

**UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA**



HERNÁN TURCIOS CASTRO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2018

**UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**ANÁLISIS DE INUNDACIONES PLUVIALES EN LA CIUDAD DE ANTIGUA
GUATEMALA, DEPARTAMENTO DE SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA, C.A. Y
SERVICIOS REALIZADOS EN EL INSTITUTO PRIVADO DE INVESTIGACIÓN
SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO -ICC-, GUATEMALA, C.A.**

**PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE
AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

POR

HERNÁN TURCIOS CASTRO

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERA

EN GESTIÓN AMBIENTAL LOCAL

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

RECTOR

Ing. M.Sc. Murphy Olympo Paiz Recinos

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO:	Ing. Agr. Mario Antonio Godínez López
VOCAL PRIMERO:	Dr. Tomás Antonio Padilla Cámbara
VOCAL SEGUNDO:	Ing. Agr. M.Sc. César Linneo García Contreras
VOCAL TERCERO:	Ing. Agr. Jorge Mario Cabrera Madrid
VOCAL CUARTO:	P. Agro. Carlos Waldemar de León Samayoa
VOCAL QUINTO:	P. Agr. Marvin Manolo Sicajaú Pec
SECRETARIO:	Ing. Agr. Juan Alberto Herrera Ardón

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2018

Guatemala, noviembre de 2018

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el Trabajo de Graduación “**Análisis de inundaciones pluviales en la ciudad de Antigua Guatemala, departamento de Sacatepéquez, Guatemala, C.A.**”, como requisito previo a optar al título de Ingeniero en Gestión Ambiental Local, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme

Atentamente.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

HERNÁN TURCIOS CASTRO

ACTO QUE DEDICO A

DIOS

Por bendecirme cada día de mi vida y permitirme gozar no solo de este logro sino de una vida plena en la que veo reflejado su amor.

Leopoldo Turcios, por trasmitirme mediante su ejemplo los grandes valores de honestidad, lealtad, lucha, responsabilidad, valentía y sinceridad. Por creer siempre en mí, por sus sabios consejos y sobre todo, por el gran esfuerzo a lo largo de su vida y por el cual es posible este momento. Infinitamente gracias.

MIS PADRES

Norma Elizabeth Castro, por todo su apoyo, delicadeza y ternura con la que siempre me ha guiado, por el esfuerzo y dedicación que han permitido ser quién soy y por tener siempre un gesto de amor en tiempos difíciles. Muchas gracias, te amo.

Amados padres, consideren este momento un logro de su lucha y esfuerzo, Dios los bendiga siempre.

MIS ABUELOS

Guillermo Turcios y Concepción Balcarcel, por la bondad, sabiduría y fortaleza que han trasmitido. Porque a pesar de su partida siguen siendo un gran ejemplo que espero honrar a lo largo de mi vida.

Victoriano Castro por su apoyo, su

confianza, su amistad. Por ser un verdadero amigo. Gracias por apoyarme siempre y por reír conmigo de las buenas cosas de la vida.

Marta Alvarado, por cuidar de mí en mi desde mi infancia, educarme y guiarme por el buen camino. Por su paciencia y tolerancia y por el amor y cariño incondicional que siempre me ha brindado. Muchas gracias.

Josue, Vibian, Marta y Esdras. Por todo el apoyo que siempre me han brindado, por compartir el deseo de ser grandes profesionales, por los momentos llenos de alegría, emoción y gracia que hemos gozado juntos y también por los momentos de infortunio y tristeza que han sido menos pesados con su presencia. Por darme grandes lecciones de vida y aprender de ustedes que nada es tan malo como para no poder sacar una risa de ello.

MIS HERMANOS

Por su sabiduría, sus consejos, sus enseñanzas, sus buenos deseos y su apoyo. Pero también por las risas, las aventuras, las historias, los recuerdos de la infancia; por compartir conmigo no solo durante este proceso sino a lo largo de mi vida.

A MIS PRIMOS

Porque siempre me han brindado una sonrisa, un abrazo y sobre todo por su buen deseo de verme crecer y ser un gran profesional.

MIS TÍOS Y TÍAS

A ustedes mi gratitud y cariño.

AGRADECIMIENTOS A

DIOS	Por acompañarme y brindarme fortaleza y esperanza durante todo el proceso.
MIS PADRES	Gracias por brindarme siempre que necesité su sabiduría, su apoyo, su amor, e inculcarme siempre el deseo de superación y éxito.
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA	<i>Alma mater</i> , gloriosa tricentenaria, por inculcarme valores de excelencia y calidad, por acogerme y educarme hasta hacer de mí un profesional calificado y productivo dispuesto a servir a su patria.
FACULTAD DE AGRONOMÍA	A cada docente; por compartir con gran ética y profesionalismo sus conocimientos y educarme en todo el proceso de formación profesional.
ESTUDIANTINA	Por brindarme un espacio artístico y recreativo, donde viví grandes experiencias y aventuras y donde me rodeé de grandes amigos quienes compartieron conmigo el deseo de transmitir un sentir a través de la música.
SUPERVISOR	Dr. Marvin Salguero; gracias por guiarme y compartir sus conocimientos y educación de calidad, por ofrecerme siempre su tiempo y disposición y por guiarme con gran profesionalidad a lo largo de todo mi proceso de formación.
ASESORES	Ing. Estuardo Lira y Edwin Guillermo Santos por su tiempo y orientación durante el desarrollo de la investigación.
PADRINO	Ing. Álvaro Hernández Dávila, por su ayuda, consideración y consejos; por brindarme una amistad sincera y su apoyo incondicional.

MIS AMIGOS Y AMIGAS

A ustedes queridos amigos, a quienes agradezco el apoyo y el ánimo que cada uno tuvo la bondad de darme incondicionalmente; por los momentos de risas y emoción que compartimos y también por acompañarme en los momentos dubitativos y de frustración. Por estar siempre alentándome a ser mejor y no permitir errar en el camino.

Quedo eternamente agradecido; mis mejores deseos y todo mi cariño para ustedes.

PROGRAMA DE GESTIÓN DE
RIESGO DE DESASTRES -ICC-

Por permitirme desarrollar el ejercicio profesional supervisado junto a ustedes; por apoyarme, enseñarme, guiarme y hacerme sentir parte de un excelente grupo de trabajo y, sobre todo, de un grupo de verdaderos amigos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
1. CAPÍTULO I. DIAGNÓSTICO DEL MUNICIPIO DE ANTIGUA GUATEMALA, SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA, CA.....	1
1.1. PRESENTACIÓN	3
1.2. MARCO REFERENCIAL	4
1.3. OBJETIVOS	5
1.3.1. Objetivo General.....	5
1.3.2. Objetivos Específicos	5
1.4. METODOLOGÍA.....	6
1.4.1. Delimitación de la zona de estudio	7
1.4.2. Recopilación de información secundaria.....	7
1.4.3. Reunión con actores claves.....	7
1.4.4. Elaboración de mapas	7
1.4.5. Integración de la información.....	8
1.4.6. Identificación de problemas	8
1.5. RESULTADOS	9
1.5.1. Localización.....	9
1.5.2. Demografía.....	12
1.5.3. Cultura e identidad.....	16
1.5.4. Economía	17
1.5.5. Producción	18
1.5.6. Salud.....	21
1.5.7. Educación.....	22
1.5.8. Servicios básicos.....	23
1.5.9. Sector político institucional	25
1.5.10. Recursos biofísicos.....	27
1.5.11. Flora y Fauna	35
1.5.12. Clima	36
1.5.13. Gestión de riesgo.....	40
1.6. CONCLUSIONES	44
1.7. BIBLIOGRAFÍA.....	45

2. CAPÍTULO II. ANÁLISIS DE INUNDACIONES PLUVIALES EN LA CIUDAD DE ANTIGUA GUATEMALA, DEPARTAMENTO DE SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA, C.A.	48
2.1. INTRODUCCIÓN.....	49
2.2. MARCO TEÓRICO	51
2.2.1. Marco Conceptual	51
2.2.2. Marco Referencial	58
2.2.3. Problemática sobre inundaciones	74
2.3. OBJETIVOS	79
2.3.1. Objetivo General.....	79
2.3.2. Objetivos Específicos	79
2.4. METODOLOGÍA.....	80
2.4.1. Delimitación de la zona de estudio	81
2.4.2. Análisis de la amenaza	81
2.4.3. Análisis de vulnerabilidad	93
2.4.4. Determinación de riesgo.....	94
2.4.5. Definición de los lineamientos de obras y medidas de mitigación	95
2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	96
2.5.1. Delimitación de la zona de estudio	96
2.5.2. Determinación de la mancha urbana	96
2.5.3. Zonas permeables dentro de la ciudad	98
2.5.4. Drenaje natural	98
2.5.5. Zonificación de amenaza a inundaciones	100
2.5.6. Modelo hidrológico.....	102
2.5.7. Análisis del sistema de drenaje urbano.....	115
2.5.8. Análisis de vulnerabilidad	122
2.5.9. Zonificación de riesgo a inundaciones	130
2.6. CONCLUSIONES	132
2.7. RECOMENDACIONES.....	133
2.8. BIBLIOGRAFÍA.....	134
2.9. ANEXOS	137
2.9.1. Marco Legal.....	137

3. CAPÍTULO III. INFORME DE SERVICIOS REALIZADOS EN EL INSTITUTO PRIVADO DE INVESTIGACIÓN SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO (ICC) DURANTE LOS MESES DE FEBRERO A NOVIEMBRE DEL AÑO 2017.	148
3.1. PRESENTACIÓN	149
3.2. SERVICIO 1. REINSTALACIÓN DEL PROYECTO PILOTO ATRAPANIEBLA... ..	150
3.2.1. Objetivos	150
3.2.2. Metodología.....	150
3.2.3. Resultados	151
3.2.4. Conclusiones.....	152
3.2.5. Recomendaciones.....	152
3.3. SERVICIO 2. TALLERES DE CAPACITACIÓN EN GESTIÓN DE RIESGO A COMUNITARIOS.....	153
3.3.1. Objetivos	153
3.3.2. Metodología.....	153
3.3.3. Resultados	154
3.3.4. Conclusiones.....	156
3.3.5. Recomendaciones.....	156
3.4. BIBLIOGRAFÍA.....	157

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Diagrama metodológico para el diagnóstico del municipio	6
Figura 2. Mapa de ubicación de la ciudad de Antigua Guatemala.....	10
Figura 3. Pirámide poblacional del municipio de Antigua Guatemala	15
Figura 4. Mapa de serie de suelos del municipio de Antigua Guatemala.....	28
Figura 5. Mapa geológico del municipio de Antigua Guatemala	29
Figura 6. mapa hidrográfico del municipio de Antigua Guatemala.....	30
Figura 7. Mapa fisiográfico del municipio de Antigua Guatemala	31
Figura 8. Mapa de capacidad de uso del municipio de Antigua Guatemala.....	33
Figura 9. Mapa de uso del suelo del municipio de Antigua Guatemala	34
Figura 10. Mapa de intensidad de uso del suelo en el municipio de Antigua Guatemala.....	35
Figura 11. Mapa de distribución de especies forestales en el municipio de Antigua Guatemala.....	36
Figura 12. Mapas de zonas de vida en el municipio de Antigua Guatemala.....	37
Figura 13. Mapa de temperatura del municipio de Antigua Guatemala	38
Figura 14. Mapa de precipitación del municipio de Antigua Guatemala.....	39
Figura 15. Climadiagrama del municipio de Antigua Guatemala	39
Figura 16. Mapa de ubicación de la ciudad de Antigua Guatemala.....	59
Figura 17. Mapa de drenaje natural y ríos en la ciudad de Antigua Guatemala.....	63
Figura 18. Mapa de uso de la edificación dentro de la ciudad de Antigua Guatemala	65
Figura 19. Mapa de ocupación del sector de servicios dentro de la ciudad	67
Figura 20. Mapa de ocupación del sector comercio dentro de la ciudad	69
Figura 21. Mapa del suelo no construido dentro de la ciudad.....	71
Figura 22. Mapa del sistema de drenaje urbano de la ciudad	73
Figura 23. Mapa del estado de la edificación de Antigua Guatemala	75
Figura 24. Línea de tiempo de inundaciones en Antigua Guatemala.....	77
Figura 25. Diagrama metodológico para el análisis de riesgo a inundaciones pluviales en la ciudad de Antigua Guatemala	80
Figura 26. Diagrama de procesos para la parte de reprocesamiento en Hec-geoHms....	87
Figura 27. Diagrama de procesos para configurar un nuevo proyecto en Hec- geoHms.....	88
Figura 28. Diagrama de procesos de características del terreno en Hec-geoHms	89
Figura 29. Diagrama de procesos para la configuración de parámetros en Hec- geoHms.....	90
Figura 30. Diagrama de procesos para la configuración final e importación de Geo- hecHms a Hec-Hms.....	91
Figura 31. Diagrama de procesos para cálculo de escorrentía y volumen de agua acumulado.....	92
Figura 32. Mapa de delimitación del casco urbano de la ciudad de Antigua Guatemala.....	97
Figura 33. Mapa del crecimiento urbano de la ciudad de Antigua Guatemala	99
Figura 34. Mapa del drenaje natural y ríos en la ciudad de Antigua Guatemala	101
Figura 35. Mapa de zonificación natural de amenaza a inundaciones.....	103
Figura 36. Mapa de microcuencas que drenan a la ciudad de Antigua Guatemala	105
Figura 37. Fotografías de la pendiente de las calles inundables en la ciudad de Antigua Guatemala.....	106

	Página
Figura 38. Mapa de drenaje natural y calles inundables en la ciudad de Antigua Guatemala.....	107
Figura 39. Gráfico de caudales de entrada a la ciudad de Antigua Guatemala	111
Figura 40. Gráfico de caudales máximos dentro de la ciudad de Antigua Guatemala ...	112
Figura 41. Gráfico de volúmenes de agua acumulado en la ciudad de Antigua Guatemala.....	114
Figura 42. Mapa de diámetro de la tubería en las calles inundables de la ciudad de Antigua Guatemala.....	117
Figura 43. Fotografías de conexiones clandestinas a proyecto incompleto	118
Figura 44. Fotografías de deformaciones en tubería de proyecto incompleto	118
Figura 45. Fotografías de los problemas de azolvamiento y sellado en tragantes.....	120
Figura 46. Tragantes relacionados a la ruta de inundación pluvial en la ciudad de Antigua Guatemala.....	121
Figura 47. Gráfico de porcentaje de afectación a distintos sectores de uso debido a inundaciones pluviales.....	124
Figura 48. Elementos vulnerables por inundaciones pluviales en la ciudad de Antigua Guatemala.....	125
Figura 49. Fotografías de estructuras para evitar la entrada de agua a viviendas.....	127
Figura 50. Fotografías de daños estructurales a las viviendas	129
Figura 51. Fotografías de las complicaciones del tránsito y anegamiento de calles dentro de la ciudad	130
Figura 52. Mapa de zonificación de riesgo a inundaciones para la ciudad de Antigua Guatemala.....	131
Figura 53. Proceso a seguir para la reinstalación del sistema atrapaniebla.	150
Figura 54. Sección afectada del sistema atrapaniebla	151
Figura 55. Reinstalación del atrapaniebla en la aldea La Soledad	152
Figura 56. Fotografías de talleres impartidos sobre gestión de riesgo de desastres y adaptación al cambio climático	155

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Centros poblados del municipio de Antigua Guatemala.....	11
Cuadro 2. Distribución de la población en el municipio de Antigua Guatemala	13
Cuadro 3. Distribución de la población del municipio de Antigua Guatemala por grupos de edad.....	14
Cuadro 4. Distinciones otorgadas a la ciudad de Antigua Guatemala	17
Cuadro 5. Población económicamente activa por sector.....	18
Cuadro 6. Producción agrícola para el año 2004 en el municipio de Antigua Guatemala, Sacatepéquez.	19
Cuadro 7. Producción pecuaria del municipio de Antigua Guatemala, Sacatepéquez.....	20
Cuadro 8. Materiales de construcción de las viviendas en el municipio de Antigua Guatemala.....	23
Cuadro 9. Consejos comunitarios de desarrollo en el municipio de Antigua Guatemala.....	26
Cuadro 10. Serie de suelos presentes en el municipio de Antigua Guatemala.....	27

	Página
Cuadro 11. Material geológico del municipio de Antigua Guatemala	29
Cuadro 12. Regiones fisiográficas del municipio de Antigua Guatemala	31
Cuadro 13. Clasificación de capacidad de uso para el municipio de Antigua Guatemala	32
Cuadro 14. Uso del suelo del municipio de Antigua Guatemala	34
Cuadro 15. Zonas de vida presentes en el municipio de Antigua Guatemala	37
Cuadro 16. Principales eventos sísmicos que han afectado al municipio de Antigua Guatemala	40
Cuadro 17. Registros históricos de inundaciones en el municipio de Antigua Guatemala	42
Cuadro 18. Incendios forestales en el municipio de Antigua Guatemala	43
Cuadro 19. Uso de la edificación en la ciudad de Antigua Guatemala.....	64
Cuadro 20. Ocupación de residencia combinada dentro de la ciudad	66
Cuadro 21. Ocupación de servicios en la ciudad de Antigua Guatemala.....	68
Cuadro 22. Ocupación del sector comercial dentro de la ciudad de Antigua Guatemala	68
Cuadro 23. Caudales máximos para la ciudad de Antigua Guatemala	72
Cuadro 24. Historial de inundaciones en la ciudad de Antigua Guatemala.....	78
Cuadro 25. Factores y ponderación para la evaluación de amenaza	83
Cuadro 26. Ponderación de factores para determinar el nivel de riesgo en la ciudad de Antigua Guatemala	94
Cuadro 27. Crecimiento histórico del área urbana de la ciudad de Antigua Guatemala.....	98
Cuadro 28. Tiempo de concentración y retardo según distintos métodos.....	108
Cuadro 29. Número de curva para cada microcuenca drenante a la ciudad.....	109
Cuadro 30. Probabilidad de ocurrencia en la actualidad para distintos periodos de retorno	109
Cuadro 31. Precipitaciones máximas para los distintos periodos de retorno	110
Cuadro 32. Caudales máximos de entrada a la ciudad de Antigua Guatemala	111
Cuadro 33. Caudales máximos dentro de la ciudad de Antigua Guatemala	112
Cuadro 34. Volumen de agua acumulado en la ciudad de Antigua Guatemala	114
Cuadro 35. Número de habitaciones y sanitarios por centro de servicio de hospedaje dentro de las calles inundables.....	123
Cuadro 36. Cantidad de elementos por sector de uso vulnerables a inundaciones pluviales.....	126
Cuadro 37. Pérdidas económicas por inundaciones pluviales en la ciudad según el sector comercial.....	126
Cuadro 38. Inversiones de construcción y mantenimiento de las viviendas afectadas en las distintas calles inundables.....	128
Cuadro 39.A. Artículos de la Constitución de la república de Guatemala relacionados a Gestión de Riesgo y Patrimonio Cultural.....	138
Cuadro 40. Agenda de temas impartidos en los modulos de GDR y adaptación al cambio climático.....	154
Cuadro 41. Grupos capacitados en temas de gestión de riesgo de desastres y adaptación al cambio climático.	155

RESUMEN GENERAL

Este documento es el producto final del Ejercicio Profesional Supervisado -EPS- realizado en el Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático -ICC- entre los meses de febrero a noviembre del año 2017. Por dicha razón, el informe actual presenta los resultados de cada fase del EPS; la fase de diagnóstico que permitió identificar los problemas principales en la zona de estudio, la investigación "*Análisis de inundaciones pluviales en la ciudad de Antigua Guatemala, departamento de Sacatepéquez, Guatemala, C.A.*" y por último la fase de servicios prestados al ICC.

La investigación sobre análisis de inundaciones pluviales en la ciudad de Antigua Guatemala surge de la necesidad presentada por la Coordinadora Municipal para la Reducción de Desastres -COMRED- de analizar las inundaciones pluviales que causan problemas en la ciudad de Antigua Guatemala y como parte de los proyectos realizados en área de influencia del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático -ICC-. La investigación analizó la problemática de inundaciones pluviales y generó propuestas y lineamientos para tratar la problemática que afecta a la ciudad coloquial.

Como punto de partida se elaboró el diagnóstico del municipio de Antigua Guatemala, esto permitió entender el contexto general del municipio y los impactos que ha sufrido por problemas de inundaciones, una vez completado este aspecto se aterrizó en la ciudad de Antigua Guatemala, puesto que es la zona que más daños ha sufrido por este tipo de incidentes.

El estudio determinó el nivel de riesgo de la ciudad a inundaciones pluviales, mediante el desarrollo del modelo hidrológico Hec-Hms. Esto permitió calcular los caudales y volúmenes agua acumulados dentro de la ciudad para distintos tiempos de retorno, adicionalmente se estableció el nivel de amenaza dado por los aspectos naturales de la zona y se analizó la vulnerabilidad a los

elementos afectados para posteriormente, proponer lineamientos y obras de mitigación.

Los resultados de dicha investigación concluyen que existen tres microcuencas que generan escorrentía pluvial que llega a la ciudad, transportando aproximadamente 4.6 m³/s y aumentando a medida que también lo hacen los tiempo de retorno. La vulnerabilidad dentro de la ciudad es principalmente económica alcanzando pérdidas de hasta Q.78,100.00 por inundación, puesto que las actividades del sector comercial afectado deben pausar actividades. El riesgo es mayor en la calzada Santa Lucia, el final de la 7ma Calle e inicio de la Calle Panorama que es donde se acumula la mayor cantidad de agua debido a colapso del sistema de drenaje de la ciudad.

Como parte de las recomendaciones, el estudio sugiere trabajar con obras de conservación de agua y suelo, pozos de infiltración y captación, reforestación con sotobosque y obras de bioingeniería en las microcuencas drenantes. Por otro lado, dentro de la ciudad se recomienda atender la necesidad de modificar las dimensiones del sistema de drenaje urbano, principalmente en los puntos críticos de inundaciones y trabajar en la separación de aguas residuales y pluviales.

Adicionalmente, dentro del proceso de EPSA y como parte de los servicios prestados al ICC, se trabajó la reinstalación del proyecto atrapaniebla ubicado en la aldea La Soledad, del municipio de Acatenango, Chimaltenango. Este proyecto figura una muestra piloto para obtener resultados que permitan determinar la viabilidad de una forma alterna de captar agua por medio de la neblina de la zona y suplir así las carencias del servicio presentes en la aldea.

Adicional a lo anterior, también se trabajaron talleres de gestión de riesgo de desastres y adaptabilidad al cambio climático. Estos fueron impartidos a comunitarios de distintas aldeas y municipios con la finalidad de mejorar las habilidades tanto de comprensión como de adaptación al cambio climático.



CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DE LA CIUDAD DE ANTIGUA GUATEMALA, DEPARTAMENTO DE SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA, C.A.

1.1. PRESENTACIÓN

El municipio de Antigua Guatemala posee una enorme riqueza de belleza escénica, cultura, historia y arte que la hacen un verdadero patrimonio cultural no solo para el país sino para América y en un sentido más amplio para la cultura universal, tal y como lo declaró la VIII Asamblea General del Instituto Panamericano de Geografía e historia en julio de 1965, es por esto que la protección a dicho municipio resulta de valor prioritario para el país.

Basados en la proyección poblacional, se espera que el municipio alcance aproximadamente 54,949 habitantes para el año 2017. Esto se ve reflejado en un constante crecimiento urbano que impacta en el aumento de la demanda de recursos causando una sobreutilización del suelo. Adicionalmente el municipio se encuentra ubicado en una zona de constante amenaza a eventos sísmicos e hidrometeorológicos haciéndolo muy vulnerable a posibles desastres, prueba de ello son los terremotos de San Miguel y Santa Marta y las inundaciones que sufren todos los años en época lluviosa.

El Instituto Privado de Investigación Sobre Cambio Climático (ICC) mediante su programa de gestión de riesgo de desastres trabaja con análisis de vulnerabilidad, identificación de amenazas y propuestas para la reducción de riesgo que pueden significar alternativas de solución viables, para esto es indispensable la elaboración del presente diagnóstico cuyo objetivo principal es conocer el estado actual del municipio basado en sus características socioeconómicas y biofísicas con la finalidad de identificar los principales problemas a los que el municipio de Antigua Guatemala se encuentra vulnerable, además de sentar bases documentales necesarias para futuras investigaciones.

1.2. MARCO REFERENCIAL

El Ejercicio Profesional Supervisado de la Facultad de Agronomía de la Universidad San Carlos de Guatemala es el programa en donde los estudiantes se someten a la última etapa de su carrera universitaria. Esta fase busca el trabajo de extensión en comunidades o el sector público. En este proceso los estudiantes, quienes ya han aprobado todos los cursos de su carrera universitaria, aplican el conocimiento adquirido previamente para la resolución de problemas en la comunidad o institución.

El instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático -ICC- es una institución que busca mejorar las capacidades de mitigación y adaptación al cambio climático mediante la investigación y el desarrollo de programas y proyectos que contribuyan al objetivo. Dentro del instituto existen cinco programas que atienden de manera focalizada distintos temas; investigación en clima e hidrología, sostenibilidad de sistemas productivos, gestión de riesgo a desastre, manejo integrado de cuencas y desarrollo de capacidades y divulgación.

El programa de gestión de riesgo de desastres busca reducir el riesgo de desastres mediante el análisis de los factores naturales y sociales que permitan identificar las principales amenazas de la zona además de la vigilancia y la divulgación de los riesgos potenciales a través del tiempo. En este sentido, el programa realiza distintos análisis de vulnerabilidad en distintas zonas y propone acciones para reducir los desastres naturales (ICC, 2017).

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

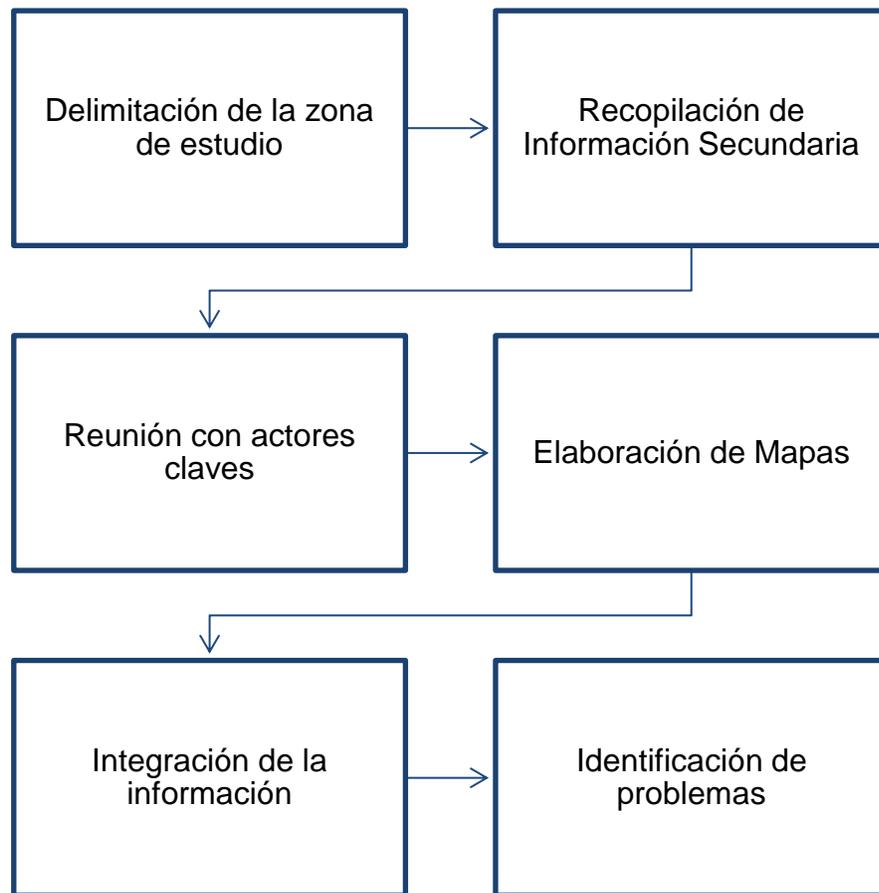
Conocer la situación actual del municipio de Antigua Guatemala, Sacatepéquez, con relación a sus dimensiones socioeconómicas y biofísicas, su vulnerabilidad a amenazas naturales y elaborar un documento base para futuras investigaciones.

1.3.2. Objetivos Específicos

1. Elaborar una caracterización del municipio basado en características socioeconómicas y biofísicas.
2. Identificar principales problemas que afronta el municipio de Antigua Guatemala y las amenazas naturales a las que se encuentra vulnerable.
3. Elaborar una base documental que permita aportar información útil para futuras investigaciones.

1.4. METODOLOGÍA

Para elaborar el para el diagnóstico del municipio de Antigua Guatemala se hizo uso de recopilación e información, reunión con actores claves, elaboración de mapas y otras actividades, tal y como lo muestra la figura 1.



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 1. Diagrama metodológico para el diagnóstico del municipio

1.4.1. Delimitación de la zona de estudio

El diagnóstico contempla el municipio de la ciudad de Antigua Guatemala puesto que a partir de ahí se determinaron las áreas donde actualmente se presenta una problemática a resolver. Para la determinación se utilizó el programa ArcGis 10.3, mediante la utilización de bases de datos y puntos geográficos.

1.4.2. Recopilación de información secundaria

Para la elaboración del diagnóstico se utilizó como primer insumo de información la consulta de datos acerca del municipio disponibles en tesis anteriores, bases de datos de ministerios del país, publicaciones, revistas, etc.

1.4.3. Reunión con actores claves

Una vez obtenida y analizada la información secundaria se citaron actores claves tales como la alcaldesa del municipio, ciudadanos relacionados con los temas y directores de instituciones como el Consejo Nacional para la Protección de Antigua Guatemala - CNPAG- y la Coordinadora Municipal para la Reducción de Desastres -COMRED-.

1.4.4. Elaboración de mapas

Los mapas del diagnóstico pretenden mostrar de una manera visual el contenido del diagnóstico y así facilitar el entendimiento y las dimensiones de los datos. Para la elaboración de dichas figuras se utilizó el programa ArcGis 10.3, en donde se crearon bases de datos a partir de la información recabada para luego ser representadas mediante la elaboración del mapa.

1.4.5. Integración de la información

Este proceso consistió en ordenar dentro del documento toda la información obtenida de las distintas fuentes; datos, cuadros, figuras y todo el contenido que constituye el actual documento.

1.4.6. Identificación de problemas

Una vez integrada toda la información se procedió al análisis de la misma para identificar los principales problemas que afectan al municipio y que a su vez figuran puntos prioritarios para iniciar procesos de investigación y resolución de los mismos.

1.5. RESULTADOS

1.5.1. Localización

A. Ubicación geográfica

Antigua Guatemala pertenece al departamento de Sacatepéquez, ubicado en la región V o central de Guatemala. Sus coordenadas geográficas son, en latitud norte 14° 33'30'' y en longitud Oeste 90° 43'50'' se encuentra a una altitud de 1530.17 m s.n.m. y posee una extensión de 78 km² (SEGEPLAN, 2010), (figura 2).

B. Colindancias

Antigua Guatemala colinda al norte con Jocotenango, Santa Lucia Milpas Altas y Pastores, al sur con Ciudad Vieja y Santa María de Jesús, al este con Magdalena Milpas Altas y Santa María de Jesús y al oeste con Ciudad Vieja, Pastores y San Antonio Aguas Calientes, todos pertenecientes al departamento de Sacatepéquez (López García & Hernández, 2012).

C. Distribución espacial

El municipio se encuentra conformado por 1 ciudad que es la cabecera departamental, 24 aldeas, 2 barrios, 3 caseríos, 11 colonias, 1 comunidad, 3 condominios, 29 fincas, 2 granjas, 5 lotificaciones, 18 residenciales y 3 urbanizaciones siendo, un total de 102 lugares poblados (SEGEPLAN, 2010), (cuadro 1).

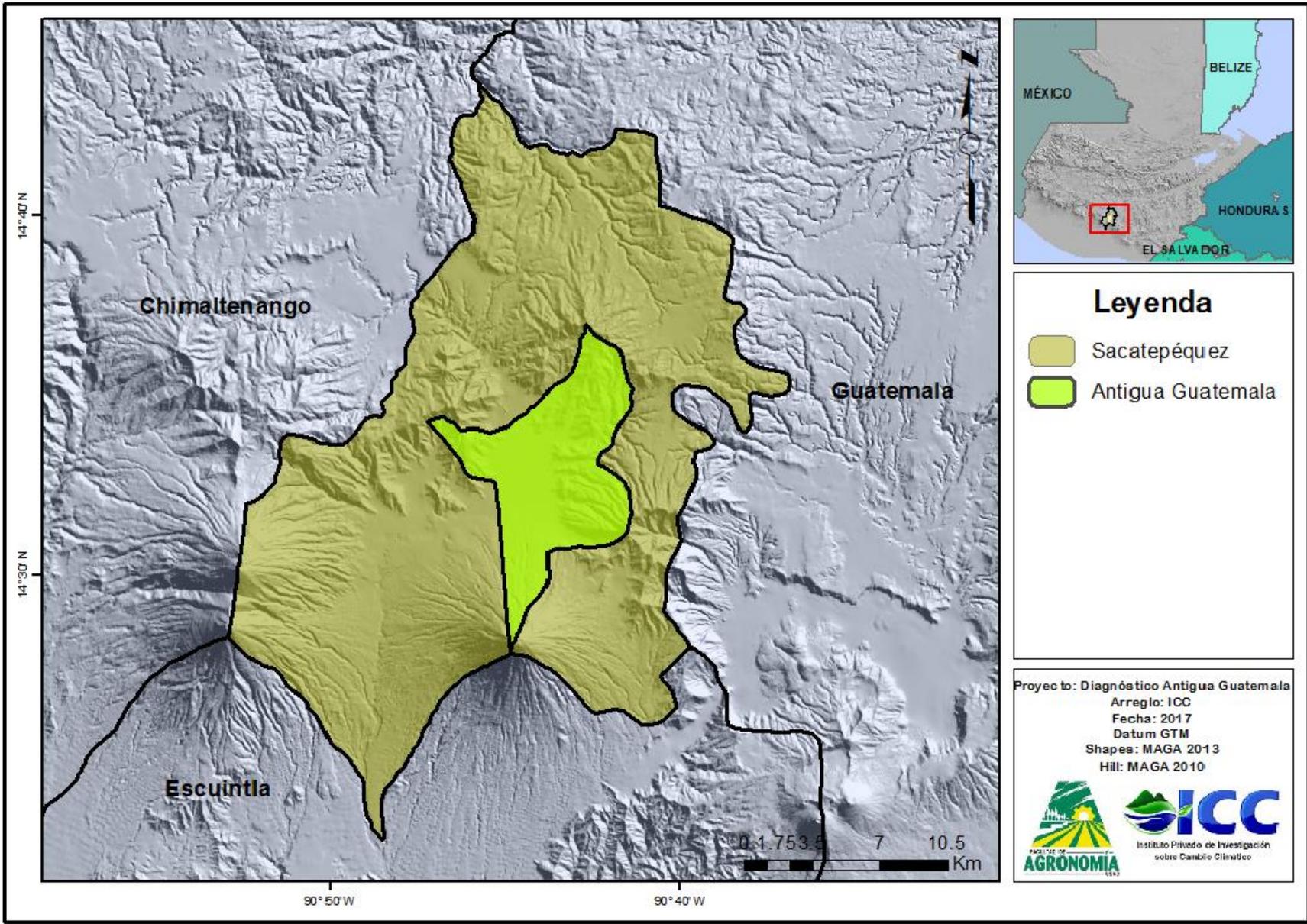


Figura 2. Mapa de ubicación de la ciudad de Antigua Guatemala

Cuadro 1. Centros poblados del municipio de Antigua Guatemala

No.	Nombre de Poblado	Categoría
1	La Antigua Guatemala	Ciudad
2	San Felipe de Jesús	Aldea
3	San Juan del Obispo	Aldea
4	San Pedro las Huertas	Aldea
5	El Hato	Aldea
6	Santa Ana	Aldea
7	San Bartolomé Becerra	Aldea
8	San Mateo Milpas Altas	Aldea
9	Santa Inés del Monte Puliciano	Aldea
10	San Pedro El Panorama	Aldea
11	San Gaspar Vivar	Aldea
12	San Cristobal El Bajo	Aldea
13	Santa Catalina Bovadilla	Aldea
14	Pueblo Nuevo	Aldea
15	Guardianía del Hato	Aldea
16	El Guayabal	Aldea
17	San Juan Gascón	Aldea
18	San Pedro el Alto	Aldea
19	Aguas Coloradas	Aldea
20	Buena Vista	Aldea
21	Santa Isabel	Aldea
22	Vuelta Grande	Aldea
23	San Cristóbal El alto	Aldea
24	Alameda del Virrey	Aldea
25	La Chacra	Aldea
26	Retana	Finca
27	El Tambor	Caserío
28	La Cumbre	Caserío
29	San Sebastián el Cerrito	Colonia
30	El Manchen	Colonia
31	El Hermano Pedro	Colonia
32	El Naranjo	Colonia
33	Jardines de Hunapú	Colonia
34	Bernabé	Colonia
35	Candelaria	Colonia
36	Jardines de Antigua	Lotificación
37	La Arenera Norte	Lotificación
38	Las Salinas	Finca
39	Pavón	Finca
40	Colombia	Finca
41	La Azotea	Finca
42	El Portal Salinas	Finca
43	La Esperanza	Finca
44	El Pintado	Finca

Fuente: SEGEPLAN, 2010.

1.5.2. Demografía

A. Población

Según el censo del año 2002 elaborado por El Instituto Nacional de Estadística (INE), el municipio contaba con 41,097 habitantes con una proyección de 44,455 habitantes para el año 2008. Por otro lado, la municipalidad de Antigua Guatemala en su Plan de Desarrollo Municipal reconoce una población aproximada de 46,275 habitantes para el año 2009.

Para fines de este estudio, utilizando la tasa de crecimiento determinada por INE que es de 2.16 % se proyectó la población para el año actual, los resultados se muestran en el cuadro 2.

Adicionalmente el INE, para el año 2002 determina que, de la población total, el 48.51 % son masculinos y el 51.49 % femenino mientras que, basado en su distribución el 78.4 % se encuentra en el área urbana y el 21.6 % restante en el área rural.

B. Población por grupos de edad

Para el año 2002 el INE estimaba 21,759 habitantes jóvenes comprendidos entre 0 y 19 años que representaban el 46.95 % de la población total. La población en edad productiva que comprende edades entre 20 y 64 años la conformaban 22,391 habitantes que representaban el 48.38 % del total de la población y una población de adultos mayores a 65 años conformada por 2,125 habitantes que representan el 4.67 % de la población total (INE, 2002).

Las proyecciones de año 2017 indican una población joven de 25,163 habitantes que representan el 44 % de la población total. Una población productiva de 27,691 que representan el 48.9 % del total de población y una población adulta mayor de 3,773 habitantes (cuadro 3 y figura 3).

Cuadro 2. Distribución de la población en el municipio de Antigua Guatemala

No.	Nombre	Categoría	Población		% de población
			Año 2009	Año 2017	
1	La Antigua Guatemala	Ciudad	16,041	19,002	34.66
2	San Felipe de Jesús	Aldea	4,268	5,056	9.22
3	San Juan del Obispo	Aldea	3,629	4,293	7.84
4	San Pedro las Huertas	Aldea	2,353	2,787	5.08
5	El Hato	Aldea	1,814	2,149	3.92
6	Santa Ana	Aldea	1,372	1,625	2.96
7	San Bartolomé Becerra	Aldea	1,716	2,033	3.71
8	San Mateo Milpas Altas	Aldea	1,582	1,874	3.42
9	Santa Inés del Monte Puliciano	Aldea	1,237	1,465	2.67
10	San Pedro El Panorama	Aldea	850	1,007	1.84
11	San Gaspar Vivar	Aldea	933	1,105	2.02
12	San Cristobal El Bajo	Aldea	883	1,046	1.91
13	Santa Catalina Bovadilla	Aldea	692	820	1.5
14	Pueblo Nuevo	Aldea	692	820	1.5
15	Guardianía del Hato	Aldea	645	764	1.39
16	El Guayabal	Aldea	549	650	1.19
17	San Juan Gascón	Aldea	491	582	1.06
18	San Pedro el Alto	Aldea	447	530	0.97
19	Aguas Coloradas	Aldea	374	443	0.81
20	Buena Vista	Aldea	345	409	0.75
21	Santa Isabel	Aldea	121	143	0.26
22	Vuelta Grande	Aldea	180	213	0.39
23	San Cristóbal El alto	Aldea	304	360	0.66
24	Alameda del Virrey	Aldea	76	90	0.16
25	La Chacra	Aldea	42	50	0.09
26	Retana	Finca	202	239	0.44
27	El Tambor	Caserío	179	212	0.39
28	La Cumbre	Caserío	105	124	0.23
29	San Sebastián el Cerrito	Colonia	1,089	1,290	2.35
30	El Manchen	Colonia	675	800	1.46
31	El Hermano Pedro	Colonia	520	616	1.12
32	El Naranjo	Colonia	490	580	1.06
33	Jardines de Hunapú	Colonia	454	538	0.98

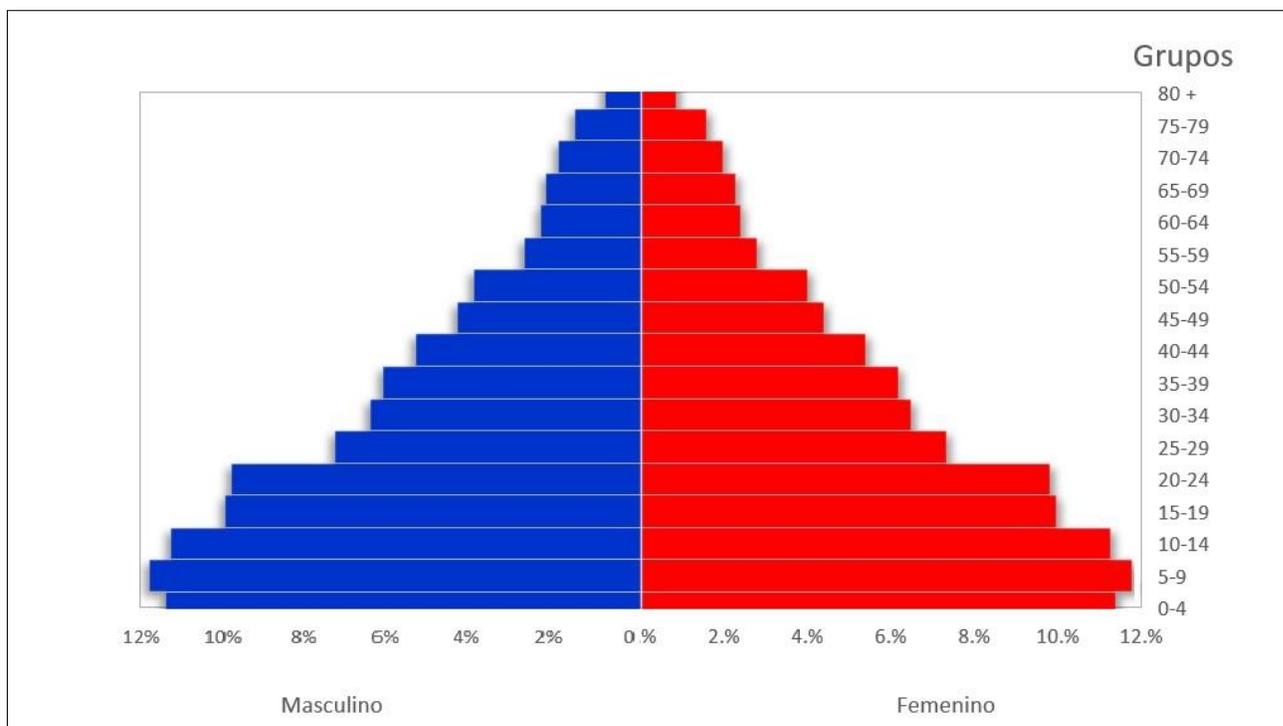
34	Bernabé	Colonia	282	334	0.61
35	Candelaria	Colonia	200	237	0.43
36	Jardines de Antigua	Lotificación	170	201	0.37
37	La Arenera Norte	Lotificación	162	192	0.35
38	Las Salinas	Finca	46	54	0.1
39	Pavón	Finca	46	54	0.1
40	Colombia	Finca	40	47	0.09
41	La Azotea	Finca	36	43	0.08
42	El Portal Salinas	Finca	29	34	0.06
43	La Esperanza	Finca	27	32	0.06
44	El Pintado	Finca	5	6	0.01
Total			46,275	54,949	100

Fuente: elaboración propia, 2017.

Cuadro 3. Distribución de la población del municipio de Antigua Guatemala por grupos de edad

Rango de edad	Año 2002			Año 2017		
	Población Masculina	Población Femenina	Población Total	Población Masculina	Población Femenina	Población Total
0 a 4	2275	2414	4,689	3134	3327	6461
5 a 9	2349	2493	4,842	3236	3435	6672
10 a 14	2247	2386	4,633	3097	3287	6384
15 a 19	1988	2110	4,098	2739	2907	5647
20 a 24	1959	2080	4,039	2700	2866	5565
25 a 29	1463	1553	3,016	2016	2140	4156
30 a 34	1293	1372	2,665	1781	1891	3672
35 a 39	1235	1311	2,546	1702	1806	3508
40 a 44	1079	1146	2,225	1487	1579	3066
45 a 49	877	931	1,808	1208	1283	2491
50 a 54	802	852	1,654	1106	1173	2279
55 a 59	558	592	1,150	769	816	1585
60 a 64	482	512	994	664	705	1370
65 y más	1328	1410	2,738	1830	1943	3773
Total	19,936	21,161	41,097	27470	29157	56627

Fuente: elaboración propia, 2017.



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 3. Pirámide poblacional del municipio de Antigua Guatemala

C. Población según grupo étnico

La población ladina predomina en el municipio con un 96.03 %, seguido por un porcentaje de población Maya de 2.38 % y otros grupos étnicos que representan el 1.58 % (INE, 2002).

D. Densidad poblacional

Para el año 2002 el municipio presentaba una densidad de 526 personas por km² (INE, 2002). Para el año 2017 se estima, según las proyecciones realizadas, una densidad de 726 habitantes por km².

1.5.3. Cultura e identidad

El municipio de Antigua Guatemala posee sus raíces culturales principalmente a la influencia española y Kaqchiquel, esto por los efectos de la conquista y la cultura nativa del área. Aun así, también existieron numerosos asentamientos de Quichés y presencia de negros que fueron llevados como esclavos. El grupo Kaqchiquel ha ido desapareciendo cada vez más, sin embargo, el segundo idioma predominante es el Kaqchiquel por debajo del español (Sisniega, 2006).

Actualmente la raza ladina representa el 96.03 % de la población y existe una gran presencia de población extranjera en el casco urbano principalmente, se estima que de cada 5 viviendas, 2 pertenecen a extranjeros (SEGEPLAN, 2010), lo que permite una diversidad cultural que se ve reflejada en la adopción de estas costumbres en la gente joven originaria del lugar, a pesar de esto es importante resaltar que la mayoría de la población del municipio es católica quienes lo demuestran en cada semana santa con actos solemnes como las procesiones y velaciones.

La feria titular se celebra en honor al patrono de la ciudad; Santiago Apóstol el 25 de Julio. El municipio no cuenta con un traje típico y posee una variada gastronomía local.

A. Distinciones

Antigua Guatemala ha sido de gran importancia cultural, histórica y religiosa no solo a nivel nacional sino internacionalmente por lo que ha recibido numerosas distinciones, como lo muestra el cuadro 4.

Cuadro 4. Distinciones otorgadas a la ciudad de Antigua Guatemala

Año	Descripción de distinción
1532	La Real Célula concede el escudo de armas a la ciudad.
1566	Condecoración concedida por Felipe II, con merced del título "Muy Noble y Muy Leal Ciudad de Santiago de Guatemala.
1643	La catedral es erigida pontifica por el papa Benedicto XIV.
1839	Se declara ciudad Benemérita.
1944	El gobierno la declara Monumento Nacional.
1965	OEA la declara Monumento de América.
1979	UNESCO la reconoce como patrimonio de la Humanidad con el número 65.
2004	Es nombrada ciudad Mística.
2005	Es Nombrada Capital Guatemalteca de la Cultura.

Fuente: Sisniega, 2006.

1.5.4. Economía

A. Actividades económicas

La actividad laboral más generadora en el municipio es la industria manufacturera seguida de servicios comunales y agricultura, los ingresos diarios oscilaban entre Q.30.00 a Q.50.00. Para el año 2002, La tasa de ocupación del municipio era de 99.13 % de la cual 15,890 están relacionados directamente con una actividad laboral (cuadro 5). La tasa de desocupación alcanza solamente un 0.87 % (SEGEPLAN, 2010).

Cuadro 5. Población económicamente activa por sector

Actividad	Total de habitantes
Industria manufacturera	3,364
Comercio	3,295
Servicios comunales, sociales y personales	2,125
Agricultura	1,938
Construcción	1,443
Enseñanza	1,168
Financieras, seguros, etc.	1,067
Transporte	560
Administración pública y defensa	459
Electricidad, gas y agua	189
Minas y canteras	19
Otros	151

Fuente: SEGEPLAN, 2010.

B. Pobreza general y pobreza extrema

Para el año 2010 el índice de pobreza general del municipio era de 21.59 % y un índice de pobreza extrema de 3.5 %, considerados bajos en comparación a los de nivel departamental y nacional que alcanzan hasta el 16.8 % de pobreza extrema (SEGEPLAN, 2010).

1.5.5. Producción**A. Producción agrícola**

La producción agrícola del municipio son principalmente el Aguacate y café. Los datos del INE indican que para el año 2004, el café, que es el principal cultivo del municipio tuvo una producción de 76,255 qq (MAGA, 2013), éste es exportado por medio de asociaciones con ANACAFE. El cuadro 6 detalla dicha información.

Cuadro 6. Producción agrícola para el año 2004 en el municipio de Antigua Guatemala, Sacatepéquez.

Cultivo	Producción	No. De fincas
Aguacate	13,331	189
Café	76,255	73
Maíz	5,441	397
Durazno y melocotón	2,066	105
Flores	386	8
Limón	1,404	57
Macadamiza	1,688	2
Naranja	1,005	48
Frijol	1,028	219

Fuente: SEGEPLAN, 2010.

B. Producción pecuaria

La producción pecuaria del municipio se basa principalmente en ganado bovino y porcino. Adicionalmente, en mucha menor medida también se produce ganado caprino y ovino. Para el año 2004 la producción pecuaria se repartía tal y como lo muestra el cuadro 7.

C. Industria

En el municipio existen tres fábricas; Nestlé ubicada a 1km de la ciudad, se dedica a alimentos como leche, sopas, consomés y chocolates. En San Pedro las Huertas se encuentra Industria de Sacos Agrícolas S.A. que se dedica a la fabricación de costales plásticos y en Santa Ana se ubica las Fuentes que se dedica a la fabricación de textiles y alfombras. (SEGEPLAN, 2010).

Cuadro 7. Producción pecuaria del municipio de Antigua Guatemala, Sacatepéquez

Categoría	Cantidad en Cabezas	No. De fincas
Ganado bovino	237	24
Ganado porcino	58	16
Ganado caprine	7	3
Ganado ovino	13	2
Total	315	45

Fuente: SEGEPLAN,2010.

D. Turismo

Antigua Guatemala resulta un lugar turístico de gran demanda debido a que posee muchos monumentos históricos con gran valor arquitectónico, además de ser declarado patrimonio de la humanidad. Es el segundo destino a nivel nacional con un porcentaje de 33 % por debajo de la ciudad capital (INGUAT, 2010).

Los principales sitios arqueológicos son:

- El Palacio del Muy Noble Ayuntamiento.
- La iglesia catedral y palacios arzobispal.
- La Real y Pontifica universidad de San Carlos de Borromeo.
- Museo de Santiago.
- Museo del libro.
- Museo de artesanías.
- Templo y convento La Merced.
- Templo San Francisco donde se encuentran restos del Beato Hermano Pedro de San José de Betancourth.
- Templo Las capuchinas, sede de las oficinas del CNPAG.
- Templo Santa Clara.
- Templo San Felipe Neri (Escuela de Cristo).

- Convento Belén y beaterio de Belén.
- Plaza de la paz.
- Templo del calvario.
- Seminario de la asunción.
- Casa Real de la moneda.
- Ruinas de San Agustín.
- Calle de los pasos.

El municipio cuenta con buenas carreteras durante la mayor parte del año, excepto en época de lluvia donde debido a las inundaciones se ve obstaculizado el tráfico vehicular y algunas calles quedan totalmente inundadas.

1.5.6. Salud

A. Cobertura

Para el año 2008, se asistieron a 23,990 pacientes, correspondiente a un 53 % de la población para ese entonces, a pesar de esto los actores locales creen que aún no se cuenta con personal y medicamentos adecuados. El 47 % restante recibe atención médica de hospitales privados y del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social (IGGS) (SEGEPLAN, 2010).

Según MSPAS para el año 2008 el municipio cuenta con un 1 hospital Nacional Regional llamado Pedro de San José de Betancourt ubicado en la aldea de San Felipe de Jesús, 1 hospital de ancianos llamado Fray Rodrigo de la Cruz, 1 centro de salud tipo A y 1 centro de atención del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, todo esto por parte del sector público. En el sector privado existen 5 hospitales, 63 clínicas privadas y 1 ONG (SEGEPLAN, 2010).

B. Morbilidad y mortalidad

Para el año 2008 la lista de principales causas de morbilidad la encabezaban las infecciones respiratorias agudas, infección del tracto urinario y parasitismo intestinal, mientras que en la mortalidad lo encabezaban la senilidad, insuficiencia respiratoria, insuficiencia renal, tumor maligno no especificado, tumor del estómago, entre otras (SIGSA, 2008).

C. Seguridad alimentaria

Según datos de la Secretaría de Seguridad Alimentaria (SESAN), para el año 2015 el municipio de Antigua Guatemala contaba con un estado nutricional de 75.6 % y una prevalencia de retardo de talla de 24.4 % lo que lo sitúa en una categoría de vulnerabilidad nutricional moderada (SESAN, 2015).

1.5.7. Educación

A. Cobertura

Según datos del MINEDUC, para el 2008 el municipio contaba con 166 centros de estudio que abarcaban educación desde preprimaria hasta nivel diversificado. El sector oficial contaba con 20 establecimientos a nivel de preprimaria, 24 para primaria, 7 para nivel de básicos y 4 para diversificado. En el sector privado se contaba con 34 para nivel preprimaria y otros 34 para primaria, 38 para básicos y 4 para diversificado. Por cooperativa en el nivel básico se contaba con solamente 1 (SEGEPLAN, 2010).

La población en el año 2008 era atendida en un 47.92 % para el nivel de preprimaria, un 62.17 % para primaria, 40.61 % en básicos, y un 19.54 % en el nivel diversificado. En el sector privado un 40.47 %, 49.38 %, 52.47 %, y 69.07 %

respectivamente, con un 1.49 % para el nivel primaria por cooperativa. (SEGEPLAN, 2010).

1.5.8. Servicios básicos

A. Condiciones de vivienda

El principal material de construcción es el Block en un 54.12 %, el resto se compone de madera y lepa con techo de lámina (SEGEPLAN, 2010). El cuadro 8 detalla la información acerca de la materia de construcción presente en las construcciones del municipio.

Cuadro 8. Materiales de construcción de las viviendas en el municipio de Antigua Guatemala

Material	Porcentaje Urbano (%)	Porcentaje Rural (%)
Adobe	69.17	30.82
Ladrillo	66.19	33.81
Bajareque	18.33	81.66
Block	73.68	26.31
Lepa	67.6	32.39
Madera	56.89	43.1
Concreto	70.44	21.55
Lámina metálica	66.7	33.29

Fuente: SEGEPLAN, 2010.

B. Servicio de agua

El servicio de agua municipal se abastece por 15 nacimientos y 9 pozos mecánicos. Según datos del INE, para el año 2002 un total de 6,661 viviendas equivalentes a un 72.28 % del total de hogares contaban con este servicio (SEGEPLAN, 2010).

Algunas aldeas como la soledad tienen servicio limitado de este recurso, por lo que deben racionar la cantidad de agua utilizada y carecen de un abastecimiento completo.

C. Servicio sanitario

Para el año 2009, el 77 % de las viviendas contaban con servicio de recolección y conducción de aguas servidas de tipo mixto, y un 23 % restante que no poseían este tipo de servicio lo que ocasionaba altos grados de contaminación (SEGEPLAN, 2010).

D. Desechos sólidos

En el año 2009 se encontraban 24 basureros clandestinos y un total de 22 vehículos recolectores para más de 8,000 viviendas. Tampoco existe un manejo técnico de los desechos sólidos, según datos del INE en el censo del año 2002 solo 746 familias utilizaban el servicio de extracción de servicio municipal, 5,081 preferían el servicio privado, 1743 la quemaban y 469 la tiraban en cualquier parte (SEGEPLAN, 2010).

E. Equipamiento

Debido a que el municipio es un destino turístico internacional posee todos los servicios, es decir, alumbrado público, rastro, basurero municipal, tren de aseo, mercado municipal, mercado de artesanías, salón municipal, terminal de buses, plaza central, polideportivos, estadio, edificio municipal, centros recreativos, puesto de salud, juzgado de paz, escuelas, cementerio, cuerpo de bomberos, policía de turismo y policía de tránsito (SEGEPLAN, 2010).

1.5.9. Sector político institucional

A. Administración local

El órgano colegiado responsable de ejercer la autonomía y toma de decisiones en el municipio es el Concejo Municipal el cual tiene su sede en la cabecera de la circunscripción municipal.

Dentro del municipio ubican sus sedes departamentales instituciones como El Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA-, Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales -MARN-, Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres -CONRED, El Fondo Nacional para la Paz -FONAPAZ-, Instituto Nacional de Estadística -INE-, Instituto Nacional de Bosques -INAB-, y varias instituciones más.

B. Formas de organización comunitaria

Para el año 2009 el municipio contaba con 20 Consejos Comunitarios de Desarrollo Urbano y Rural -COCODES- y 1 Consejo Municipal de Desarrollo Urbano y Rural -COMUDE-, los cuales buscan como objetivo primordial mejorar la calidad de vida para los habitantes, estos se detallan en el cuadro 9.

C. Instituciones privadas

Existen numerosas instituciones privadas dentro del municipio: fundación nahual, organización de mujeres del departamento de Sacatepéquez, Asociación de Municipalidades del Sacatepéquez, Universidad Rafael Landívar, Cámara de Comercio, Cámara de Turismo, Centro de Desarrollo empresarial, Agencia Española para la Cooperación Internacional, Club de Leones, Comité Pro ciegos y sordos, Comité de Jubilados de la filial, Delegación del Instituto Guatemalteco de Turismo -INGUAT-,

Fundación para el Desarrollo de Guatemala -FUNDESA-, Asociación Casa Alianza, Asociación de vecinos “Salvemos Antigua”, Comité de autogestión Turística, Familias de Esperanza y El Centro de Investigaciones Regionales de Mesoamérica -CIRMA-.

Cuadro 9. Consejos comunitarios de desarrollo en el municipio de Antigua Guatemala

Nombre de COCODE	Fecha de Creación
Aldea San Pedro las Huertas	31 de abril 2007
Aldea San Juan del Obispo	2 de febrero 2007
Aldea Santa Ana	2 de febrero 2007
Aldea San Mateo Milpas Altas	12 de febrero 2007
Aldea San Cristóbal El Bajo	21 de marzo 2007
Colonia Arenera Norte	24 de abril 2007
Aldea San Cristóbal El Alto	26 de abril 2007
Aldea San Bartolomé Becerra	13 de junio 2007
Aldea Vuelta Grande y La Colorada	13 de junio 2007
Aldea Santa Inés del Monte Pulciano	24 de julio 2007
Colonia Hunapu	25 de febrero 2008
Aldea El Hato	10 de marzo 2008
Barrio Santa Lucía del Espíritu Santo	28 de marzo 2008
Aldea Santa Catarina Bobadilla	28 de marzo 2008
Aldea San Mateo Milpas Altas	4 de abril 2008
Guardianía El Hato	5 de abril 2008
Aldea Santa Isabel y Barrio El Calvario	6 de abril 2008
Colonia El Carmen	14 de abril 2008
Caserío El Guayabal	24 de abril 2008
Aldea Felipe de Jesús	12 de mayo 2008
Aldea San Gaspar Vivar	13 de mayo 2008
Fraccionamiento San Pedro el Panorama	13 de marzo 2009

Fuente: SEGEPLAN, 2010.

1.5.10. Recursos biofísicos

A. Suelos

Según la clasificación de suelos de Guatemala de Simmons, el municipio de Antigua Guatemala cuenta con las siguientes series de suelos:

- Cima volcánica (CV): Suelos pertenecientes a conos volcánicos de reciente formación, pendiente de aproximadamente 65% sin cobertura vegetal.
- Serie Alotenango (Al): Suelos característicos en pendientes altas, color café oscuro de consistencia suelta, fertilidad regular, excesivo drenaje, erosión alta, textura franca arenosa y profundidad entre 25 y 50cm.
- Serie Cauqué (Cq): Pertenecen a los relieves ondulados y fuertemente inclinados, poseen drenajes interno muy buenos, de color café claro, textura franco-arcillosa, profundidad de 75 cm.
- Serie Suelos de los valles (SV): Suelos misceláneos no diferenciados, son de los tipos de suelos más productivos de la región.

Los porcentajes de cobertura pueden apreciarse a detalle en el cuadro 10 y la figura 4.

Cuadro 10. Serie de suelos presentes en el municipio de Antigua Guatemala

Serie de suelos	Porcentaje de cobertura	Simbología en Mapa
Serie de Alotenango	27.98%	Al
Serie Cauqué	33.36%	Cq
Serie Cimas volcánicas	5.48%	CV
Serie Suelos de los valles	33.18%	SV

Fuente: MAGA, 2013.

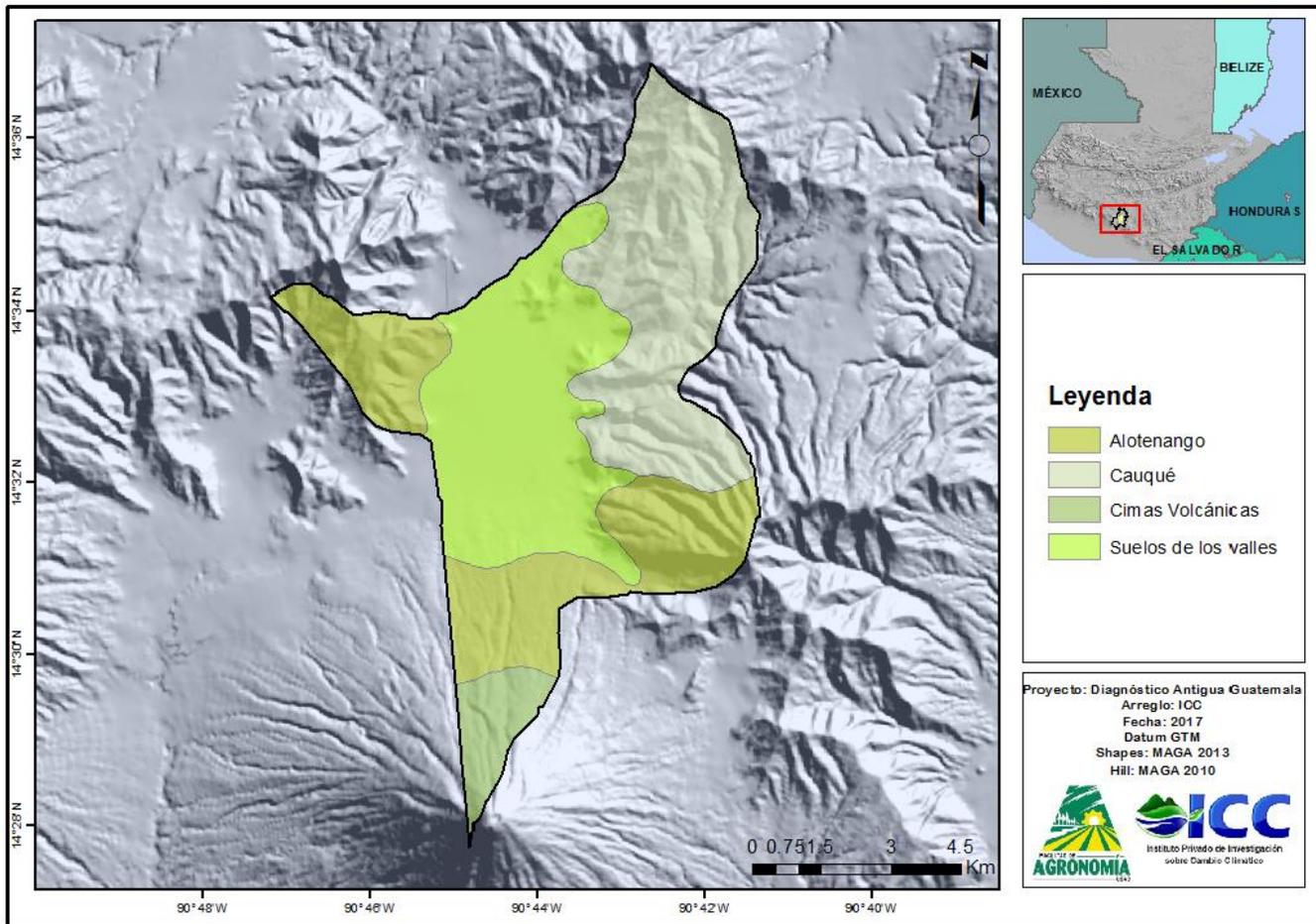


Figura 4. Mapa de serie de suelos del municipio de Antigua Guatemala

B. Geología

Dentro del municipio se encuentran la región Qv formado por rocas ígneas y metamórficas del periodo cuaternario, Tv compuesto por rocas ígneas y metamórficas del periodo terciario, Qa formado por sedimentarias de aluviones del periodo cuaternario y Qp formado por rocas ígneas y metamórficas (MAGA, 2013), (cuadro 11 y figura 5).

Cuadro 11. Material geológico del municipio de Antigua Guatemala

Tipo de Roca	Porcentaje de área
Tv	26.6 %
Qp	20.8 %
Qv	29.6 %
Qa	22.8 %
Total	100 %

Fuente: MAGA, 2013.

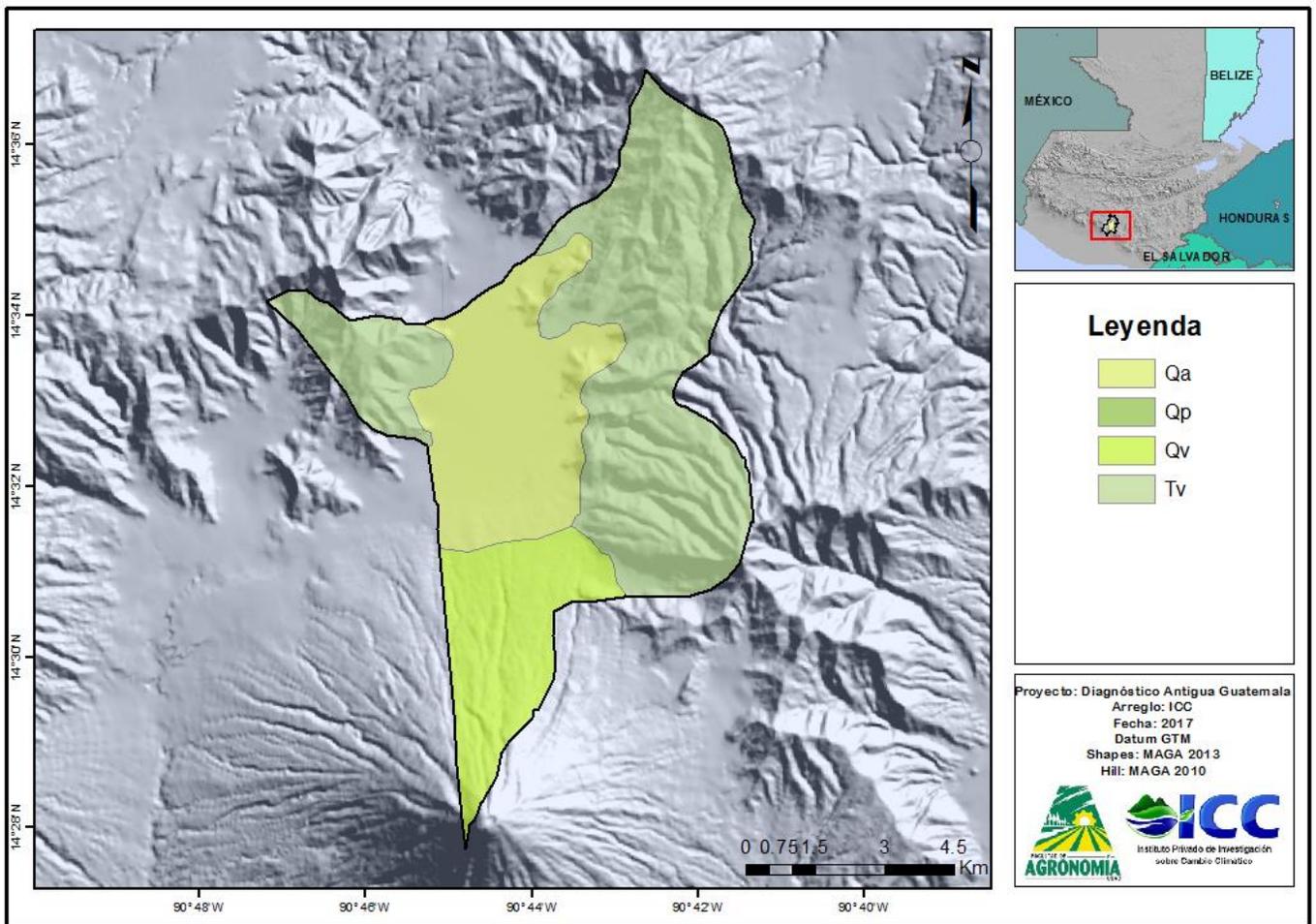


Figura 5. Mapa geológico del municipio de Antigua Guatemala

C. Hidrografía

Dentro del municipio tienen paso los ríos: Colorado, del Pilar, El Sauce, Guacalate, Pensativo y Santa maría. Los riachuelos San Miguel y Los Encuentros y las quebradas El Hato, El Zopilote, Joya de Chilacayote, La ventanilla (figura 6).

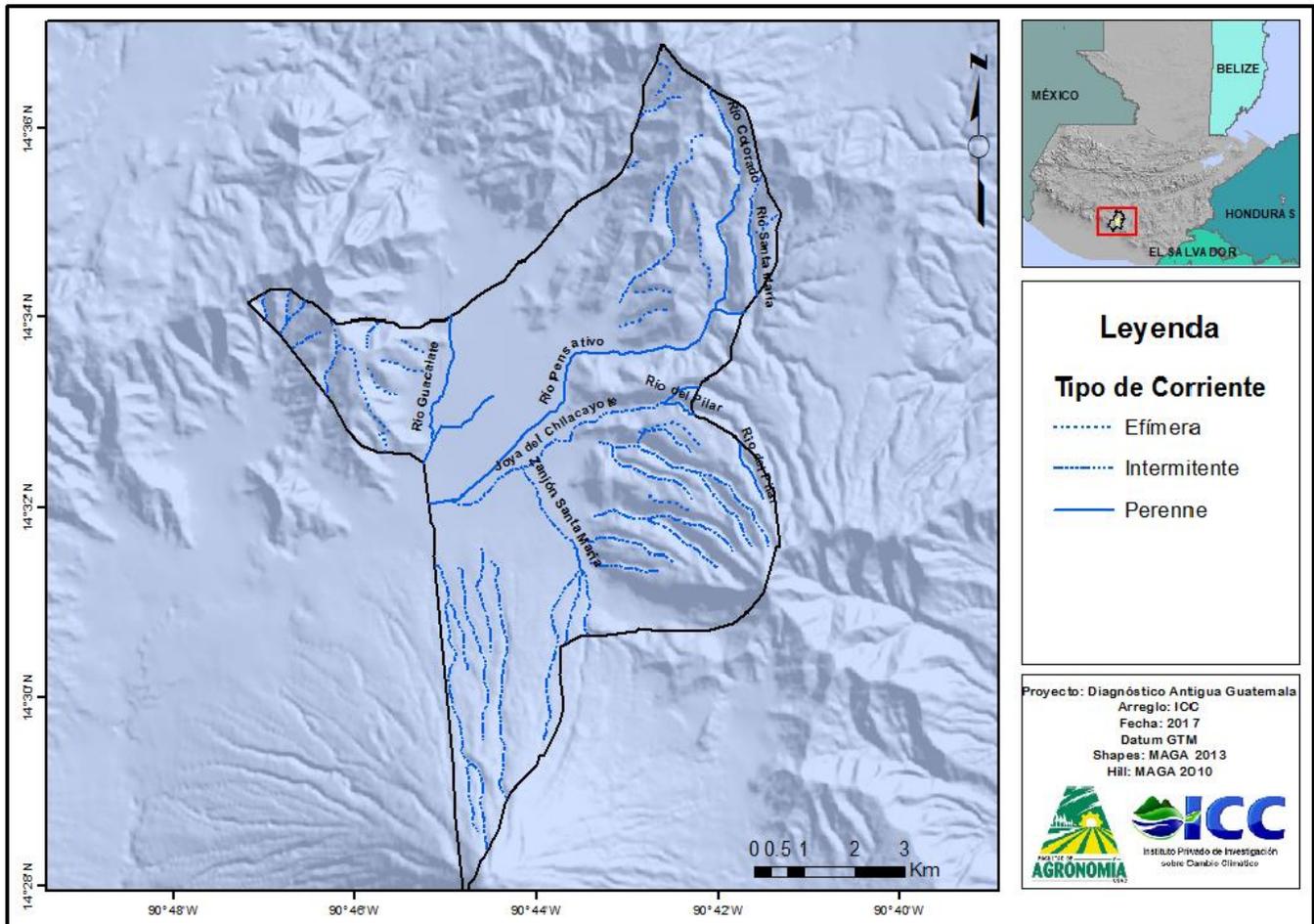


Figura 6. mapa hidrográfico del municipio de Antigua Guatemala

D. Fisiografía

Antigua Guatemala forma parte del gran paisaje Tierras Altas Volcánicas, se encuentra dividido en tres regiones; Montañas Volcánicas del Centro del País, Abanico

Aluvial de Antigua Guatemala y Volcán de Agua. El cuadro 12 y figura 7 detallan la información de este aspecto.

Cuadro 12. Regiones fisiográficas del municipio de Antigua Guatemala

Serie de suelos	Porcentaje cobertura	de	Simbología en Mapa
Montañas Volcánicas del Centro del País	61.72%		Al
Abanico Aluvial de Antigua Guatemala	23.39%		Cq
Volcán de Agua	14.87%		CV

Fuente: MAGA, 2013.

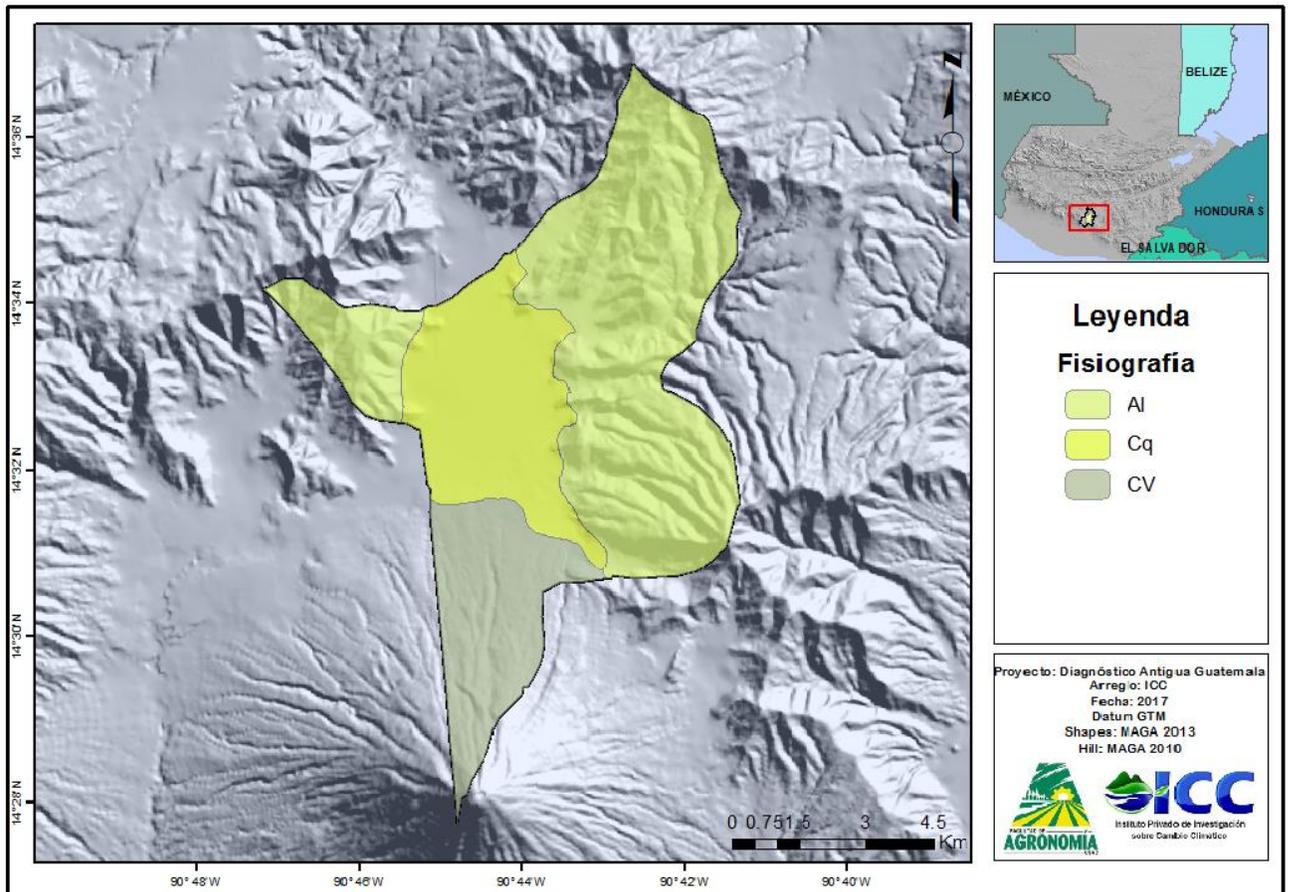


Figura 7. Mapa fisiográfico del municipio de Antigua Guatemala

E. Capacidad de uso del suelo

Según el estudio semidetallado de suelos para el departamento de Sacatepéquez elaborado por el MAGA, las clases según la metodología USDA presentes en la zona son:

- Clase III: suelos con moderadas limitaciones que reducen la cantidad de cultivos y las prácticas de manejo. Aptas para la agricultura y ganadería intensiva.
- Clase IV: Suelos con limitaciones severas que restringen la cantidad y tipo de cultivo. Utilizarlo de manera agrícola implica cuidadosas prácticas de manejo. Suelos aptos para la agricultura y ganadería semi-intensiva.
- Clase VI: Suelos con limitaciones muy severas. El uso de estas tierras requiere cuidadosas prácticas de manejo. Aptas para actividades agroforestales y pastoriles.
- Clase VII: Suelos con muy severas limitaciones para agricultura limitando su uso exclusivamente para actividades forestales.
- Clase VIII: Suelos con limitaciones extremas que no reúnen condiciones para ningún cultivo. Uso para conservación de recursos naturales, hídricos y de protección a la biodiversidad.

El cuadro 13 y figura 8 detallan la información mencionada.

Cuadro 13. Clasificación de capacidad de uso para el municipio de Antigua Guatemala

Categoría	Porcentaje de cobertura
III	21.4%
IV	16%
VI	20.6%
VII	35.1%
VIII	6.7%
Total	100%

Fuente: MAGA,2013.

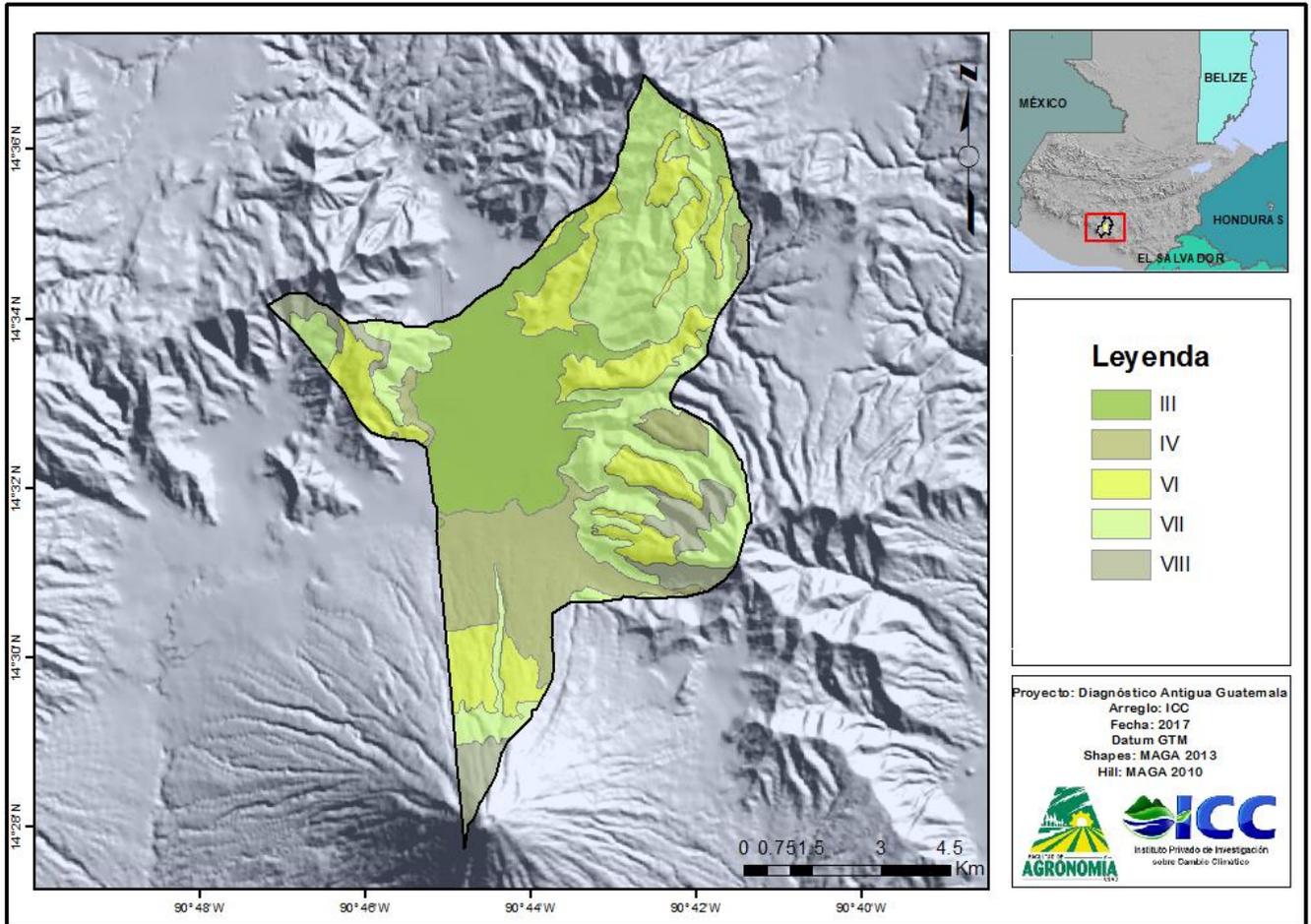


Figura 8. Mapa de capacidad de uso del municipio de Antigua Guatemala

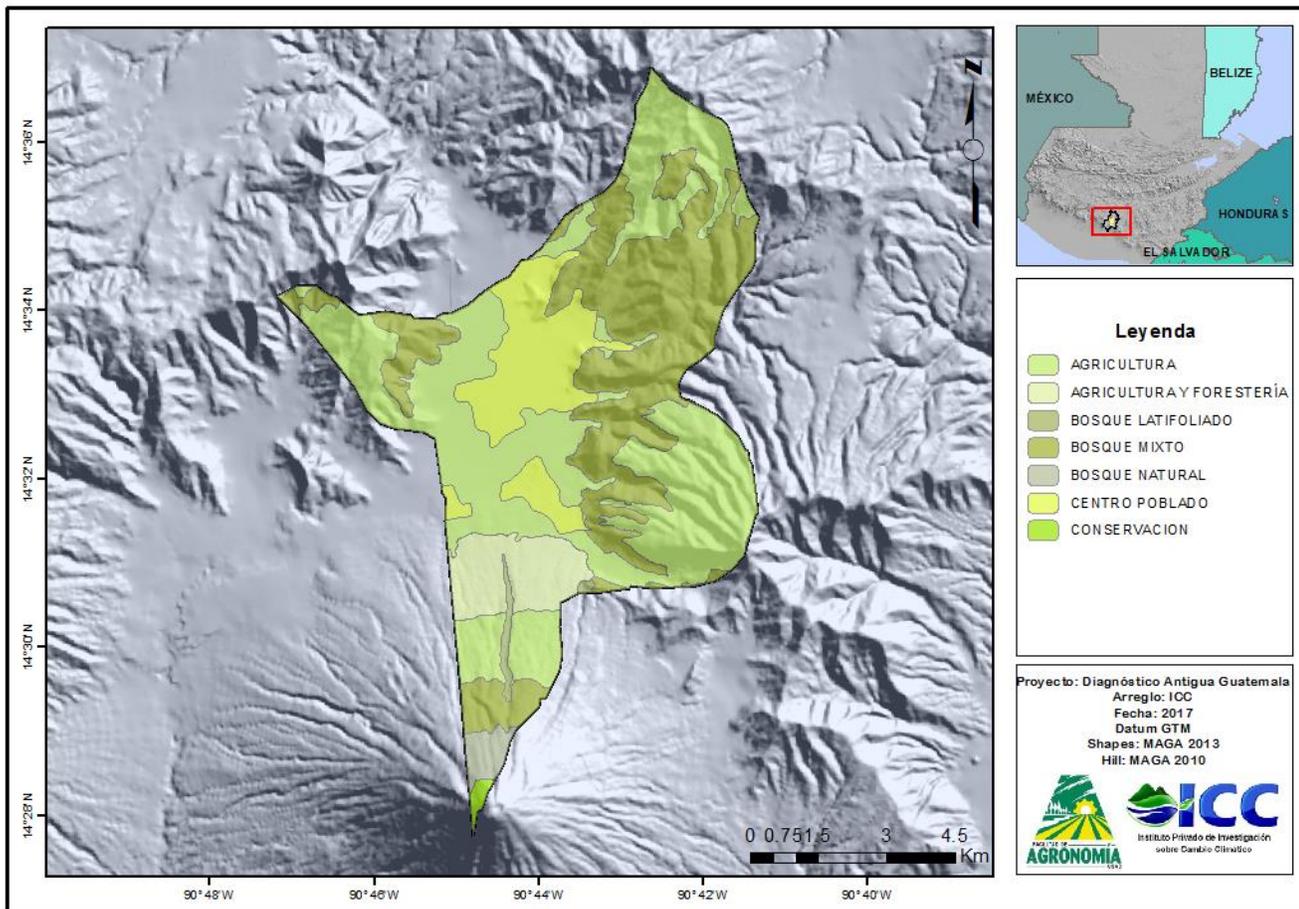
F. Uso del suelo

Según estudio semidetallado de suelos del departamento de Sacatepéquez elaborado por el MAGA, para el año 2013 el municipio contaba con 51 % de área con uso agrícola, un 12 % ocupado por infraestructura y poblados y el resto en bosques naturales. Esta información se detalla en el cuadro 14 y figura 9.

Cuadro 14. Uso del suelo del municipio de Antigua Guatemala

Uso del suelo	Porcentaje de cobertura (%)
Agricultura	46.12
Agricultura y Forestería	6.59
Bosque latifoliado	0.74
Bosque Mixto	32.21
Bosque Natural	1.43
Centro Poblado	12.46
Conservación	0.41
Total	100

Fuente: MAGA, 2013.

**Figura 9.** Mapa de uso del suelo del municipio de Antigua Guatemala

G. Intensidad de uso

La intensidad de uso del municipio de Antigua Guatemala según metodología USDA presenta un 73 % de uso correcto, un 26 % sobreutilizado en donde actualmente existen cultivos en suelos con aptitud forestal y solamente un 0.45 % subutilizado donde actualmente existe bosque en suelos con aptitud agrícola (figura 10).

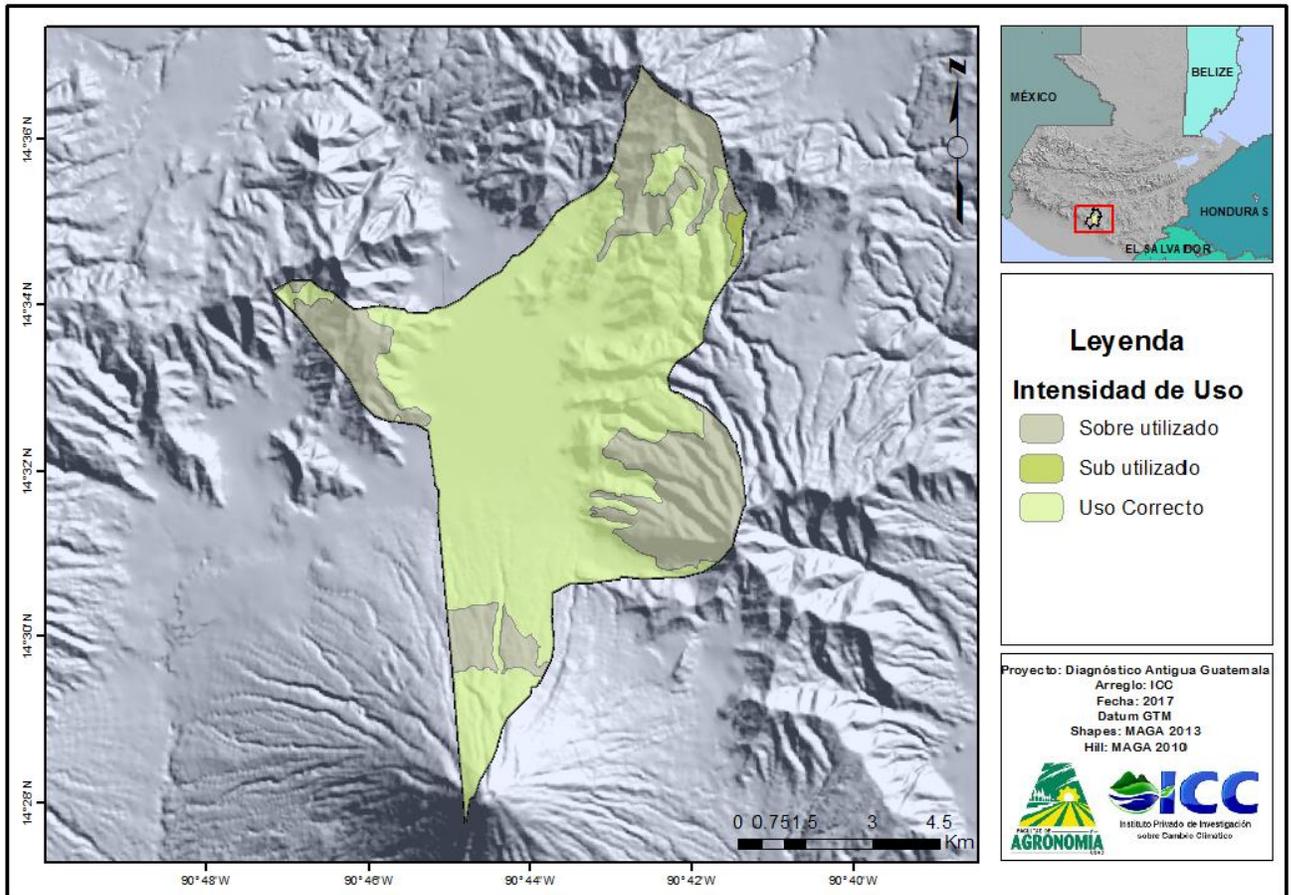


Figura 10. Mapa de intensidad de uso del suelo en el municipio de Antigua Guatemala

1.5.11. Flora y Fauna

A. Flora

La diversidad de la flora lo cubre en su mayoría especies forestales principalmente por gravilea, eucalipto, ciprés, encino y aliso (MAGA, 2013). La figura 11 muestra la distribución de dichas especies en el municipio.

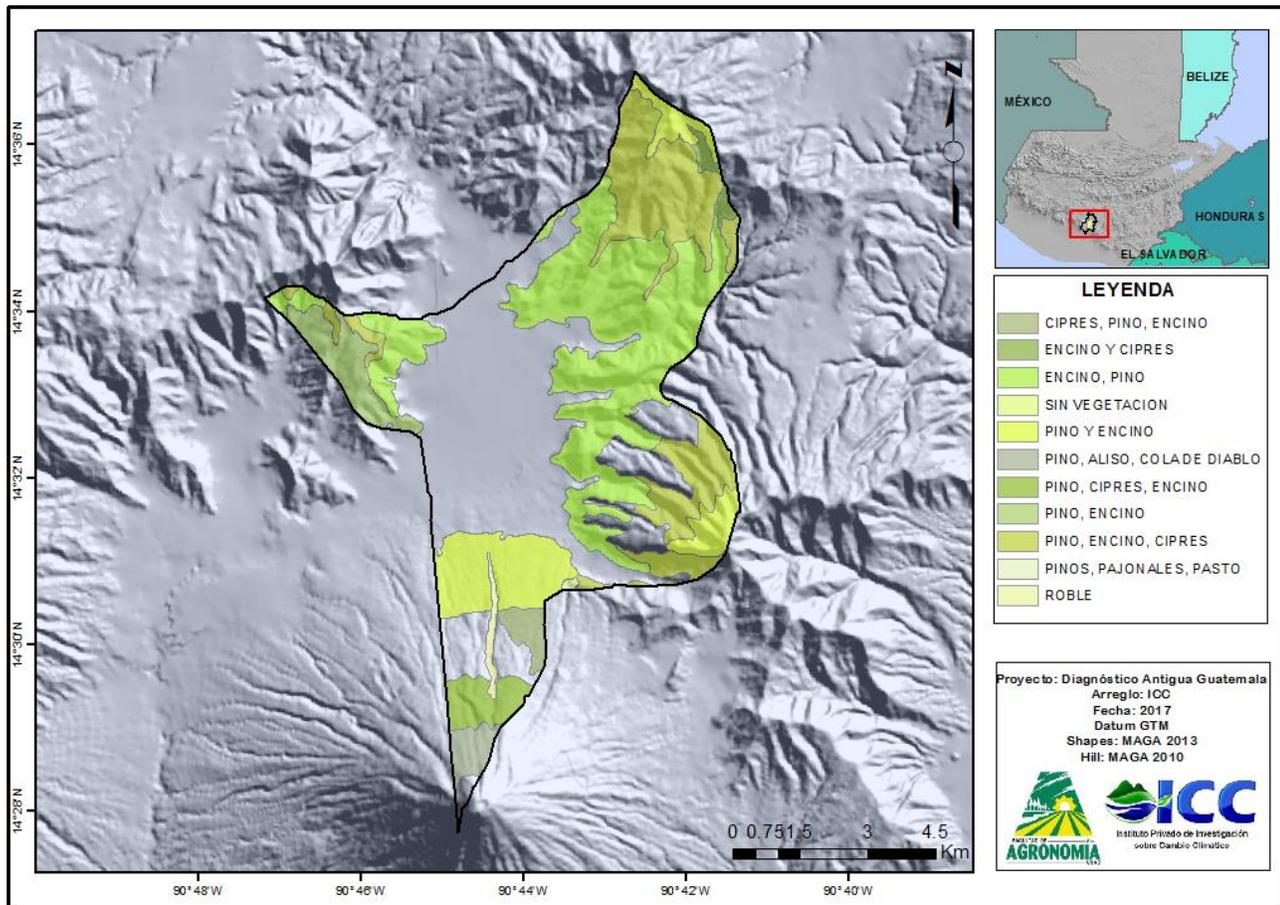


Figura 11. Mapa de distribución de especies forestales en el municipio de Antigua Guatemala

B. Fauna

Las especies predominantes en la zona son: ardillas, coyotes, codorniz, gato de monte, tepezcuinte, mapache, cotuza, conejos, cerdos, armadillo, gallina, taltuza, palomas, entre otras (MAGA, 2013).

1.5.12. Clima

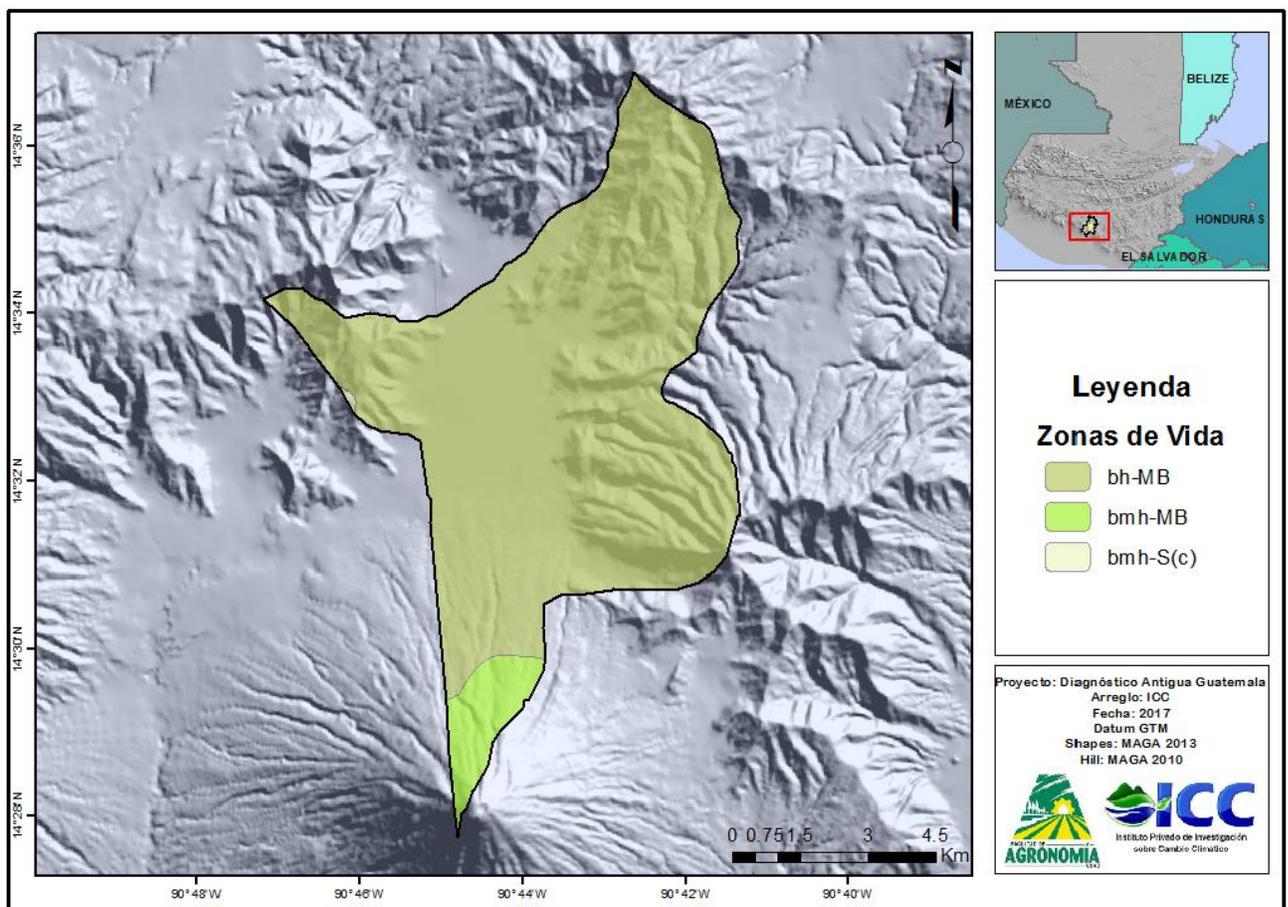
A. Zonas de vida

Según el sistema de clasificación del Dr. Leslie R. Holdridge en el municipio de Antigua Guatemala están presentes tres zonas, de las cuales el Bosque húmedo Montano Bajo Subtropical abarca la mayor parte de todo el municipio (cuadro 15 y figura 12).

Cuadro 15. Zonas de vida presentes en el municipio de Antigua Guatemala

Nomenclatura	Zona de vida	Porcentaje de cobertura (%)
Bh – MB	Bosque húmedo Montano Bajo Subtropical	94.43
Bmh – MB	Bosque muy húmedo Montano Bajo Subtropical	5.45
Bmh – S(c)	Bosque muy húmedo Subtropical (cálido)	0.11

Fuente: MAGA, 2013.

**Figura 12.** Mapas de zonas de vida en el municipio de Antigua Guatemala

B. Precipitación y temperatura

Las temperaturas del municipio suelen ser de 10 °C a 19.2 °C a lo largo del año y precipitaciones de 841 mm a 1400 mm (MAGA, 2013), (figura 13 y 14). La temporada lluviosa del año se presenta de mayo a inicios de octubre y unas pequeñas lloviznas abril, noviembre y diciembre son épocas frías.

El año más lluvioso en la zona fue el 2010 con una precipitación anual de 1441.8 mm, esto debido a la presencia de la tormenta tropical Agatha, aun así, el año 2011 también presentó una alta precipitación anual de 1133.78 mm (Anacafé, 2016). La figura 15 muestra el climadiagrama del municipio.

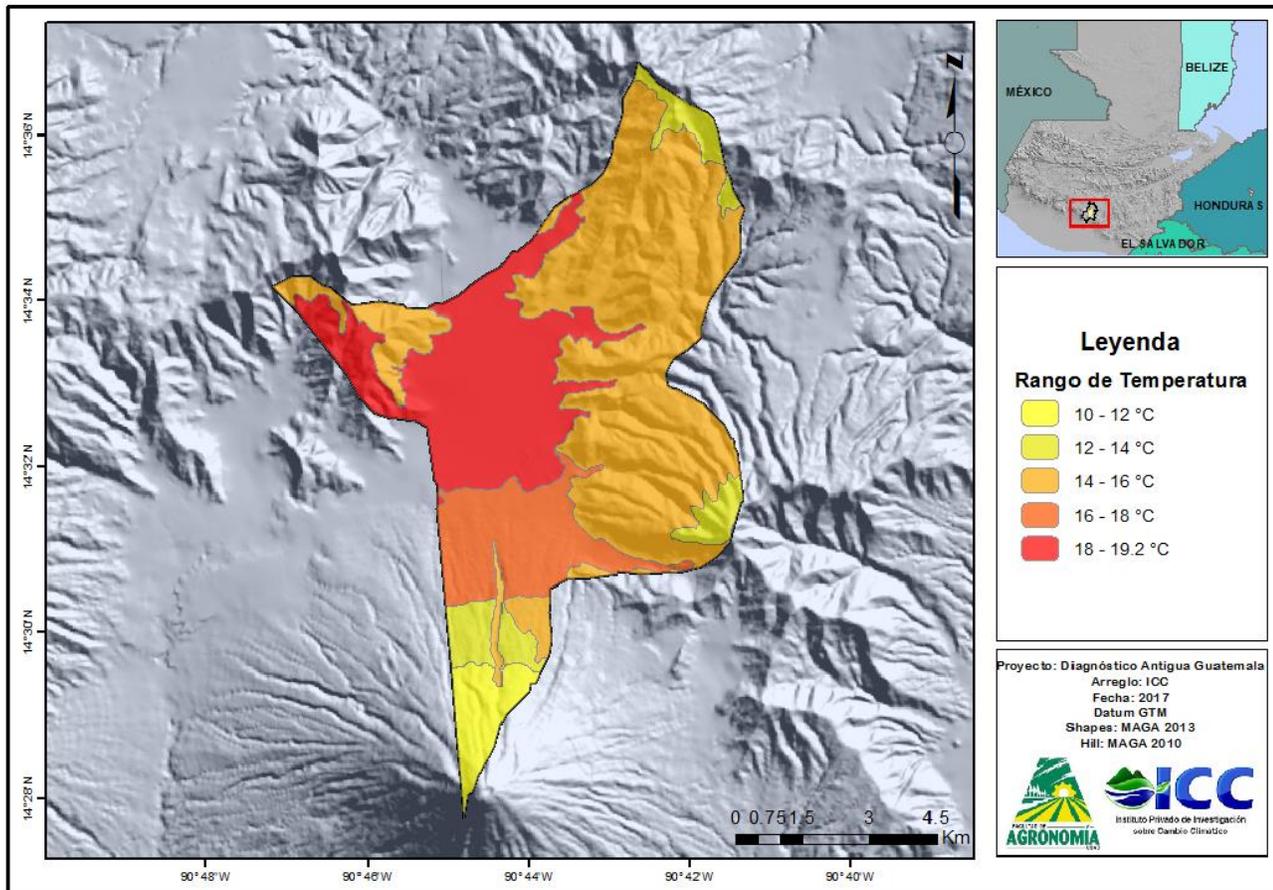


Figura 13. Mapa de temperatura del municipio de Antigua Guatemala

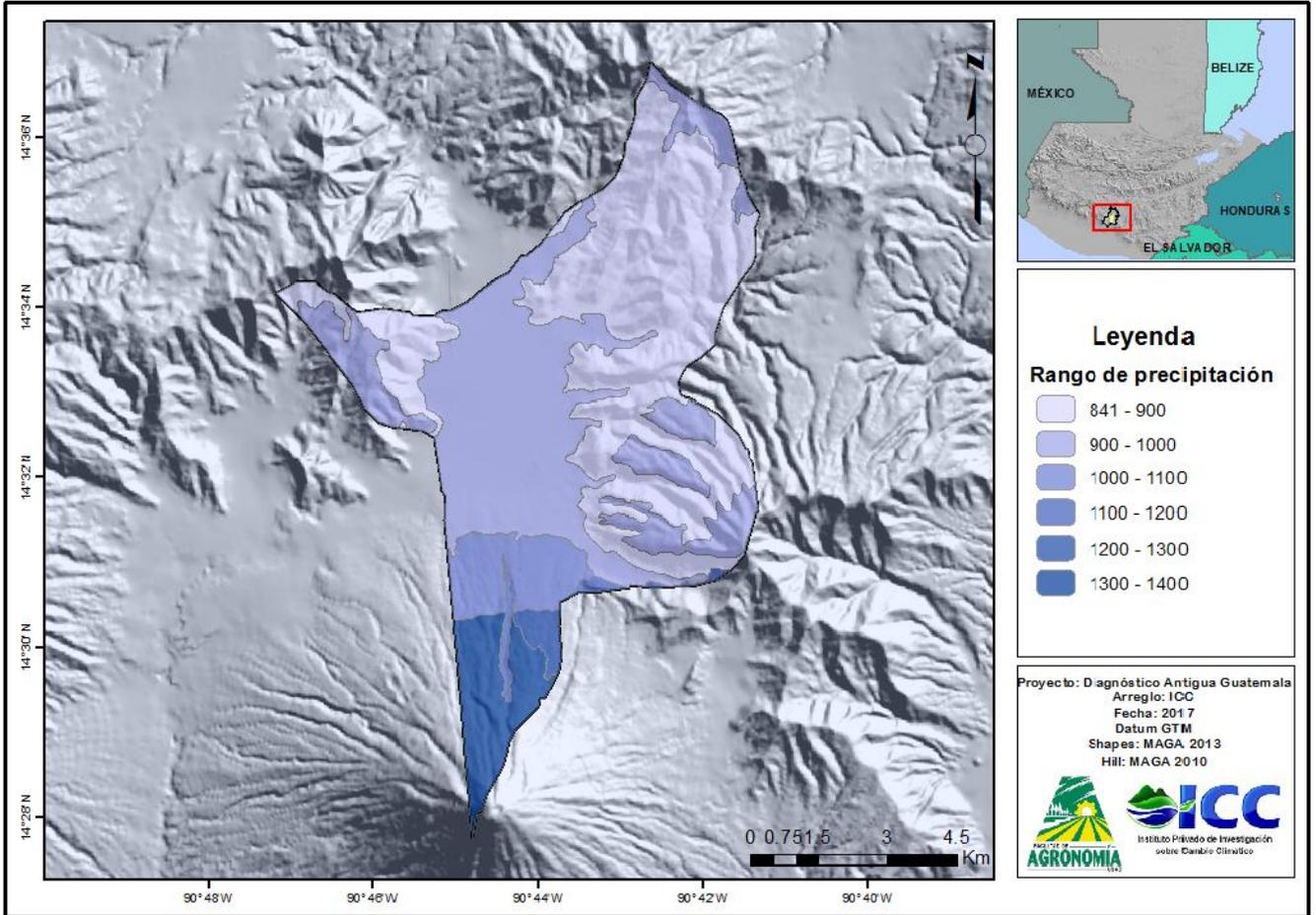


Figura 14. Mapa de precipitación del municipio de Antigua Guatemala

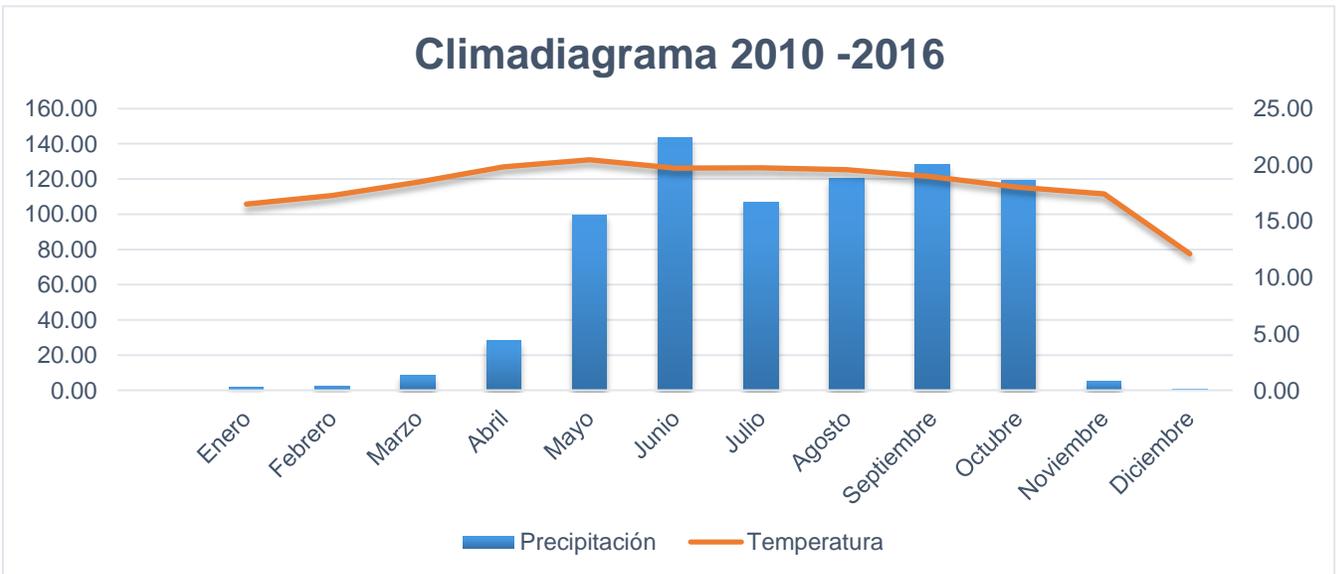


Figura 15. Climadiagrama del municipio de Antigua Guatemala

1.5.13. Gestión de riesgo

A. Amenaza sísmica

El municipio presenta una alta amenaza sísmica debido a la cercanía a las placas tectónicas y los volcanes que rodean a la ciudad. Según el proyecto de reducción de riesgo sísmico RESIS, en Guatemala la amenaza sísmica disminuye de Sur a Norte, teniendo las zonas de mayor riesgo a lo largo de la Costa Sur y el Altiplano Oriental y Central dónde se encuentra ubicado el municipio de Antigua Guatemala.

Es importante mencionar que estos fenómenos aumentan la amenaza y vulnerabilidad, principalmente de derrumbes, deslizamientos y hundimientos, aunque esto también puede depender en mayor medida de la cantidad de precipitación pluvial.

Los registros históricos más significantes respecto a este tipo de amenaza se presentan en el cuadro 16.

Cuadro 16. Principales eventos sísmicos que han afectado al municipio de Antigua Guatemala

Año	Descripción del evento
1717	Este evento se caracterizó por ser más una sucesión de actividades sísmicas que se manifestaron el 27 de agosto con actividad del volcán de fuego, en septiembre sigue la actividad del volcán y se perciben movimientos que por sus características se consideran temblores puntuales y aislados, el 29 de septiembre se producen tres sismos que producen daños y el 3 de octubre se perciben movimientos horizontales que provocan daños a edificios que ya habían sido debilitados por los sismos anteriores
1917	Se cree según estudios de esa época que la magnitud equivale a 6 grados en la escala actual de Mercalli.
1942	El 6 de agosto se registra el terremoto de mayor magnitud hasta la fecha, siendo de 8.3 causando derrumbes en el municipio
1976	El evento más catastrófico en pérdidas ocasionó miles de pérdidas de viviendas, cerca de 25,000 muertos y 75,000 heridos en todo el país.

Fuente: Córdova, 2012.

B. Amenaza volcánica

El municipio se caracteriza por estar rodeado de tres volcanes:

- El Volcán de Agua que actualmente no se encuentra activo, mide aproximadamente 3,765 m s.n.m.
- El Volcán de Fuego que está activo, se encuentra a 3,763 m s.n.m.
- El Volcán de Acatenango que se encuentra potencialmente activo y se encuentra a 3,975 m s.n.m.
- El volcán de Fuego ha tenido actividad en los últimos años, estas acompañadas de coladas de lava, caídas de ceniza, coladas piroclásticas y lahares, siendo una constante amenaza para el municipio debido a que se encuentra dentro de la zona de influencia del mismo.

C. Amenaza a inundaciones

Las inundaciones son un problema frecuente en el municipio, en época lluviosa es habitual encontrarse con calle inundadas. El cuadro 17 muestra un listado de inundaciones que han afectado al municipio, estos datos han sido recabados de distintas fuentes de información como Prensa libre, Bomberos de Antigua Guatemala y CONRED.

El desborde del río Pensativo se consideraba la principal causa de inundaciones en la zona con anterioridad, sin embargo, en los últimos años la mayoría de las inundaciones en el casco urbano se han dado por la presencia de lluvias normales lo que evidencia la existencia de otros factores ajenos a dicho río.

Por otro lado, el arrastre de sedimentos en épocas lluviosas afecta el municipio, produciendo azolvamiento y obstaculizando en gran medida la capacidad del drenaje urbano lo que también aporta a que este problema sea más severo.

Adicional a esto, debido a que el municipio cuenta con un sistema de drenaje mixto, el colapso de la capacidad del drenaje urbano resulta más grave debido a la

contaminación que se produce por la presencia de heces fecales y otros residuos que se mezclan con el agua de lluvia e inundan la ciudad.

Cuadro 17. Registros históricos de inundaciones en el municipio de Antigua Guatemala

Año	Fecha	Daño
1881	06-oct	Daños en puentes, cultivos, ocasiona derrumbes
1896	29-sep	dos días de lluvias, inundaciones en varios lugares, pérdidas considerables
1898	28-sep	Daños en fincas, por las fuertes lluvias
1933	1 y 8 oct	Inundaciones en Antigua Guatemala
1944	01-sep	Desborde del río pensativo sobre el barrio Chipilapa
1949	1 de oct	Antigua Guatemala se inunda
1951	08-sep	Desborde del río y afecta infraestructura
1951	20-sep	Desbordamiento del río. Inunda calles y avenidas
1953	09-oct	Calles arrasadas por la fuerte corriente
1969	06-sep	Inundación, 50 muertos, 100 heridos en Antigua Guatemala
1979	30 de jul	Desborde del río, inundación en varias casas por las lluvias
1985	05-sep	Río pensativo se desborda, inundaciones en Antigua Guatemala
1998	30 de oct	Inundaciones por el huracán Mitch. Daños a infraestructura
2010	13-jul	Fuertes lluvias producen inundaciones en las calles del municipio
2010	05-sep	Desbordamiento del río, daños en Aldea las huertas
2011	02-may	Antigua Guatemala. Desbordamiento del río
2011	19-oct	El río pensativo se desborda, afecta 20 casas en Antigua Guatemala
2012	Junio	Fuertes lluvias inundan calles
2013	04-sep	Fuertes lluvias inundan calles de Antigua Guatemala
2015	3 a 7 de jun	Fuertes lluvias inundan calles de Antigua Guatemala
2015	19-oct	Antigua Guatemala, inundación debido a fuertes lluvias

Fuente: elaboración propia, 2017.

D. Amenazas socio-naturales

Las amenazas más latentes son la deforestación, agotamiento de fuentes de agua, erosión de suelo, incendios forestales y desecamiento de ríos.

Los incendios forestales han aumentado debido a la alteración de temperatura que ha sufrido los últimos años el municipio, en general la temperatura media era entre 15 °C a 23 °C, mientras que en los últimos años se han registrado temperaturas de hasta 30 °C

(SEGEPLAN, 2010). El cuadro 18 muestra los incendios forestales que se han registrado en el municipio.

Cuadro 18. Incendios forestales en el municipio de Antigua Guatemala

Año	Cantidad	Área afectada en Ha
2004	2	3
2005	4	5.5
2006	2	2.5
2007	5	9.25

Fuente: SEGEPLAN, 2010.

E. Amenazas antrópicas

Es importante mencionar que el crecimiento del área urbana y el aumento de la población hacen del municipio un lugar propenso para la ocurrencia de desastres, puesto que características como la capacidad de filtración del suelo se ven afectadas de manera severa además de zonas vulnerables que se vuelven habitables.

Sin embargo, entre las principales amenazas podemos mencionar la contaminación por los desechos sólidos y líquidos, sustancias agroquímicas, y la presencia de organizaciones de grupos delincuentes (SEGEPLAN, 2010).

El municipio no cuenta con una planta de tratamiento para aguas ni desechos sólidos lo que tiene a complicar el impacto y futuro ambiental, el riesgo a aumentar enfermedades en la población, el daño a los ecosistemas y otros efectos negativos.

1.6. CONCLUSIONES

1. El municipio de Antigua Guatemala goza de una buena condición de vida basado en sus índices de talla y pobreza extrema puesto que son mucho menores en comparación a los de nivel departamental y nacional. Su economía se basa principalmente en la producción de café y turismo, siendo este último de gran importancia al país por la cantidad de ingresos que genera además de la importancia de ser Patrimonio de la Humanidad lo que enlaza fuertemente un aspecto cultural a los pobladores de dicho municipio y del país en general.
2. El crecimiento poblacional afecta directamente el sobre uso del suelo y la demanda de recursos, según proyecciones se espera que para el año 2,017 el municipio alcance 54,949 habitantes, adicional a esto es evidente la alta amenaza sísmica a la que se encuentra vulnerable el municipio debido a las cercanías a fallas locales y volcanes. Las inundaciones urbanas es otro factor negativo que afecta todos los años, aunque se creía en un inicio que el daño provenía del Río Pensativo, es evidente que la vulnerabilidad depende de otros factores adicionales.
3. El presente diagnóstico municipio de Antigua Guatemala figura una fuente de información valiosa en cuánto a los aspectos biofísicos y sociales. Esto permite entender el contexto general del de la zona de estudio además de ser punto de partida para la investigación “Análisis de inundaciones en la ciudad de Antigua Guatemala, Sacatepéquez” como seguimiento del proceso del Ejercicio Profesional Supervisado.

1.7. BIBLIOGRAFÍA

1. Anacafé (Asociación nacional del café, Guatemala). 2016. Precipitación y temperatura del municipio de Antigua Guatemala. (En línea). Guatemala. Consultado 26 de feb. 2017. Disponible <http://meteorologia.anacafe.org/Clima>.
2. Córdova López, EL. 2012. Lineamientos mínimos de una política pública municipal, para la gestión de riesgo en una ciudad turística - patrimonial: caso de la Antigua Guatemala. Tesis Mag. Sc. Guatemala. USAC. 115 p.
3. INE (Instituto Nacional de Estadística, Guatemala). 2002. Datos poblacionales por edad y etnia. (En línea). Guatemala. Consultado 20 de feb. 2017. Disponible <http://www.segeplan.gob.gt/nportal/index.php/tablas>.
4. INGUAT (Instituto Guatemalteco de Turismo). 2010. Plan de Desarrollo Turístico, Sacatepéquez, Guatemala. Fase I: Diagnóstico participativo y Prognosis del Sector Turismo. 45 p.
5. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Guatemala). 2013. Estudio semidetallado de los suelos del departamento de Sacatepéquez, Guatemala. Guatemala. 788 p.
6. SEGEPLAN (Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, Guatemala). 2010. Plan de desarrollo, Antigua Guatemala, Sacatepéquez. 113p.
7. SESAN (secretaría de seguridad alimentaria y nutricional, Guatemala). 2015. IV Censo Nacional de Talla. 38 p.
8. Sisniega Muñoz, AC. 2006. El terremoto de San Miguel y los monumentos de Santiago Capital del Reino de Guatemala: Un enfoque Arqueológico. Tesis Lic. Arqueol. Guatemala, USAC. 286 p.



CAPITULO 2

2. ANÁLISIS DE INUNDACIONES PLUVIALES EN LA CIUDAD DE ANTIGUA GUATEMALA, DEPARTAMENTO DE SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA, C.A

2.1. INTRODUCCIÓN

La ciudad de Antigua Guatemala posee gran belleza escénica y un gran valor cultural e histórico debido a la notable influencia de España en la arquitectura barroca expresada en sus edificios y monumentos, la existencia de iglesias y monasterios que reflejan la influencia de la religión católica, tanto así que se convirtió en el centro de exportación de imágenes religiosas hacia España en los siglos XVII y XVIII (MCD, 2014) y fue la primera capital de los españoles en Guatemala fundada en el año de 1524. Es por esta serie de elementos que fue nombrada monumento nacional en el año de 1944, monumento de América por la OEA en 1965 y reconocida como patrimonio de la humanidad por la UNESCO en 1965 (Sisniega, 2006).

A pesar de su importancia como patrimonio cultural se encuentra situada en una zona de alta probabilidad a sufrir desastres, ejemplo de ello es el terremoto de Santa Marta en el año de 1773 que terminó devastando la ciudad, las inundaciones que ha sufrido por el desborde del río pensativo y las inundaciones pluviales que el municipio sufre cada año. Las inundaciones dejan impactos negativos como la degradación de la infraestructura coloquial de la ciudad, interrumpe las dinámicas económicas como el comercio y el turismo, propicia grados de contaminación debido al colapso del sistema de drenajes mixtos que a su vez aumenta el riesgo a sufrir enfermedades, obstruyen el sistema vial de la ciudad y en conjunto, aumentan la probabilidad de ocurrencia de un desastre.

Por otro lado, es importante mencionar que la actividad turística es la segunda fuente de ingreso de divisas al país, aportando U.S. \$. 1,378.00 millones/año. La ciudad de Antigua Guatemala es el segundo destino turístico más visitado con un 33 % del total de turistas, para el año 2010 un aproximado de 620,000 personas extranjeras visitaron dicha ciudad (INGUAT, 2010). Esta actividad turística se ve directamente afectada debido a que las ocurrencias habituales de inundaciones implican el colapso al servicio vial, daño al paisaje y otras limitaciones de viaje que afectan la decisión de los turistas sobre considerar la ciudad de Antigua Guatemala como un destino de visita.

Las inundaciones en el casco urbano de Antigua Guatemala han sido un problema desde el año de 1,949 según datan los primeros registros. Esta problemática es cada vez más habitual hasta el punto en el que, desde el año 2010 estos eventos han pasado a ser un problema fuerte que se manifiesta de manera severa hasta dos veces durante la época lluviosa de cada año. Anteriormente las inundaciones se relacionaron al desbordamiento del río Pensativo en la entrada a la ciudad; las montañas de Carmona drenan en el río Pensativo y las correntadas que se producen con las lluvias producen daños a las colonias aledañas a la ciudad (López García & Hernández, 2012). Sin embargo, actualmente el río es dragado y controlado anualmente y ha dejado de ser la principal amenaza.

La Coordinadora Municipal para la Reducción de Desastres (COMRED), indica que, aunque el río es tratado y no ha presentado desbordamientos los últimos años, las inundaciones dentro del casco urbano siguen presenciándose. Esto evidencia la existencia de factores ajenos al río que propician la problemática. Se considera que estos están asociados al crecimiento urbano, el colapso del sistema de drenajes y la impermeabilización del suelo.

Actualmente las zonas inundables de la ciudad de Antigua Guatemala son las 1a. y 7a. calle, calzada Santa Lucía y la zona cercana a la empresa Nestlé y finca El Panorama. Todas estas zonas están alejadas del área ribereña del río Pensativo, esto expande el problema sobre inundaciones locales y revalida la existencia de factores más allá del río que propician dicha problemática.

La investigación “Análisis de inundaciones pluviales en el casco urbano de la ciudad de Antigua Guatemala, Sacatepéquez” busca analizar la situación de la ciudad coloquial para el año 2017 mediante la elaboración de mapas de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, incluyendo percepción comunitaria mediante encuestas y entrevistas, para poder proponer lineamientos para obras y medidas de mitigación respetando el marco legal al que dicha ciudad está sujeta por ser parte del patrimonio cultural de la nación y de la humanidad.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Marco conceptual

A. Amenaza a inundaciones

Según la estrategia internacional para la reducción de desastres de las Naciones Unidas define la amenaza como un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que puede ocasionar impactos negativos como muerte, lesiones, impactos de salud, pérdidas económicas y productivas, o daños ambientales (UNISDR, 2009).

Existen distintos tipos de amenazas tales como la biológica, geológica, socio-natural, hidrometeorológica, natural, etc. Sin embargo, para el ámbito de la reducción de riesgo de desastres la relevante es la de tipo natural, las cuales surgen de una gran variedad de fuentes geológicas, meteorológicas, hidrológicas, oceánicas y algunas veces actúan de forma combinada (UNISDR, 2009).

Debido a la naturaleza de este estudio, la amenaza estará relacionada a los eventos hidrometeorológicos representando para las altas precipitaciones. Estos eventos dentro de la zona de estudio han estado asociada a fenómenos extremos como huracanes y tormentas tropicales, sin embargo, también forman parte las lluvias intensas de la época lluviosa quienes generan suficiente escorrentía pluvial para generar inundación en la ciudad.

B. Inundaciones

Consiste en la presencia de volúmenes de agua masivos en áreas no destinadas para su tránsito, ponen en riesgo la vida, bienes, infraestructura y sistema de producción tanto agrícolas como avícola (Morales, 2015).

a. Inundación urbana

Al hablar de inundaciones urbanas se hace referencia principalmente a la zona afectada, es decir centros poblados que perciben daños debido a volúmenes masivos de agua. Según J. Bertoni en su libro de inundaciones urbanas en Argentina publicado en el año 2014, en el contexto de inundaciones urbanas pueden existir dos tipos:

i. Inundaciones ribereñas o fluviales

Estas se dan en urbanizaciones indebidas en áreas inundables aledañas al cauce del río. Es el tipo de inundaciones más normales en el país y la dinámica de inundación más registrada en la zona de estudio debido a los desbordes del río Pensativo. Esto surge en gran medida por el establecimiento de zonas pobladas cercanas a la corriente natural del río sin considerar el riesgo debido al aumento del nivel del agua en época lluviosa y eventos extremos (Bertoni, 2014).

ii. Inundaciones pluviales o debidas al crecimiento urbano

Este tipo está dado por los efectos negativos de la urbanización. es decir; la impermeabilización del suelo, la aceleración de los escurrimientos, el obstáculo al drenaje natural y la artificialización de las acequias, arroyos y ríos en áreas urbanas. Como resultado de todos estos factores, los centros urbanos generan una mayor escorrentía pluvial que genera problemas de inundación al no ser evacuada rápidamente, debido a que sobrepasa la capacidad del sistema de drenaje (Bertoni,2014).

C. Vulnerabilidad

Son todas las características y circunstancias propias de una sociedad o comunidad que los hacen susceptibles a los impactos negativos de una amenaza, entre los aspectos que forman parte de la vulnerabilidad se encuentran el diseño inadecuado de

ordenamiento y construcción, protección inadecuada de bienes, falta de información y una gestión ambiental desentendida (UNISDR, 2009).

El ICOMOS (Internacional Council of Sites and Monuments) define el este tipo de turismo como “un movimiento de personas esencialmente por una motivación cultural, tal como el viaje de estudios, representaciones artísticas, festivales u otros eventos culturales, visitan lugares y monumentos, folklore, arte o peregrinación” (Santana Talavera, 2003).

D. Desastre

Resulta de la combinación de la exposición a una amenaza, las condiciones de vulnerabilidad, y capacidades o medidas insuficientes que causan una seria interrupción en el funcionamiento de una comunidad o sociedad y ocasiona una gran cantidad de muertes, pérdidas e impactos materiales económicos y ambientales que exceden la capacidad de la comunidad o la sociedad afectada para hacer frente a la situación mediante sus propios recursos (UNISDR, 2009).

E. Riesgo de desastres

Representa todas las posibles pérdidas que ocasionaría un desastre, principalmente en términos de vida, condiciones de salud, medios de sustento, bienes y servicios (UNISDR, 2009). Dicho de otra manera, proyecta un posible escenario que contempla todos los daños posibles al momento de que un fenómeno natural se presenciara. A partir del conocimiento del riesgo a desastres en una zona es posible anticiparse e iniciar con procesos que permitan evitar dichas pérdidas.

F. Gestión del riesgo de desastres

De forma genérica se define a la gestión del riesgo de desastres como un proceso social cuyo objetivo es la previsión, reducción y control de los factores de riesgo de desastre presentes en la sociedad, en consonancia al logro de un desarrollo humano, económico, ambiental, territorial y sostenible (Narváez, Lavell & Pérez, 2009).

Por otro lado, la Organización de las Naciones Unidas define el término como la práctica sistemática de gestionar la incertidumbre mediante directrices administrativas, organizaciones, destrezas y capacidades operativas para ejecutar políticas y fortalecer capacidades de afrontamiento para minimizar los daños y pérdidas potenciales, abarca la evaluación y análisis del riesgo, además de la implementación de acciones específicas para mitigar, controlar o transferir el riesgo (UNISDR, 2009).

G. Evaluación de riesgo

Metodología utilizada para determinar la naturaleza y grado de riesgo de las posibles amenazas a partir del análisis de condiciones actuales, esto incluye la revisión de características como la intensidad, frecuencia, probabilidad, dimensiones físicas, sociales y de salud, además del grado de exposición y vulnerabilidad (UNISDR, 2009).

Los factores que se consideran en una evaluación de riesgo dependerán del contexto y entorno situacional de la zona y del tipo de amenaza que se estudiará. Para el caso de esta investigación se incluirán todos los factores naturales como la pendiente, drenaje natural, crecimiento urbano, capacidad de drenaje, uso del suelo y demás factores que tengan un impacto directo en la dinámica de inundaciones urbanas.

a. Crecimiento urbano

Es un círculo vicioso que conduce a un incremento constante de la población. Los indicadores mundiales revelan que la mitad de la población vive en áreas urbanas y que en países en desarrollo esta proporción alcanza el 90 % o más, como resultado se han alcanzado impactos ambientales sin precedentes en la historia de la humanidad (Campos Aranda, 2010).

b. Escorrentía pluvial

Durante la lluvia existe una parte de la precipitación que no es interceptada por la vegetación sino llega al suelo y empieza a escurrir, cuando una zona es urbanizada gran parte de la superficie que poseía vegetación se vuelve impermeable debido a las construcciones lo que evita la infiltración del agua, aumentando así la velocidad y volumen de escorrentía (Campos Aranda, 2010).

c. Sistema de drenaje urbano

El drenaje urbano incluye todas las obras de alcantarillado, almacenamiento, colectores, canales de evacuación, sistemas de bombeo, etc. las cuales intentan reducir los riesgos y daños causados por aguas de tormenta e inundaciones, el objetivo fundamental del sistema es recolectar y conducir tan rápido como sea posible el escurrimiento causado por el agua de lluvia (Campos Aranda, 2010).

H. Obras de mitigación

Estas obras estructurales y no estructurales se trabajan con el fin de limitar el impacto adverso de las amenazas naturales a una zona determinada. Las medidas

estructurales pueden ser de ingeniería y de construcción, como protección de estructuras o infraestructura que evite el impacto de la amenaza, mientras que las medidas no estructurales contemplan políticas, concientización, prácticas operativas, suministro de información y todas las acciones y actividades sociales que permiten el conocimiento y la preparación ante un impacto (UNISDR-IDRC, 2008).

I. Instrumentos que apoyan a la gestión de riesgo a desastres

Existen instrumentos político-administrativos como el código de construcción y el ordenamiento territorial de la zona que apoyan al proceso de gestión de riesgo, que buscan controlar la ubicación y características del crecimiento urbano, aportando así a evitar futuros desastres.

a. Código de construcción

Los códigos de construcción incluyen estándares que buscan controlar aspectos de diseño, construcción, materiales, modificaciones y ocupaciones de cualquier estructura que son necesarios para velar por la seguridad y el bienestar de la población. Estos estándares deben adaptarse a las circunstancias nacionales y locales incluyendo la resistencia a algunas amenazas naturales (UNISDR-ONU, 2009).

b. Ordenamiento territorial

Este proceso es de naturaleza técnico administrativo que regula y promueve la ubicación y desarrollo de centros poblados, al igual que sus actividades económicas, sociales y el desarrollo físico espacial. Para esto identifica y considera las limitaciones por potencialidades ambientales, económicas, socioculturales, institucionales y geopolíticas, esto con el fin de lograr un desarrollo integral y una calidad de vida adecuada para las personas (UNISDR-IDRC, 2008).

J. Modelo hidrológico Hec-Hms

El modelo Hec-Hms fue desarrollado por el centro de ingeniería hidrológica del ejército de los Estados Unidos, este modelo se basa en un método de lluvia-escorrentía que determina la cantidad de escorrentía directa para luego hacerla circular por la red de drenaje natural de la zona considerando factores de vegetación, uso del suelo, filtración, pendiente y demás aspectos que interactúan con la escorrentía pluvial generada en una zona (González, Scaini, & Goñi, 2012).

K. Patrimonio cultural

La UNESCO (1982) comprende todas las obras que de sus artistas tales como la arquitectura, la música y la escritura, así como las creaciones anónimas surgidas del alma popular, es decir las obras materiales e intangibles que manifiestan creatividad propia del pueblo; la lengua, ritos, creencias, lugares, monumentos históricos, literatura, archivos, obras de arte y bibliotecas.

La ciudad de Antigua Guatemala posee una alta riqueza cultural en su arquitectura, que conserva el estilo coloquial debido su notable influencia española, aspecto que a su vez deja un legado artístico que destaca por sus monasterios y edificaciones. Adicional a esto, ha sido lugar de múltiples eventos históricos que han marcado la historia del país y que a su vez suman a la riqueza e importancia para el país (MCD, 2014).

L. Turismo

La Organización Mundial de Turismo define el turismo como “las actividades que realizan las personas durante sus viajes y estancias en lugares distintos al de su entorno habitual, por un período de tiempo consecutivo inferior a un año con fines de ocio, por negocios y otros motivos” (OMT, 1999). La ciudad de Antigua Guatemala es uno de los principales destinos turísticos que recibe visitas nacional e internacionalmente todos los

años, este turismo está dado principalmente por la arquitectura barroca y las tradiciones espirituales de la población.

a. Turismo cultural

El turismo cultural se entiende como un tipo de turismo alternativo que enfoca en la comercialización de la cultura, es decir todos los elementos de una cultura que pasan a ser productos ofertados al mercado turístico. El turismo cultural e histórico abarca la tipología de lo pintoresco y el color local, monumentos, vestigios de una vida en proceso de extinción, museos e incluso ciudades (Santana Talavera, 2003).

2.2.2. Marco referencial

A. Ubicación geográfica

Antigua Guatemala pertenece al departamento de Sacatepéquez, ubicado en la región V o central de Guatemala. Sus coordenadas geográficas son, en latitud norte 14° 33'30'' y en longitud Oeste 90° 43'50'' se encuentra a una altitud de 1,530.17 m s.n.m. y posee una extensión de 78 km² (SEGEPLAN, 2010), (figura 16).

B. Colindancias

Antigua Guatemala colinda al norte con Jocotenango, Santa Lucia Milpas Altas y Pastores, al sur con Ciudad Vieja y Santa María de Jesús, al este con Magdalena Milpas Altas y Santa María de Jesús y al oeste con Ciudad Vieja, Pastores y San Antonio Aguas Calientes, todos pertenecientes al departamento de Sacatepéquez (López García & Hernández, 2012)

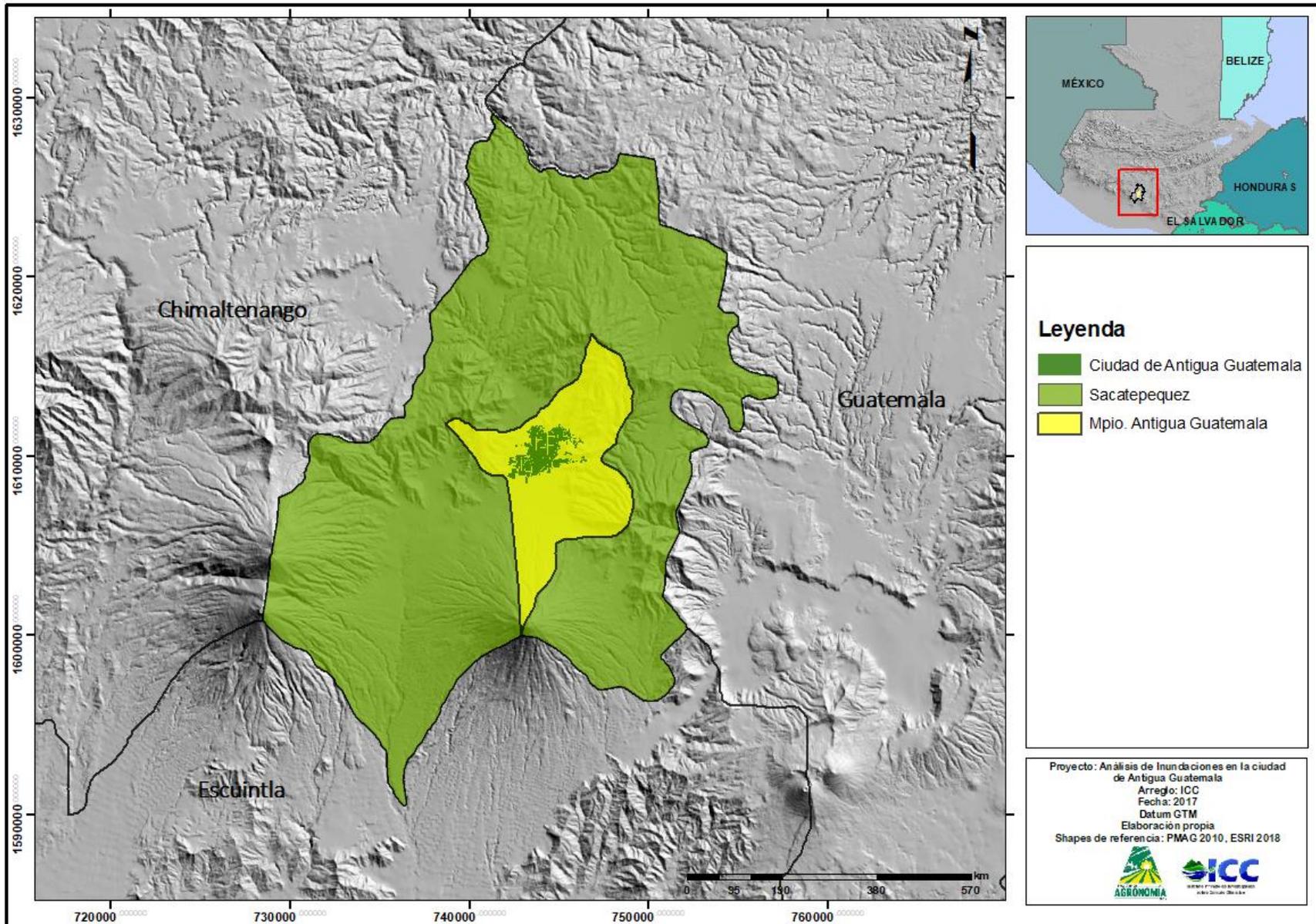


Figura 16. Mapa de ubicación de la ciudad de Antigua Guatemala

C. Población

Según el censo del año 2002 elaborado por el Instituto Nacional de Estadística (INE) el municipio contaba con 41,097 habitantes este mismo proyecta para el año 2008 una población de 44,455 habitantes, por otro lado la municipalidad de Antigua Guatemala en su plan de desarrollo municipal reconoce una población aproximada de 46,275 habitantes para el año 2009, según proyecciones basadas en la tasa de crecimiento poblacional dada por el INE se estima una población para el año 2017 es de 54,949 habitantes.

D. Fisiografía

Antigua Guatemala forma parte del gran paisaje Tierras Altas Volcánicas, se encuentra dividido en tres regiones; Montañas Volcánicas del Centro del País que abarcan un 61.72 % del territorio, el Abanico Aluvial de Antigua Guatemala que cubre un 23.39 % y Volcán de Agua con un porcentaje de cobertura de 14.7 % (MAGA, 2005).

E. Suelos

Según la clasificación de suelos de Guatemala de Simmons, el municipio cuenta con la serie de suelos de Alotenango que abarca un 27.98 % del territorio, la serie Cauqué con un 33.36 % de cobertura, Suelos de los valles con un 33.18 % y la serie Cimas Volcánicas con un 5.48 % (MAGA, 2005).

F. Uso de la tierra

Según estudio semidetallado de suelos del departamento de Sacatepéquez elaborado por el MAGA, para el año 2013 el municipio contaba con 51 % de área con uso

agrícola, un 12 % ocupado por infraestructura y poblados y el resto en bosques naturales (MAGA, 2013).

G. Geología

Dentro del municipio se encuentran la región Qv formado por rocas ígneas y metamórficas del periodo cuaternario ocupando un 29.6 % del territorio, Tv compuesto por rocas ígneas y metamórficas del periodo terciario con un 26.6 % de cubrimiento, Qa formado por sedimentarias de aluviones del periodo cuaternario cubriendo un 22.8 % del área y Qp formado por rocas ígneas y metamórficas del cuaternario con un 20.8 % del área total (MAGA, 2005).

H. Clima

El municipio cuenta con un clima templado, con temperaturas que van de 10 °C a 19.2 °C a lo largo del año y precipitaciones desde 841 mm a 1,400 mm anuales (MAGA, 2013).

I. Zonas de vida

Según el sistema de clasificación del Dr. Leslie R. Holdridge en el municipio de Antigua Guatemala están presentes tres zonas, de las cuales el Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical abarca la mayor parte de todo el municipio con un 94.43 % del territorio total, a esta le sigue el Bosque muy Húmedo Montano Bajo Subtropical con un 5.45 % y por último una pequeña porción de 0.11 % del territorio total de Bosque muy Húmedo Subtropical (cálido) (MAGA, 2005).

J. Hidrografía

Dentro del municipio tienen paso los ríos: Colorado, del Pilar, El Sauce, Guacalate, Pensativo y Santa maría. Los riachuelos San Miguel y Los Encuentros y las quebradas El Hato, El Zopilote, Joya de Chilacayote, La ventanilla (SEGEPLAN, 2010).

Existen dos áreas que drenan escorrentía pluvial en la zona; una sección drena la escorrentía generada de las microcuencas altas que incluye la escorrentía generada en los centros poblados El Hato y Guardianía y otra sección que drena directamente al río pensativo, esto puede apreciarse a detalle en la figura 17.

K. Flora y fauna

La diversidad de la flora lo cubre en su mayoría especies forestales principalmente por gravilea, eucalipto, ciprés, encino y aliso (MAGA, 2013). Por otro lado, las especies predominantes en la zona son: ardillas, coyotes, codorniz, gato de monte, tepezcuinte, mapache, cotuza, conejos, cerdos, armadillo, gallina, taltuza, palomas, entre otras (SEGEPLAN, 2010).

L. Características urbanas

a. Crecimiento urbano

La comparación de datos del censo del año de 1994 y 2002 permiten visualizar como ha aumentado la tendencia de los pobladores a residir en el área urbana. Para el año 1994 la tasa de población urbana era de 47.9 % mientras que para el año 2002 el porcentaje aumento hasta 78 % (López García & Hernández, 2012).

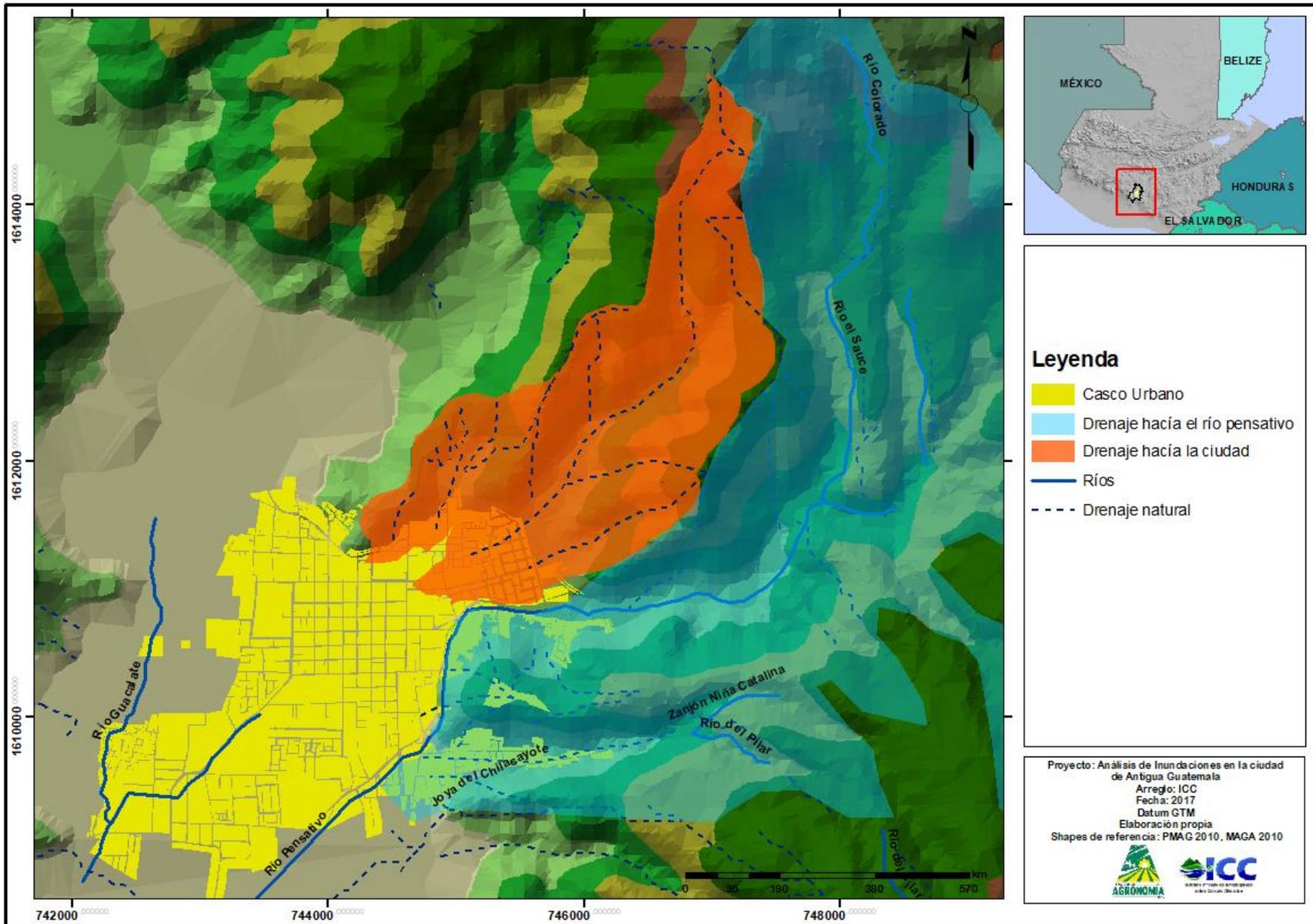


Figura 17. Mapa de drenaje natural y ríos en la ciudad de Antigua Guatemala

b. Usos de edificación

Según estudios realizados en el año 2008, el uso residencial ocupa el 34.38 % del área edificada, seguida por los servicios con el 18.49 % y el comercial con 12.63 % tal y como lo muestra cuadro 19 y la figura 18.

Cuadro 19. Uso de la edificación en la ciudad de Antigua Guatemala

Uso	m²	% de área
Residencial	1,075.08	34.38
Industrial	34.848	1.1
Transportes, comunicaciones y serv. públicos	127.881	4.09
Comercial	394.871	12.63
Finanzas, seguros y bienes raíces	11.444	0.36
Servicios	578.308	18.49
Organismos oficiales	48.835	1.56
Religioso	97.909	3.13
Cultural	336.075	10.75
Suelo no construido	422.396	13.51
Total	3,127.28	100

Fuente: López García & Hernández, 2012.

c. Uso de residencial combinado

Según el plan maestro de la ciudad de Antigua Guatemala, es habitual que sus edificaciones cubran más de un uso, como es el caso de la residencia donde el 24.24 % también ocupa usos comerciales y el 18 % usos de servicios y finanzas, el cuadro 20 detalla información asociada al uso residencial combinado.

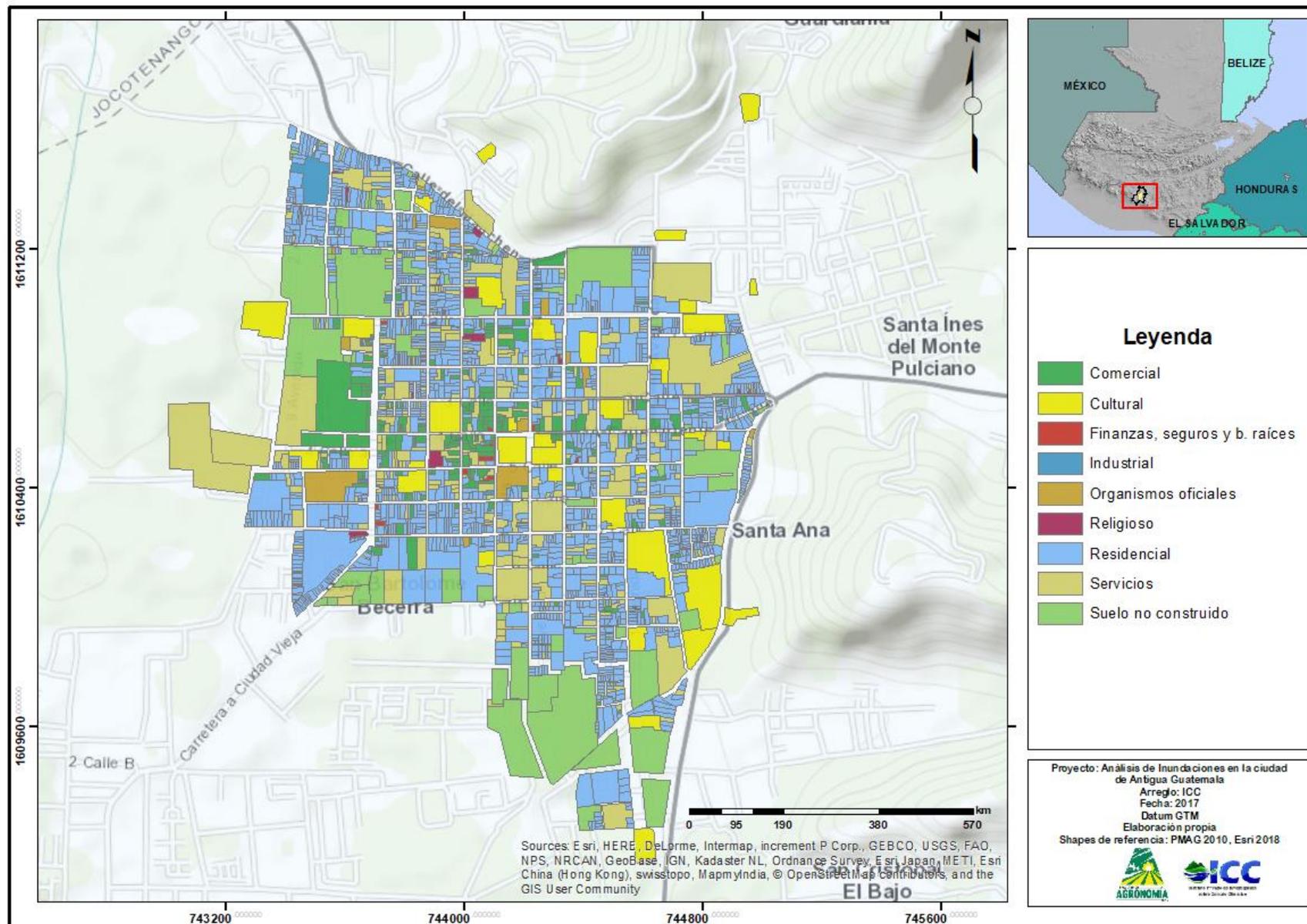


Figura 18. Mapa de uso de la edificación dentro de la ciudad de Antigua Guatemala

Cuadro 20. Ocupación de residencia combinada dentro de la ciudad

Uso	m²	% de área
Residencial + Industria	28.112	2.03
Residencial + Comercial	218.79	24.24
Residencial + Finanzas	3.764	0.56
Residencial + Servicios	206.408	17.47
Residencial + Comercial + Industrial	1.976	0.34
Residencial + Comercial + Finanzas	1.235	0.17
Residencial + Comercial + Servicios	49.309	4.73
Residencial + Finanzas + Servicios	1.688	0.22

Fuente: López García & Hernández, 2012.

d. Uso de servicios

Los servicios ocupan el segundo lugar de ocupación con un 18.49 % del área total, entre los servicios destaca la hostelería con casi la cuarta parte del área de servicios seguida por los de tipo educativo, sanitarios y profesionales tal como se muestra en la figura 19 y se detalla en el cuadro 21.

e. Uso comercial

El uso comercial ocupa el tercer lugar de ocupación del área de la ciudad, donde casi la mayoría se centra en comercio detallista, alimentación y restaurantes y bares. Es importante mencionar que, debido a la cantidad de comercio, el área cuenta con la disponibilidad de artículos a residentes y visitantes lo que define la cualidad urbana de la ciudad (López García & Hernández, 2012). El cuadro 22 y figura 20, muestran los detalles sobre este aspecto.

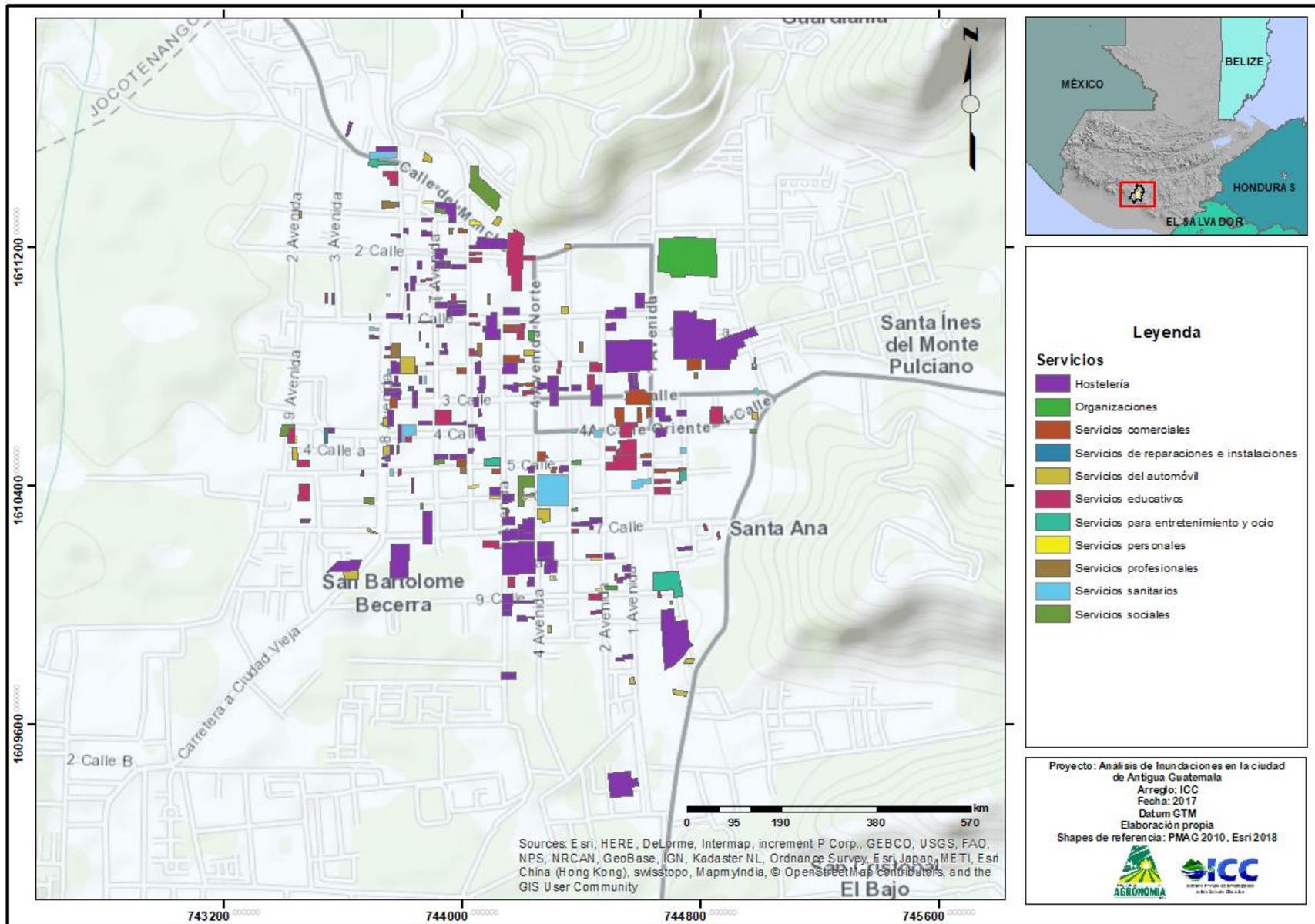


Figura 19. Mapa de ocupación del sector de servicios dentro de la ciudad

Cuadro 21. Ocupación de servicios en la ciudad de Antigua Guatemala

Uso	m²	% de área
Hostelería	214.661	24.42
Servicios personales	28.818	10.96
Servicios comerciales	52.054	14.78
Servicios de automóvil	18.251	5.15
Servicios de reparaciones e instalaciones	5.389	2.16
Servicios para entretenimiento y ocio	25.438	2.33
Servicios sanitarios	36.676	10.8
Servicios profesionales	32.747	10.96
Servicios educativos	93.913	14.78
Servicios sociales	14.986	1.33
Organizaciones	31.716	2.33
Total	554.649	100

Fuente: López García & Hernández, 2012.

Cuadro 22. Ocupación del sector comercial dentro de la ciudad de Antigua Guatemala

Uso	m²	% de área
Alimentación	60.822	22.1
Prendas de vestir	22.126	7.04
Detallistas	182.412	37.15
Muebles y hogar	14.273	3.59
Materiales de construcción	11.723	2.76
Bares y restaurantes	125.203	22.65
Automóviles y estaciones de servicio	8.743	2.9
Superficie comercial	44.886	1.81
Total	470.186	100

Fuente: López García & Hernández, 2012.

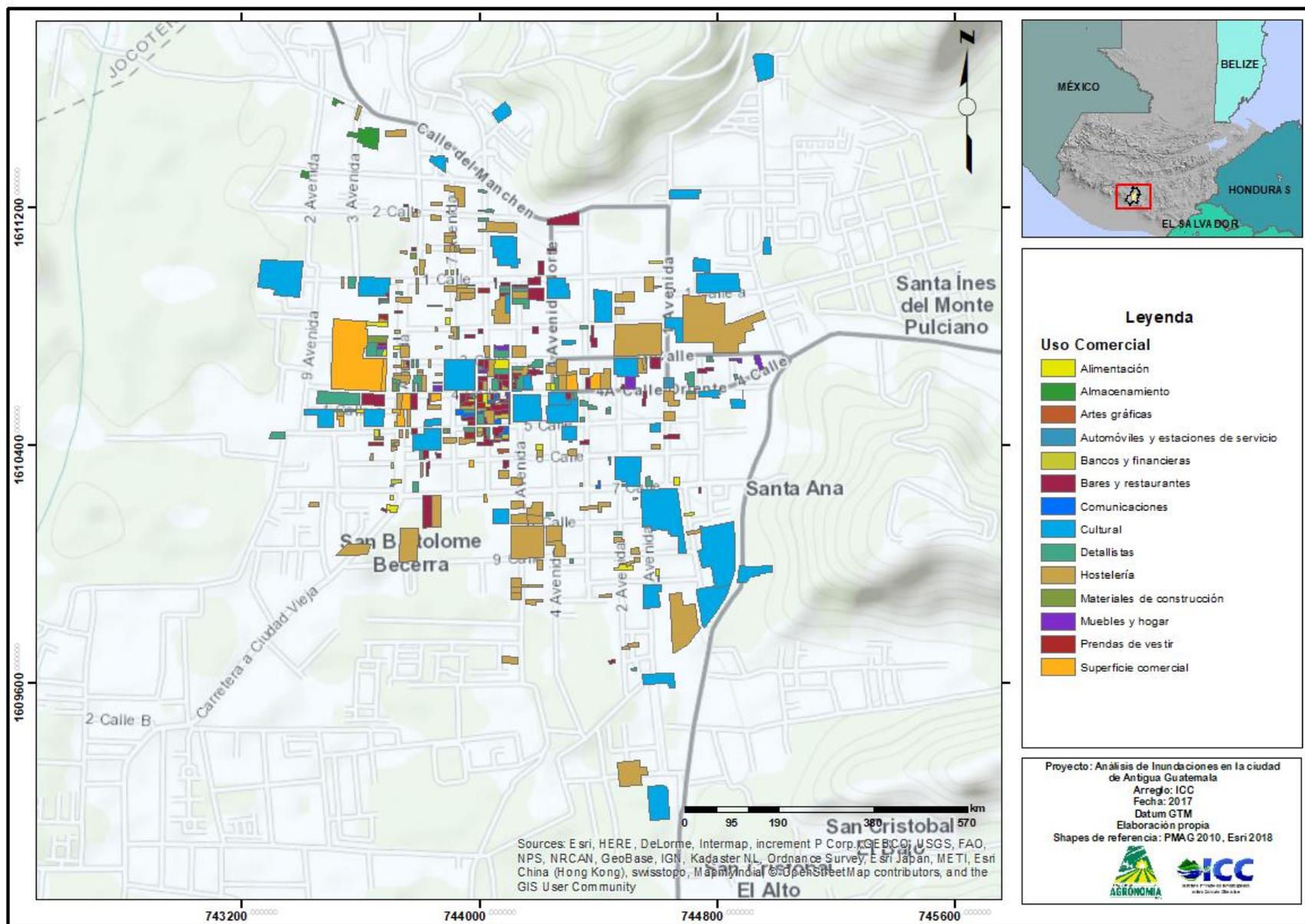


Figura 20. Mapa de ocupación del sector comercio dentro de la ciudad

f. Suelo no construido

El área de suelo no construido se conforma de 8 plazas, 48 lotes baldíos y 20 fincas agrícolas. La distribución de estos se muestra en la figura 21.

g. Alcantarillado y drenaje pluvial

El sistema de saneamiento de la ciudad de Antigua Guatemala posee al menos 300 años desde su creación. Debido al trazado ortogonal de la ciudad permitió desarrollar canales bajo sus calles que evacuaban el agua en forma de túneles, estos canales iban por el eje central de las calles empedradas fluyendo por gravedad (López García & Hernández, 2012).

El sistema de drenaje actual se construyó en los años sesenta del siglo pasado, éste comprendió tres sectores del área urbana al mismo tiempo. El drenaje se diseñó con tubería de cemento y colectores fundidos in situ con una sola descarga al río Guacalate, ubicando la infraestructura paralela al cauce de la conducción anterior, por el eje central de las calles (López García & Hernández, 2012).

El sistema utilizado fue el de drenaje combinado que conduce aguas pluviales y residuales conjuntamente. La planificación del drenaje se redujo al casco histórico actual y a la zona que colinda con Jocotenango. A partir de 1965 se continuó desarrollando los sistemas de drenajes a las aldeas vecinas (López García & Hernández, 2012).

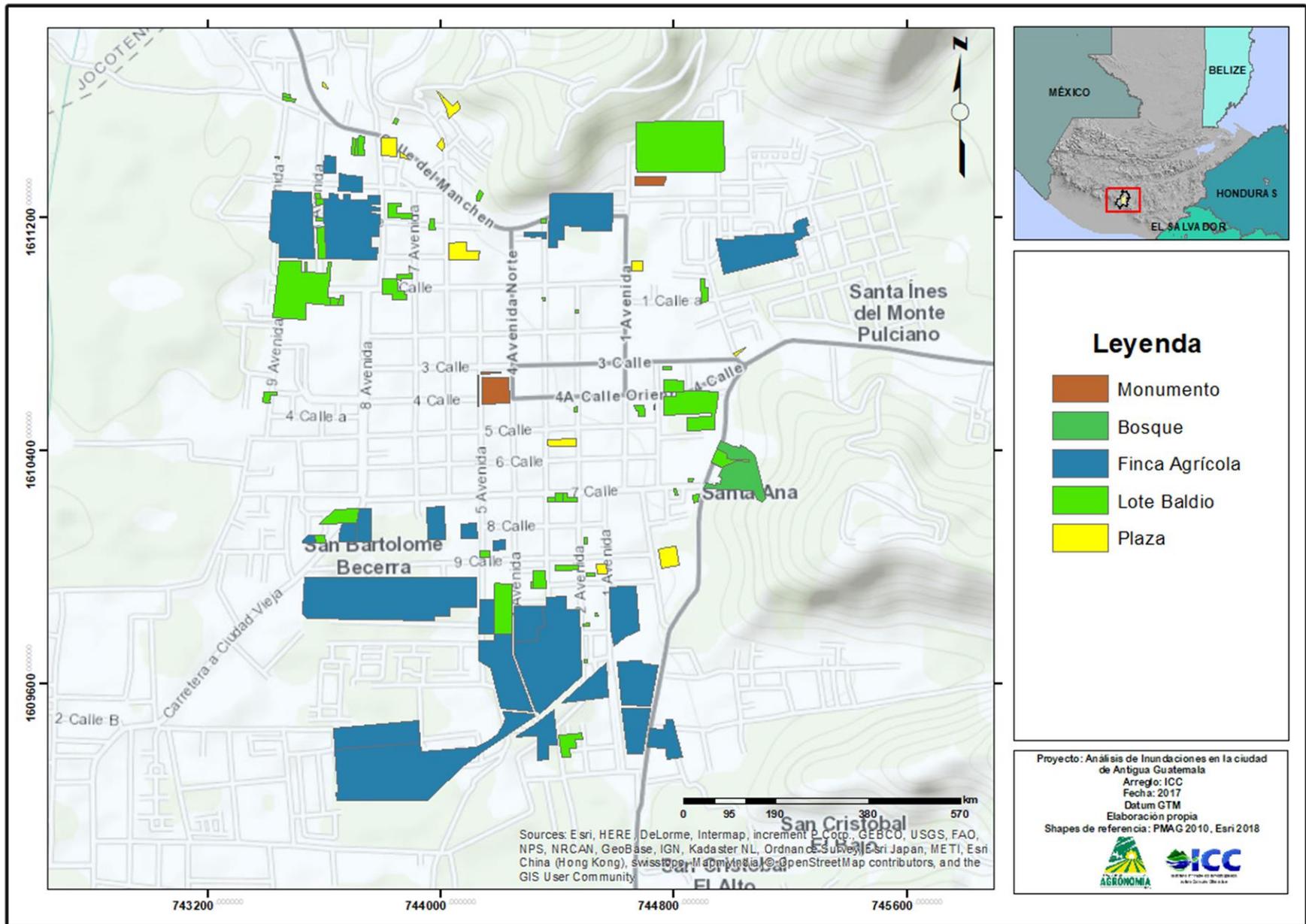


Figura 21. Mapa del suelo no construido dentro de la ciudad

El plan maestro indica que, aunque a lo largo del tiempo el sistema ha ido expandiéndose y modificándose, en algunas áreas aún es evidente la falta de capacidad hidráulica para soportar el volumen de agua pluvial que llega a la ciudad. La figura 22 muestra los diámetros del sistema drenaje actual de la ciudad.

Actualmente, el área urbana se ha expandido al punto de duplicar la de los años sesenta y la mayoría de las aldeas que conforman el área rural de la Antigua Guatemala han sido conectadas a la red principal, sin contar las lotificaciones que también se han agregado como la de los llanos con aproximadamente 1,100 viviendas (López García & Hernández, 2012).

El mismo plan maestro contiene datos estimados sobre los caudales máximos para la ciudad para los años de 2008, 2013 y 2030. Estos datos indican que en su mayoría el agua que se puede concentrar en la ciudad es de tipo pluvial, llegando a alcanzar hasta el 98 % del caudal. Estos datos se muestran en el cuadro 23.

Cuadro 23. Caudales máximos para la ciudad de Antigua Guatemala

Año	Caudal de aguas residuales (m³/s)	Caudal de aguas pluviales (m³/s)	Caudal total (m³/s)
2008	0.242	10.33	10.5720
2013	0.2618	13.47	13.7318
2030	0.3442	17.35	17.6942

Fuente: López García & Hernández, 2012.

Según este mismo estudio, define el drenaje de la ciudad como “un sistema de drenaje combinado en condiciones inadecuadas de funcionamiento hidráulico en la línea de descarga, y en la falta de sistemas de tratamiento de las aguas residuales generadas continuamente por los habitantes de la cabecera municipal de Antigua Guatemala (y demás aldeas aledañas), así como en la continua generación de aguas residuales industriales (de diversos tipos)”.

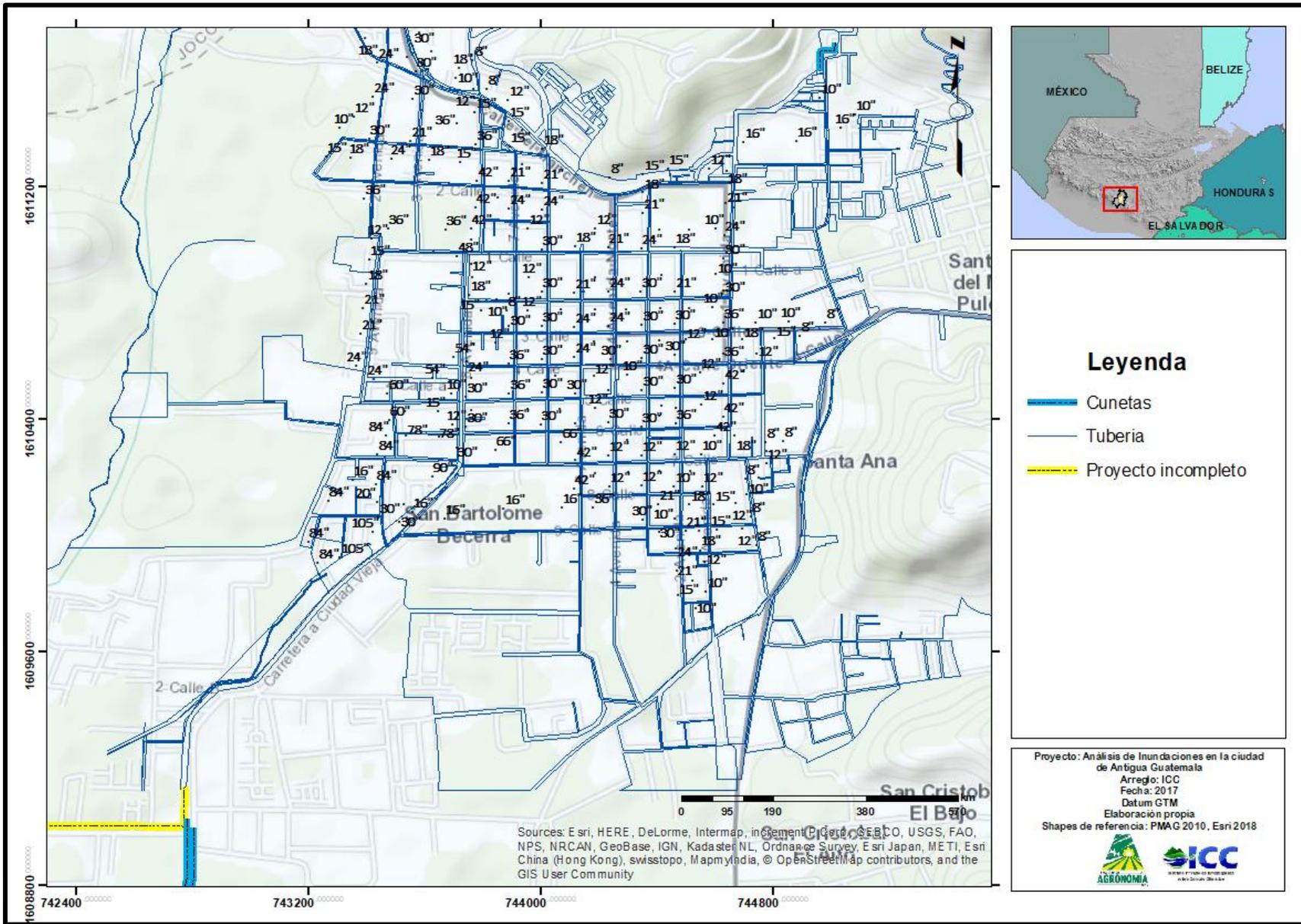


Figura 22. Mapa del sistema de drenaje urbano de la ciudad

h. Estado de edificación

El plan maestro de la Antigua Guatemala realizó la determinación del tipo de estado de las edificaciones de la ciudad, categorizando como bueno a los edificios sin desperfectos, regular a los inmuebles que necesitan algún tipo de reparación, malo a los edificios que se encuentran en estado de abandono y ruina monumental a edificaciones que forman parte del patrimonio cultural. La figura 23 muestra el estado actual de la edificación dentro de la ciudad.

2.2.3. Problemática sobre inundaciones

El problema de inundaciones en la ciudad de Antigua Guatemala siempre ha estado asociado al río Pensativo, puesto que ha sido el principal causante a lo largo de los años. La principal razón de la problemática se debe a que el río fue desviado de su cauce natural, probablemente en el momento de la fundación de la actual ciudad puesto que atravesaba la ciudad, el trazo del nuevo cauce se hizo en un ángulo de casi 90° con pendiente mucho menor que la natural y una anchura reducida lo que ocasionó cambios en el flujo natural del río, disminuyendo la velocidad de corriente y provocando desbordamientos y depósito anómala de sedimentos (López García & Hernández, 2012).

A lo largo del tiempo se han trabajado con distintas obras de protección y mitigación construidas a los márgenes del río, infraestructuras como gaviones y muros de protección ayudan a evitar el desbordamiento, adicionalmente se invierte una gran cantidad de recursos para desazolvar el cauce anualmente (COMRED, 2017). Con todas estas acciones se ha logrado establecer un nivel bajo de riesgo.

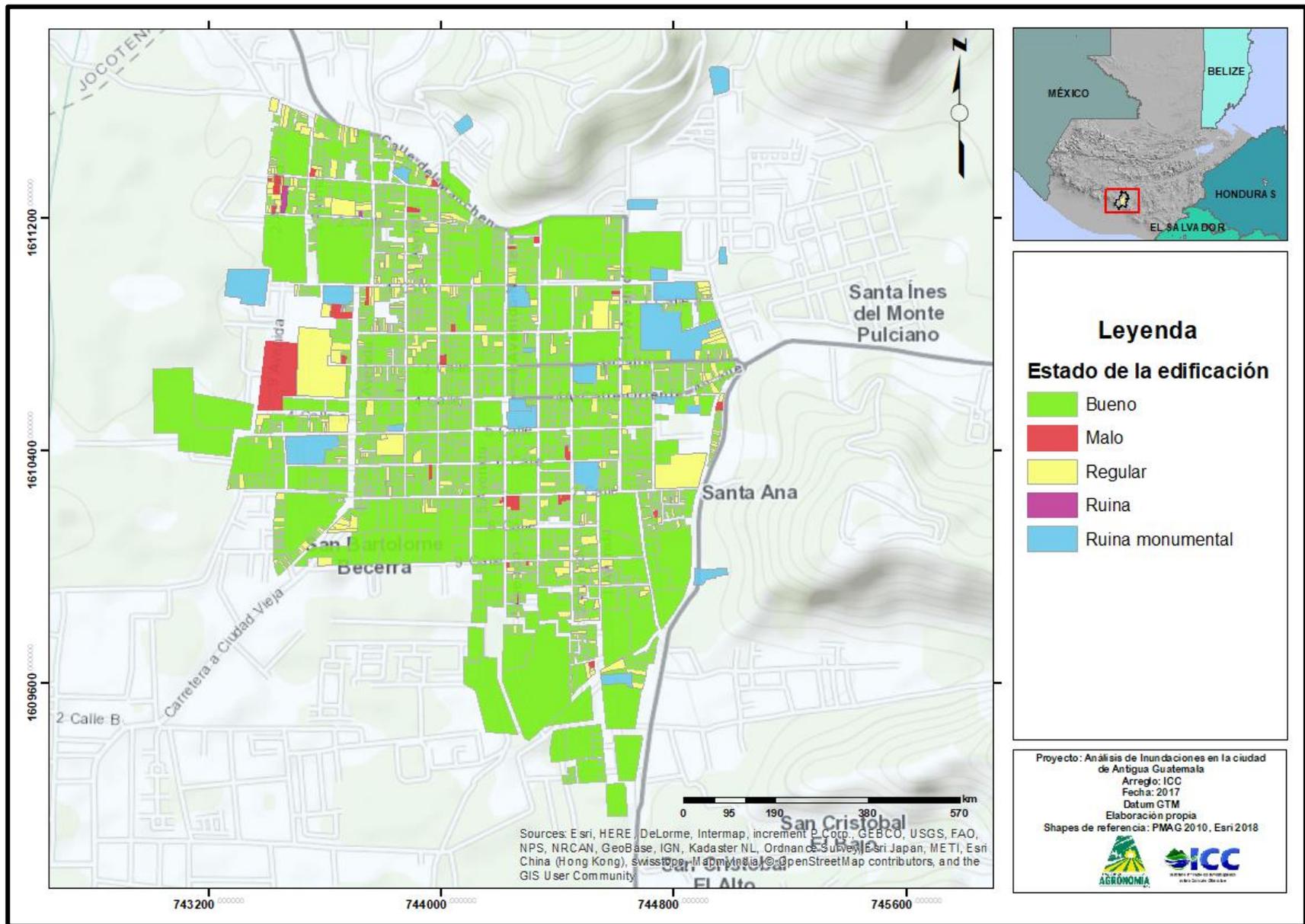


Figura 23. Mapa del estado de la edificación de Antigua Guatemala

Los primeros registros de inundaciones datan del año 1949, la mayoría de estos registros evidencian la antigua problemática del desborde del río pensativo, sin embargo, a partir del año 2010 a la actualidad las inundaciones no están asociadas a dicho río, pasando de ser un problema habitual en cada época lluviosa donde es común encontrarse con calles inundadas. Mediante la consulta en distintas fuentes de noticia como Prensa Libre y bomberos de Antigua Guatemala se elaboró una lista de las inundaciones que ha sufrido la ciudad (cuadro 24).

Según la Coordinadora Municipal para la Reducción de Desastres (COMRED), el desborde del río Pensativo se consideraba la principal causa de inundaciones en la zona con anterioridad. Sin embargo, en los últimos años la mayoría de las inundaciones en el casco urbano se han dado por la presencia de lluvias normales lo que evidencia la existencia de otros factores ajenos a dicho río.¹ La figura 24 muestra una línea del tiempo que reúne las inundaciones registradas dentro de la ciudad.

Por otro lado, el arrastre de sedimentos en épocas lluviosas afecta el municipio, produciendo azolvamiento y obstaculizando en gran medida la capacidad del drenaje urbano lo que también aporta a que este problema sea más severo (Quiroa, 2004). Adicional a esto, debido a que el municipio cuenta con un sistema de drenaje mixto, el colapso de la capacidad del drenaje urbano resulta más grave debido a la contaminación que se produce por la presencia de heces fecales y otros residuos que se mezclan con el agua de lluvia e inundan la ciudad (COMRED, 2017).

¹ Arriola J. 2017. Reunión para abordar la investigación de inundaciones pluviales en la ciudad de Antigua Guatemala. Guatemala. COMRED (Coordinadora Municipal para la Reducción de Desastres).

INUNDACIONES EN LA CIUDAD DE ANTIGUA GUATEMALA

ESCALA DE TIEMPO



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 24. Línea de tiempo de inundaciones en Antigua Guatemala

Cuadro 24. Historial de inundaciones en la ciudad de Antigua Guatemala

Año	Fecha	Daño
1949	1-Sep	Desbordamiento sobre el barrio Chipilapa, daños en la zona.
1950	28-Sep	Inundación en la ciudad de Antigua Guatemala
1951	8-Sep	Desbordamiento del río Pensativo
1951	20-Sep	Daños debido a la tormenta tropical George
1958	9-Oct	Daños en la ciudad de Antigua Guatemala
1970	9-Sep	Daños debido al huracán Ella
1881	06-oct	Daños en puentes, cultivos, ocasiona derrumbes
1896	29-sep	Dos días de lluvias, inundaciones en varios lugares, pérdidas considerables
1898	28-sep	Daños en fincas, por las fuertes lluvias
1933	1 y 8-oct	Inundaciones en Antigua Guatemala
1944	01-sep	Desborde del río pensativo sobre el barrio Chipilapa
1949	1-oct	Antigua Guatemala se inunda
1951	08-sep	Desborde del río y afecta infraestructura
1951	20-sep	Desbordamiento del río inunda calles y avenidas
1953	09-oct	Calles arrasadas por la fuerte corriente
1969	06-sep	Inundación, 50 muertos, 100 heridos en Antigua Guatemala
1979	30-jul	Desborde del río, inundación en varias casas por las lluvias
1985	05-sep	Río Pensativo se desborda, inundaciones en Antigua Guatemala
1998	30-oct	Inundaciones por el huracán Mitch. Daños a infraestructura
2010	13-jul	Fuertes lluvias producen inundaciones en las calles del municipio
2011	19-oct	El río Pensativo se desborda, afecta 20 casas en Antigua Guatemala asociada a Agatha
2012	Junio	Fuertes lluvias inundan calles
2013	4-sep	Fuertes lluvias inundan calles de Antigua Guatemala
2015	3 a 7 - jun	Fuertes lluvias inundan calles de Antigua Guatemala
2015	19-Oct	Antigua Guatemala, inundación debido a fuertes lluvias
2017	23-Oct	Fuertes lluvias inundan calles

Fuente: elaboración propia, 2017.

2.3. OBJETIVOS

2.3.1. Objetivo General

Realizar un análisis de riesgo a inundaciones pluviales en el casco urbano del municipio de Antigua Guatemala, Sacatepéquez.

2.3.2. Objetivos Específicos

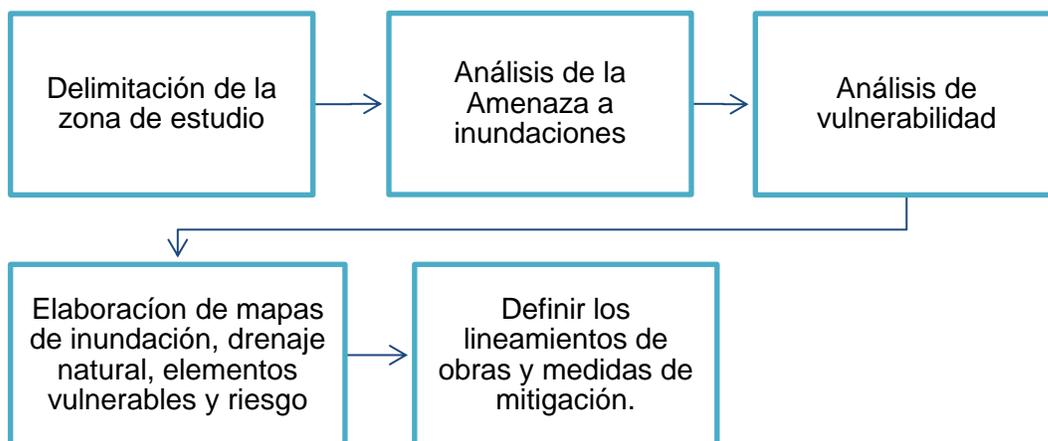
1. Analizar la amenaza la ciudad de Antigua Guatemala ante inundaciones pluviales.
2. Analizar la vulnerabilidad la ciudad de Antigua Guatemala ante inundaciones pluviales.
3. Mapear las zonas de riesgo a sufrir inundaciones pluviales dentro del casco urbano de la ciudad de Antigua Guatemala.
4. Definir lineamientos de obras y medidas de mitigación respetando el marco legal local.

2.4. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la investigación se trabajó inicialmente con el análisis de amenaza mediante una zonificación de misma. El punto de partida fue la determinación de zonas inundables en base a factores naturales, la determinación de caudales y volumen de agua acumulada mediante el desarrollo del modelo Hec-Hms, la elaboración de la mancha urbana y el análisis del sistema de drenaje actual en la ciudad.

La vulnerabilidad se analizó mediante la información recabada en las encuestas a la población identificada dentro del área inundable y las entrevistas con actores claves. Los resultados de dicho proceso validaron la información de amenaza trabajada con anterioridad y dio insumos para determinar el tipo de vulnerabilidad al cual está sujeta el área de estudio, además de corroborar el inventario de estructuras, viviendas y calles afectadas para la clasificación del nivel de daño. Toda esta información fue expresada mediante un mapa de elementos vulnerables.

A partir de la información generada sobre amenaza y vulnerabilidad se elaboró el mapa de riesgo y se determinaron lineamientos sobre los cuales se recomienda trabajar futuras obras o medidas de mitigación. La figura 25 muestra de manera esquemática la metodología a utilizar para la investigación.



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 25. Diagrama metodológico para el análisis de riesgo a inundaciones pluviales en la ciudad de Antigua Guatemala

2.4.1. Delimitación de la zona de estudio

La delimitación de la zona de estudio contempla toda la ciudad de Antigua Guatemala puesto que es dentro de sus límites donde suceden las inundaciones pluviales. Sin embargo, la zonificación se enfatizó principalmente en el recorrido y dirección de la inundación dentro de las calles de la ciudad y no en la delimitación sociopolítica.

2.4.2. Análisis de la amenaza

A. Búsqueda de documentación histórica

En esta parte se recopiló información documental sobre investigaciones, noticias y trabajos realizados sobre inundaciones en la zona de estudio. Los documentos consultados también incluyeron análisis de cuencas del río Pensativo y Guacalate, ya que estos brindan información importante sobre las corrientes y la topografía del terreno que pueden intervenir en la problemática.

B. Definición del drenaje natural

Para determinar las corrientes que forman parte del drenaje natural de la zona y la dirección en la que estas llegan a la ciudad se utilizó el software ArcGis, este permite un análisis geográfico de la zona, adicionalmente contiene herramientas hidrológicas que definen la dirección de la escorrentía en función de la topografía del terreno. Con este proceso se logró una visualización más clara de las corrientes externas que transporten flujos de agua, generando o aportando a la problemática local.

C. Determinación de la mancha urbana

Para determinar la dinámica en la que la urbanización ha ido aumentando sus límites a lo largo de los años, se trabajó con datos obtenidos de la revisión de documentación histórica e imágenes satelitales que luego fueron digitalizadas por medio de ArcGis. La mancha urbana permitió analizar el espacio geográfico de la ciudad y su impacto en las de inundaciones urbanas actuales.

D. Elaboración del mapa de amenaza natural a inundaciones

La zonificación de amenaza se trabajó con una modificación a la metodología de determinación de riesgos de desastres a nivel territorial del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y Grupo de Evaluación de Riesgo de la Agencia de Medio Ambiente (AMA).

Esta metodología asigna un valor a cada parámetro evaluado para obtener una ponderación final que indica el nivel de amenaza de cada zonificación obtenida. Todo el proceso se trabajó con el software ArcGis. La metodología solo incluye factores naturales del entorno; no contempla ningún impacto o modificación por áreas urbanas. La ponderación de cada parámetro se indica en el cuadro 25.

E. Modelación hidrológica

Para ejecutar dicho modelo se utilizó el software ArcGis junto a la extensión Geo-HechMS en donde se desarrolló todo el reproceso junto a los cálculos de distintos parámetros que luego fueron introducidos al software Hec-HMS donde se llevó a cabo la simulación. Los parámetros requeridos que se calcularon son el tiempo de concentración, tiempo de retardo y número de curva.

Cuadro 25. Factores y ponderación para la evaluación de amenaza

No.	Parámetro	Descripción	Valor	Valor final
1	Precipitación	1000 mm - 1200 mm	2	0 - 3.8 Bajo
		900 mm – 1000 mm	1.5	
		800 mm – 900 mm	1	
2	Geomorfología	Cuerpo y talud de abanico	1.7	
		Cuerpo abanico	1.2	
		Ladera	0.1	
		Plano inclinado	0.1	
3	Pendiente	0 % a 7 %	1.2	
		7 % a 12 %	0.9	
		Mayor a 12 %	0.5	
4	Textura	Arenosa	0.2	3.8 - 6.5 Medio
		Ceniza	0.2	
		Ceniza sobre arcillosa	0.5	
		Medial	0.5	
		Franco gruesa	0.8	
		Medial sobre arcillosa	0.8	
5	Drenaje	Bien drenado	0.5	6.6 - 10 Alta
		Moderado	0.5	
6	Materia parental	Aluviones cuaternarios	1	
		Terciarios	0.8	
7	Uso actual	Bosque	0	
		Agricultura	0.6	
8	Humedecimiento	Suelo con humedecimiento	0.6	
		Suelo sin humedecimiento	0.1	

Fuente: elaboración propia, 2017.

a. Tiempo de concentración

Para determinar este parámetro utilizaron tres métodos; Kirpich, California Culverts y el de Federal Aviation Administration. El método Kirpich fue desarrollado en el año de

1940 a partir de información del SCS (MTC Perú, n.d.). La fórmula se basa en la longitud del cauce y la diferencia de elevación del cauce:

$$T_c = \frac{3L^{1.15}}{154H^{0.38}} [\text{min}]$$

Donde:

- Tc es el tiempo de concentración (min)
- L es la longitud (m)
- H es el desnivel del cauce (m)

El método California Culverts fue desarrollado en 1942 adaptado a las pequeñas cuencas montañosas de California, se basa esencialmente en la ecuación de Kirpich (MTC Perú). La fórmula es la siguiente:

$$T_c = 0.0195 \left[\frac{L^3}{H} \right]^{0.385} [\text{min}]$$

Donde:

- Tc es el tiempo de concentración (min)
- L es la longitud del cauce (m)
- H es el desnivel del cauce (m)

El método de la Federal Aviation Administration se desarrolló en 1970 de información sobre el drenaje de aeropuertos, se elaboró con la intención de ser usado para problemas de drenajes de aeropuertos, sin embargo, se adapta muy bien a flujo superficial en cuencas urbanas (MTC Perú). Este método toma en cuenta la pendiente del terreno, la longitud del flujo y el coeficiente de escorrentía:

$$T_c = 0.7035 \frac{(1.1-C)L^{0.50}}{S^{0.33}} [\text{min}]$$

Donde:

- Tc es el tiempo de concentración (min)
- L es la longitud del cauce (m)

- C es el coeficiente de escorrentía por el método racional
- S es la pendiente del terreno (m/m)

b. Tiempo de retardo

El tiempo se calculó mediante la siguiente fórmula. El tiempo de retardo es básicamente el 60 % del tiempo total de concentración.

$$Tlag = Tc * 0.6 \text{ [min]}$$

Donde:

- Tlag es el tiempo de retardo (min)
- Tc es el tiempo de concentración (min)

c. Número de curva

Para determinar este factor se utilizó el software ArcGis y los shapes de uso del suelo junto a la tabla de valores para número de curva del método NRCS, el cual da valores de permeabilidad del suelo en función de las características hidrológicas del suelo y su uso.

d. Precipitación máxima para tiempos de retorno

Para poder contar con datos de precipitación se determinaron las precipitaciones para los tiempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años mediante una distribución de probabilidades de Gumbel. Para este proceso se utilizaron datos de la estación meteorológica de Anacafé, ubicada en el municipio de Antigua Guatemala.

e. Corrimiento del modelo hidrológico

Para correr la modelación se utilizó el software Hec-HMS en su versión 4.2.1. dónde se introdujeron todos los datos anteriormente descritos y se realizaron las simulaciones para los distintos periodos de retorno. Los resultados de este modelo son los caudales máximos de entrada y dentro de la ciudad, y el volumen de agua acumulado en cada microcuenca.

El cálculo de los caudales se basó en un tiempo de lluvia igual al tiempo de concentración, mientras que para el volumen de agua acumulado se utilizó un promedio de la distribución de la lluvia en la zona, esto último con datos de la estación de Anacafé. Es debido a esto último, que la proyección de volumen de agua de lluvia solo pudo ser calculada para tiempos de retorno menores a diez años, ya que no se contaba con registros que sobrepasaran dicho umbral.

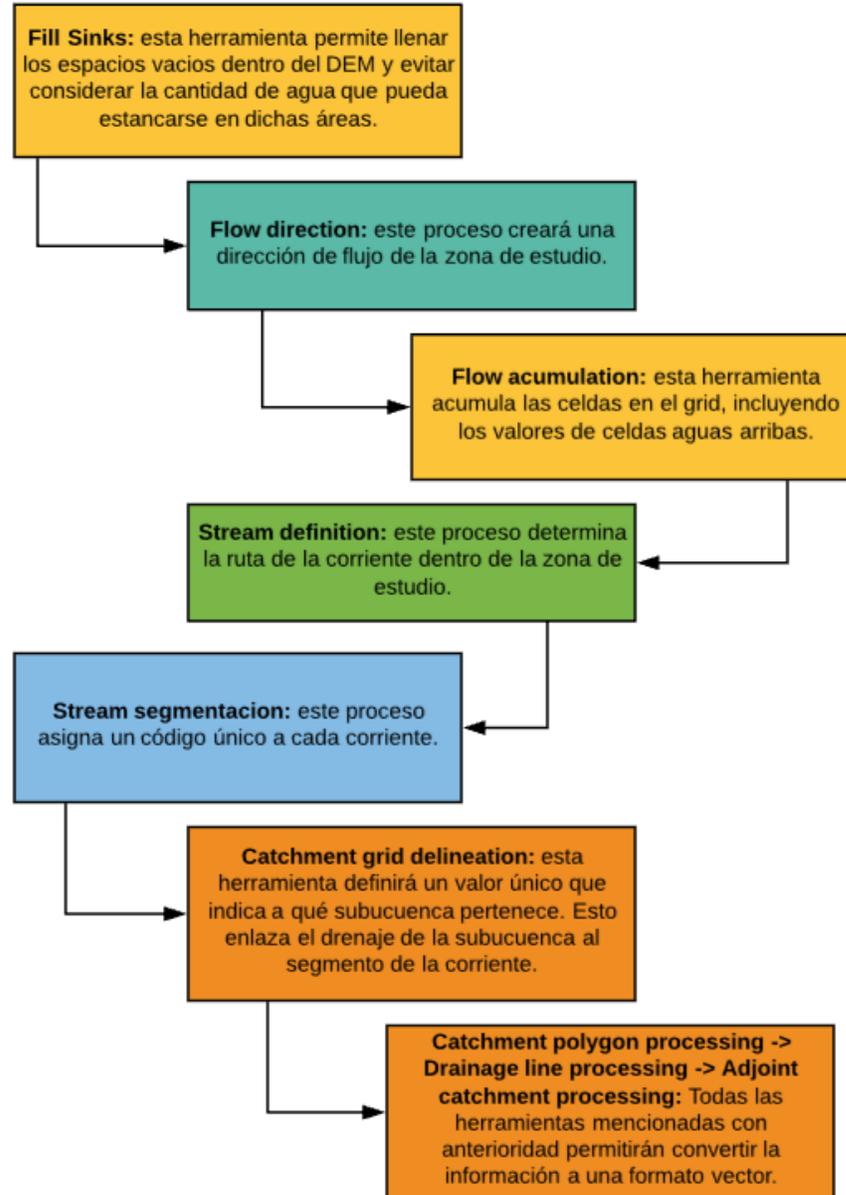
El proceso se divide en dos fases; Hec-geoHMS que se trabajan en conjunto con el software ArcGis y Hec-HMS donde los datos trabajados con anterioridad se exportan dicho programa y se configuran los datos para la obtención de los datos de caudales y volumen de agua acumulados.

i. Reprocesamiento

En esta fase se delimitó las microcuencas, las corrientes de drenaje y la dirección de las mismas. Para esto se siguió una serie de pasos descritos en la figura 26.

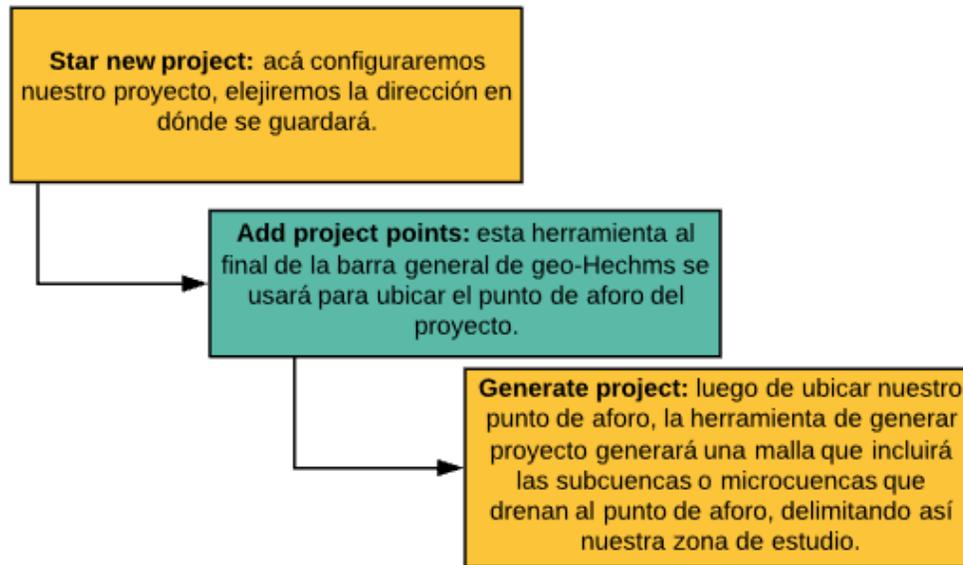
ii. Configurar proyecto

Luego de terminar el reprocesamiento se creó y configuró el proyecto, esto creó una base de datos donde se almacenó toda la información que se genere. La figura 27 detalla los pasos a seguir.



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 26. Diagrama de procesos para la parte de reprocesamiento en Hec-geoHms

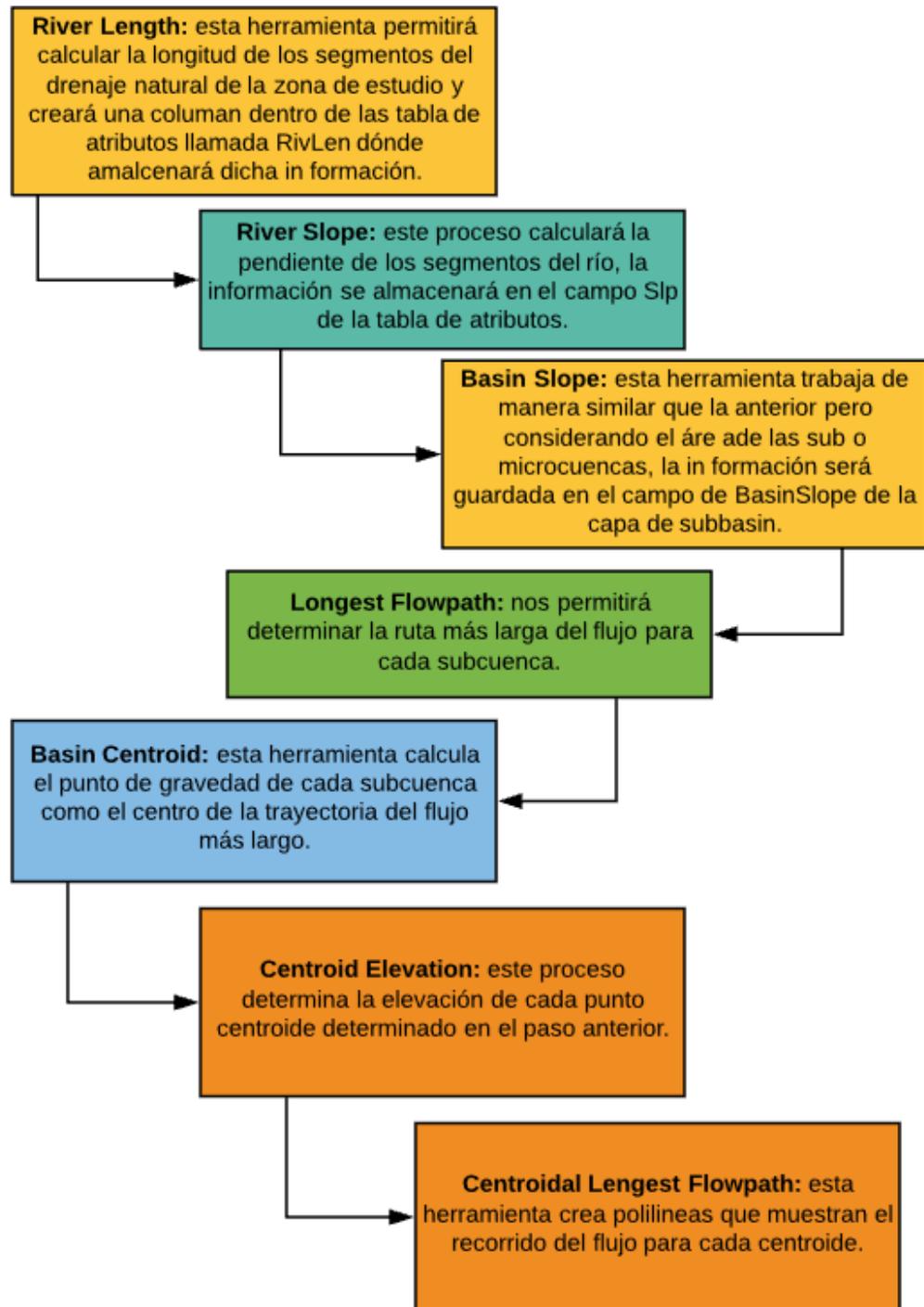


Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 27. Diagrama de procesos para configurar un nuevo proyecto en Hec-geoHms

iii. Características del terreno

En esta fase se trabajaron las características principales del terreno como el largo de la corriente principal y los centroides de cada microcuenca que serán insumos para futuros procesos en el modelamiento. Los pasos se describen en la figura 28.

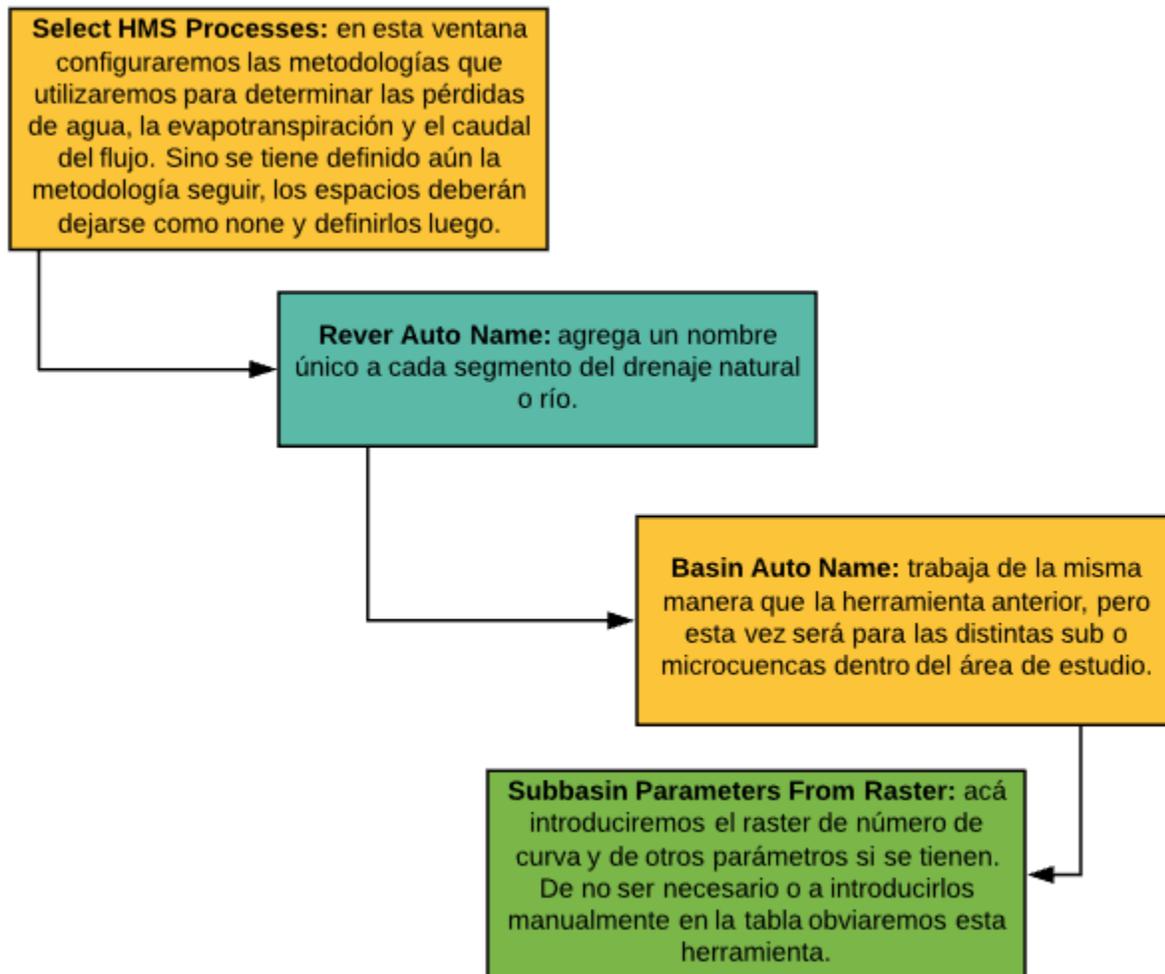


Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 28. Diagrama de procesos de características del terreno en Hec-geoHms

iv. Parámetros

En esta parte se configuraron los métodos que posteriormente se utilizaron para el cálculo de caudales y volumen de agua en Hec-Hms, el proceso se describe en la figura 29.

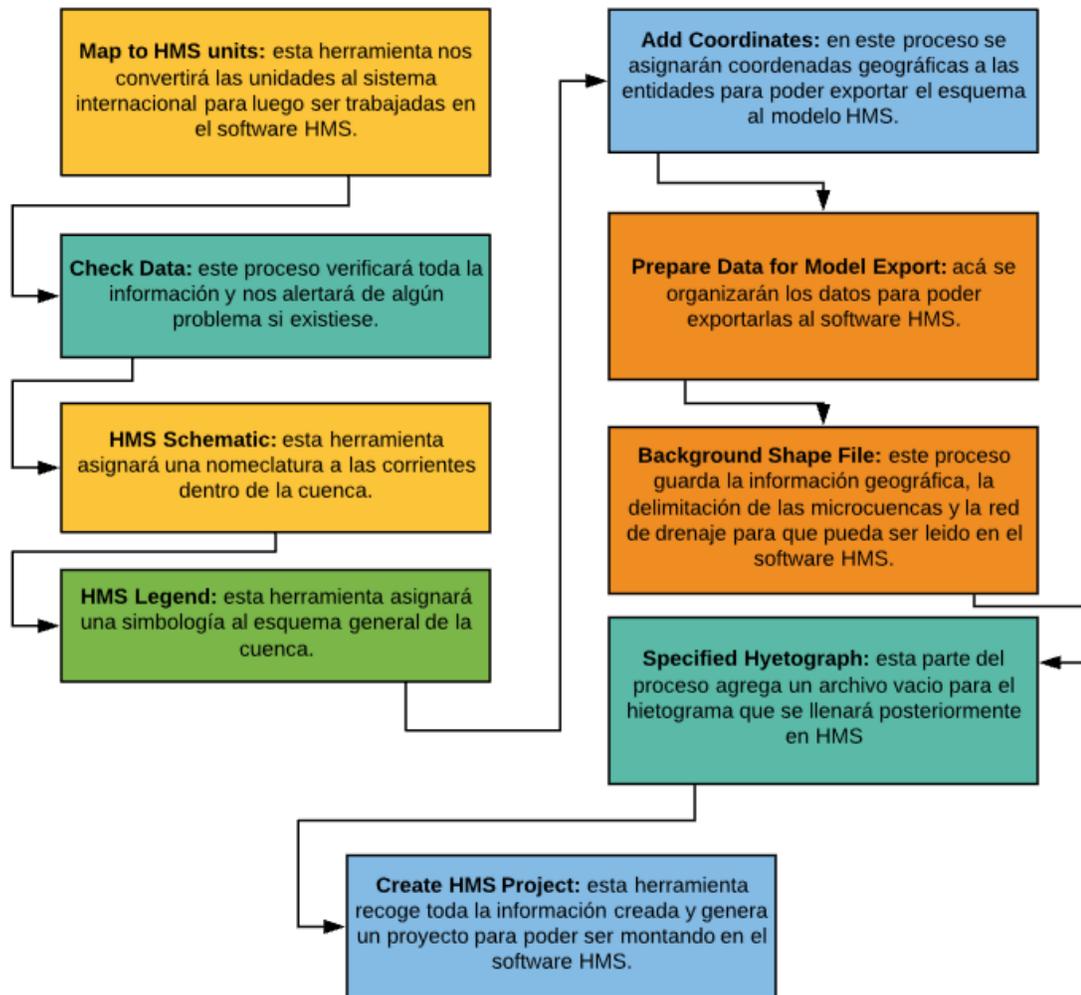


Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 29. Diagrama de procesos para la configuración de parámetros en Hec-geoHms

v. Configuración final e importación del modelo Hec-Hms

En esta serie de procesos termina de configurarse el modelo base para ser importado al software Hec-Hms donde posteriormente se trabajaron los cálculos de caudales y volumen. La figura 30 detalla los pasos a seguir.

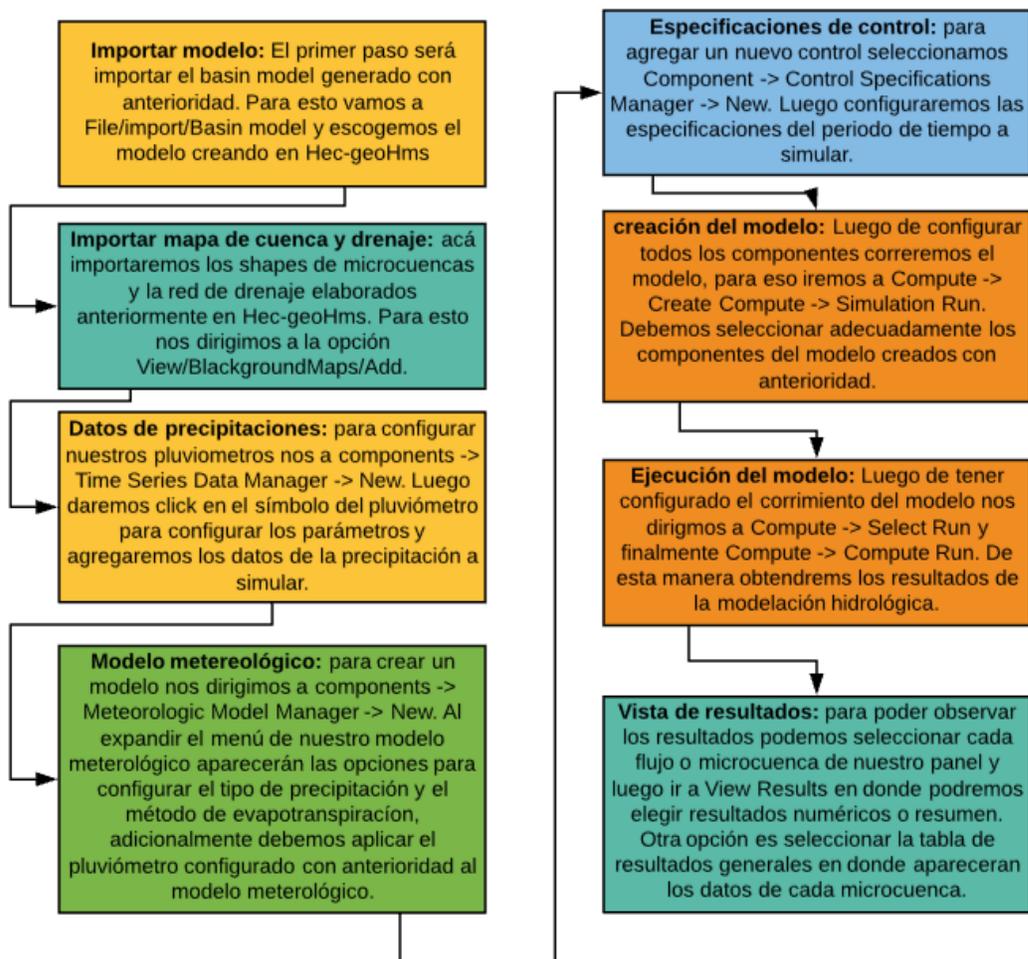


Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 30. Diagrama de procesos para la configuración final e importación de Geo-hecHms a Hec-Hms

vi. Corrimiento del modelo en Hec-Hms

una vez que los datos se importaron de ArcGis mediante la extensión Geo-hecHms, se procedió a correr el modelo en el software Hec-Hms, para esto se configuraron los controles de tiempo, precipitación, la simulación de la tormenta, etc. La figura 31 muestra dichos procesos.



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 31. Diagrama de procesos para cálculo de escorrentía y volumen de agua acumulado

2.4.3. Análisis de vulnerabilidad

A. Inventario de elementos en riesgo

Se elaboró un inventario de los edificios, viviendas, centros de comercio, servicios, etc. que se ubiquen dentro de la zona de estudio, esto con el fin de determinar todos los elementos en riesgo a sufrir daños por inundaciones. Estos elementos se representaron en un mapa de elementos vulnerables a inundaciones dentro de la ciudad.

B. Encuesta a sectores afectados

Para poder recabar la percepción comunitaria de la problemática y validar la información determinada en el análisis de inundaciones, se realizaron encuestas en las viviendas y comercios ubicadas en las calles inundables de la ciudad. Las encuestas incluyeron aspectos económicos y altura de inundaciones, los datos recabados se utilizaron para la determinación de la vulnerabilidad económica y el mapa de altura de inundaciones en las distintas calles.

C. Análisis del sistema de drenaje urbano

Para este análisis se utilizaron los planos del sistema de drenaje dentro de la ciudad, obtenidos de la municipalidad de Antigua Guatemala y el Plan Maestro de la ciudad. Esta información permitió determinar los puntos más vulnerables en función del diámetro de la tubería. Con esta información se procedió a la elaboración de un mapa del sistema que muestra las principales calles y puntos críticos del drenaje urbano.

Adicional a esto, se realizó una georreferenciación de los tragantes dentro y alrededor de las calles inundables, con el fin determinar si estos tienen una relación con la ruta de inundación actual y el impacto en la dinámica de esta.

D. Entrevista con actores claves

Con el fin de recabar información real y verídica sobre las inundaciones urbanas, se entrevistaron a personas de la ciudad que tengan conocimiento y experiencia en el tema, principalmente personas que tengan un tiempo largo de estadía en la zona y hayan vivido la evolución de esta problemática, también se incluyeron los aportes de instituciones involucradas en la problemática como COMRED, CNPAG y La municipalidad de Antigua Guatemala.

2.4.4. Determinación de riesgo.

La evaluación de riesgo se determinó en función de la vulnerabilidad económica y la altura de inundación dentro de la ciudad como el factor amenaza, esto debido a que al ser una zona pequeña no se tienen demasiados factores que varíen. Los resultados de esta ponderación se representaron en un mapa final que muestra las zonas más críticas en las inundaciones de la ciudad. El cuadro 26 muestra los valores considerados para la zonificación de riesgo.

Cuadro 26. Ponderación de factores para determinar el nivel de riesgo en la ciudad de Antigua Guatemala

Altura de Inundación	Valor (amenaza)	Uso del sector (valor de vulnerabilidad económica)	Valor	Valor de riesgo	Valor total
10 - 20.	0.2	Hostelería	0.2	Bajo	0 - 0.4
20 - 30	0.4	Residencial	0.4		
30 - 45	0.6	Servicios	0.6	Medio	0.4 - 0.6
45 - 70	0.8	Comercial	0.8		
70 - 90	1	Bares y restaurantes	1	Alto	0.6 - 1

Fuente: elaboración propia, 2017.

$$Riesgo = Amenaza \text{ (altura de inundacion)} * Vulnerabilidad \text{ (económica)}$$

Adicional a esto también se incluyó las zonas afectadas anteriormente por el desborde del río pensativo puesto que, aunque no es el objetivo principal del estudio forma parte de la zonificación de riesgo de la ciudad.

2.4.5. Definición de los lineamientos de obras y medidas de mitigación

En esta etapa se definirán posibles obras o medidas de mitigación, para ello fue necesaria el análisis de toda la información de las etapas anteriores, además de la consideración del marco legal al que la ciudad se encuentra sujeta debido a su distinción como patrimonio cultural de la nación y de la humanidad.

2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.5.1. Delimitación de la zona de estudio

Basado en el recorrido de las calles inundables, se delimitó como área de estudio toda la ciudad de Antigua Guatemala. La escorrentía proveniente de las afueras de la ciudad entra al casco directamente y atraviesa toda la ciudad hasta la calle El Panorama, salida a Ciudad Vieja. La figura 32 muestra el área urbana de Antigua Guatemala.

2.5.2. Determinación de la mancha urbana

La ciudad de Antigua Guatemala ha tenido una dinámica de crecimiento distinto en cuánto a población se refiere, debido a que el número de habitantes ha disminuido. Para el año 1680 la población era de 26,750 habitantes y para el año 2002 se redujo hasta 15,007 habitantes (López García & Hernández, 2012). Sin embargo, al ser una ciudad altamente visitada existe un aumento de comercios y servicios que impactan significativamente en la expansión de la frontera urbana.

Es importante mencionar que el aumento del área urbana tiene serias implicaciones en el equilibrio hidrológico natural debido al crecimiento del área impermeable dentro de la ciudad. Entre los impactos más fuertes se encuentran: el aumento de caudales picos, volúmenes y velocidades de escorrentía superficial más elevados, intensificación de inundaciones y la interrupción de la recarga natural de acuíferos (Tucci, 2006).

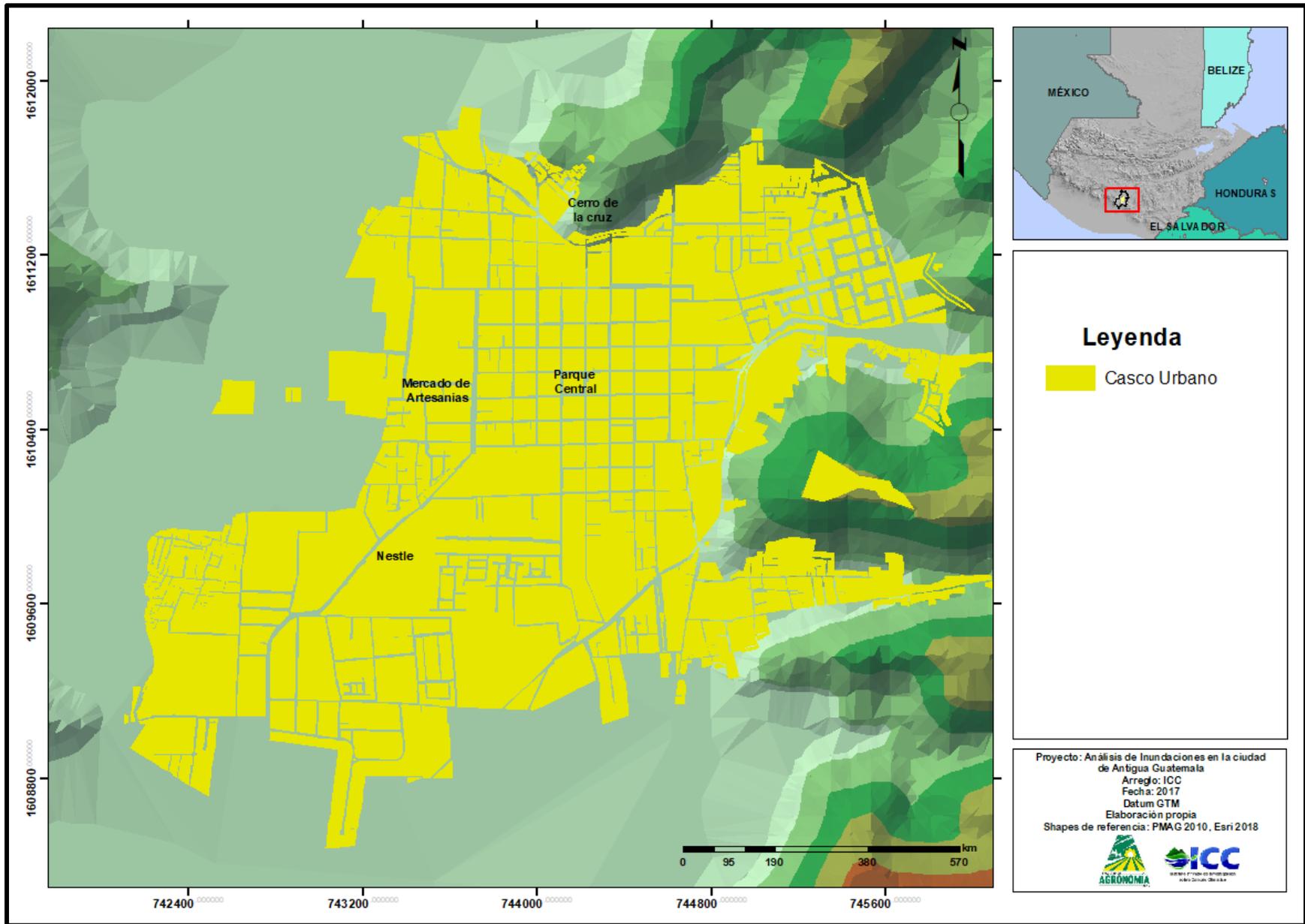


Figura 32. Mapa de delimitación del casco urbano de la ciudad de Antigua Guatemala

Para el siglo XVI el área urbana de la ciudad cubría solo 27 ha que aumentaron enormemente para el siglo XVIII dónde la ciudad tuvo su mayor crecimiento, alcanzando las 307.86 ha; actualmente en el año 2017, la ciudad ocupa un total de 553.92 ha. Estos datos pueden apreciarse en el cuadro 27 y la figura 33.

Cuadro 27. Crecimiento histórico del área urbana de la ciudad de Antigua Guatemala

Siglo	Área (m²)	Área (ha)
XVI	269997	26.9997
XVII	740833	74.0833
XVIII	3078671	307.867
XX	4598370	459.837
XXI (año 2017)	5564058	556.40

Fuente: Elaboración propia, 2017

2.5.3. Zonas permeables dentro de la ciudad

Para el año 2017 la ciudad de Antigua Guatemala cuenta con pequeños espacios permeables dentro de la ciudad que alcanzan solamente 122.39 ha, ocupando el 22 % del área total. Visto de otra manera, el porcentaje de impermeabilización de la ciudad es de 78 % conformado por 434.01 ha.

2.5.4. Drenaje natural

Existen dos zonas de drenaje natural que pueden afectar a la ciudad, la parte sureste y este. La primera transporta agua de Guardianía, El Hato y las partes altas de la zona que por escorrentía generada a partir de una precipitación, aporta un flujo de agua considerable a la ciudad, mientras que la parte este dirige todos canales naturales de escurrimiento al río Pensativo, evitando el contacto con la ciudad y por ende, no aportando a la dinámica de inundaciones pluviales.

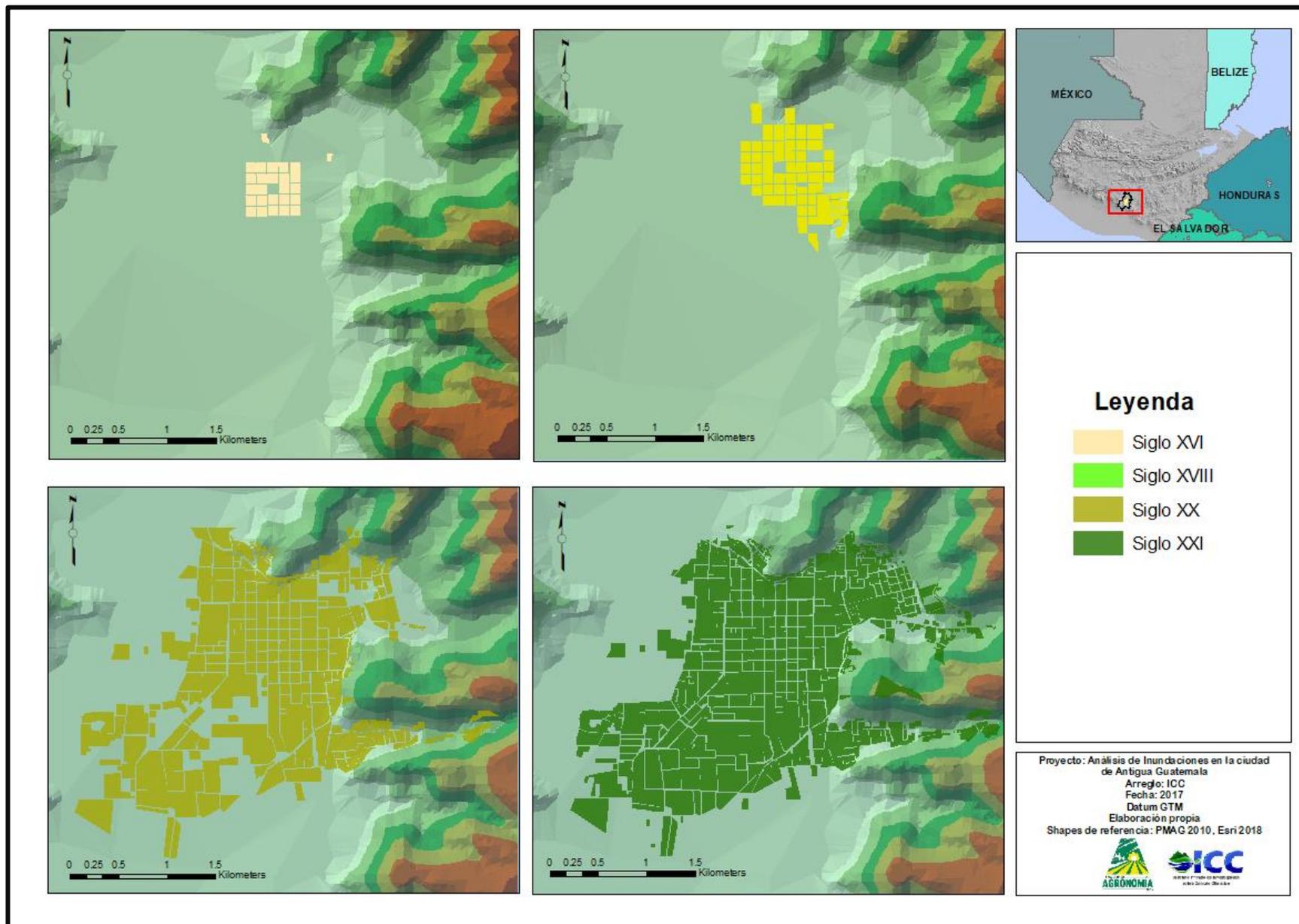


Figura 33. Mapa del crecimiento urbano de la ciudad de Antigua Guatemala

La sección drenante al río pensativo no representa actualmente motivo de inundaciones debido a que, como ya se mencionó, no ha sido motivo de inundación desde el año de 1985 (cuadro 6), excepto en casos de eventos meteorológicos extremos. Por otro lado, la parte noreste del presenta una red corrientes que desemboca directamente en la ciudad. A partir de esta información se trabajó el modelo hidrológico, el cuál determinó la dirección del flujo dentro de la ciudad, la velocidad y el volumen del mismo. La figura 34 muestra la dirección de drenaje de ambas zonas.

2.5.5. Zonificación de amenaza a inundaciones

La aplicación de la metodología PNUD-AMA en la zona de estudio, revela un alto grado de amenaza para el valle aluvial donde se encuentra ubicada toda la ciudad. Los factores naturales de la zona, principalmente la pendiente, condicionan al valle como zona inundable debido a que el excedente de agua que no puede infiltrarse en el suelo drena en forma de escorrentía, desde las partes altas hasta llegar al casco urbano.

Es importante aclarar que esta metodología considera principalmente aspectos naturales y fisiográficos de la zona de estudio, sin incluir el impacto de la urbanización; un factor que claramente agudiza y maximiza la magnitud de los problemas de inundaciones locales debido al grado de la impermeabilización que propicia el aumento de una serie de situaciones ya mencionadas en el apartado de mancha urbana.

Sin embargo, la información permite entender que la ciudad ya posee un alto grado de vulnerabilidad de forma natural, lo que a su vez evidencia que es necesario trabajar en lineamientos, obras estructurales y mejoras que permitan mermar la cantidad de escorrentía generada y a su vez el impacto negativo dentro de la ciudad, esto requiere un trabajo integral e inclusivo de toda la zona; tanto de las microcuencas drenantes como dentro de la ciudad..

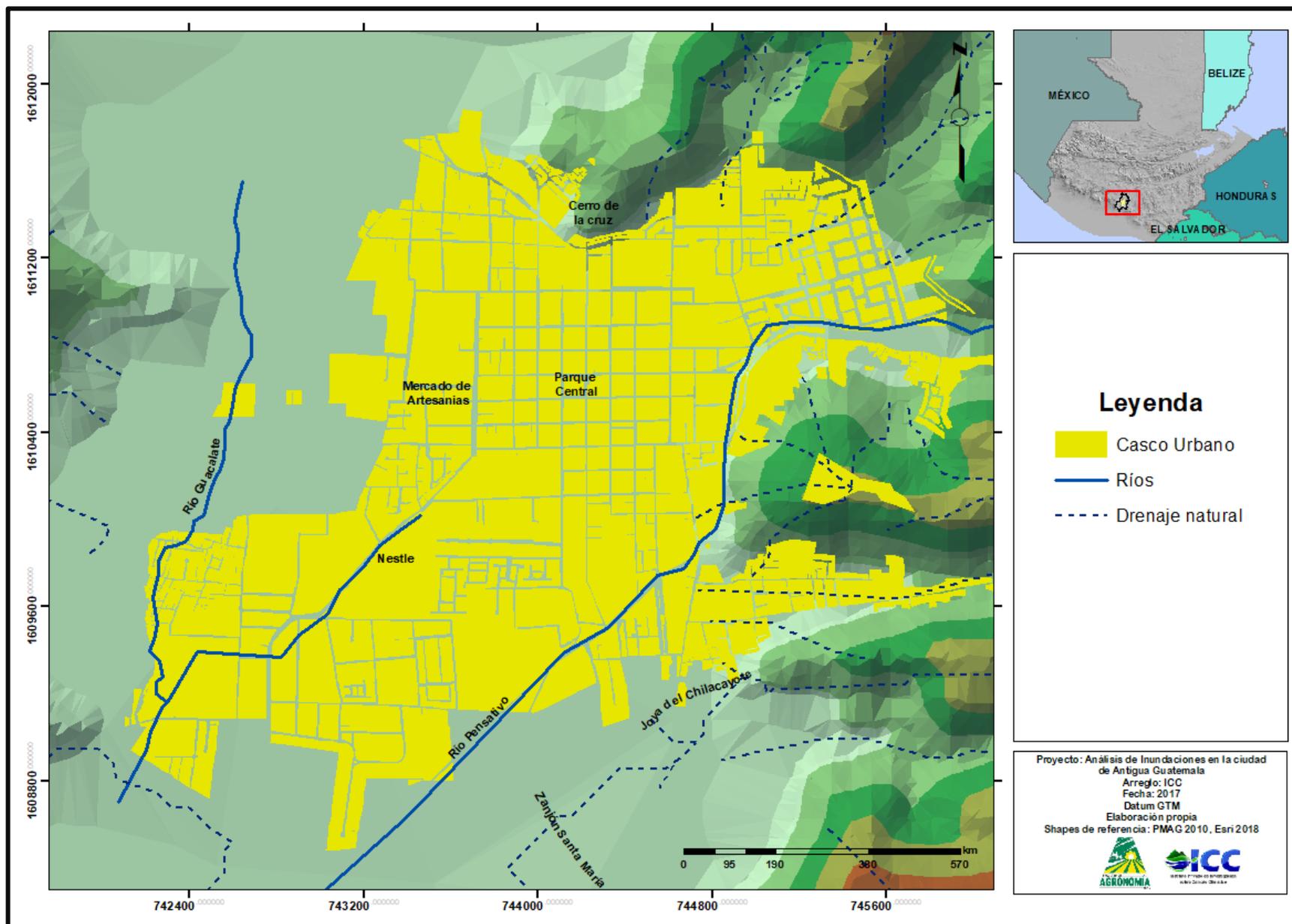


Figura 34. Mapa del drenaje natural y ríos en la ciudad de Antigua Guatemala

La figura 35 muestra la delimitación de riesgo a inundaciones por factores naturales en la zona, donde se observa como la ciudad se encuentra ubicada dentro de una zona con alto riesgo a sufrir inundaciones.

2.5.6. Modelo hidrológico

A. Microcuencas drenantes

Mediante el uso de la herramienta Hec-geoHms se obtuvieron las microcuencas que drenan un flujo de escorrentía pluvial hacia la ciudad de Antigua Guatemala; siendo la microcuenca de guardianía, El Hato y una pequeña microcuenca boscosa.

De las cuatro microcuencas, tres drenan escorrentía hacia la ciudad, principalmente en la época lluviosa. Adicional a esto, el flujo de agua trae consigo gran cantidad de ceniza volcánica; debido a la cercanía al volcán de fuego, la zona recibe constantemente partículas volcánicas. Debido a esto, la capa superficial del terreno se conforma de dicho material que al entrar en contacto con la escorrentía pluvial es arrastrado hasta la ciudad.

La falta de material herbáceo o gramíneo no permite la mitigación de este problema sino al contrario, propicia la erosión superficial que termina por azolvar los tragantes dentro de la ciudad y acumula gran cantidad de ceniza en las calles de la ciudad.

La microcuenca Guardianía es la zona más urbana de las tres microcuencas drenantes por lo que se considera como prioridad para trabajar obras que permitan mermar este problema tales como una reforestación de la zona con especies con alta capacidad de retención acompañado de un sotobosque que disminuya el transporte del material volcánico, además de pozos de retención, sedimentación y filtración, técnicas agrícolas de conservación de agua y suelo, entre otros.

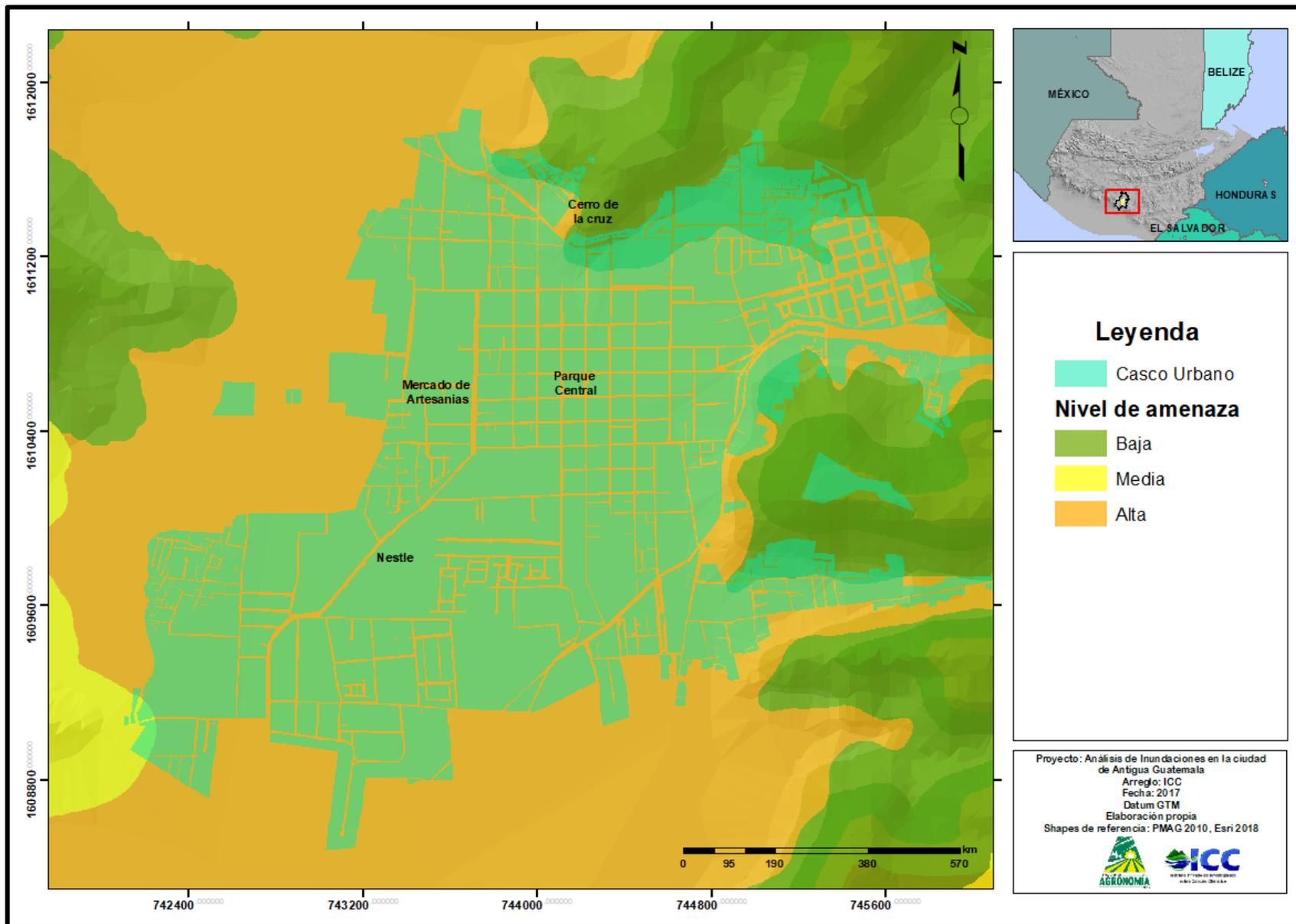


Figura 35. Mapa de zonificación natural de amenaza a inundaciones

Para comprender mejor el impacto de las microcuencas a la dinámica aporte a la problemática, la figura 36 delimita cada una de ellas y muestra las rutas de la escorrentía pluvial que generan y que terminan desembocando en la ciudad.

B. Dirección de escorrentía pluvial y calles inundables dentro de la ciudad

Al analizar la ruta que debería seguir la escorrentía de forma natural y contrastarla con la ruta actual de la inundación dentro de la ciudad se aprecia que la urbanización no ha causado una desviación severa. Es decir, la dirección del flujo no sufre una alteración fuerte sino más bien pequeñas modificaciones del curso debido a la construcción urbana.

Antes del establecimiento de la ciudad esta ruta natural del flujo no afectaba en ninguna dinámica social, cultural o económica debido a la inexistencia de pobladores e infraestructura urbana, por esta razón la inundación no existía. Por supuesto, esto no solo cambió con la creación de la ciudad sino con el aumento de los límites de la misma, y el establecimiento de nuevas zonas pobladas aledañas como es el caso de la aldea Guardianía; esto ha provocado que la interacción de la escorrentía pluvial con la ciudad provoque una inundación urbana.

Al contrastar la ruta de drenaje natural con el recorrido del flujo de agua dentro de la ciudad actualmente, se logra determinar que es la pendiente el componente que más influye y que condiciona la ruta de inundación urbana en la ciudad de Antigua Guatemala. En las fotografías de la figura 37 se puede apreciar este factor.

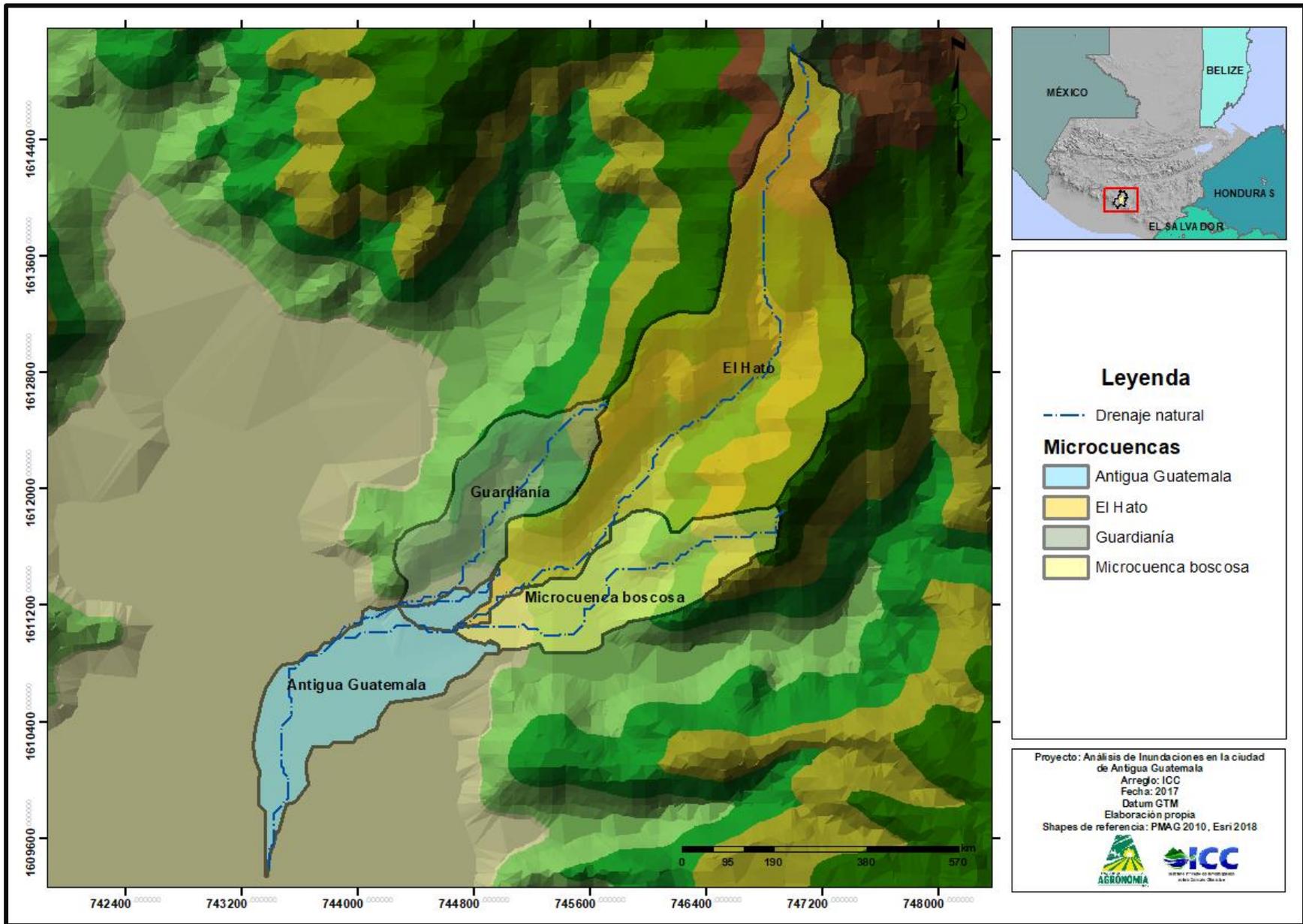


Figura 36. Mapa de microcuencas que drenan a la ciudad de Antigua Guatemala



Figura 37. Fotografías de la pendiente de las calles inundables en la ciudad de Antigua Guatemala

Debido a lo anteriormente mencionado, las calles de la ciudad pasaron a ser el nuevo canal de transporte de la escorrentía pluvial y por ende la ruta de inundación dentro de la ciudad. El flujo de agua proveniente de la microcuenca de Guardianía se une al proveniente de las otras dos cuencas en la primera calle para seguir a lo largo de la calzada Santa Lucía y continuar a lo largo de El Panorama (figura 38).

C. Tiempo de concentración y tiempo de retardo

Para poder llevar a cabo la simulación hidrológica es necesario distintos parámetros, entre ellos el tiempo de concentración (T_c) y tiempo de retardo (T_{lag}). Estos datos se calcularon por distintos métodos en función de distintos factores, principalmente el uso del suelo y la pendiente. El cuadro 28 muestra los resultados de los cálculos de T_c y T_{lag} para cada microcuenca.

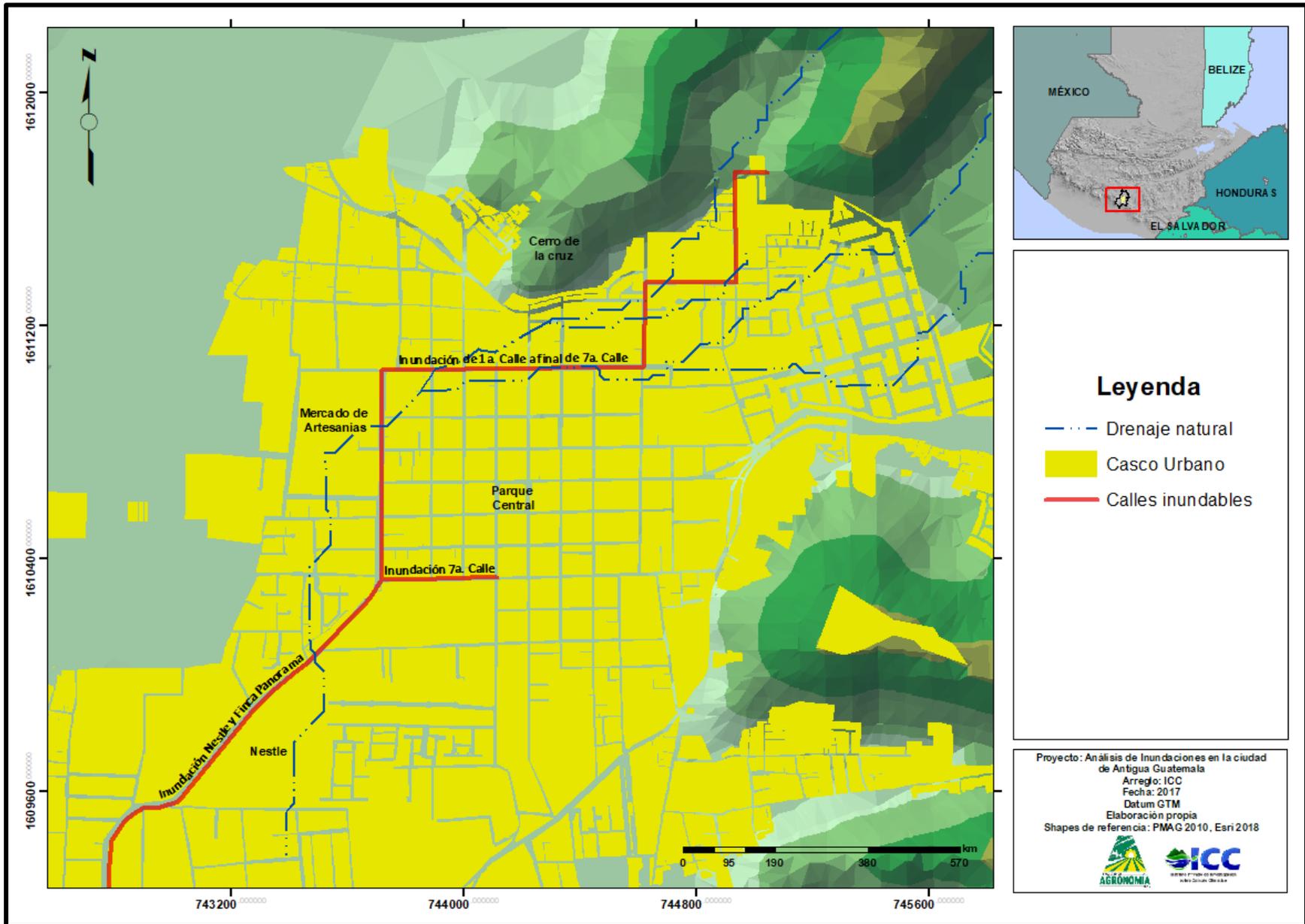


Figura 38. Mapa de drenaje natural y calles inundables en la ciudad de Antigua Guatemala

Cuadro 28. Tiempo de concentración y retardo según distintos métodos

Microcuenca	Tc (min)			T Lag (min)		
	Kirpich	C. Culverts	F. Aviation	Kirpich	C. Culverts	F. Aviation
El Hato	33.101	33.484	-	19.861	20.091	-
Guardianía	16.141	16.318	-	9.685	9.791	-
Antigua Guatemala	54.300	55.658	61.969	32.580	33.395	37.181
Microcuenca boscosa	18.172	18.364	-	10.903	11.018	-

Las microcuencas de El Hato, Guardianía y la pequeña zona boscosa poseen un tiempo de concentración mucho más bajo debido a que poseen cobertura forestal y una pendiente mucho más pronunciada en relación con Antigua Guatemala, dónde tan sólo existe una variación aproximada de altura de 25 m. adicional a esto carece de una zona extensa de cobertura boscosa puesto que se trata una ciudad que, como ya se mencionó anteriormente posee un porcentaje de impermeabilización del 78 %.

Debido a lo mencionado con anterioridad se introdujeron en el modelo los datos de Tc y T Lag en función de la metodología que mejor se adecuara a las características de la zona. Para las microcuencas con zona boscosa y altas pendientes se utilizó un promedio de los resultados de los métodos Kirpich y C. Culverts puesto que han sido utilizados ampliamente para zonas montañosas; los parámetros para la ciudad son los calculados por la metodología F. Aviation puesto que se adapta mejor a zonas impermeables.

D. Número de curva

La metodología NRCS define un número de curva en función de las características de uso de suelo, capacidades hidrológicas y pendiente. El método asigna la numeración desde 0 que hace referencia a una zona totalmente permeable hasta 100 que indica que una zona totalmente impermeable. La microcuenca de la ciudad presenta un mayor grado

de impermeabilidad con un valor de 84.792 mientras que las microcuencas de las partes altas poseen mayores capacidades de permeabilización situándose entre 50.38 y 57.6 (cuadro 29).

Cuadro 29. Número de curva para cada microcuenca drenante a la ciudad

Microcuenca	Número de curva
El Hato	53.019
Guardianía	50.38
Antigua Guatemala	84.792
Microcuenca boscosa	57.64

E. Estimación de precipitaciones máximas

Desde este punto, muchos de los resultados se presentan en función de tiempos de retorno por lo que es de suma importancia aclarar que estos no indican un tiempo determinado para la manifestación de los datos obtenidos sino más bien una probabilidad. El cuadro 30 muestra la probabilidad de ocurrencia del evento en la actualidad de cada periodo de retorno.

Cuadro 30. Probabilidad de ocurrencia en la actualidad para distintos periodos de retorno

Periodo de retorno (años)	Probabilidad de ocurrencia del evento en el presente (%)
2	50 %
5	20 %
10	10 %
25	4 %
50	2 %
100	1 %

La estimación se basó en el método de proyección de Gumbel utilizando como insumos los datos de la estación climática automática de Anacafé situada en Antigua Guatemala. Las precipitaciones máximas durante el día para los distintos periodos de retorno se muestran en el cuadro 31.

Cuadro 31. Precipitaciones máximas para los distintos periodos de retorno

Periodo de retorno (años)	Precipitación máxima (mm/día)
2	122.6819
5	241.0372
10	319.3987
50	491.8599
100	564.7688

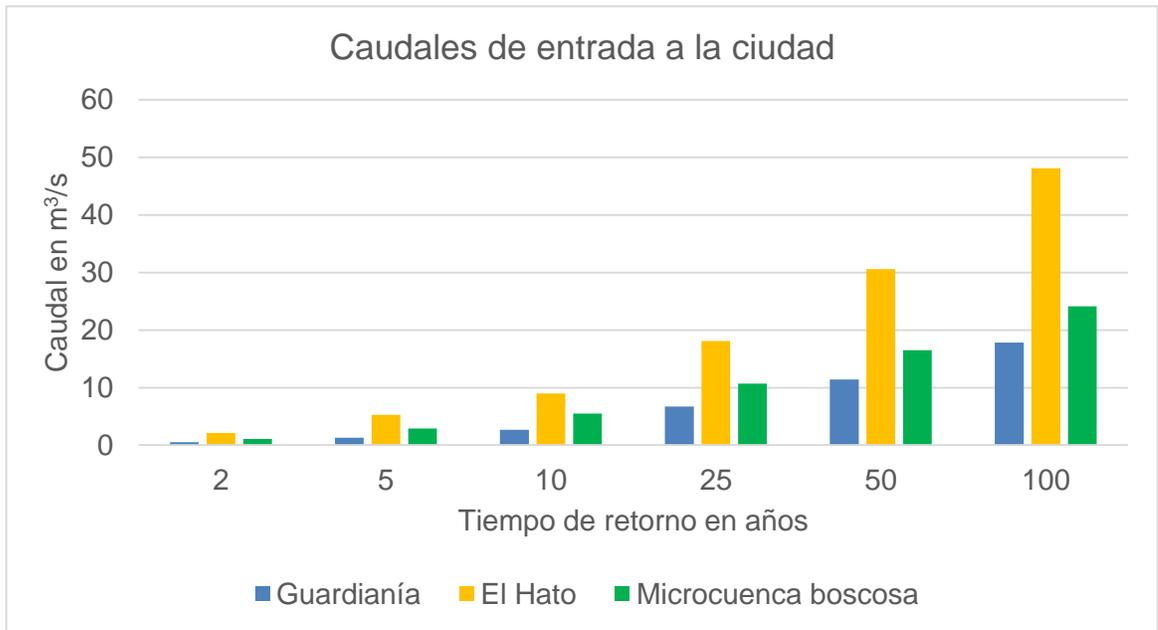
F. Caudales de escorrentía pluvial máximos

Como ya se mostró con anterioridad el principal aporte a la problemática de inundaciones dentro de la ciudad depende la cantidad de escorrentía que se genere en las microcuencas drenantes, en este sentido, el modelo Hec-Hms estimó los caudales máximos que pueden generarse en dichas áreas; El Hato presenta los mayores aportes de escorrentía seguido de la microcuenca boscosa y por último Guardianía, el cuadro 32 y la figura 39 detallan esta información.

Luego de que la escorrentía llegue a la ciudad esta se distribuye dentro de la misma, esto hace que el caudal disminuya su velocidad en comparación al de entrada debido a la disminución de las pendientes puesto que al tratarse de un valle las pendientes no sobrepasan el 12 %. El cuadro 33 y figura 40 muestran dichos caudales.

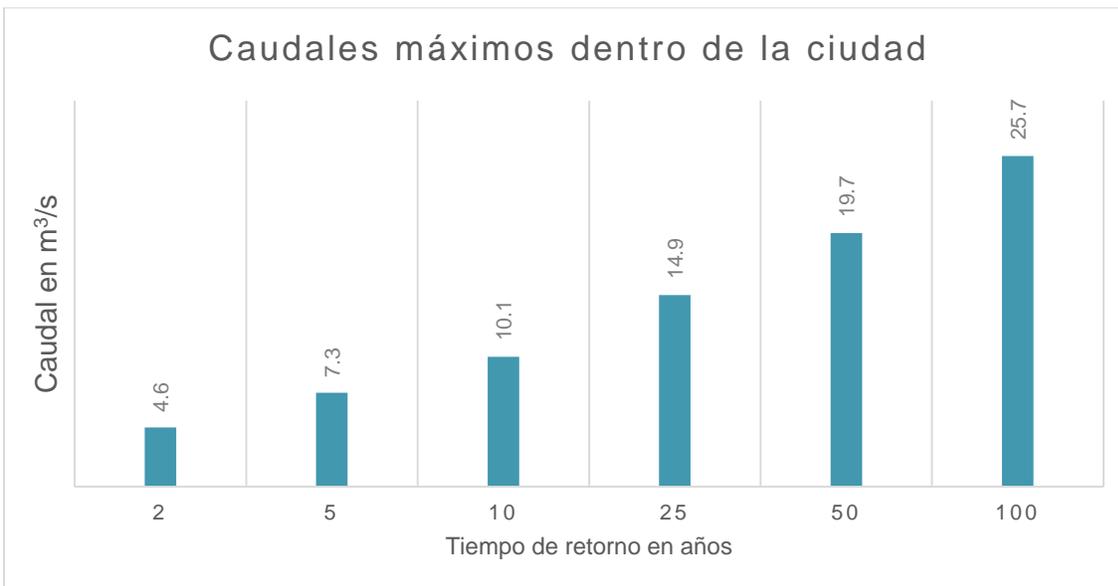
Cuadro 32. Caudales máximos de entrada a la ciudad de Antigua Guatemala

Tiempo de retorno (años)	Caudales (m ³ /s)		
	Guardianía	El Hato	Microcuena boscosa
2	0.5	2.1	1.1
5	1.3	5.3	2.9
10	2.7	9	5.5
25	6.7	18.1	10.7
50	11.4	30.6	16.5
100	17.8	48.1	24.1

**Figura 39.** Gráfico de caudales de entrada a la ciudad de Antigua Guatemala

Cuadro 33. Caudales máximos dentro de la ciudad de Antigua Guatemala

Tiempo de retorno (años)	Caudal máximo (m ³ /s)
2	4.6
5	7.3
10	10.1
25	14.9
50	19.7
100	25.7

**Figura 40.** Gráfico de caudales máximos dentro de la ciudad de Antigua Guatemala

Los caudales actuales que recibe la ciudad son de aproximadamente 4.6 m³/s según los datos calculados por el modelo hidrológico Hec-Hms. Esto deja como punto de partida una capacidad mínima que el sistema de drenaje urbano debe soportar. Claramente es necesario que el sistema pueda evacuar no solo este caudal sino anteponerse a situaciones venideras y contar con la suficiente capacidad para evacuar volúmenes mayores que puedan alcanzarse en fenómenos naturales extremos.

El estudio de Gestión de agua y saneamiento sostenible en Antigua Guatemala - Fase 1: Línea Base, determina que la ciudad actualmente no cuenta con la capacidad suficiente para lidiar siquiera con la escorrentía generada solamente dentro de la ciudad (Ibarra, 2017). Lo que evidencia una necesidad de enfocar esfuerzos en la reducción de la escorrentía no solo dentro de la ciudad sino de las microcuencas que drenan a la misma.

La información generada por el modelo muestra que dentro de la zona puede llegar a presentarse un caudal pluvial de hasta 25.7 m³/s. Debe buscarse cubrir dicha demanda mediante actividades y obras que permitan disminuir la cantidad de agua, de tal manera que el conjunto de acciones tomadas permita el paso del agua dentro o fuera de la ciudad sin representar un problema.

En base a los resultados del modelo hidrológico se determinó que, si la aldea Guardianía adoptara un sistema de captación de agua de lluvia, la cantidad de volumen proveniente de dicha zona hacia la ciudad disminuiría entre 3m³ a 28 m³ de agua, dependiendo de la intensidad de la precipitación. Por otro lado, el arquitecto Normán Muñoz, director del CNPAG, indicó que este sistema también puede ser utilizado dentro de la ciudad, debido a que el modelo de terrazas españolas se adecua a la dinámica, siendo viable si se cuenta con un espacio dentro de la vivienda para almacenar el agua².

Otro factor importante es el anegamiento de las calles y el peligro que corre la población al transitarlas cuando transportar dichos caudales. Según estudios de la universidad de Zaragoza, los caudales en un ámbito urbano llegan a ser de riesgo alto cuando sobrepasan los 1.88 m³/s, lo que según los datos presentados es sobrepasado en todos sus periodos.

² Muñoz N. 2017. Discusión de lineamientos y propuestas para la mitigación de inundaciones pluviales en la ciudad de Antigua Guatemala. Guatemala. CNPAG (Consejo Nacional para la Protección de la Antigua Guatemala).

G. Volumen de agua acumulado

El volumen de agua que puede llegar a acumularse en cada microcuenca en función de la cantidad de precipitación para los distintos tiempos de retorno se muestra en el cuadro 34 y figura 41.

Cuadro 34. Volumen de agua acumulado en la ciudad de Antigua Guatemala

Tiempo de retorno (años)	Volumen de agua (m ³)
2	81.64
5	196.29
10	284.09

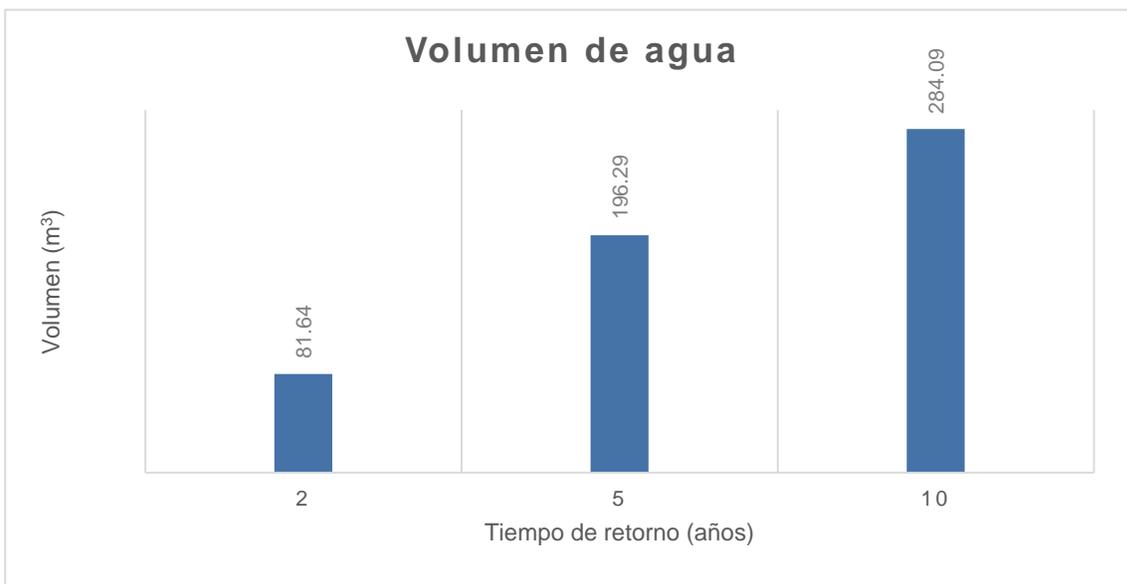


Figura 41. Gráfico de volúmenes de agua acumulado en la ciudad de Antigua Guatemala

El volumen de agua que puede llegar a acumularse en la ciudad va desde 81.64 m³ a 284.09 m³ según sea el periodo de retorno. Es importante mencionar que al comparar las precipitaciones obtenidas en la proyección de Gumbel con los registros de la estación de Anacafé, los periodos de retorno de dos y cinco años comprenden precipitaciones intensas mientras que a los diez años las lluvias pasan a cubrir los registros asociados a eventos extremos.

2.5.7. Análisis del sistema de drenaje urbano

Las inundaciones pluviales están relacionadas de forma directa con la capacidad del sistema de drenaje urbano para poder transportar las corrientes de agua dentro de la ciudad (Tucci, 2006). La ciudad de Antigua Guatemala no cuenta con un sistema de tubería adecuada para cubrir la escorrentía pluvial generada dentro de la ciudad, sin contar los agregados de las partes altas (Ibarra Cardona, 2017).

Actualmente el sistema de drenaje de la ciudad no cuenta con la capacidad suficiente. La tubería del drenaje a lo largo de la 7a. calle maneja diámetros de 60 in y 66 in, ésta transporta el agua hasta interceptarla en una tubería de solo 30 in, disminuyendo enormemente la capacidad de transporte del caudal. Adicional a esto, la intersección produce una acumulación del volumen de agua que en los casos de precipitaciones altas alcanza a levantar tapaderas de drenaje.

La calzada Santa Lucia es la otra calle horizontal que sufre este problema. En este caso el principal causante es la escorrentía pluvial drenada de la aldea Guardianía y de las áreas altas aledañas que llegan a la ciudad, es importante mencionar que la tubería en esa zona es de 10 in y 12 in, una capacidad insuficiente para transportar la cantidad de agua.

Luego de que el agua transcurra hasta el final de la calzada Santa Lucia y estancarse, el agua se mueve dentro de una tubería de 78 in y 84 in que llega a desbordarse frente a la calle de la Nestlé debido a la disminución del diámetro del drenaje a solamente 24 in.

En base a todo lo mencionado con anterioridad, se sugiere aumentar las dimensiones de la tubería a una que permita manejar adecuadamente el volumen de agua. Los puntos prioritarios para este lineamiento son el final de la 7ma. calle y la calle El Panorama donde el agua se desborda debido al colapso de la tubería. La figura 42 muestra los detalles de los diámetros de la tubería relacionada con las calles inundables de la ciudad.

Por otro lado, existe un sistema de tubería incompleto que pretendía instalar tubería lo suficientemente grande para transportar toda la escorrentía y evita la inundación. Sin embargo, solo posee dos partes de tres, por lo que no presenta ningún funcionamiento más que para las conexiones clandestinas de colonias y viviendas cercanas que dirigen sus aguas negras a dicha tubería.

Por otro lado, la tubería también cuenta con deformaciones y daños. Sin embargo, la comisión de recursos hídricos del colegio de ingenieros realizó una visita al proyecto en mayo del 2017 junto al ministerio público y la municipalidad de Antigua Guatemala, donde concluyeron que el proyecto es hidráulica y físicamente permisivo y que puede operar si se cubren los daños de filtración, fisuras y otros deterioros. Las fotografías de las figuras 43 y 44 muestran los detalles respecto a esta tubería.

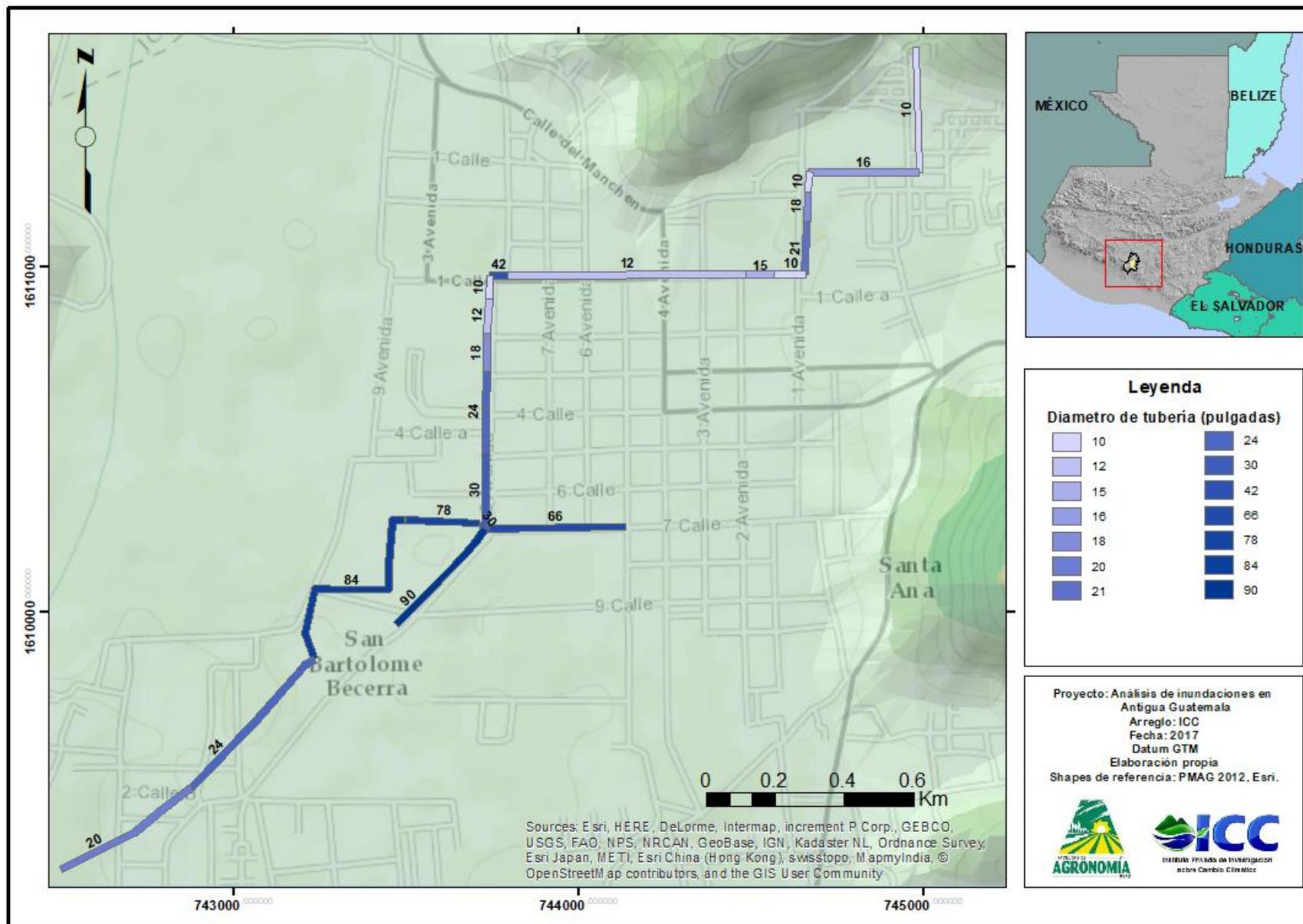


Figura 42. Mapa de diámetro de la tubería en las calles inundables de la ciudad de Antigua Guatemala



Foto A



Foto B



Foto C

Figura 43. Fotografías de conexiones clandestinas a proyecto incompleto



Foto B



Foto B



Foto C

Figura 44. Fotografías de deformaciones en tubería de proyecto incompleto

Considerando la viabilidad de la reparación del proyecto se sugiere la conclusión del recolector para cumplir su función y captar el agua desde la calle El Panorama hasta conducirla fuera de la ciudad. Esto claro con las enmiendas indicadas por el colegio de ingenieros de Guatemala.

Adicionalmente, la ciudad no cuenta con un sistema de drenaje separado que permita transportar las aguas provenientes de distintas fuentes. Esto complica la evacuación, debido a que los sistemas colapsan y no se tiene capacidad suficiente además complica futuros proyectos de sanidad como las plantas de tratamiento de aguas residuales, que tendrían que soportar el total de agua dentro de la ciudad y no solamente las fuentes residuales que, según el plan maestro de la ciudad de Antigua Guatemala representan únicamente un aproximado del 2 % del caudal total.

El código de construcción de la ciudad de Antigua Guatemala indica en el artículo 89 del capítulo VIII:

"Tanto en las urbanizaciones como cualquier edificación, la red de drenajes de agua de lluvia será independiente de la red de drenaje sanitario hasta la salida al colector público o sistema de tratamiento".

Considerando lo anteriormente descrito se hace necesario velar por el cumplimiento de la separación de tuberías en nuevos proyectos de construcción y la actualización de las construcciones antiguas al sistema, además de un sistema municipal que permita conducir las aguas provenientes de distintas fuentes.

A. Tragantes

Al georreferenciar los tragantes dentro de la ruta de inundaciones y cercanos a la misma, se determinó que son justamente estas calles las que poseen un mayor número de tragantes, por lo que se descarta que estos tengan un impacto negativo y sean quien

determinen dirección del agua en la ciudad. Sin embargo, si existen factores que afectan la capacidad de evacuación y captación de la escorrentía.

Aunque los tragantes no sean quien determinen la ruta de inundación si condicionan directamente la magnitud de esta; varios tragantes se azolván fácilmente y tres se encuentran sellados por cemento, esto aporta a la problemática puesto que disminuye en gran medida la capacidad de evacuación del agua. Como ya se mencionó con anterioridad, el suelo del área está formando por ceniza volcánica de textura moderadamente fina (MAGA, 2013); material que se adhiere fácilmente al flujo de escorrentía y es arrastrado hasta llegar a la ciudad que sumado a los desechos de la ciudad propician el asolvamiento rápido de los tragantes.

La municipalidad del municipio indicó que generalmente se hacen tres limpiezas de tragantes en la época lluviosa, y no se cuenta con información sobre porqué se sellaron algunos tragantes. La figura 45 muestra los problemas mencionados con los tragantes de la ciudad y la figura 46 la ubicación de los tragantes cercanos a las rutas de inundaciones dentro de la ciudad.



Foto A



Foto B



Foto C



Foto D

Figura 45. Fotografías de los problemas de azolvamiento y sellado en tragantes

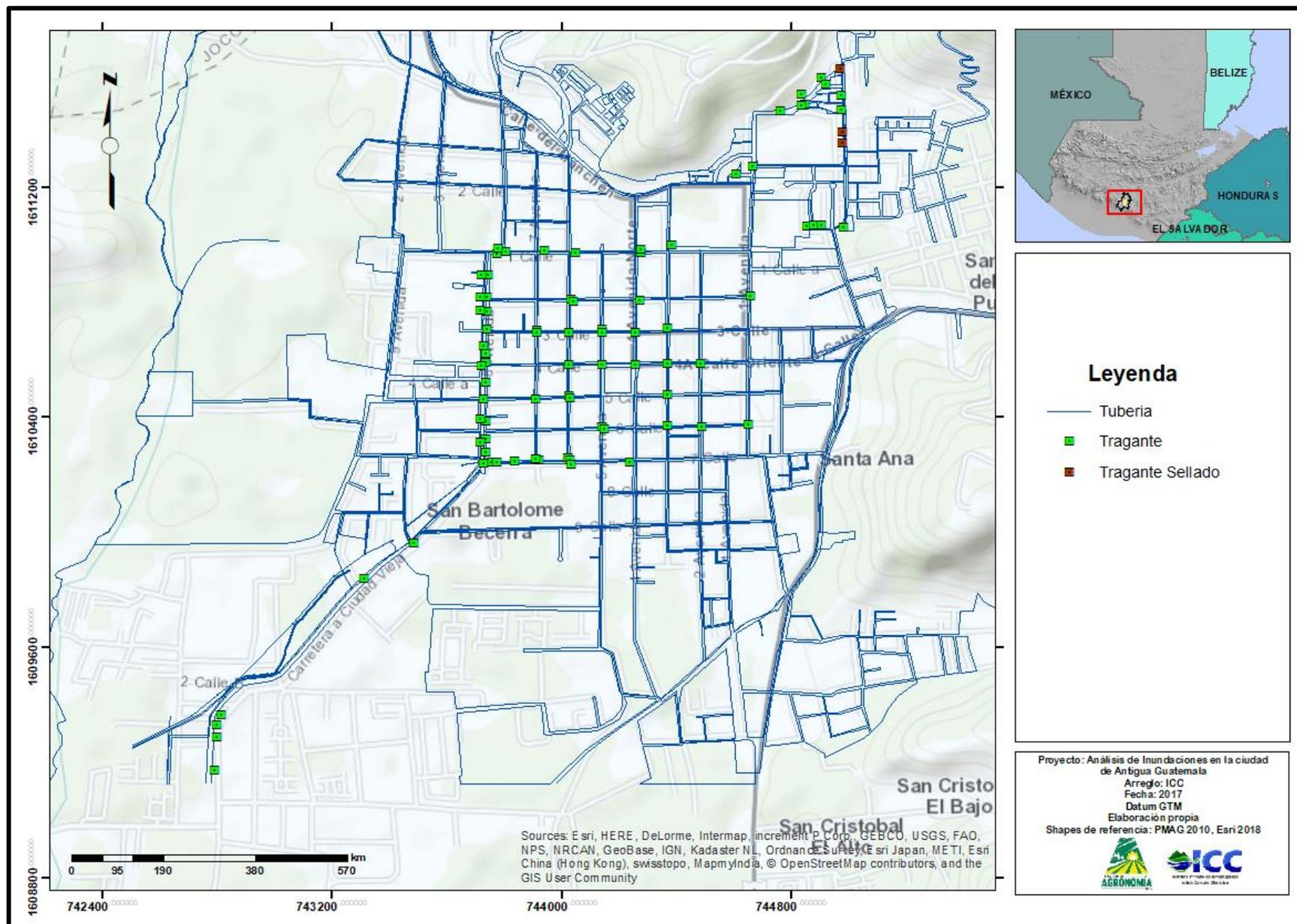


Figura 46. Tragantes relacionados a la ruta de inundación pluvial en la ciudad de Antigua Guatemala

B. Aumento de la demanda por servicios

Otro factor importante que considerar es el aumento del comercio y servicios en la ciudad, principalmente tratándose de hostelería. En sus inicios la ciudad no fue creada con intenciones de ser una zona turística, por lo que su sistema de drenaje no fue construido considerando la demanda que ello implicaría. A lo largo del tiempo la dinámica de las viviendas ha evolucionado, pasando de ser hogares para una familia a casas de huéspedes y hoteles que han demandado una mayor capacidad de drenaje. El cuadro 35 detalla la cantidad de habitaciones y sanitarios por cada hotel o posada dentro de las calles inundables de la ciudad.

Al incluir este aspecto dentro de la problemática de inundaciones locales, se logra identificar que existe un impacto negativo debido a que las aguas residuales generadas por hostelería dentro de las calles inundables aumentan el volumen de agua dentro de la tubería y a su vez disminuye la capacidad para evacuar la escorrentía pluvial que genera inundaciones.

2.5.8. Análisis de vulnerabilidad

A. Elementos vulnerables

Las inundaciones dentro de la ciudad dejan vulnerables a 422 elementos de los cuales, la mayoría son de uso residencial figurando el 51.18 %, seguido por comercios que ocupan el 19.9 %, servicios el 16.11 % y bares y restaurantes con 6.16 %. La figura 47 gráfica esta información.

Cuadro 35. Número de habitaciones y sanitarios por centro de servicio de hospedaje dentro de las calles inundables

Nombre	No. habitaciones	No. Sanitarios
Hostal Colonial	4	3
El pasaje	20	21
Casa mía	18	20
La quinta Santa Lucia	31	31
San Miguel	4	3
Juma Ocag	8	9
El descanso cultural	12	13
San Jerónimo	12	11
Casa Jacaranda	7	4
Casa Shalom	9	6
Casa amarilla	3	4
Mochilero Guesthouse	18	6
Posa el jardín ade Lolita	8	6
Hostal el viajero	7	2
Luna jade	11	9
Lo de bernal	9	10
Santa Rosa	9	11
Casa de Alameda	5	6
Candelaria Antigua	17	23
Ixcanul	7	4
Real plaza hotel	27	29
Soleí	180	200
Total	426	431

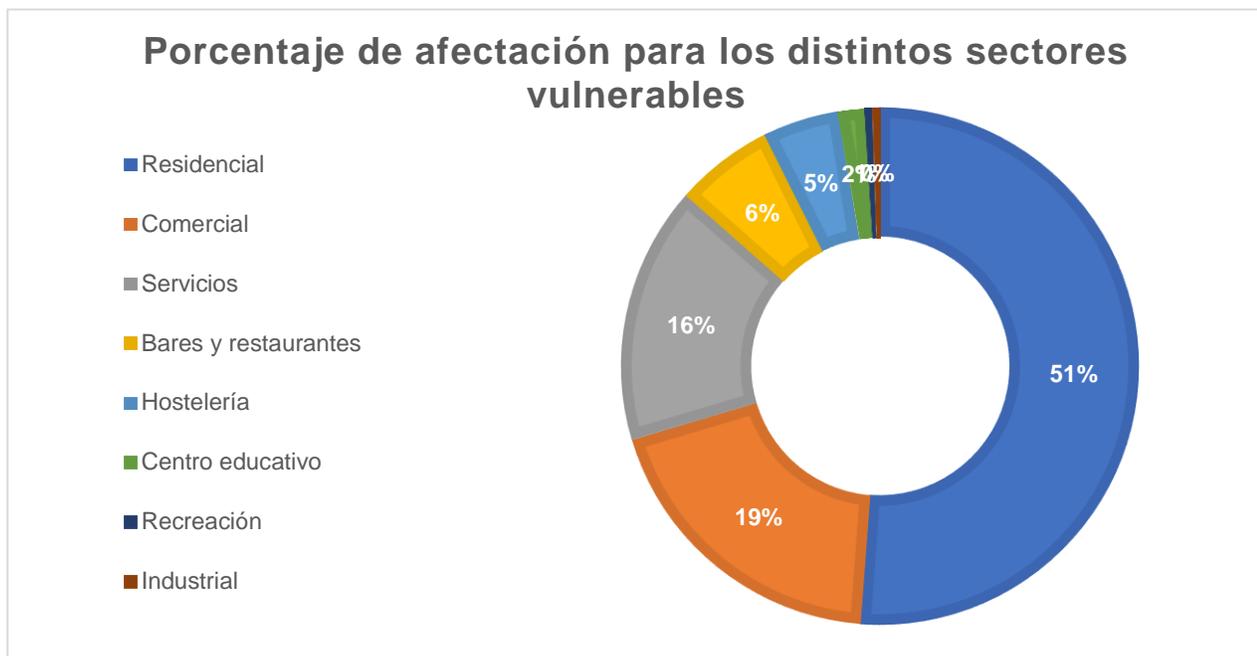


Figura 47. Gráfico de porcentaje de afectación a distintos sectores de uso debido a inundaciones pluviales

Es importante aclarar que la edificación vulnerable dentro de la ciudad está condicionada por la ruta de la inundación, es decir, las construcciones en peligro se encuentran ubicadas en la orilla de las calles inundables. Esta edificación no sufre un daño severo estructuralmente por lo que la vulnerabilidad está, en gran medida condicionada por las pérdidas económicas dentro de los comercios de la ciudad. Sin embargo, existen factores en menor medida que son parte de las implicaciones de una inundación como el desgaste estructural y el anegamiento de servicios. La figura 48 muestra los elementos vulnerables dentro de la ciudad.

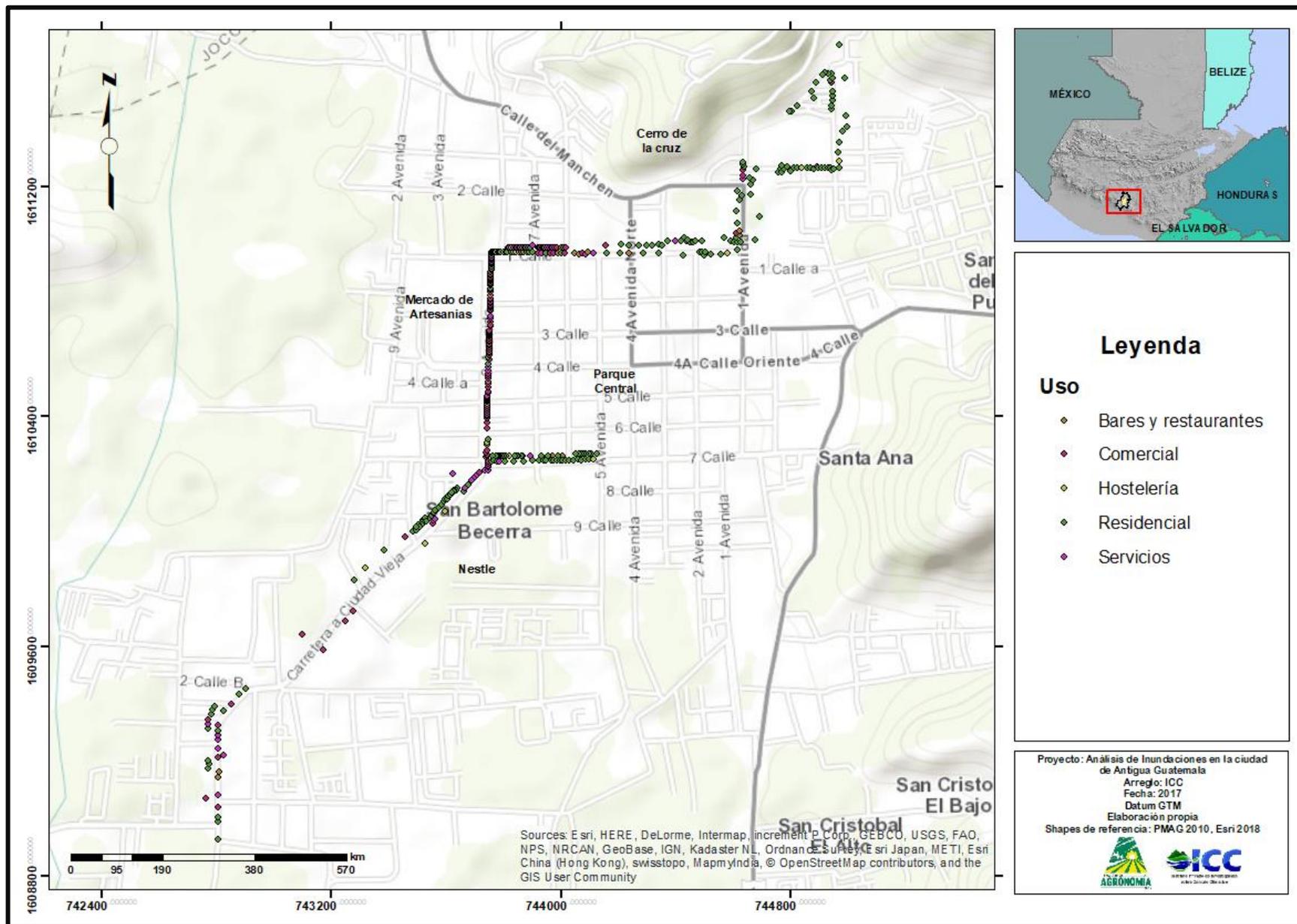


Figura 48. Elementos vulnerables por inundaciones pluviales en la ciudad de Antigua Guatemala

Aunque el uso residencial resulta ser el sector mayoritario, son los bares y restaurantes junto a los comercios quienes sufren los mayores impactos de las inundaciones pluviales. La cantidad de elementos vulnerables considerados en cada uso se detallan en el cuadro 36.

Cuadro 36. Cantidad de elementos por sector de uso vulnerables a inundaciones pluviales

Sector	Cantidad
Residencial	216
Comercial	81
Servicios	68
Bares y restaurantes	26
Hostelería	20
Centro educativo	7
Recreación	2
Industrial	2

B. Vulnerabilidad económica

Esta vulnerabilidad indica la cantidad económica aproximada que sufren los distintos sectores económicos de la ciudad, basados en las encuestas realizadas a los elementos de uso comercial y servicios que se ubican dentro de la ruta de la inundación. El cuadro 37 muestra las pérdidas económicas por sector.

Cuadro 37. Pérdidas económicas por inundaciones pluviales en la ciudad según el sector comercial

Sector comercial	Pérdidas (Q)
Bares y restaurantes	56100
Tiendas y ventas	12000
Servicios	10000
Total	78100

A pesar de los datos recolectados, debe aclararse que se considera que el total de pérdidas sea mayor, debido a que la cuantificación no incluye el valor real de algunos elementos comerciales, ya que no poseían una apreciación cuantitativa del perjuicio. Sin embargo, en su totalidad indicaron un impacto alto a la actividad comercial, reflejándose en una disminución de la clientela entre el 50 % y 75 %.

Adicional a esto muchos de los hogares han tenido que invertir sobre pequeñas construcciones como pequeñas gradas, rampas, muros y tragantes al igual que el mantenimiento y reparación de portones, paredes y puertas (figura 49). El cuadro 38 muestra el gasto expresado por las viviendas de las distintas calles afectadas.



Foto A



Foto B



Foto C

Figura 49. Fotografías de estructuras para evitar la entrada de agua a viviendas

Cuadro 38. Inversiones de construcción y mantenimiento de las viviendas afectadas en las distintas calles inundables

Calle	Costo (Q)
Entrada de Guardianía	12000
1era Calle	5200
7ma Calle	28500
El Panorama	91450
Total	143300

C. Vulnerabilidad no estructural

La ciudad en general presenta una baja vulnerabilidad estructural debido a que todas sus viviendas están construidas de block o adobe y su suelo están constituido por cemento o cerámico. Los daños se perciben principalmente por el daño acumulativo y desgaste de las paredes, portones causado por la humedad y el contacto con el agua de la corriente de inundación, daños que también ha alcanzado a algunas edificaciones del patrimonio cultural, según indicó el CNPAG. Por otro lado, este desgaste acumulativo deja en mayor vulnerabilidad a la edificación en relación con otros fenómenos naturales como los terremotos.

Muchas de las personas encuestadas indicaron que el principal problema de las inundaciones es el efecto de ola que causaban los vehículos al pasar por las calles. Principalmente las camionetas, provocando manchas, humedecimiento de paredes y la entrada de agua a muchas viviendas (figura 50).



Foto A



Foto A

Figura 50. Fotografías de daños estructurales a las viviendas

D. Vulnerabilidad no estructural

Este tipo de vulnerabilidad está dado principalmente por el anegamiento de las calles y complicaciones del tránsito provocado por las inundaciones. Las zonas afectadas por las inundaciones se vuelven transitables solamente para ciertos tipos de vehículos, con altura y capacidad suficiente para avanzar, pero que a su vez provocan impactos negativos y daños a las viviendas como se describió anteriormente (figura 51).

Las personas también indicaron que durante las inundaciones no es posible la salida o entrada a sus viviendas y centros laborales por lo que deben esperar que cese la inundación que en general dura entre dos y cuatro horas. En este sentido, algunos comercios como las academias, gimnasios y talleres perciben como principal impacto el cese de actividades, reflejando una disminución de la clientela entre un 50 % y 75 %.

**Foto A****Foto B****Foto C**

Fuente: Mendoza R., 2017.

Figura 51. Fotografías de las complicaciones del tránsito y anegamiento de calles dentro de la ciudad

2.5.9. Zonificación de riesgo a inundaciones

La ciudad de Antigua Guatemala sufre el mayor impacto de las inundaciones pluviales a lo largo de la calzada Santa Lucía y la calle El Panorama puesto que es ahí donde se interceptan las mayores alturas de inundaciones y la mayor cantidad de comercios. Sin embargo, también existen otros puntos críticos como el final de la 7ma. Calle y la parte norte, donde entra la escorrentía proveniente de guardianía. La figura 52 muestra la zonificación de la amenaza a inundaciones tanto pluviales como también fluviales debido al río pensativo, esto último según registros históricos (cuadro 24).

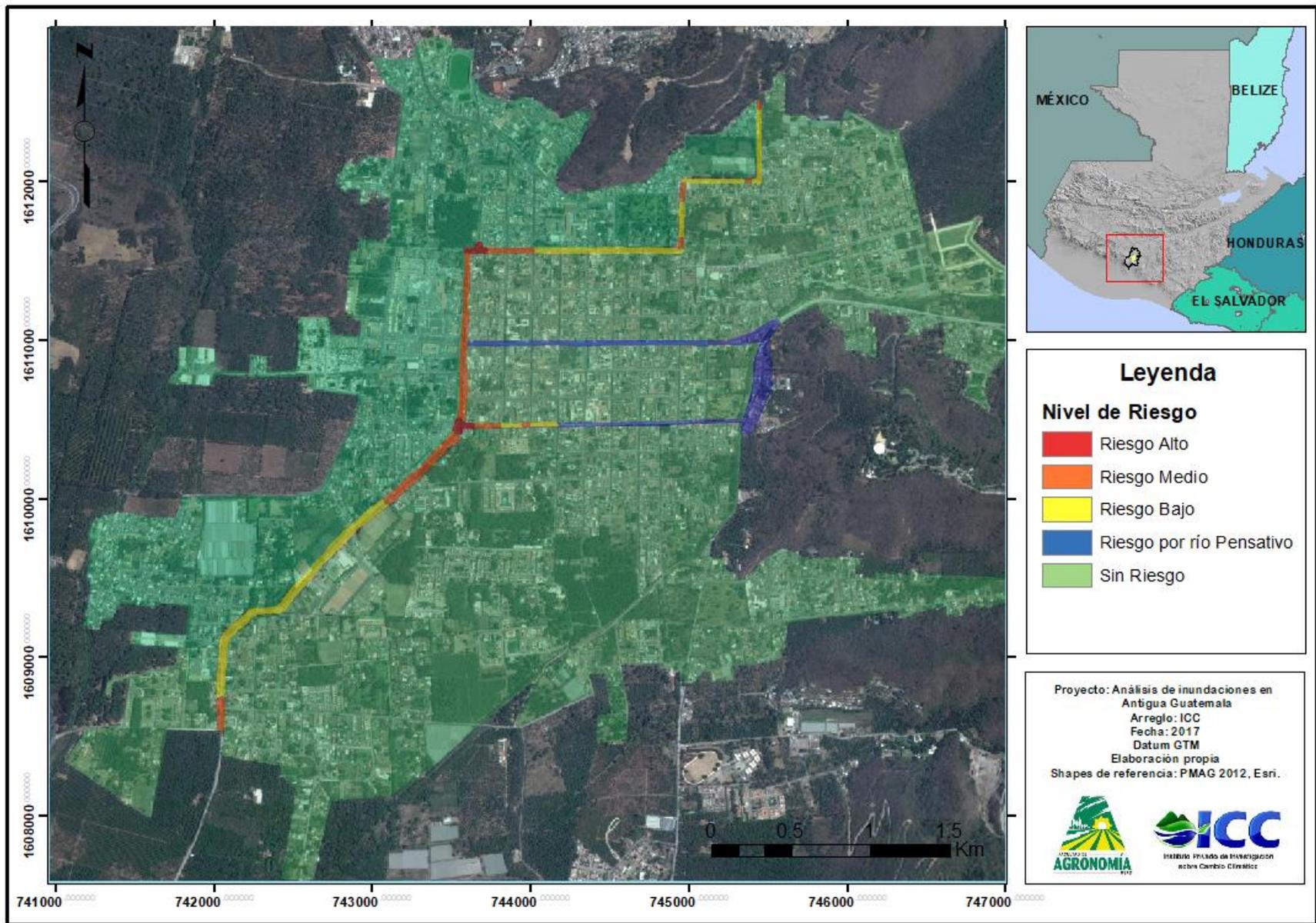


Figura 52. Mapa de zonificación de riesgo a inundaciones para la ciudad de Antigua Guatemala

2.6. CONCLUSIONES

1. La amenaza a inundaciones pluviales dentro de la ciudad de Antigua Guatemala está condicionada por tres microcuencas (Guardianía, El Hato y un área boscosa) que drenan escorrentía directamente a la ciudad y que al distribuirse dentro de la misma generan caudales actuales de aproximadamente 4.6 m³/s que pueden aumentar en función de la intensidad y duración de la precipitación.
2. El riesgo a inundaciones pluviales dentro de la ciudad es mayor en la parte norte, puesto que es ahí donde entra a la ciudad la escorrentía proveniente de las microcuencas drenantes a la ciudad, la calzada Santa Lucía e inicio de la calle hacia El Panorama donde se concentra gran parte del comercio de la ciudad y el final de la séptima calle debido al colapso del sistema de drenaje urbano.
3. La vulnerabilidad dentro de la ciudad está principalmente dada por el factor económico puesto que afecta la dinámica local del comercio, se estimó una pérdida de aproximadamente Q.78,100.00 quetzales por inundación. Sin embargo, también existen otro tipo de impactos como el desgaste de infraestructura debido a la humedad y el anegamiento de calles.
4. Es necesario trabajar con técnicas de conservación de suelo y agua, reforestaciones con sotobosque, un uso adecuado del suelo y también pozos de sedimentación, absorción y retención que disminuyan la escorrentía pluvial que llega a la ciudad. Adicional a esto, es necesaria la modificación de la tubería de drenaje urbano, principalmente los puntos críticos de inundación pluvial y el cumplimiento del código de construcción referente a la separación de drenajes para aguas residuales y pluviales.

2.7. RECOMENDACIONES

1. Los resultados de esta investigación revelan la necesidad de trabajar en obras y medidas de mitigación en las microcuencas drenantes a la ciudad. Debido a que gran parte de estas está cubierta de bosque se recomienda trabajar una reforestación del área que incluya sotobosque, esto reducirá significativamente la cantidad de escorrentía generada y por ende la cantidad de agua que drena a la ciudad.
2. El establecimiento de pozos de sedimentación, captación y filtración permitirá no solo reducir la cantidad de agua que drena, sino también alimentar de manera directa los acuíferos de la zona, reducirá la cantidad de partículas de ceniza que llegan a la ciudad y por otro lado almacenar cantidades de agua que luego podrán ser útiles para agricultura, limpieza u otras actividades que no necesiten una calidad potable del agua.
3. La adopción por parte de los pobladores de técnicas de conservación de agua y suelo como las terrazas vivas y muertas, acequias, etc. en la zonas agrícolas y sistemas de captación de agua de lluvia doméstico tanto en la zona poblada de Guardianía como en la propia ciudad aportarán a la disminución del volumen de agua total acumulado dentro de la ciudad.
4. Debido a la incapacidad del sistema de drenaje de la ciudad se recomienda amplia el diámetro de la tubería, principalmente en los puntos críticos de inundación. Adicionalmente, terminar el proyecto del recolector para poder evacuar el volumen de agua acumulado al final de calle El Panorama.
5. Es necesario velar por el cumplimiento de la separación de tuberías en nuevos proyectos de construcción y la actualización de las construcciones antiguas al sistema. Esto evitará los focos de contaminación producidos con el colapso del sistema de drenaje mixto.

2.8. BIBLIOGRAFÍA

1. Ambrosino, S; Barbeito, O; Bertoni, JC; Daniele, A; Maza, JA; Paoli, CU; Serra, JJ. 2004. Inundaciones urbanas en Argentina. Córdoba, Argentina, Global Water Pathernship / Universidad Nacional de Córdoba / Comisión Permanente de Congresos del Agua / Arg Cap Net. 256 p.
2. ANA (Autoridad Nacional del Agua, Perú). 2016. Modelamiento hidrológico geoespacial usando HEC-GeoHMS; aplicación a la cuenca del río Chilca. Perú. 46 p.
3. Campos Aranda, DF. 2010. Introducción a la hidrología urbana. San Luís Potosí, México, Printego. 300 p.
4. Córdoba, EL. 2012. Lineamientos mínimos de una política pública municipal, para la gestión de riesgo en una ciudad turística - patrimonial: caso de la antigua Guatemala. Tesis Mag. Sc. Guatemala, USAC, Facultad de Arquitectura. 132 p.
5. González, M; Scaini, A; Goñi, M. 2011. Análisis del modelo HEC-HMS para simulación de las avenidas del río Arga en Pamplona. In Jornada de Ingeniería del Agua (2., 2011, España). Modelos numéricos en dinámica fluvial: Resúmenes y comunicaciones JIA 2011. Barcelona, España, Flumen. 10 p.
6. Ibarra Cardona, JD. 2017. Gestión de agua y saneamiento sostenible en Antigua Guatemala - fase 1: Línea base. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad del Valle de Guatemala. 94 p.
7. ICC (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, Guatemala). 2016. Determinación de las áreas susceptibles a inundaciones en la parte bajan de la cuenca del río Ocosito mediante modelación y percepción comunitaria. Guatemala. 119 p.
8. INGUAT (Instituto Guatemalteco de Turismo, Guatemala). 2010. Plan de desarrollo turístico (PDT), Sacatepéquez, Guatemala. Guatemala. 45 p.
9. López García, JS; Hernández, M. 2012. Plan maestro de la Antigua Guatemala: ciudad patrimonio de la humanidad. Guatemala, Agencia Española de Cooperación Internacional. 363 p.
10. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Guatemala). 2013. Estudio semidetallado de los suelos del departamento de Sacatepéquez, Guatemala. Guatemala. 788 p.
11. MCD (Ministerio de Cultura y Deportes, Guatemala). 2014. 35 años de ser patrimonio cultural de la humanidad (en línea). Consultado 28 mar. 2017. Disponible <http://mcd.gob.gt/35-anos-de-ser-patrimonio-cultural-de-la-humanidad>

12. Morales Méndez, JF. 2005. Construcción de diques de gavión recubiertos de concreto para el control de inundaciones -caso río Pensativo-. Tesis Ing. Civil. Guatemala, USAC, Facultad de Ingeniería. 102 p.
13. Morales Samayoa, JI. 2012. Amenazas naturales en la cuenca alto-Guacalate y análisis de la vulnerabilidad del hospital nacional de Antigua Guatemala para la propuesta de un plan de gestión en la reducción del riesgo a desastres. Tesis Mag. Sc. Guatemala, USAC, Facultad de Arquitectura. 115 p.
14. Morelli Tucci, CE. 2007. Gestión de inundaciones urbanas. Trad. Nespolo A. Porto Alegre, Brasil, Editora Evangraf. 317 p.
15. MTC (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, Perú). 2011. Manual de hidrología, hidráulica y drenaje. Perú. 209 p.
16. Nanía, L. 2007. Manual básico de Hec-HMS 3.0 y Hec-GeoHMS 1.1. España, Universidad de Granada. 76 p.
17. Narváez, L; Lavell, A; Pérez Ortega, G. 2009. La gestión de riesgo de desastres: un enfoque basado en procesos. Lima, Perú, Comunidad Andina / PREDECAN. 32 p.
18. Quiroa Rojas, JC. 2004. Riesgos geológicos y medidas de mitigación en la cuenca del río Pensativo y zonas aledañas a la Ciudad de Antigua Guatemala. Tesis Ing. Civil. Guatemala, USAC, Facultad de Ingeniería. 110 p.
19. Rodríguez Gaviria, E. 2016. Diseño metodológico para la evaluación del riesgo por inundación a nivel local con información escasa. Tesis Ph. D. Colombia, Universidad Nacional de Colombia. 379 p.
20. Rojo Hernández, JD. 2011. Estimación de caudales máximos usando hidrogramas unitarios sintéticos y el método racional. Colombia, Recursos Hidráulicos. 24 p. Consultado 28 mayo 2018. Disponible en http://julianrojo.weebly.com/uploads/1/2/0/0/12008328/modelos_lluvia_escorrentia.pdf
21. Russo, B; Gómez, M. 2009. Criterios de riesgo asociados a escorrentía urbana. España, Universidad de Zaragoza. 10 p.
22. Santana Talavera, A. 2003. Turismo cultural, culturas turísticas. Porto Alegre, Brasil, Horizontes Antropológicos 9(20). Consultado 28 mayo 2018. Disponible en http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-71832003000200003

23. SEGEPLAN (Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, Guatemala). 2010. Plan de desarrollo, Antigua Guatemala, Sacatepéquez. Guatemala. 113 p.
24. Sisniega, C. 2006. El terremoto de San Miguel y los monumentos de Santiago Capital del Reino de Guatemala: Un enfoque Arqueológico. Tesis Arq. Guatemala, USAC, Facultad de Arquitectura. 286 p.
25. UNESCO, Guatemala. 2006. Compendio de leyes sobre la protección del patrimonio cultural guatemalteco. Guatemala. 210 p.
26. UNISDR (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas, Suiza). 2009. Terminología sobre reducción del riesgo de desastres. Ginebra, Suiza. 43 p.
27. UNISDR (Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas, Suiza); IDRC (Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo de Canadá, Canadá). 2008. La gestión de riesgo de desastres hoy: contextos globales, herramientas locales. Canadá. 209 p.

2.9. ANEXOS

2.9.1. Marco Legal

A. Normativa Internacional

Guatemala se encuentra suscrito a distintos convenios entre ellos el Convenio constitutivo del centro de Coordinación para la Prevención de Desastres naturales en América Central (CEPRENAC) Decreto 22-95, actualmente es la sede de dicha institución. Adicional a este acuerdo también posee acuerdos con el Gobierno de El Salvador con el fin de prevenir y atender casos de desastres naturales.

Por otro lado, en el ámbito de Patrimonio, debido a que es parte de la identidad de la cultura de las naciones, Guatemala ha suscrito acuerdos internacionales tales como:

- La Convención para la Protección del Patrimonio Mundial, Cultural y Natural. Decreto número 47-78.
- Tratado sobre la Protección de Instituciones Artísticas y científicas y Monumentos Históricos (Pacto Roerich).
- La Convención sobre Defensa del Patrimonio Arqueológico, Histórico y Artístico de las Naciones Americanas, Convención de San Salvador, Decreto 52-79.
- Convención Centroamericana para la Protección del Patrimonio Cultural.

En el ámbito de Turismo, Guatemala está adherido a los Estatutos de la Organización Mundial de Turismo –OMT- Decreto 36-89, además de acuerdos para el fomento y desarrollo turístico con gobiernos de Cuba, España y Ecuador.

B. Normativa nacional

a. Constitución de la República de Guatemala

La constitución busca como prioridad el resguardo de la vida y el desarrollo integral de la población, por lo que sus artículos abarcan distintos ámbitos como la gestión de riesgo, la preservación y fomento del patrimonio cultural y ambiental. El cuadro 39.A. señala los artículos de la Constitución relacionados con la gestión de riesgo y patrimonio.

Cuadro 39.A. Artículos de la Constitución de la república de Guatemala relacionados a Gestión de Riesgo y Patrimonio Cultural

No. de Artículo	Gestión de Riesgo
Artículo 1	Protección a la Persona. El Estado de Guatemala se organiza para proteger a la persona y a la familia; su fin supremo es la realización del bien común.
Artículo 2	Deberes del Estado. Es deber del Estado garantizar a los habitantes de la República la vida, la libertad, la justicia, la seguridad, la paz y el desarrollo integral de la persona.
Artículo 3	Derecho a la vida. El estado garantiza y protege la vida humana desde su concepción, así como la integridad y la seguridad de la persona.
Artículo 44	Derechos inherentes a la persona humana. Los derechos y garantías que otorga la Constitución no excluyen otros que, aunque no figuren expresamente en ella, son inherentes a la persona humana. El interés social prevalece sobre el interés particular. Serán nulas ipso jure las leyes y las disposiciones gubernativas o de cualquier otro orden que disminuyan, restrinjan o tergiversen los derechos que la Constitución garantiza.
Artículo 97	Medio ambiente y equilibrio ecológico. El Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están

No. de Artículo	Gestión de Riesgo
	obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Se dictarán todas las normas necesarias para garantizar que la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua, se realicen racionalmente, evitando su depredación.
Artículo 119	Obligaciones del Estado. Son obligaciones fundamentales del Estado: a. Promover el desarrollo económico de la Nación, estimulando la iniciativa en actividades agrícolas, pecuarias, industriales, turísticas y de otra naturaleza; b. Promover en forma sistemática la descentralización económica administrativa, para lograr un adecuado desarrollo regional del país; d. Velar por la elevación del nivel de vida de todos los habitantes del país procurando el bienestar de la familia
Artículo 127	Régimen de aguas. Todas las aguas son bienes de dominio público, inalienables e imprescriptibles. Su aprovechamiento, uso y goce, se otorgan en la forma establecida por la ley, de acuerdo con el interés social. Una ley específica regulará esta materia
Artículo 134	Descentralización y autonomía. El municipio y las entidades autónomas y descentralizadas actúan por delegación del Estado. La autonomía, fuera de los casos especiales contemplados en la Constitución de la República, se concederá únicamente, cuando se estime indispensable para la mayor eficiencia de la entidad y el mejor cumplimiento de sus fines. Para crear entidades descentralizadas y autónomas, será necesario el voto favorable de las dos terceras partes del Congreso de la República. Se establecen como obligaciones mínimas del municipio y de toda entidad descentralizada y autónoma, las siguientes: a. Coordinar su política, con la política

No. de Artículo	Gestión de Riesgo
	general del Estado y, en su caso, con la especial del Ramo a que correspondan; b. Mantener estrecha coordinación con el órgano de planificación del Estado.
Patrimonio	
Artículo 58	Se refiere a la identidad cultural y reconoce el derecho de las personas y de las comunidades a su identidad cultural de acuerdo con sus valores, su lengua y costumbres.
Artículo 59	Es obligación primordial del Estado proteger, fomentar y divulgar la cultura nacional, emitir las leyes y disposiciones que tiendan al enriquecimiento, restauración, preservación y recuperación.
Artículo 60	Especifica que forman parte del Patrimonio Cultural de la Nación, los bienes y valores paleontológicos, arqueológicos, históricos y artísticos del país, y están bajo protección del Estado. Se prohíbe su enajenación, exportación o alteración, salvo los casos que determine la ley.
Artículo 61	Los sitios arqueológicos, conjuntos monumentales y el centro cultural de Guatemala, recibirán atención especial del Estado, con el propósito de preservar sus características y resguardar su valor histórico y bienes culturales, estarán sometidas a régimen especial de conservación el Parque Nacional Tikal, el parque Arqueológico de Quiriguá y La ciudad de La Antigua Guatemala, por haber sido declarados Patrimonio Mundial, así como aquellos que adquieran similar reconocimiento.
Artículo 62	La expresión artística nacional, el arte popular, el folklore y las artesanías e industrias autóctonas, deben ser objeto de protección especial del Estado, con el fin de preservar su autenticidad. El estado propiciará la apertura de mercados nacionales e internacionales para la libre comercialización de la obra de los artistas y artesanos, promoviendo su producción y

No. de Artículo	Gestión de Riesgo
	adecuada tecnificación.
Artículo 65	La actividad del Estado en cuanto a la preservación y promoción de la cultura y sus manifestaciones estará a cargo de un órgano específico con presupuesto propio

Fuente: Córdova, 2012; UNESCO, 2006.

b. Ley de Orden Público

En su capítulo IV se refiere al estado de calamidad y las acciones para reducir en lo posible los daños causados por cualquier calamidad en el país, región, departamento, municipio o localidad, así como evitar o reducir sus efectos, aspectos fundamentales en la Gestión de Riesgo para la Reducción de Desastres.

c. Ley 109-96 Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres

El reglamento de esta ley, Acuerdo Gubernativo 49-2012, menciona sus artículos 84,85 y 86 la generación de instrumentos como estudios de riesgo, uso de normas técnicas de construcción y normas necesarias para la reducción de desastres, además de programas educativos para fomentar la cultura de prevención.

d. Ley Protectora de la Ciudad de Antigua Guatemala, Decreto 60-69

Esta ley delimita el área de conservación patrimonial, los inmuebles sujetos a un régimen especial de conservación y el interés público por preservar el valor artístico e histórico de la ciudad.

La misma ley crea en Consejo Nacional para la Protección de la Antigua Guatemala cuya función es el cuidado, protección, restauración y conservación de los bienes muebles e inmuebles situados en la ciudad.

Así mismo asigna funciones al Conservador designado por el consejo funciones de estudio de planos y especificaciones de los proyectos de edificación y restauración, vigilancia del desarrollo urbanístico de la Ciudad y dirigir la aplicación del Plan Regulador, así como la propuesta de las modificaciones que estime necesarias o convenientes.

Adicional a esto en su artículo 15 establece la creación de un departamento de construcciones y restauraciones que tendrá a su cargo la tramitación de planos y autorización de nuevas construcciones privadas, por lo que en su artículo 23 demanda que toda nueva construcción debe contar con la licencia del consejo y debe sujetarse a las disposiciones del Plan Regulador.

El capítulo IV de la ley señala todas las sanciones por quien destruya, deteriore, dañe o transforme los bienes protegidos, quien será acusado de delito contra el Patrimonio Cultural de la Nación.

e. Ley protectora del Patrimonio Natural y Cultural de la Nación, Decreto 81-98

Esta ley tiene por objeto la protección, defensa, valorización, rescate, salvamento, recuperación, investigación y conservación de los bienes que integran el Patrimonio Cultural de la Nación, y establece que cualquier intervención en el patrimonio con fines de restauración requiere procedimientos técnicos aceptados internacionalmente con el fin de conservar el patrimonio.

f. Ley de Fomento Turístico, Decreto 25-74.

Esta ley faculta el Instituto Guatemalteco de Turismo para proceder a la ordenación turística del territorio nacional, por medio del planeamiento y desarrollo de zonas y centros de interés turístico nacional, en áreas de dominio público o privado.

Esta ley también estipula que las construcciones, instalaciones y demás actividades que se realicen en el país por personas individuales o jurídicas, nacionales o extranjeras, con la finalidad de promover, desarrollar e incrementar el turismo, deberá enmarcarse en la ordenación general prevista por dicha entidad, la que debe aprobar los planes respectivos para su creación y funcionamiento.

g. Política Nacional para la Reducción de Riesgo de Desastres

Para el cumplimiento de esta política se establece como institución encargada La Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres –CONRED- que velará por el fortalecimiento de la prevención de desastres y la reducción de la vulnerabilidad. La política se basa en cuatro ejes fundamentales: la identificación, análisis y valoración del riesgo, la preparación de capacidades y condiciones para el manejo de riesgo a los desastres, la gestión: mitigación, transferencia y adaptación y por último la recuperación post desastre.

El objetivo general de la política es aumentar la resiliencia y reducir la vulnerabilidad de las poblaciones y los pueblos (culturas), procesos productivos y territorios en riesgo a desastres con el fin de mejorar la calidad de vida y un desarrollo seguro de Guatemala. Para esto trabaja con el desarrollo de los objetivos del Milenio, en el Marco de Acción de Hyogo y la Política Centroamericana para la Gestión Integral del Riesgo propuesta por CEPREDENAC.

h. Política Nacional de Cultura y Deporte

Esta política se construyó bajo un sistema participativo e inclusivo y busca propiciar el desarrollo humano integral y sostenible a través del fomento de la cultura. El patrimonio cultural y natural constituye una riqueza y fuente de identidad para la nación por lo que la política dicta de su investigación, conservación y puesta en función social derivando beneficios para mejorar la calidad de vida de las comunidades y en general de la población.

Algunas de las estrategias que adopta esta política y que tienen relación con turismo y gestión de riesgo son la promoción de mecanismos para fortalecer el inventario y el registro del patrimonio cultural, garantizando su propiedad, protección, conservación y adecuado manejo. Por otro lado, plantea el trabajo junto a otras instituciones públicas y privadas para la elaboración y ejecución de planes de prevención y salvaguardia del patrimonio cultural y natural de la nación ante casos de desastres naturales, depredación, tráfico ilícito, además de propiciar convenios participativos entre instituciones a nivel nacional e internacional para fomentar el turismo cultural y ecológico.

i. Política Nacional para el Desarrollo Turístico

Al igual que la anterior política fue construida de una forma participativa, integrando actores del sector turístico en el país, fue promovida por la Asociación de Investigación y Estudios Sociales –ASIES- y la Cámara Guatemalteca de Turismo –CAMTUR-, con el fin de promover el desarrollo turístico sostenible, como un eje articulador del desarrollo de la Nación que contribuya a la calidad de vida de los guatemaltecos y mejore la competitividad del país.

En sus líneas de acción propone garantizar la protección patrimonial, la mejora de la calidad de vida de las comunidades y la rentabilidad de iniciativas empresariales, pequeñas, medianas y grandes.

La política cuenta con el reconocimiento de las autoridades de Gobierno, como un factor clave para alcanzar el desarrollo económico y social de país y promueve establecer la coordinación interinstitucional que facilite la formulación de políticas públicas y ejecución de programas y proyectos.



CAPITULO III

3. INFORME DE SERVICIOS REALIZADOS EN EL INSTITUTO PRIVADO DE INVESTIGACIÓN SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO (ICC) DURANTE LOS MESES DE FEBRERO A NOVIEMBRE DEL AÑO 2017.

3.1. PRESENTACIÓN

Los servicios son parte del proceso del ejercicio profesional supervisado de la facultad de agronomía (EPSA) cuya finalidad es la contribución al desarrollo y participación en la solución de problemas actuales dentro de la región o institución de acción.

En este sentido, y de acuerdo a los proyectos del programa de gestión de riesgo de desastres del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático -ICC-, se hace necesario retrabajar el proyecto de captación de agua mediante neblina, debido a la carencia de servicios de agua en algunas comunidades como es el casco de la aldea La Soledad en donde dicho recurso llega de manera racionada y limitada. El programa de gestión de riesgo ha trabajado anteriormente con la instalación de un sistema piloto de atrapaniebla el cuál captura agua de las corrientes de neblina propias de la zona. Sin embargo, debido a los fuertes vientos el sistema ha sufrido problemas estructurales y debe ser reparado para seguir con el proyecto y determinar su viabilidad.

Adicionalmente, el ICC trabaja anualmente dentro de las actividades del programa de desarrollo de capacidades y divulgación, el desarrollo de cursos y diplomados sobre adaptación al cambio climático en el cual participa el programa de gestión de riesgo con la importación de uno de los módulos. Esto con la finalidad es concientizar, educar y mejorar las capacidades de las comunidades para disminuir la vulnerabilidad de la población.

El capítulo actual detalla los servicios realizados dentro del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, que permiten no solo cumplir con los objetivos del EPSA, sino también aportar de manera más sustanciosa a los problemas que afronta los pobladores de la Aldea La Soledad y el mejoramiento de las capacidades de los comunitarios en distintas zonas de la costa sur mediante la impartición de los cursos y diplomados.

3.2. SERVICIO 1. REINSTALACIÓN DEL PROYECTO PILOTO ATRAPANIEBLA.

3.2.1. Objetivos

C. General

- a. Reinstalar el sistema atrapaniebla en la aldea La Soledad del municipio de Acatenango, Chimaltenango.

D. Específicos

- a. Reactivar el sistema atrapaniebla y lograr su adecuado funcionamiento.
- b. Determinar la capacidad de captación de captación del sistema

3.2.2. Metodología

El proceso seguido para la reinstalación del sistema atrapaniebla junto a los detalles de cada etapa se muestran en la figura 53.

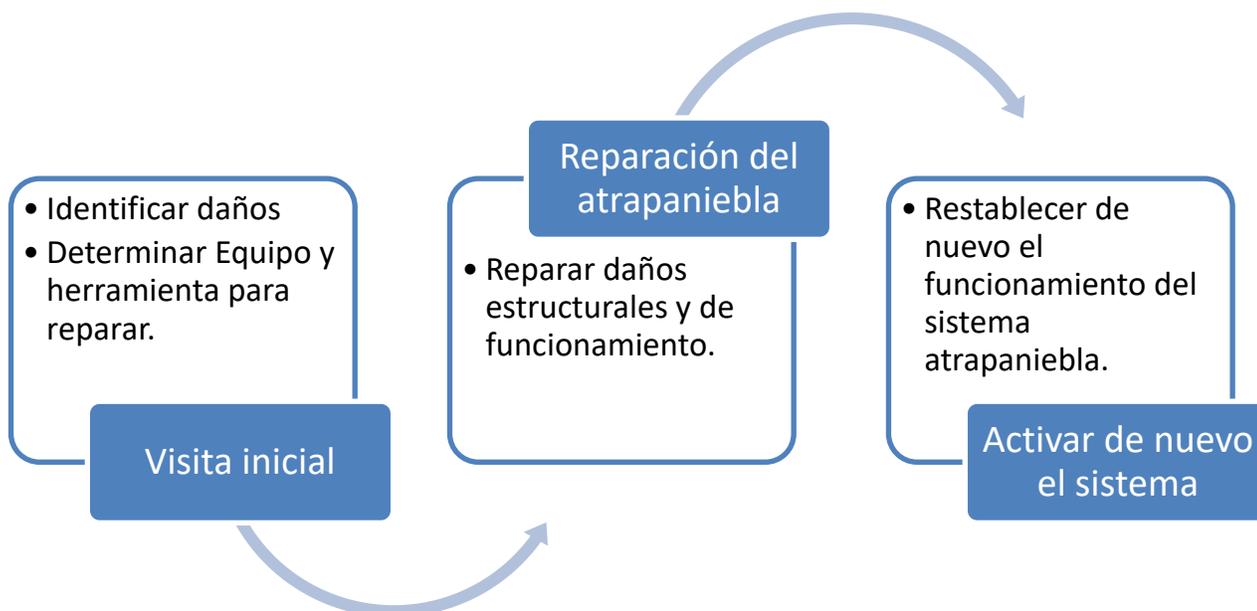


Figura 53. Proceso a seguir para la reinstalación del sistema atrapaniebla.

El procedimiento en general constó de tres etapas, la primera fue una visita inicial que permitió ver los daños causados por el viento al sistema y enumerar la cantidad de herramientas y equipo necesarios para la reparación. Estos fueron principalmente la ruptura de un ala del sistema (figura 54).



Figura 54. Sección afectada del sistema atrapaniebla

El equipo y herramientas necesario para la reparación fueron sarán, canales de conducción de pvc, cinta métrica, cable acerrado con forros de plástico, pernos y tensores.

La reparación de los daños consistió principalmente en la costura y parchado de las partes rasgadas del sarán, establecer una torre lo suficientemente alta para poder levantar de nuevo el ala y posteriormente tensarla (figura 55).

3.2.3. Resultados

Al final del proceso, se logró restablecer el sistema y verificar el buen funcionamiento del mismo en la captación de agua. El rendimiento se estableció en aproximadamente 3.5 lt/m^2 al día en situaciones climáticas ideales.

El área final del sistema atrapaniebla fue de 50 m^2 lo que alcanza una capacidad de captación de 175 lt/día . La Organización Mundial de la Salud -OMS- establece que cada persona necesita una cantidad de agua entre 50 lt/día a 100 lt/día para poder satisfacer

sus necesidades básicas, lo que determina que el sistema posee capacidad para cubrir la demanda de una familia de tres personas.



Figura 55. Reinstalación del atrapaniebla en la aldea La Soledad

3.2.4. Conclusiones

1. Con el trabajo de reinstalación completado se logró restablecer la operatividad del sistema con un área efectiva de captación de 50m^2 .
2. La capacidad instalada del sistema es de 175 lt/día lo que puede satisfacer las necesidades básicas de una familia de 3 personas.

3.2.5. Recomendaciones

1. Es necesario el constante monitoreo del sistema para evitar daños o responder rápidamente a la reparación del mismo, esto con el fin de evitar interrumpir su funcionamiento y por ende la recolección de datos que llegarán a determinar la viabilidad del proyecto.

3.3. SERVICIO 2. TALLERES DE CAPACITACIÓN EN GESTIÓN DE RIESGO A COMUNITARIOS.

3.3.1. Objetivos

A. General

- c. Capacitar a los comunitarios en materia de gestión de riesgo de desastres y adaptación al cambio climático.

E. Específicos

- a. *Entender la percepción de los comunitarios acerca del tema de gestión de riesgo.*
- b. *Mejorar las habilidades y conocimiento en gestión de riesgo tanto conceptualmente como en la percepción y toma de decisiones.*
- c. *Mostrar a los comunitarias opciones de adaptabilidad al cambio climático en*
- d. *el ámbito del recurso agua.*

3.3.2. Metodología

Para poder desarrollar este servicio se viajó a las comunidades en donde se llevaba a cabo el curso o diplomado para apoyar con la impartición de dos de los módulos; uno acerca de gestión de riesgo de desastres y otro de adaptación al cambio climático relacionado al recurso agua.

La agenda de dichos abarcaba distintos aspectos como el análisis histórico de desastres en el país, conceptos básicos de gestión de riesgo, concientización de

problemas de agua en el mundo hasta la demostración de sistemas de alerta temprana y de captación de lluvia. El cuadro 22 detalla la agenda de cada módulo.

Cuadro 40. Agenda de temas impartidos en los módulos de GDR y adaptación al cambio climático

Módulo	Agenda
Gestión de riesgo de desastres	Análisis histórico de los desastres en el país.
	Importancia de la gestión de riesgo de desastres -GDR-.
	Conceptos en la GDR
	Plan de emergencia familia
	Visita al sistema de alerta temprana de la comunidad Canoguitas, Escuintla.
Adaptación al cambio climático en el recurso agua	Problemática mundial del agua
	Situación actual del recurso agua en Guatemala
	Sistemas de captación de agua
	Demostración de un sistema doméstico de captación de agua de lluvia

3.3.3. Resultados

A lo largo de los diez meses del ejercicio profesional supervisado se capacitó a 134 personas distribuidas en cinco grupos (figura 56). Estos talleres permitieron no solo entender la percepción de los comunitarios acerca de la problemática ambiental, sino también aportar herramientas como la elaboración de un plan de emergencia familiar, los sistemas de captación de agua y los sistemas de alerta temprana que de ser adoptados por los pobladores figuraran un avance en la adaptación y mitigación al cambio climático. El cuadro 23 muestra la información acerca de los grupos capacitados



Figura 56. Fotografías de talleres impartidos sobre gestión de riesgo de desastres y adaptación al cambio climático

Cuadro 41. Grupos capacitados en temas de gestión de riesgo de desastres y adaptación al cambio climático.

Grupo	Municipio	Departamento	Hombres	Mujeres	Total
Caballo Blanco	Retalhuleu	Retalhuleu	16	19	35
Chiquimulilla	Chiquimulilla	Santa Rosa	16	11	27
San José el Ídolo	San José el Ídolo	Retalhuleu	8	9	17
Nueva Concepción	Nueva Concepción	Escuintla	13	14	27
La Gomera	La Gomera	Escuintla	20	8	28
Total de personas capacitadas					134

3.3.4. Conclusiones

1. Los talleres permitieron entender la percepción de los comunitarios, en su mayoría de la costa sur acerca de la problemática ambiental local y de la gestión de riesgo de desastres.
2. Con la impartición de talleres se logró crear una percepción más real y técnica acerca de GDR, además de ofrecer herramientas como el plan de emergencia familiar y sistemas de alerta temprana que permitirán mejorar sus habilidades de mitigación y toma de decisiones.
3. El módulo de adaptación al cambio climático se logró mostrar el sistema doméstico de captación de agua, ofreciendo así un método efectivo adaptarse a la falta del recurso.

3.3.5. Recomendaciones

1. Se sugiere aumentar el alcance de los diplomados y talleres a comunidades más lejanas o de difícil acceso. Esto permitirá mejorar las herramientas y habilidades de más personas ante los desastres naturales y la carencia del recurso agua.
2. Es importante que la información impartida en los talleres se actualice cada año, principalmente en el aspecto del estado actual de la problemática ambiental del país puesto que esto permitirá que los comunitarios tengan una percepción más real de la situación.

3.4. BIBLIOGRAFÍA

28. ICC (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, Guatemala). 2015. Informe de actividades ejecutadas de julio-octubre de 2015 en el tema de captación de agua de niebla y cosecha de agua de lluvia en aldea La Soledad, Acatenango, Chimaltenango. Guatemala. 14 p.
29. ICC (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, Guatemala). 2018. Informe de labores 2017. Guatemala. 93 p.
30. ONU (Organización de las Naciones Unidas). 2011. El derecho humano al agua y al saneamiento. España. 8p.