de
 S a n M i g u e l "

Presentan:
 Cordero Portillo, Jaime Aristides
 Pereira Romero, Wilman Ricardo
 Sandoval Alvarenga, Erick José
 Zuniga Cedillo, Fernando Miguel

Docente Asesor:
 Ing. David Arnoldo Chávez Saravia

Para optar al título de:
 Ingeniería Civil

Contenido:
 Mapa de vulnerabilidad de la octava calle
 poniente del municipio de San Miguel,
 departamento de San Miguel
 para un periodo de 25 años

Ubicación:
 Octava calle poniente del municipio de San
 Miguel, departamento de San Miguel

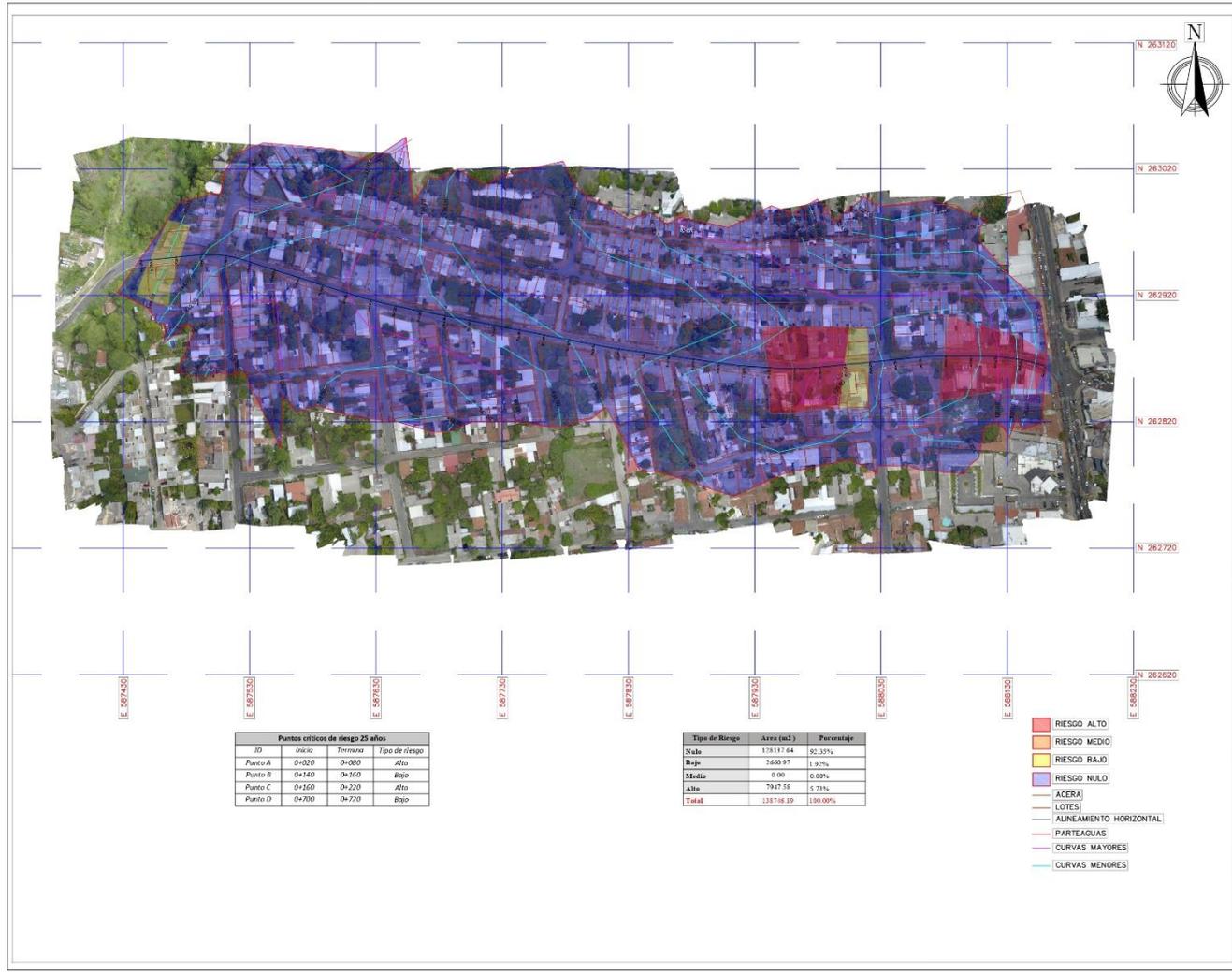
Escala:
 1:2000

Hoja:
 26/33

Puntos críticos de vulnerabilidad 25 años			
ID	Inicia	Termina	Tipo de vulnerabilidad
Punto A	0+000	0+020	Medio
Punto B	0+070	0+080	Alto
Punto C	0+080	0+160	Medio
Punto D	0+160	0+230	Alto
Punto E	0+230	0+238	Medio

Tipo de Vulnerabilidad	Area (m ²)	Porcentaje
Nula	0.00	0.00%
Baja	0.00	0.00%
Medio	11078.61	24.27%
Alto	7947.58	17.29%
Total	118746.19	100.00%

- VULNERABILIDAD ALTA
- VULNERABILIDAD MEDIA
- VULNERABILIDAD BAJA
- VULNERABILIDAD NULA
- ACERA
- LOTES
- ALINEAMIENTO HORIZONTAL
- PARTEAGUAS
- CURVAS MAYORES
- CURVAS MENORES



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA
 O R I E N T A L
 DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y
 A R Q U I T E C T U R A



Trabajo de Grado:
 "Elaboración de Mapa de Riesgo de Inundación
 y Caracterización de la infraestructura Vial con
 Punto de Interés en la Octava calle poniente,
 municipio de San Miguel, departamento de
 S a n M i g u e l "

Presentan:
 Cordero Portillo, Jaime Aristides
 Pereira Romero, Wilman Ricardo
 Sandoval Alvarenga, Erick José
 Zuniga Cedillo, Fernando Miguel

Docente Asesor:
 Ing. David Arnoldo Chávez Saravia

Para optar al título de:
 Ingeniería Civil

Contenido:
 Mapa de Riesgo de la Octava calle poniente del
 municipio de San Miguel, departamento de
 San Miguel para un periodo de 25 años

Ubicación:
 Octava calle poniente del municipio de San
 Miguel, departamento de San Miguel

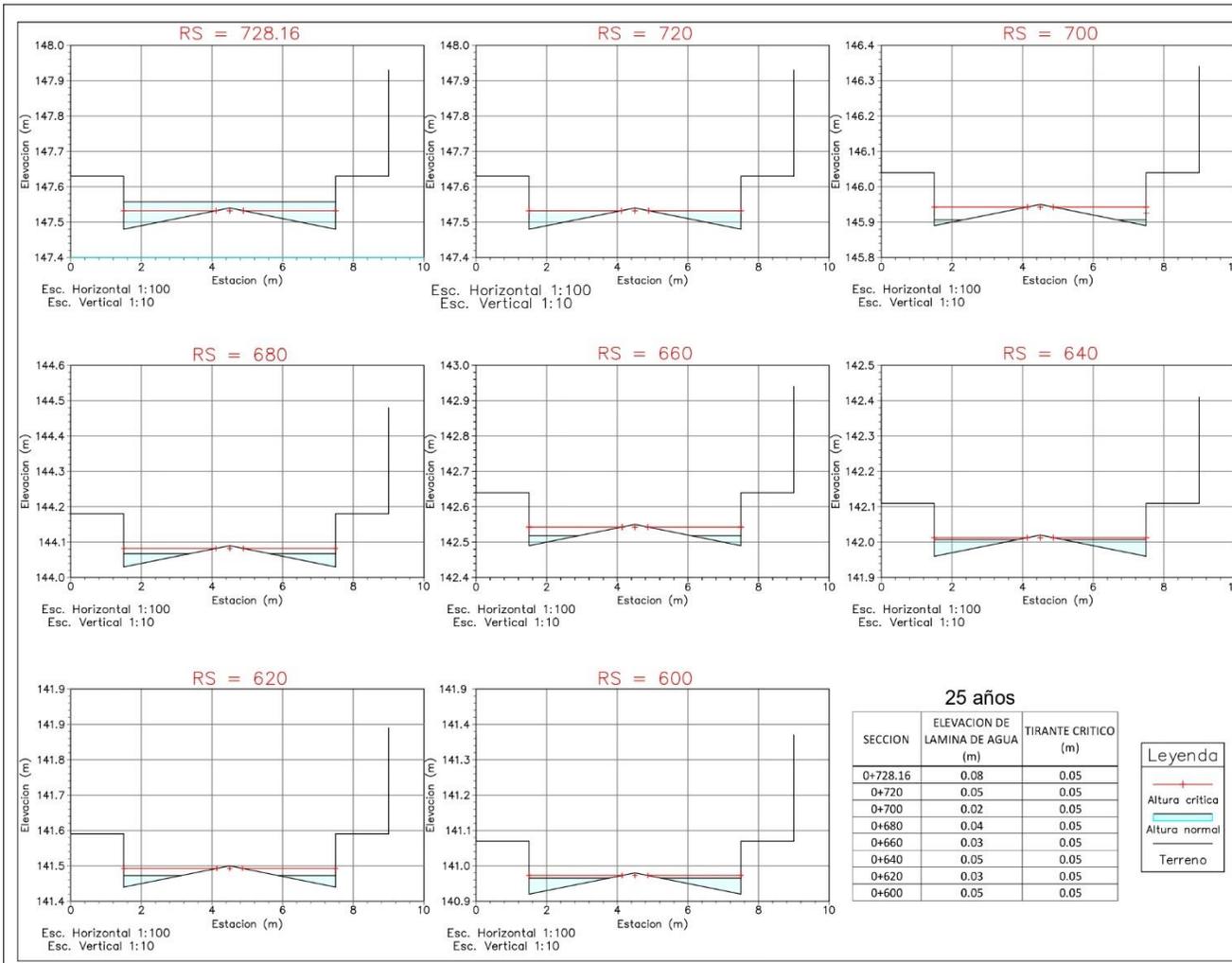
Escala:
 1:2000

Hoja:
 27/33

Puntos críticos de riesgo 25 años			
ID	Inicio	Terminó	Tipo de riesgo
Punto A	0+020	0+380	Alto
Punto B	0+140	0+160	Bajo
Punto C	0+160	0+220	Alto
Punto D	0+200	0+220	Bajo

Tipo de Riesgo	Area (m ²)	Porcentaje
Nulo	178117.64	92.35%
Bajo	5880.97	1.97%
Medio	0.00	0.00%
Alto	7947.58	5.71%
Total	193176.19	100.00%

- RIESGO ALTO
- RIESGO MEDIO
- RIESGO BAJO
- RIESGO NULO
- ACERA
- LOTES
- ALINEAMIENTO HORIZONTAL
- PARTEAGUIAS
- CURVAS MAYORES
- CURVAS MENORES



25 años

SECCION	ELEVACION DE LAMINA DE AGUA (m)	TIRANTE CRITICO (m)
0+728.16	0.08	0.05
0+720	0.05	0.05
0+700	0.02	0.05
0+680	0.04	0.05
0+660	0.03	0.05
0+640	0.05	0.05
0+620	0.03	0.05
0+600	0.05	0.05

Leyenda

- ▲— Altura critica
- Altura normal
- Terreno

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA
 O R I E N T A L
 DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y
 A R Q U I T E C T U R A



Trabajo de Grado:
 "Elaboración de mapa de riesgo de inundación y caracterización de la infraestructura vial con punto de interés en la octava calle poniente, municipio de San Miguel, departamento de San Miguel"

Presentan:
 Cordero Portillo, Jaime Aristides
 Pereira Romero, Wilman Ricardo
 Sandoval Alvarenga, Erick José
 Zuniga Cedillo, Fernando Miguel

Docente Asesor:
 Ing. David Arnoldo Chávez Saravia

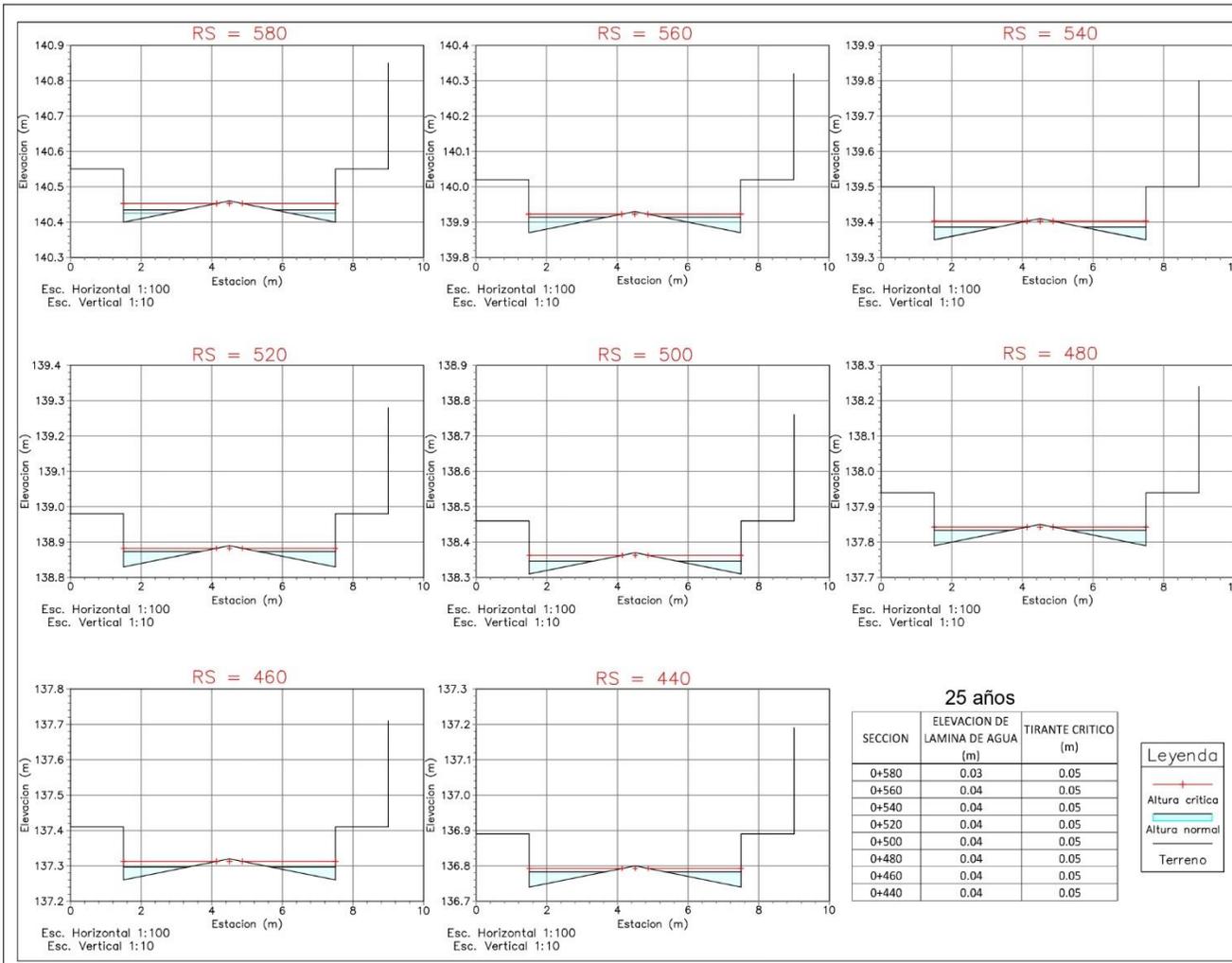
Para optar al Título de:
 Ingeniero Civil

Contenido:
 Secciones transversales obtenidas de la simulación hidráulica en la 8a calle poniente de San Miguel, San Miguel

Ubicación:
 8a calle poniente del municipio de San Miguel, departamento de San Miguel.

ESCALA:
INDICADA

HOJA:
28/33



25 años

SECCION	ELEVACION DE LAMINA DE AGUA (m)	TIRANTE CRITICO (m)
0+580	0.03	0.05
0+560	0.04	0.05
0+540	0.04	0.05
0+520	0.04	0.05
0+500	0.04	0.05
0+480	0.04	0.05
0+460	0.04	0.05
0+440	0.04	0.05

Leyenda

- Altura critica
- Altura normal
- Terreno

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA
 O R I E N T A L
 DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y
 A R Q U I T E C T U R A



Trabajo de Grado:
 "Elaboración de mapa de riesgo de inundación y caracterización de la infraestructura vial con punto de interés en la octava calle poniente, municipio de San Miguel, departamento de San Miguel"

Presentan:
 Cordero Portillo, Jaime Aristides
 Pereira Romero, Wilman Ricardo
 Sandoval Alvarenga, Erick José
 Zuniga Cedillo, Fernando Miguel

Docente Asesor:
 Ing. David Arnoldo Chávez Saravia

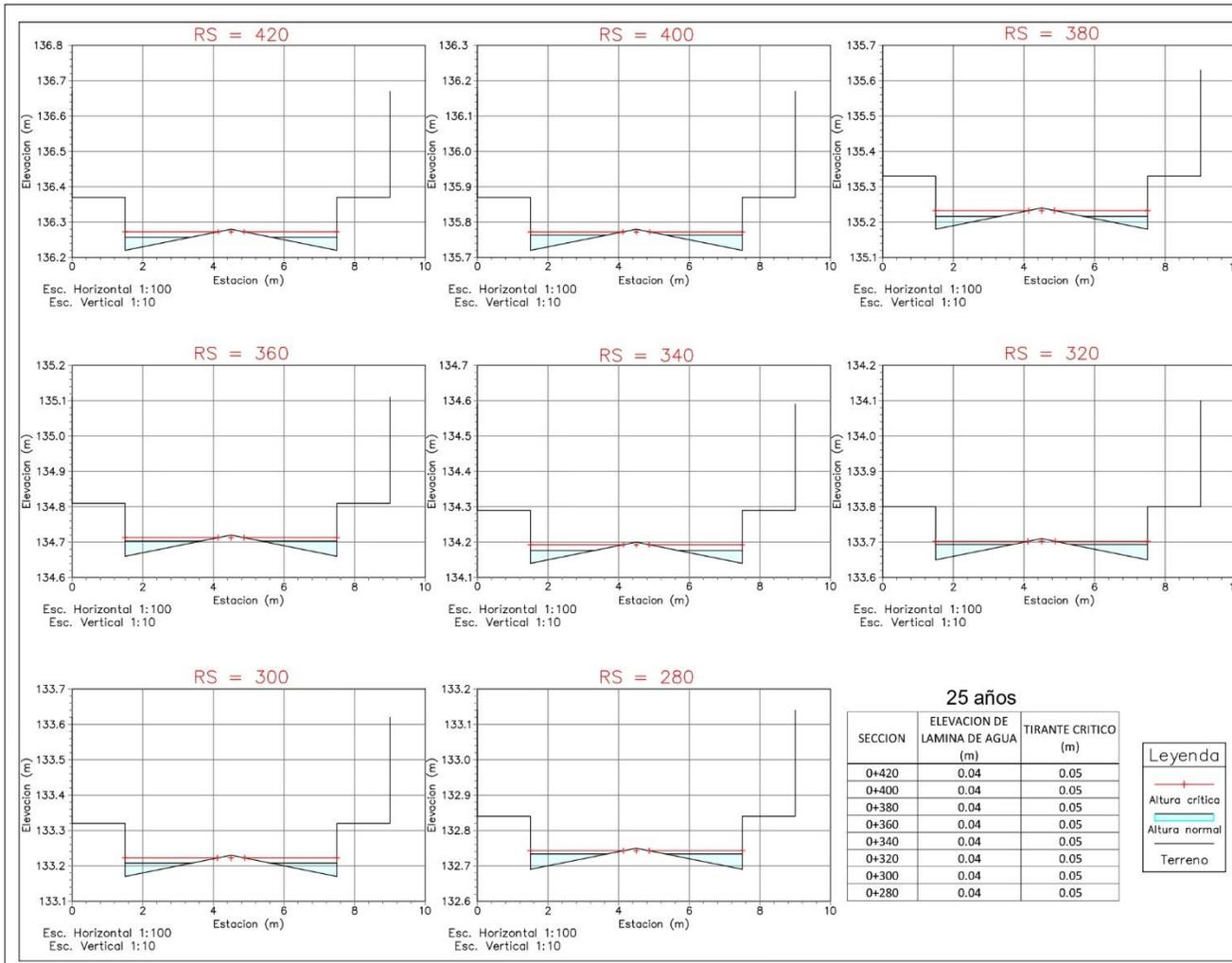
Para optar al Título de:
 Ingeniero Civil

Contenido:
 Secciones transversales obtenidas de la simulación hidráulica en la 8a calle poniente de San Miguel, San Miguel

Ubicación:
 8a calle poniente del municipio de San Miguel, departamento de San Miguel.

ESCALA:
INDICADA

HOJA:
29/33



25 años

SECCION	ELEVACION DE LAMINA DE AGUA (m)	TIRANTE CRITICO (m)
0+420	0.04	0.05
0+400	0.04	0.05
0+380	0.04	0.05
0+360	0.04	0.05
0+340	0.04	0.05
0+320	0.04	0.05
0+300	0.04	0.05
0+280	0.04	0.05

Leyenda

- +— Altura critica
- Altura normal
- Terreno

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA
 O R I E N T A L
 DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y
 A R Q U I T E C T U R A



Trabajo de Grado:
 "Elaboración de mapa de riesgo de inundación y caracterización de la infraestructura vial con punto de interés en la octava calle poniente, municipio de San Miguel, departamento de San Miguel"

Presentan:
 Cordero Portillo, Jaime Aristides
 Pereira Romero, Wilman Ricardo
 Sandoval Alvarenga, Erick José
 Zuniga Cedillo, Fernando Miguel

Docente Asesor:
 Ing. David Arnoldo Chávez Saravia

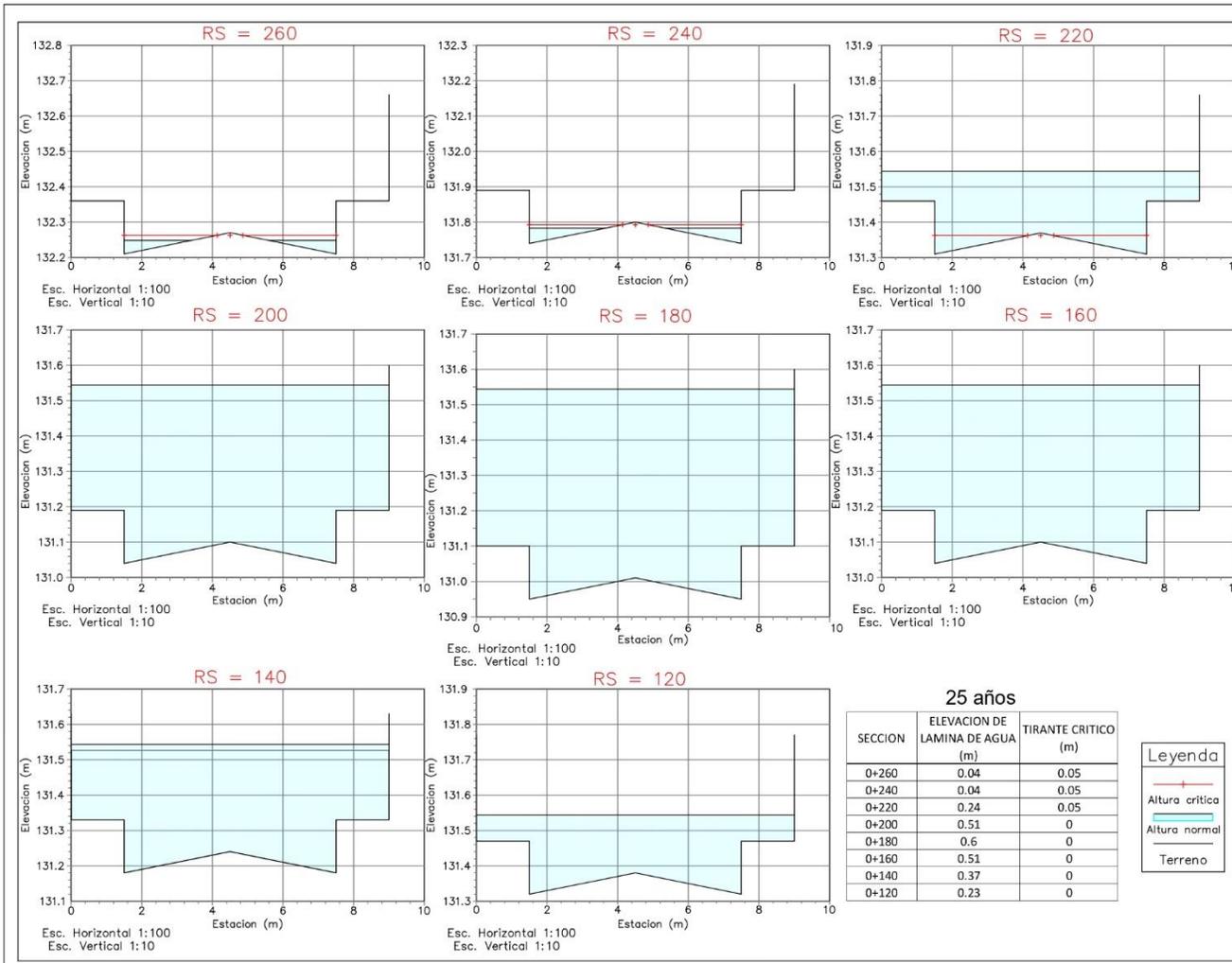
Para optar al Título de:
 Ingeniero Civil

Contenido:
 Secciones transversales obtenidas de la simulación hidráulica en la 8a calle poniente de San Miguel, San Miguel

Ubicación:
 8a calle poniente del municipio de San Miguel, departamento de San Miguel.

ESCALA:
INDICADA

HOJA:
30/33



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA
 O R I E N T A L
 DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y
 A R Q U I T E C T U R A



Trabajo de Grado:
 "Elaboración de mapa de riesgo de inundación y caracterización de la infraestructura vial con punto de interés en la octava calle poniente, municipio de San Miguel, departamento de San Miguel"

Presentan:
 Cordero Portillo, Jaime Aristides
 Pereira Romero, Wilman Ricardo
 Sandoval Alvarenga, Erick José
 Zuniga Cedillo, Fernando Miguel

Docente Asesor:
 Ing. David Arnoldo Chávez Saravia

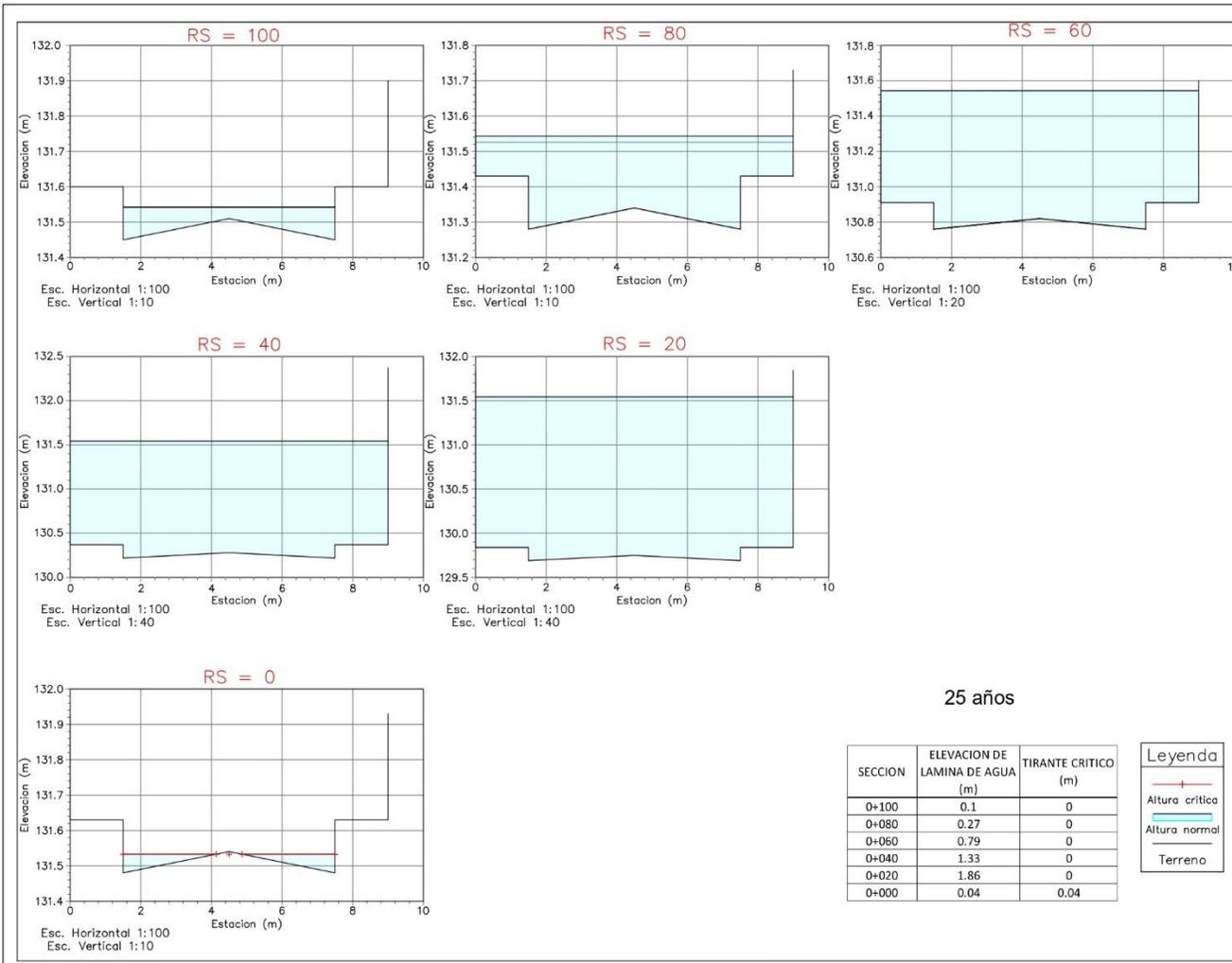
Para optar al Título de:
 Ingeniero Civil

Contenido:
 Secciones transversales obtenidas de la simulación hidráulica en la 8a calle poniente de San Miguel, San Miguel

Ubicación:
 8a calle poniente del municipio de San Miguel, departamento de San Miguel.

ESCALA:
INDICADA

HOJA:
31/33



25 años

SECCION	ELEVACION DE LAMINA DE AGUA (m)	TIRANTE CRITICO (m)
0+100	0.1	0
0+080	0.27	0
0+060	0.79	0
0+040	1.33	0
0+020	1.86	0
0+000	0.04	0.04

Leyenda

- Altura critica
- Altura normal
- Terreno

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA
ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y
ARQUITECTURA



Trabajo de Grado:
"Elaboración de mapa de riesgo de inundación y caracterización de la infraestructura vial con punto de interés en la octava calle poniente, municipio de San Miguel, departamento de San Miguel"

Presentan:
Cordero Portillo, Jaime Aristides
Pereira Romero, Wilman Ricardo
Sandoval Alvarenga, Erick José
Zumiga Cedillo, Fernando Miguel

Docente Asesor:
Ing. David Arnoldo Chávez Saravia

Para optar al Título de:
Ingeniero Civil

Contenido:
Secciones transversales obtenidas de la simulación hidráulica en la 8a calle poniente de San Miguel, San Miguel

Ubicación:
8a calle poniente del municipio de San Miguel, departamento de San Miguel.

ESCALA:
INDICADA

HOJA:
32/33



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA
 ORIENTAL
 DEPARTAMENTO DE INGENIERIA Y
 ARQUITECTURA



Trabajo de Grado:
 "Elaboración de Mapa de Riesgo de Inundación
 y Caracterización de la infraestructura Vial con
 Punto de Interés en la Octava calle poniente,
 municipio de San Miguel,
 departamento de San Miguel"

Presentan:
 Cordero Portillo, Jaime Aristides
 Pereira Romero, Wilman Ricardo
 Sandoval Alvarenga, Erick José
 Zuniga Cedillo, Fernando Miguel

Docente Asesor:
 Ing. David Arnoldo Chávez Saravia

Para optar al título de:
 Ingeniero Civil

Contenido:
 Plano general de la octava calle poniente del
 municipio de San Miguel,
 departamento de San Miguel

Ubicación:
 Octava calle poniente del municipio de San
 Miguel, departamento de San Miguel

Escala:
1:1800

Hoja:
33/33

