

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
ÁREA INTEGRADA



TRABAJO DE GRADUACIÓN

**ANÁLISIS DE LA MODELACIÓN HIDRÁULICA DE LA PARTE NORTE DEL RÍO
CHIXOY, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN HEIFER INTERNATIONAL
GUATEMALA, SEDE EN ALTA VERAPAZ, GUATEMALA, C. A.**

GUSTAVO ALBERTO SAMAYOA LÓPEZ

Guatemala, septiembre 2019

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

**ANÁLISIS DE LA MODELACIÓN HIDRÁULICA DE LA PARTE NORTE DEL RÍO
CHIXOY, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN HEIFER INTERNATIONAL
GUATEMALA, SEDE EN ALTA VERAPAZ, GUATEMALA, C. A.**

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

POR

GUSTAVO ALBERTO SAMAYOA LÓPEZ

**EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO
INGENIERO AGRÓNOMO**

EN

**RECURSOS NATURALES RENOVABLES
EN EL GRADO ACADÉMICO DE
LICENCIADO**

Guatemala, septiembre 2019

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 I	Dr. Marvin Roberto Salguero Barahona
VOCAL II	Dra. Gricelda Lily Gutiérrez Álvarez
VOCAL III	Ing. Agr. M. A. Jorge Mario Cabrera Madrid
VOCAL IV	Per. Agr. Marlon Estuardo González Álvarez
VOCAL V	Per. Agr. Marvin Orlando Sicajaú Pec
SECRETARIO	Ing. Agr. Juan Alberto Herrera Ardón

Guatemala, septiembre del 2019

Guatemala, septiembre 2019

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 titulado: **“ANÁLISIS DE LA MODELACIÓN HIDRÁULICA DE LA PARTE NORTE DEL RÍO CHIXOY, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN HEIFER INTERNATIONAL GUATEMALA, SEDE EN ALTA VERAPAZ, GUATEMALA, C. A..”** como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables, 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”



GUSTAVO ALBERTO SAMAYOA LÓPEZ

ACTO QUE DEDICO

A:

DIOS

A Dios Jehová por darme la energía de vida, la capacidad, motivación y recursos para seguir adelante.

MIS PADRES

Por estar siempre a mi lado en los momentos buenos y malos, por inculcarme valores, ética, amor a Dios y por ser un ejemplo que seguir en mi vida. Sin todo el amor, apoyo, felicidad y armonía que me dan cada día esto no hubiese sido posible.

MIS HERMANOS

Por el apoyo brindado durante toda mi vida, por ser mis compañeros de vida y mis mejores amigos de siempre.

MI PROMETIDA

Por su apoyo incondicional en todo momento, por inspirarme a ser mejor y a superar mis miedos, por compartir todos los momentos de angustia y alegría.

AMIGOS

Es difícil nombrar a tantas personas que estuvieron durante esta etapa, gracias a todos los que me enseñaron valiosas lecciones de vida, por los momentos inolvidables compartidos y por la inmensa felicidad que me han dado. Agradecimientos especiales a Carlos Rodríguez (QEPD), Ángeles Méndez, Juana Reynoso, Erick Salvatierra, Adrián Serech, Jorge Gómez, Alejandro Quevedo, José Ramírez, Herson Velásquez, Andrea Solombrino, Gustavo Cruz, Adeldo Montejo, Jacky Montes, Juan Ignacio Rueda, Juan Ignacio Estrada, Hesse Flores, Yameli Chanchavac, Alejandro Carrera, Sergio García, Eileen Rivera, Jaquelin Araujo, Ronaldo Caal, Isaac Matías, Marlon Vásquez, José Marcucci, Francisco Herrera, Víctor García, Carlos Ortíz, Emy Pérez, Karla Sandoval, Isidro Chex, Dr. Marco Aceituno, Ing. Willy Quintana, Dr. Ezequiel López, Octavio Martínez, Kelder Ortíz, a todos mis amigos que me apoyaron fuera de la universidad, Guillermo Fernández, Jaime Ibarra, Julia Cermeño, Óscar Oliva a mis primos y tíos, y a mis invaluable amigos del IMB-PC y San Cristóbal,.

AGRADECIMIENTOS

A:

Dr. Marvin Salguero por ser mi asesor en este trabajo de graduación, por haberme motivado a realizar un trabajo con excelencia y por compartir sus conocimientos de los diferentes ámbitos del campo agronómico, ambiental y social.

Dr. Marco Vinicio Fernández por ser mi supervisor durante el proceso del EPS, por siempre motivarme a ser mejor y por compartir cada uno de sus conocimientos en el ámbito de investigación y agronomía.

M. Sc. Jéser Esaú de Patzán Nij por su asesoría y apoyo en la etapa crucial de mi investigación, por su amistad invaluable.

Dr. Oscar Castañeda por ser un gran modelo para seguir, por siempre estar dispuesto a apoyarme en todo momento y por todas las lecciones de vida que me ha dado.

Ing. Quim. Polly Castañeda por toda su hospitalidad, aprecio y respeto hacia mi persona. Por todas sus enseñanzas y motivaciones a seguir adelante.

Dr. Byron González por su apoyo incondicional a través de la redacción de este documento, por todos los conocimientos transmitidos hacia mi persona y por impulsarme a ser mejor profesional.

Ing. Larry Paul por siempre creer en mí, por su apoyo incondicional en la etapa del EPS, por su asesoría y paciencia, y por darme la oportunidad de realizar mi EPS en Heifer International Guatemala.

M. Sc. David Juárez Quim por todos los conocimientos transmitidos a través de todos los cursos, por su amistad y asesoría en diversos campos de la agronomía y la vida.

Ing. Agr. Jorge Abel Hernández Macz por su amistad, apoyo y guía en la determinación de secciones transversales del río Chixoy.

Salvador Casado por su paciencia, hospitalidad, amistad y enseñanzas, aprecio todo el tiempo compartido durante el EPS.

Ing. Walter Bardales por su colaboración, amistad y asesoría en mi investigación.

Lucrecia Sam por su colaboración y traducción en el diagnóstico de la microrregión Playitas.

Ing. Carlos López Búcaro por su apoyo y revisión de la investigación.

ÍNDICE GENERAL

TÍTULO	PÁGINA
RESUMEN	XI
SIGLAS Y ACRÓNIMOS	XV
CAPÍTULO I: DIAGNÓSTICO SOCIOECONÓMICO Y BIOFÍSICO DE LA MICRORREGIÓN PLAYITAS, CHISEC, ALTA VERAPAZ, GUATEMALA, C. A.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN	3
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	5
1.3 OBJETIVOS.....	6
1.3.1 General.....	6
1.3.2 Específicos	6
1.4 MARCO REFERENCIAL.....	7
1.4.1 Chisec	7
1.4.2 Generalidades del Municipio.....	8
1.4.3 Etimología	9
1.4.4 Administración municipal	9
1.4.5 Antecedentes.....	9
1.4.6 Microrregión Playitas	10
1.5 METODOLOGÍA	12
1.5.1 Determinar la situación socioeconómica de la microrregión.....	12
1.5.2 Elaboración de entrevista semiestructurada	17
1.5.3 Recopilación de datos	18
1.5.4 Análisis de variables recopiladas y tabulación de datos.....	19
1.5.5 Caracterización biofísica de la microrregión	19
1.5.6 Selección de variables biofísicas	20
1.5.7 Recopilación de información secundaria.....	20
1.5.8 Análisis de variables recopiladas y proceso de datos	21

TÍTULO	PÁGINA
1.5.9 Mapa Topográfico Básico.....	21
1.5.10 Mapa geológico	22
1.5.11 Mapa de Uso de la Tierra.....	22
1.5.12 Mapa de Capacidad de Uso de la Tierra (CUT)	22
1.5.13 Mapa de Intensidad de Uso de La Tierra	22
1.5.14 Árbol de causas y efectos	23
1.5.15 Árbol de soluciones.....	24
1.6 RESULTADOS “Caracterización de la microrregión”	26
1.6.1 Demografía	26
1.6.2 Topografía y mapa base	42
1.6.3 Series de suelos	43
1.6.4 Geología	45
1.6.5 Zonas De Vida Por Holdrige.....	47
1.6.6 Fisiografía	49
1.6.7 Uso de la tierra.....	56
1.6.8 Capacidad de Uso de la Tierra (CUT)	56
1.6.9 Intensidad de Uso de la Tierra	60
1.6.10 Problema principal	63
1.6.11 Árbol de Causas y Efectos.....	63
1.6.12 Árbol de Objetivos o Árbol de Medios y Fines.....	66
1.7 BIBLIOGRAFÍA.....	69
CAPÍTULO II: ANÁLISIS DE LA MODELACIÓN HIDRÁULICA, PARTE NORTE DEL RÍO CHIXOY, MICRORREGIÓN PLAYITAS, CHISEC, ALTA VERAPAZ, GUATEMALA	71
2.1 PRESENTACIÓN	73
2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	74

TÍTULO	PÁGINA
2.3 MARCO CONCEPTUAL	75
2.3.1 Flujo de canales abiertos	75
2.3.2 Modelación hidráulica	76
2.3.3 Tipos de modelos hidráulicos	77
2.3.4 Modelación de canales abiertos	78
2.3.5 El sistema hidrológico “cuenca”	78
2.3.6 Complejidad de modelos vs disponibilidad de datos	80
2.3.7 Elementos de un modelo	80
2.3.8 Calibración y validación	81
2.3.9 Modelación hidráulica	81
2.3.10 Modelación en HEC-RAS	83
2.3.11 Componentes del modelo hidráulico de HEC-RAS	83
2.3.12 Simulación.....	85
2.3.13 Comportamiento de los eventos extremos.....	87
2.3.14 Distribución de frecuencia para valores extremos	89
2.3.15 Distribución Gumbel	89
2.3.16 Distribución Pearson Tipo III.....	90
2.4 MARCO REFERENCIAL.....	91
2.4.1 Recurso hídrico de la cuenca Chixoy.....	93
2.4.2 Precipitación en la cuenca	93
2.4.3 Caudales antes del embalse.....	94
2.4.4 Caudal después del embalse.....	95
2.4.5 Perfil del río Chixoy.....	97
2.4.6 Microrregión Playitas	97
2.5 Objetivo general.....	100
2.5.1 Objetivos específicos.....	100
3.1 Metodología	101
3.1.1 Determinación de caudales de diseño	101

TÍTULO	PÁGINA
3.1.2 Determinación de cotas de crecidas de caudal máximo	104
3.1.3 Elaboración del mapa de amenaza por inundación	118
3.2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	123
3.2.1 Determinación de tiempos de retorno de eventos extremos	123
3.3 Determinación de cotas de crecida máxima del tramo de estudio	127
3.4 Cota de inundaciones de noviembre de 2003.....	133
3.5 Mapa de amenaza a inundaciones	133
3.6 CONCLUSIONES.....	136
3.7 RECOMENDACIONES.....	137
3.8 BIBLIOGRAFÍA.....	138
3.9 ANEXOS	140
CAPÍTULO III: SERVICIOS REALIZADOS EN ALTA VERAPAZ, GUATEMALA, C. A. ..	145
4.1 Introducción.....	147
4.2 Objetivo general	148
4.3 Objetivos específicos.....	148
4.4 Servicio 1: Capacitación SIG a técnicos de entidades de desarrollo social.....	148
4.4.1 Presentación.....	148
4.4.2 Objetivos.....	149
4.4.3 Metas	149
4.4.4 Metodología	149
4.4.5 Material y equipo.....	151
4.4.6 Resultados	151
4.4.7 Apéndices	152
4.5 Servicio 2: Implementación de Bio-bardas en el río Chixoy.	153
4.5.1 Presentación.....	153
4.5.2 Objetivo.....	154

TÍTULO	PÁGINA
4.5.3 Metas.....	154
4.5.4 Metodología.....	154
4.5.5 Material y equipo	156
4.5.6 Apéndices.....	156
4.6 Servicio 3: Infraestructura del paisaje.....	158
4.6.1 Presentación.....	158
4.6.2 Objetivo	158
4.6.3 Metas.....	158
4.6.4 Materiales:.....	159
4.6.5 Metodología.....	159
4.6.6 Materiales.....	160
4.6.7 Apéndices.....	160

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
Figura 1. Metodología general de caracterización socioeconómica.....	12
Figura 2. Metodología general de caracterización biofísica.	20
Figura 3. Producción de maíz en comunidad Las Mercedes 1	29
Figura 4. Pérdida de cultivos por inundación en comunidad Las Mercedes 1	29
Figura 5. Mapa base de la microrregión “Playitas”	42
Figura 6. Mapa de series de suelos	44
Figura 7. Mapa de geología	46
Figura 8. Mapa de zonas de vida	48
Figura 9. Mapa fisiográfico	55
Figura 10. Mapa de uso de la tierra.....	58
Figura 11. Mapa de capacidad de uso de la tierra.....	59
Figura 12. Mapa de intensidad de uso de la tierra.....	62
Figura 13. Árbol de causas y efectos	64
Figura 14. Árbol de medios y fines	68
Figura 15. Esquema de un sistema hidrológico.....	79
Figura 16. Mapa base de cuenca del río Chixoy.	92
Figura 17. Limnómetro de estación San Agustín Chixoy.	96
Figura 18. Perfil del río Chixoy.	97
Figura 19. Mapa base de microrregión "Playitas".	99
Figura 20. Delimitación de la cuenca del río Chixoy.	107
Figura 21. Ejemplo de sección transversal del tramo de estudio.	108
Figura 22. Secciones transversales en tramo de estudio.	109
Figura 23. Modelo de regresión lineal para corrección del DEM.	111
Figura 24. Diagramación de componente geométrico del modelo hidráulico.....	112
Figura 25. Componente geométrico en HEC-RAS.	113
Figura 26. Planicie de inundación.	114
Figura 27. Superficie del cauce.	115
Figura 28. Componentes de flujo estable.	117

FIGURA	PÁGINA
Figura 29. Análisis de flujo estable.	118
Figura 30. Histograma de frecuencias de caudales.	121
Figura 31. Área de influencia de estaciones meteorológicas en la cuenca.	122
Figura 32. Caudal de diseño para distribución Normal, Gumbel y Pearson III.	123
Figura 33. Caudales de diseño para distribuciones logarítmicas.	125
Figura 34. Caudal de diseño para todas las distribuciones.	126
Figura 35. Nivel de agua en sección transversal.	127
Figura 36. Gráfica del perfil del tramo del río Chixoy.	128
Figura 37. Gráfica del perfil general del tramo del río Chixoy.	129
Figura 38. Gráfica del perfil general del tramo del río Chixoy.	130
Figura 39. Mapa de cota de inundaciones de noviembre de 2003.	131
Figura 40. Mapa de amenaza a inundaciones.	132
Figura 41. Ejemplo de sección del cauce natural.	134
Figura 42. Mapa de cauce natural.	135
Figura 43A. Mapa realizado durante primera capacitación SIG.	152
Figura 44A. Croquis realizado por participantes de 2da. capacitación SIG	152
Figura 45A. Segunda capacitación SIG.	153
Figura 46A. Presentación de bio-bardas a estudiantes del colegio CONALFA.	156
Figura 47A. Elaboración de red de bio-bardas.	157
Figura 48A. Bio-barda finalizada.	157
Figura 49A. Visita de campo para infraestructura del paisaje.	160
Figura 50A. Implementación de infraestructura del paisaje.	161

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
Cuadro 1. Matriz de determinación de variables parte 1.	13
Cuadro 2. Continuación de Matriz de determinación de variables parte 2.	14
Cuadro 3. Continuación de Matriz de determinación de variables parte 3.	15
Cuadro 4. Continuación de Matriz de determinación de variables parte 4.	16
Cuadro 5. Variables, metodologías y fuentes de parámetros biofísicos.	21
Cuadro 6. Diagrama de elaboración de árbol de causas y efectos.	24
Cuadro 7. Diagrama de elaboración de árbol de soluciones.	25
Cuadro 8. Población en comunidades de la microrregión Playitas.	26
Cuadro 9. Población estimada en la microrregión Playitas.	27
Cuadro 10. Población económicamente activa en la microrregión Playitas.	28
Cuadro 11. Ingreso promedio en la microrregión Playitas.	30
Cuadro 12. Educación en la microrregión Playitas.	31
Cuadro 13. Migración en la microrregión Playitas.	32
Cuadro 14. Etnias en la microrregión Playitas.	33
Cuadro 15. Tenencia de la tierra en la microrregión.	35
Cuadro 16. Tipos de vivienda en la microrregión.	36
Cuadro 17. Tipos de vivienda en la microrregión.	37
Cuadro 18. Servicios en la microrregión.	38
Cuadro 19. Hospitales y centros de salud en la microrregión.	39
Cuadro 20. Natalidad y mortalidad en la microrregión.	40
Cuadro 21. Alimentación de los pobladores en la microrregión.	41
Cuadro 22. Series de suelos.	43
Cuadro 23. Geología.	45
Cuadro 24. Matriz de CUT para la región “Tierras Calizas Bajas del Norte”	56
Cuadro 25. Matriz de CUT para la región “Tierras Calizas Bajas del Norte”	57
Cuadro 26. Resumen de CUT.	57
Cuadro 27. Descripción de clases de Capacidad de Uso de la Tierra.	60
Cuadro 28. Nomenclatura de Intensidad de uso de la tierra.	61
Cuadro 29. Limitaciones entre modelos físicos y matemáticos.	78

CUADRO	PÁGINA
Cuadro 30. Ventajas y desventajas de la simulación.	86
Cuadro 31. Precipitación en la cuenca del río Chixoy.	94
Cuadro 32. Tendencia de caudal medio anual.	95
Cuadro 33. Caudales en la microrrección Playitas.	96
Cuadro 34. Medidas estadísticas de caudales.	101
Cuadro 35. Caudales de diseño para tres distribuciones de probabilidad.	103
Cuadro 36. Caudales de diseño para tres dist. de probabilidad logarítmica.	104
Cuadro 37. Coordenadas de secciones transversales.	110
Cuadro 38. Valores base de n de Manning para canales estables.	116
Cuadro 39. Tabla de frecuencias de caudales (2002-2016).	120
Cuadro 40. Niveles de alerta en mapa de amenaza a inundaciones.	120
Cuadro 41. Área de influencia de estaciones meteorológicas en la cuenca.	123
Cuadro 42A. Valores de Y_n y S_n , en función de N para dist. Gumbel.	140
Cuadro 43A. Valores de Z para distribución Pearson III en función de C_s	141
Cuadro 44A. Factores de ajuste para n de Manning.	142

ANÁLISIS DE LA MODELACIÓN HIDRÁULICA DE LA PARTE NORTE DEL RÍO CHIXOY, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN HEIFER INTERNATIONAL GUATEMALA, SEDE EN ALTA VERAPAZ, GUATEMALA, C. A.

RESUMEN

El presente documento constituye el informe final del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), realizado durante los meses de febrero a noviembre del 2017 en Heifer International Guatemala, sede en Alta Verapáz, Guatemala, C. A.

La microrregión Playitas se encuentra conformada por 12 comunidades que comparten similares condiciones de vida, en ella habitan 5,878 personas, de ellas el 100% de hombres se encuentran económicamente activos y principalmente se emplean en la industria de la palma africana, pocas mujeres son económicamente activas y se dedican a la agricultura recibiendo pago por jornal, el resto se dedica a labores domésticas. El ingreso promedio por familia es de Q 800.00 proviniendo principalmente de jornales.

La emigración de los pobladores de la microrregión es principalmente dentro del país y solo algunos migran hacia Estados Unidos donde envían una remesa promedio de \$ 100.00 mensuales. Las principales etnias son Q'eqchi' y ladina, siendo la primera el 90% de toda la población, el idioma predominante es el Q'eqchi' y español, aunque algunas personas que inmigraron hablan otros idiomas.

La principal organización comunitaria es el COCODE, la tenencia de la tierra es principalmente de arrendamiento y el alquiler es de Q1,000.00 por manzana, el tipo de vivienda es rustica hecha principalmente de techos lámina y paredes de madera.

La principal actividad productiva es agricultura donde cultivan maíz, frijol, tomate, achiote, chile, cardamomo, tomate, y sandía. Los servicios que disponen las comunidades son agua potable, energía eléctrica, servicio de tv cable, servicio de transporte, señal de telefonía

celular, aunque algunas comunidades no tienen acceso a ninguno, teniendo que caminar largas distancias para abastecerse de agua.

Existen centros de convergencia en cada comunidad, pero es deficiente y solo atiende una enfermera en ciertos días del mes, las principales causas de morbilidad son el dengue, paludismo, Chikungunya, y enfermedades gastrointestinales ocasionadas principalmente por agua contaminada, lo que deja espacio para la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales comunitaria. En cada comunidad nacen aproximadamente cinco personas al año. La principal causa de mortalidad es por enfermedades comunes, diabetes y vejez.

Los pobladores llevan una alimentación a base de frijol, arroz, pescado, maíz, a veces pollo, camote y malanga, los pobladores indicaron que consumen pollo una vez cada 15 días lo que podría indicar un déficit de proteína; sin embargo, algunos pobladores presentan diabetes.

Las principales series de suelos son de la serie Chacalté, Chapayal, Sebol, Tamahú, Tzejá, de material calizo y aluvial, las principales regiones fisiográficas son las tierras bajas interiores de peten y las tierras altas sedimentarias.

El uso de la tierra de la microrregión está enfocado principalmente a la agricultura sin limitaciones y pastos naturales. La capacidad de uso de la tierra es principalmente de agricultura sin limitaciones y sistemas silvopastoriles, esto es una gran oportunidad para implementar proyectos de capacitación para mejorar la soberanía alimentaria de los pobladores. La intensidad de uso de la tierra es principalmente de subuso, esto quiere decir que la tierra tiene alto potencial de producción de alimentos y algunas tierras son adecuadas para el plan de incentivos forestales.

De no poseer los medios necesarios para subsistir uno de los principales problemas de los pobladores son las inundaciones, para entender mejor la situación se creó un mapa de amenaza a inundaciones que muestra las áreas y comunidades inundables, además se

determinaron los tiempos de retorno de eventos extremos, esto demostró, según la distribución Pearson III, Normal y Gumbel el tiempo de retorno de las tormentas evaluadas es de 10 a 50 años. Según la distribución Gumbel, Pearson III y Normal el tiempo de retorno es de 10, 30 y 50 años respectivamente.

Para mejorar la situación se realizaron algunas actividades, una de ellas es la capacitación en sistemas de información geográfica a instituciones involucradas en Chisec (municipalidad, Heifer International y Pastoral Social), se dieron charlas ambientales y se trabajaron bio-bardas con los jóvenes de Chisec. Además, se implementaron estructuras para la reducción de deslizamientos en el municipio de Tukurú.

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

Sigla / Acrónimo	Descripción
COCODE	Consejos Comunitarios de Desarrollo
EPS	Ejercicio Profesional Supervisado
FAUSAC	Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala
MAGA	Ministerio de Agricultura y Ganadería
SAT	Sistema de Alerta Temprana
SIG	Sistema de Información Geográfica
UGAM	Unidad de Gestión Ambiental Municipal



**CAPÍTULO I: DIAGNÓSTICO SOCIOECONÓMICO Y BIOFÍSICO DE LA
MICRORREGIÓN PLAYITAS, CHISEC, ALTA VERAPAZ, GUATEMALA, C. A.**

1.1 INTRODUCCIÓN

Chisec es un municipio con altos índices de inundaciones, pobreza y desnutrición, y para poder conocer más a profundidad los detalles de sus personas y los factores que inciden en sus condiciones de vida es necesario realizar un estudio de las mismas, por esto se decidió realizar un diagnóstico socioeconómico y biofísico que facilitara el entendimiento de la región y permitirá desempeñar el ejercicio profesional con mayor eficiencia además de generar información de vital importancia para la municipalidad y en este caso las instituciones que deseen implementar proyectos en el municipio de Chisec.

Chisec es un municipio que está formado de 13 microrregiones en las cuales actúan diferentes instituciones gubernamentales y Organizaciones No Gubernamentales (ONG), para poder seleccionar una región que se pueda estudiar con los recursos y tiempo disponible fue necesario consultar a las principales instituciones que tienen proyectos en este municipio, estas instituciones son Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAGA), Heifer Guatemala, la municipalidad de Chisec, la Pastoral Social Caritas, y la Unidad de Gestión Ambiental (UGAM), ellos expresaron que algunas de las comunidades más afectadas por diversos factores como las inundaciones, la pobreza y la falta de vivienda propia era la Microrregión Playitas, está compuesta por 13 comunidades de las cuales 8 son afectadas directamente por el río Chixoy, ya que se encuentran aledañas a éste.

La metodología para llevar a cabo este diagnóstico contempló 3 partes, la primera parte fue la caracterización socioeconómica, la segunda parte consistió en la caracterización biofísica y la tercera parte en la elaboración del árbol de soluciones y sus productos previos.

Heifer International es una organización no gubernamental que se inició en Arkansas, Estados Unidos y se instaló en Guatemala con la finalidad de impulsar el desarrollo rural y urbano del país, su metodología de trabajo proviene de la frase “Dar una vaca en lugar de un vaso de leche” creada por su fundador el Sr. Dan West quien fundó Heifer en 1944 y comenzó la metodología de pase en cadena de ganado que incluso hoy en día se sigue

utilizando de manera exitosa. Heifer trabaja para alcanzar la autosostenibilidad de las familias y comunidades, dotando de especies animales, semillas, árboles, capacitación técnica e invirtiendo en insumos y proyectos que permitan alcanzar esta meta.

Heifer Guatemala posee proyectos en tres regiones clave del país: La Región de Occidente que incluye los departamentos de Huehuetenango y Quiché; La Región Norte que incluye a Petén, Izabal y Alta Verapaz y la Región de Oriente que incluye los departamentos de Zacapa y Chiquimula. Entre los proyectos de la Región Norte se encuentra el proyecto Rise Up (Alzarse), este proyecto busca darles autosostenibilidad a las comunidades y proporcionarles lo necesario para mejorar sus condiciones de vida, este proyecto se trabaja junto con municipalidades, organizaciones asociadas (Defensores de la Naturaleza, ADRI, Pastoral Social – Cáritas) y entidades del estado.

Heifer posee una subsede en el municipio de Chisec el cual será el municipio donde se llevó a cabo este diagnóstico que será una herramienta indispensable para conocer la realidad y situación regional en un fragmento de tiempo determinado y permite determinar las fortalezas, debilidades, amenazas y oportunidades que se presentan.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El municipio de Chisec, ubicado en el departamento de Alta Verapaz es un municipio con altos índices de inundaciones, los COCODE informan que suceden aproximadamente 2 inundaciones significativas al año en el municipio, y las comunidades se vuelven más pobres cada vez que sucede una inundación.

Según la UGAM de Chisec, uno de los ríos que presentan inundaciones y generan grandes pérdidas dentro del municipio de Chisec es el río Negro o río Chixoy, este se encuentra en la parte noroeste del municipio. Este río tiene gran importancia para las personas pues los pobladores de las comunidades cercanas al río se dedican principalmente a la pesca, al transporte en lancha y al turismo, esto hace que las personas sigan viviendo en la región a pesar de los altos índices de inundaciones. Entre los proyectos de Heifer y la municipalidad está contemplado el análisis y gestión de riesgo a inundaciones en el municipio, por lo tanto, será de vital importancia un diagnóstico socioeconómico, biofísico y de amenazas de una microrregión aledaña al río Chixoy. Se seleccionó una microrregión por la factibilidad económica de poder implementar una solución a los problemas de inundaciones.

Según la UGAM de Chisec, anualmente se reporta al menos 1 inundación significativa en la microrregión "Playitas" la cual se seleccionó debido a que es donde más se han reportado pérdidas ocasionadas por desastres naturales o durante invierno, por las crecidas del río Chixoy.

La importancia de realizar un diagnóstico para esta microrregión radica en la obtención técnica y científica de información correspondiente a su realidad local actual. Esto incluye la identificación de sus fortalezas y debilidades; problemas, necesidades y demandas prioritarias; entre esto también se busca identificar su organización social y medios de supervivencia ante inundaciones.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 General

- A. Determinar la situación socioeconómica y biofísica de la microrregión “Playitas” aledaña al río Chixoy, ubicada en el municipio de Chisec.

1.3.2 Específicos

- A. Determinar la situación socioeconómica de la microrregión “Playitas”.
- B. Elaborar una caracterización biofísica de la microrregión “Playitas”.
- C. Generar mapas temáticos de la microrregión “Playitas”.
- D. Detectar las principales problemáticas de la microrregión “Playitas”.
- E. Priorizar los problemas encontrados de la microrregión.
- F. Elaborar un árbol de soluciones de los principales problemas de la microrregión.

1.4 MARCO REFERENCIAL

1.4.1 Chisec

El municipio de Chisec, Alta Verapaz, se compone de un pueblo, que es donde está asentada su cabecera municipal, 142 Aldeas y Caseríos, y según la UGAM (2017) se encuentran administrativamente distribuidos en 13 microrregiones, de la siguiente manera:

- Microrregión Canlech
- Microrregión Chiquibul
- Microrregión Playitas
- Microrregión Lomas del Norte
- Microrregión Semuy
- Microrregión Sehix
- Microrregión Sesuchaj
- Microrregión Chisec Rural
- Microrregión Chisec Urbana
- Microrregión Carolina
- Microrregión Samaria
- Microrregión Samococh
- Microrregión Sejux

Las Alcaldías Auxiliares se ubican en:

- Chiquibul
- Samaria
- Canlech
- Sasuchaj
- Samococho
- Sehix

1.4.2 Generalidades del Municipio

Chisec posee una población total de 82,231 pobladores, es también el segundo municipio más grande en extensión territorial de Alta Verapaz, estos pobladores se encuentran distribuidos entre las aldeas y caseríos del municipio.

Chisec, es el segundo municipio de Alta Verapaz, más grande en extensión territorial, y en población cuenta con un total 82,231 pobladores que habitan las distintas aldeas y caseríos del Municipio.

- Altura media 230 msnm
- Extensión 1,008 km²
- Idiomas predominantes español, Q'eqchi'
- Límites:
 - Al norte: Sayaxché
 - Al Sur: Cobán y San Pedro Carcha, Alta Verapaz
 - Al Este: Raxruhá y Fray Bartolomé de las Casas, Alta Verapaz
 - Al Oeste: Cobán, Alta Verapaz e Ixcán, Playa Grande, Quiché

1.4.3 Etimología

Pueblo conocido como Espíritu Santo desde el año Mil ochocientos ochenta (1,880), y posteriormente conocido como Chisec, cuya etimología proviene de nuestro idioma Kekchi que significa: CHI: Lugar de, o en, y SEC, hoja silvestre, lanceada y cortante que en español es: Navajuela. La traducción literal entonces sería Lugar De La Navajuela.

1.4.4 Administración municipal

Conforme el Acuerdo Numero 013-2015 emitido por el Tribunal Supremo Electoral, se nombra al señor Selvyn Ottoniel Reyes Rivera como Alcalde Municipal para el período del 2016 a 2020, quien fue electo democráticamente dentro del municipio; así como también el Acta No. 007-2016 de toma de posesión del cargo Municipal, así como de la administración de esta.

1.4.5 Antecedentes

La cultura del municipio de Chisec está ligada a la cosmovisión del pueblo Maya Q'eqchi' la que se refleja en sus formas de vida. Culturalmente, el varón es la cabeza del hogar y el responsable del sostenimiento y toma de decisiones; aunque en aquellas de retorno, y cercanas al casco urbano se están dando cambios en el sentido que las mujeres han asumido el papel de jefas de hogar, toman decisiones y contribuyen al sostenimiento del hogar (Hagamos historia 2016).

La producción del municipio se basa en la agricultura de especies para el autoconsumo donde las más importantes es la producción de Maíz, y frijol (las comunidades con mayor producción de maíz y frijol están Canlech, Playitas, Aldea Secomuxan I). Otros cultivos a menor escala se consideran el chile, arroz, cítricos, sandia, papaya, melón y aves de corral y ganado porcinos (Hagamos historia 2016).

La Población Económicamente Activa (PEA) del municipio de Chisec es de 34%, de los cuales el 29% son hombres y 6% mujeres. La mayor parte de la población activa se encuentra en la agricultura de subsistencia, evidenciándose un alto porcentaje de mano de obra no calificada sin posibilidad de capacitarse. Las condiciones de generación de empleo son mayoritariamente de autoempleo en el sector primario de la economía y muy escasamente en el sector terciario. (Hagamos historia 2016)

En el mes de agosto se tiene la mayor incidencia de migración temporal por fines laborales, seis centros poblados: Sesuchaj, Santa Marta, Sehix, Rubelho, Se tzi, Semox Setinta son los poblados que más generan movimiento, las labores en que se ocupan son principalmente como cuadrilleros que se trasladan a fincas del interior de la república o a municipios vecinos. Tanto en épocas normales como en períodos de crisis hay una alta migración externa e interna a México y otras zonas de Guatemala para trabajos agrícolas en cortes de café y caña y actividades comerciales. La migración a la zona de los cultivos de maíz se da en los meses de abril a mayo; a los cortes de café en enero y de septiembre a diciembre; al corte de cardamomo en los meses de enero a marzo y de octubre a diciembre. (Hagamos historia 2016)

1.4.6 Microrregión Playitas

Es una microrregión que se encuentra al noroeste del municipio de Chisec, es el límite de Chisec que colinda con el municipio de Playa Grande, Quiché y Sayaxché, Petén. Es de vital importancia ya que en uno de sus límites está definido por el río Chixoy o río Negro, lo cual provee a esta microrregión un alto valor ambiental y socioeconómico.

Se encuentra conformado por 12 comunidades:

- Aldea Playitas
- Aldea San Francisco Las Mercedes
- Aldea Isla del Remolino
- Aldea Rubelsanto
- Aldea Verapaz
- Aldea Las Mercedes I
- Aldea Las Mercedes II
- Aldea Tierra Linda
- Caserío Tierra Negra I
- Caserío Quimalá
- Caserío Tierra Blanca
- Caserío San Francisco Las Victorias

1.5 METODOLOGÍA

1.5.1 Determinar la situación socioeconómica de la microrregión

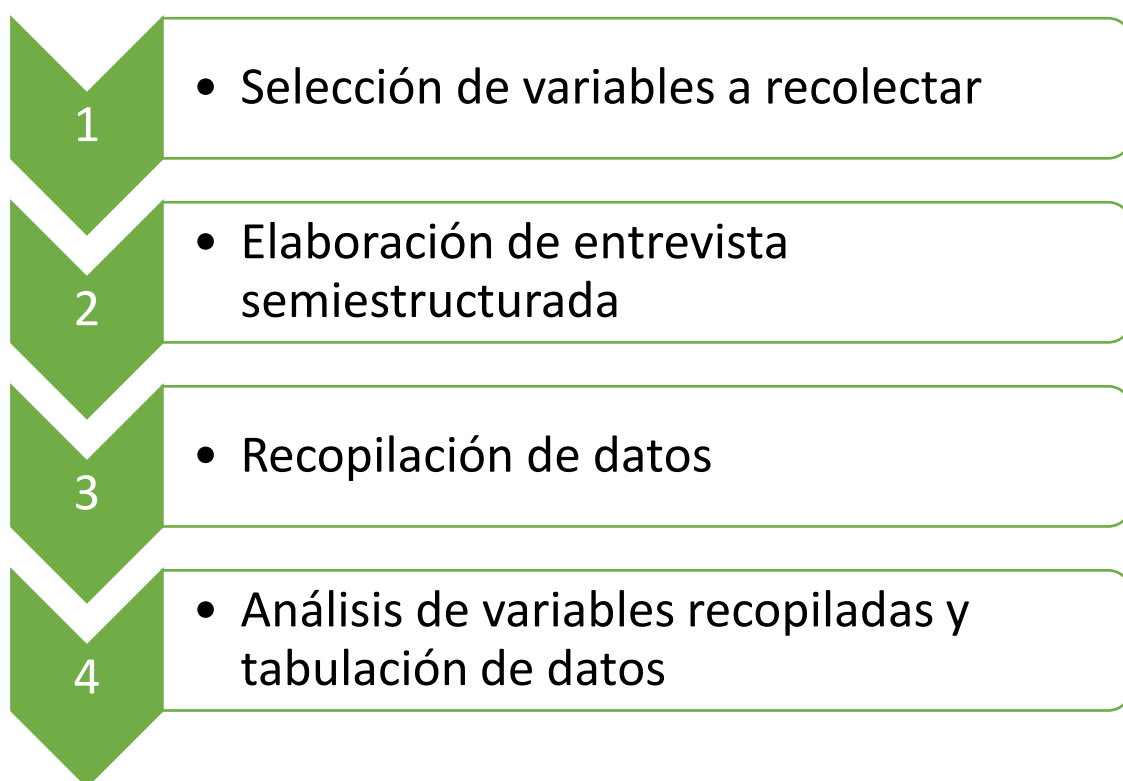


Figura 1. Metodología general de caracterización socioeconómica.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

El proceso anterior se describirá a continuación:

A. Selección de variables a recolectar

Para la selección de variables socioeconómicas a recolectar se utilizó una matriz de determinación de variables. Uno de los resultados más importantes que ofrece la matriz de determinación de variables son las preguntas formuladas, estas preguntas generadoras fueron utilizadas en la entrevista semiestructurada.

Cuadro 1. Matriz de determinación de variables parte 1.

Matriz de determinación de variables					
Objetivo específico	Indicadores	Descripción de los indicadores	Variables	Descripción de las variables	Preguntas a formular
Determinar la situación socioeconómica de la microrregión "Playitas"	Población total	Indica el número de personas que viven en la comunidad, sexo y edad	# Personas por comunidad	Los rangos de edad serán <1 mes, >1mes, 1-4 años, 5-9 años,10-19 años, 20-59 años, >60 años	¿Cuántas personas viven en la comunidad?
			# Niños por comunidad		¿Cuántos niños viven en la comunidad?
			# Mujeres por comunidad		¿Cuántas mujeres viven en la comunidad?
			# Adultos por comunidad		¿Cuántos adultos viven en la comunidad?
			# Ancianos por comunidad		¿Cuántos ancianos viven en la comunidad?
	Población económicamente activa	Personas involucradas en actividades económicas	# mujeres económicamente activas	Todas aquellas personas que se encuentran laborando, o comerciando	¿Cuántas mujeres se encuentran activas económicamente?
			# Hombres económicamente activos		¿Cuántos hombres se encuentran activos económicamente?
	Nivel de ingresos	Ingreso mínimo	Ingreso mínimo promedio	Todas aquellas actividades que permiten generar ingresos a los pobladores	¿Cuál es el ingreso mínimo promedio?
		Valor del jornal	Valor promedio del jornal en quetzales		¿Cuál es el valor del jornal?
		Fuentes de ingresos	Principales fuentes de ingresos		¿Cuáles son las principales fuentes de ingresos?
	Educación	Tasa de alfabetización	% de personas alfabetas	Cantidad de personas con ciertos niveles de educación	¿Qué porcentaje de la población sabe leer y escribir?
		Niveles de educación	nivel de educación promedio		¿Cuál es el nivel de educación promedio de las personas?
Escuelas		Cantidad de escuelas	Número de escuelas por comunidad	¿Cuántas escuelas hay en la comunidad?	

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Cuadro 2. Continuación de Matriz de determinación de variables parte 2.

Objetivo específico	Indicadores	Descripción de los indicadores	Variables	Descripción de las variables	Preguntas a formular
Determinar la situación socioeconómica de la microrregión "Playitas"	Migraciones	Emigraciones	% de emigraciones	porcentaje de personas que salen del municipio para trabajar	¿Cuántas personas emigran al año?
		Motivo de emigración	Principales motivos de emigración	Principales causas por las cuales las personas emigran a otras regiones	¿Cuál es la razón principal de las emigraciones?
		Remesas	# familias que reciben remesas	número de familias que reciben remesas de EEUU	¿Cuántas familias reciben remesas?
	Grupos étnicos	Población indígena	# personas indígenas y no indígenas	Número de personas indígenas, no indígenas y de otras etnias, y su idioma o lengua.	¿Cuántas personas ladinas habitan en la comunidad?
		Etnias presentes	Etnias presentes en la comunidad		¿Qué etnias están presentes en la comunidad?
		Idioma	Idiomas hablados en la comunidad		¿Qué idiomas se hablan?
	Comités y organizaciones	Estructura organizacional	Jerarquía de organización	Jerarquía de organización dentro de la comunidad	¿Qué jerarquía organizacional existe en la comunidad?
	Tenencia de la tierra	Precio de alquiler	Precio de alquiler de unidad productiva	Determina cuantos pobladores poseen tierras propias, cuantos alquilan y su unidad productiva	¿Cuál es el precio de alquiler por manzana de tierra?
		Tenencia	Propiedad de la tierra		¿Cuántas personas poseen tierras propias? Y ¿Cuál es el área promedio de tenencia de la tierra por familia?
	Vivienda	Tipo de vivienda	Selección del tipo de vivienda encontrada	Debe ser vivienda formal o improvisada	¿Cuántas personas poseen viviendas formales?
Materiales		Listado de materiales para la creación de viviendas	Describir si son de madera, lámina, cemento, etc.	¿De qué materiales están construidas las viviendas?	

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Cuadro 3. Continuación de Matriz de determinación de variables parte 3.

Determinar la situación socioeconómica de la microrregión "Playitas"	Actividades productivas	Principales actividades productivas	Listado de actividades productivas de la comunidad	Las actividades pueden ser agricultura, ganadería, pesca, artesanías.	¿Qué actividades productivas realizan?
		Descripción de las actividades	Descripción de cada una de las actividades		Describe las actividades productivas
	Servicios	Servicios disponibles	Lista de servicios disponibles	Los servicios pueden ser Agua, Drenajes, Energía, Transporte, Telefonía, Cable	¿De qué servicios dispone la comunidad?
		Descripción de los servicios	Descripción de servicios en la comunidad		¿Cuál es la calidad en estos servicios?
	Hospitales y puestos de salud	Puestos de salud disponibles	# de puestos de salud en la comunidad	Cantidad de puestos de salud y su categoría	¿Cuántos puestos de salud existen en la comunidad? ¿Qué categoría son?
	Salones municipales y centros de recreación	Disponibilidad de salones y centros de recreación	# de salones y centros de recreación	Cantidad de salones y centros de recreación	¿Cuántos salones municipales y centros de recreación se encuentran en la comunidad?
	Vías de acceso	Caminos y carreteras	Tipo de caminos y carreteras de acceso	Caminos de terracería o asfalto	¿Qué tipo de caminos existen en la comunidad?
	Salud	Descripción de salud	Principales enfermedades y padecimientos	Lista de principales padecimientos	¿Cuáles son las principales enfermedades y padecimientos en la comunidad?
	Morbilidad	Personas en estado de morbilidad	# de personas en estado de morbilidad	personas con enfermedades	¿Cuántas personas se encuentran enfermas?
	Natalidad	Natalidad	%de natalidad	Nacimientos por año	¿Cuántas personas nacen al año?
Mortalidad	Mortalidad	% de mortalidad	Principales causas de muerte	¿Cuántas son las principales causas de muerte?	

Fuente: Elaboración propia, 2017.

Cuadro 4. Continuación de Matriz de determinación de variables parte 4.

Objetivo específico	Indicadores	Descripción de los indicadores	Variables	Descripción de las variables	Preguntas a formular
Determinar la situación socioeconómica de la microrregión "Playitas"	Infraestructura	población atendida por puestos de salud	# personas atendidas en puestos de salud	Cantidad de personas y comunidades que atiende el centro de salud al año	¿Cuántas personas atiende el puesto de salud o centro de convergencia al año?
	Uso de la tierra	Uso de la tierra	Principales usos de la tierra	Describir si la tierra se usa para cultivar alimentos (¿cuáles?), producción de madera, sistemas agroforestales, producción de palma, ganado, etc.	¿Qué usos se le da principalmente a la tierra?
	Alimentación	Alimentos consumidos generalmente por la población	Lista de alimentos consumidos generalmente y la frecuencia	Alimentos consumidos principalmente	¿Qué alimentos y con qué frecuencia se consumen normalmente en la comunidad?

Fuente: Elaboración propia, 2017.

1.5.2 Elaboración de entrevista semiestructurada

A partir de las preguntas a formular en la matriz de determinación de variables se elaboró la entrevista semiestructurada, la cual consistió en las siguientes preguntas:

1. ¿Cuántas personas viven en la comunidad?
2. ¿Cuántos niños viven en la comunidad?
3. ¿Cuántas mujeres viven en la comunidad?
4. ¿Cuántos adultos viven en la comunidad?
5. ¿Cuántos ancianos viven en la comunidad?
6. ¿Cuántas mujeres se encuentran activas económicamente?
7. ¿Cuántos hombres se encuentran activos económicamente?
8. ¿Cuál es el ingreso mínimo promedio?
9. ¿Cuál es el valor del jornal?
10. ¿Cuáles son las principales fuentes de ingresos?
11. ¿Qué porcentaje de la población sabe leer y escribir?
12. ¿Cuál es el nivel de educación promedio de las personas?
13. ¿Cuántas escuelas hay en la comunidad?
14. ¿Cuántas personas emigran al año?
15. ¿Cuál es la razón principal de las emigraciones?
16. ¿Cuántas familias reciben remesas?
17. ¿Cuántas personas ladinas habitan en la comunidad?
18. ¿Qué etnias están presentes en la comunidad?
19. ¿Qué idiomas se hablan?
20. ¿Qué jerarquía organizacional existe en la comunidad?
21. ¿Cuál es el precio de alquiler por manzana de tierra?
22. ¿Cuántas personas poseen tierras propias?
23. ¿Cuál es el área promedio de tenencia de la tierra por familia?
24. ¿Cuántas personas poseen viviendas formales?
25. ¿De qué materiales están construidas las viviendas?
26. ¿Qué actividades productivas realizan?

27. Describa las actividades productivas
28. ¿De qué servicios dispone la comunidad?
29. ¿Poseen servicio de transporte, telefonía, cable, agua y luz?
30. ¿Cuál es la calidad en estos servicios?
31. ¿De qué manera se cocina en la comunidad? (Leña, gas, otro)
32. ¿Cuántos puestos de salud existen en la comunidad? ¿Qué categoría son?
33. ¿Poseen salones municipales y centros de recreación?
34. ¿Poseen campo de fútbol en la comunidad?
35. ¿Qué tipo de caminos existen en la comunidad?
36. ¿Cuáles son las principales enfermedades y padecimientos en la comunidad?
37. ¿Cuántas personas se encuentran enfermas?
38. ¿Cuántas personas nacen al año?
39. ¿Cuántas son las principales causas de muerte?
40. ¿Cuántas personas atiende el centro de salud?
41. ¿Qué usos se le da principalmente a la tierra?
42. ¿Qué alimentos comen normalmente en la comunidad?

1.5.3 Recopilación de datos

Se recopiló información a partir de 2 fuentes de datos secundarios, las cuales son:

A. Datos secundarios

Información disponible a través de fuentes publicadas, incluyendo revisiones bibliográficas, encuestas, informes de Organizaciones No Gubernamentales (ONG), organizaciones internacionales y oficinas gubernamentales como el Instituto Geográfico Nacional (IGN), Instituto Nacional de Estadística (INE), y la Municipalidad de Chisec.

B. Datos primarios cuantitativos

Como datos principales se seleccionaron datos primarios cuantitativos, y se recopilaron a partir de entrevistas semiestructuradas, este tipo de dato se centra en la información que se puede contar y someter a análisis estadístico. Para la recopilación de datos se entrevistó a cada COCODE de cada comunidad/aldea de la microrregión.

C. Datos primarios cualitativos

Se recopilaron datos primarios cualitativos con el objetivo de captar experiencias de los participantes usando palabras, dibujos y objetos, en este caso a través de una entrevista semiestructurada en la cual se incluyeron mapas para una recopilación de datos más exacta.

No se realizó prueba alguna ni análisis estadístico a ninguna variable, a excepción de las proyecciones de población.

1.5.4 Análisis de variables recopiladas y tabulación de datos

Los datos recolectados fueron debidamente analizados, discriminados, simplificados y organizados en cuadros, gráficas y descripciones textuales, según fue necesario. Además, se debe describir cada una de las variables determinadas para una mejor comprensión de los resultados.

1.5.5 Caracterización biofísica de la microrregión

La caracterización biofísica se llevó a cabo recopilando una serie de variables necesarias, el proceso se realizó de la siguiente manera:

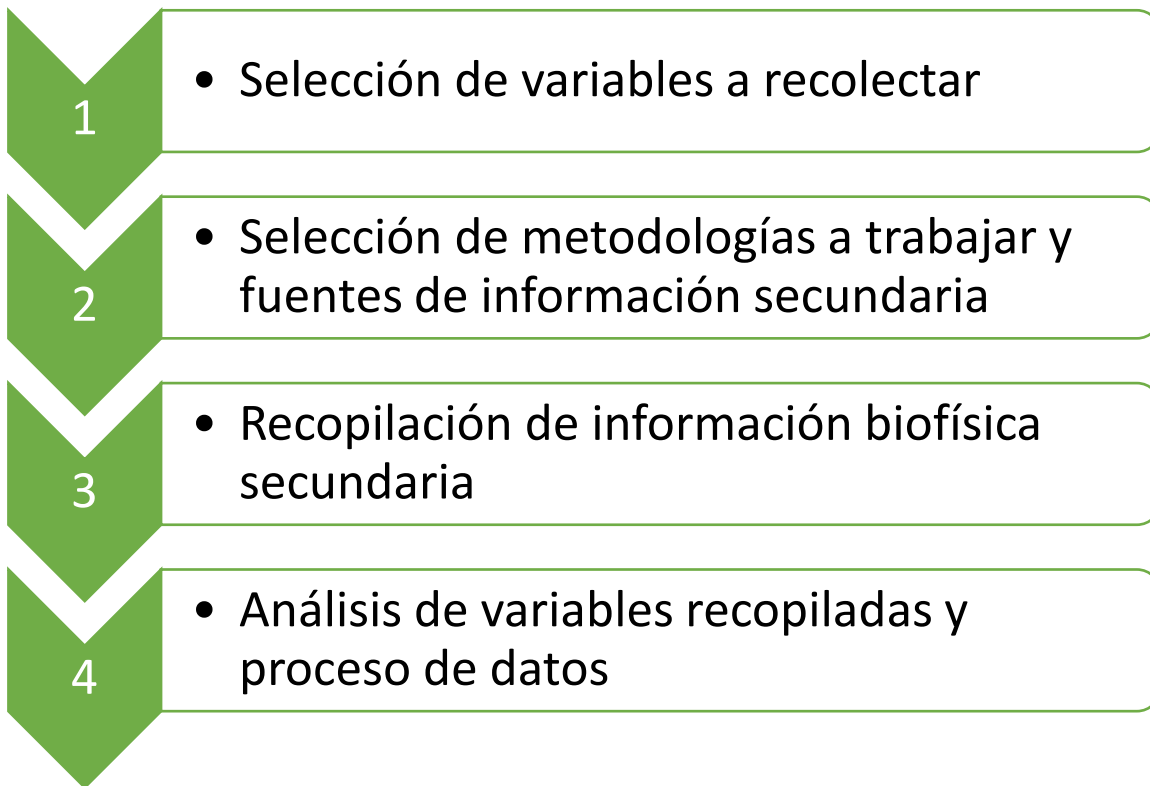


Figura 2. Metodología general de caracterización biofísica.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

1.5.6 Selección de variables biofísicas

Las variables seleccionadas para la caracterización se encuentran descritas en el cuadro 5.

1.5.7 Recopilación de información secundaria

La recopilación de la información secundaria se llevó a cabo contactando las fuentes principales de información y solicitando información principalmente en formato *.shp que es el formato que se utiliza en el software ArcGIS, este tipo de información permitió elaborar mapas temáticos de la región y también crear nueva información como intensidad de uso y capacidad de uso de la tierra. La información climática se obtuvo principalmente del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) y de bases

de datos climáticas proporcionadas por Asociación Nacional de Café de Guatemala (Anacafé).

Cuadro 5. Variables, metodologías y fuentes de parámetros biofísicos.

Variable	Metodología/Clasificación/Dimensional	Fuente
Clasificación de suelos	FAO/UNESCO	MAGA
Geología	Clasificación taxonómica de suelos	MAGA
Temperatura	°C (Grados Celsius)	INSIVUMEH, Anacafé
Evapotranspiración	Thornthwaite (mm/mes)	INSIVUMEH, Anacafé
Precipitación	(mm/mes)	INSIVUMEH, Anacafé
Escorrentía	(mm/mes)	INSIVUMEH, Anacafé
Humedad relativa	%	INSIVUMEH, Anacafé
Zonas de Vida	Holdridge	IGN
Fisiografía	INAB	INAB
Uso de la tierra	INAB	MAGA
Pendientes	INAB	IGN
Curvas a nivel	Curvas cada 30msnm	IGN

Fuente: Elaboración propia, 2017.

1.5.8 Análisis de variables recopiladas y proceso de datos

1.5.9 Mapa Topográfico Básico

- Con ayuda del software de ArcGIS 10.2.2 se editó la información geométrica geográfica en formato shape¹, además del shape de ríos, centros poblados, puestos de salud o centros de convergencia, escuelas. Se creó el TIN que es un shape vectorial que representa información morfológica, en este caso del relieve de la microrregión.
- Se calculó el área total de la microrregión, a través de ArcGIS.

¹ El formato ESRI Shapefile (SHP) es un formato de archivo informático propietario de datos espaciales desarrollado por la compañía ESRI.

1.5.10 Mapa geológico

- El mapa geológico se origina a partir del shape geológico publicado por el MAGA en el año 2,002 a escala 1: 50,000, únicamente se genera cortando el shape con la herramienta clip en ArcGis

1.5.11 Mapa de Uso de la Tierra

El mapa de uso de la tierra se elaboró en base a la metodología del Instituto Nacional de Bosques (INAB 2001) y el shape de uso de la tierra del MAGA (2010).

1.5.12 Mapa de Capacidad de Uso de la Tierra (CUT)

La metodología utilizada fue la metodología del INAB esta clasifica tierras según su capacidad productiva, está determinada por factores determinantes y factores limitantes, los factores determinantes son la profundidad y la pendiente según la región fisiográfica en la que se encuentren y los factores limitantes o modificantes son la pedregosidad y el drenaje. El Mapa de Capacidad de uso de la tierra fue elaborado en base a las bases de datos proporcionadas por dicha institución. Por lo tanto, únicamente se presenta la extracción y procesamiento de la información cartográfica de dicha base de datos.

1.5.13 Mapa de Intensidad de Uso de La Tierra

La primera tarea consistió en la elaboración del mapa de Uso de la Tierra a partir del shape de uso de la tierra 2010 del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAGA). Los distintos usos actuales deben de coincidir, en su leyenda, con las distintas clases de Capacidad de uso de la tierra que establece la metodología del Instituto Nacional de Bosques (INAB) para su fácil interpretación.

La segunda tarea consiste en la elaboración del mapa de Capacidad de uso de la tierra metodología INAB en la que se deben de identificar las principales limitantes y su clase de capacidad en números arábigos. A partir de la elaboración de estos dos mapas se procede a entre poner ambos con el fin de obtener el mapa de Intensidad de uso de la tierra.

Para obtener el mapa de Intensidad de uso de la tierra, en la base de datos del Sistema de Información Geográfico empleado, se debe utilizar el comando “Intersect” para que la tabla de atributos del uso actual de la tierra se traslape con la tabla de atributos de capacidad de uso de la tierra. Al obtener esta disolución se podrá obtener las distintas categorías de Intensidad de uso (Uso correcto, Sub uso y Sobre uso).

Para comprender el paso anterior se requiere de una matriz de datos que relacionen la aptitud de uso con el uso actual de la tierra, de tal forma, que sirva de referencia como nomenclatura, así identificar en el mapa de Intensidad de uso los distintos polígonos y poder ubicarlos de forma más sencilla.

1.5.14 Árbol de causas y efectos

La información referente a la creación del árbol de causas y efectos surge a partir de la caracterización realizada para microrregión y el estudio de vulnerabilidades.

Cuadro 6. Diagrama de elaboración de árbol de causas y efectos.

A partir de esta información se procede a realizar una lluvia de ideas sobre principales problemas en la microrregión.

Se debe elegir el problema principal que afecta a la microrregión a través de una matriz de pares para jerarquizar los problemas encontrados. Este problema debe ser crítico y afectar el aspecto económico, ambiental y social de la microrregión.

Con el problema seleccionado, en las raíces se deben especificar las causas principales del problema partiendo desde el ápice de las raíces con el método deductivo hacia el tallo del árbol.

A partir del software CMapTools se procede a crear el árbol con todas sus causas en las raíces, el problema en el tallo y los efectos en la copa.

Los efectos se crean a partir del problema principal, se deben enumerar todos los factores que serán afectados por el problema y se deben especificar de manera más general a una forma más específica.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

1.5.15 Árbol de soluciones

El árbol de soluciones se da a partir del árbol de causas y efectos, este árbol también es llamado árbol de medios y fines, pues a diferencia del árbol de causas y efectos, este árbol sirve de guía para poder visualizar más fácilmente el camino para lograr solucionar los problemas, por tanto, para poder realizar este árbol se procede de la siguiente manera.

Cuadro 7. Diagrama de elaboración de árbol de soluciones.

Todos las causas del árbol de problemas deben de interpretarse de una manera positiva y por tanto convertirse en un medio para la solución del problema principal, este problema principal pasará a ser una solución.

Se debe seleccionar un medio de solución para cada causa del árbol de problemas, es decir, la forma en que se piensa mitigar o reducir el problema principal.

En el caso de los fines, serán los nuevos resultados a los objetivos y medios planteados, es decir, cada fin ahora pasará a ser un objetivo en el nuevo árbol de soluciones

A partir del software CMapTools se procede a crear el árbol con todas sus medios en las raíces, la solución en el tallo y los fines en la copa.

Fuente: Elaboración propia, 2018.

1.6 RESULTADOS “Caracterización de la microrregión”

1.6.1 Demografía

A. Población Total

El cuadro 8 presenta la población determinada a partir de un censo elaborado por la municipalidad de Chisec en 2017, por la dificultad de acceso no obtuvieron datos de las comunidades La Isla Remolino, Rubelsanto y Aldea Tierra Linda.

Cuadro 8. Población en comunidades de la microrregión Playitas.

Comunidad	Habitantes							
	Población Total	H	M	Niños	Niñas	H 65 Años	M 65 Años	Familias
Tierra Blanca	494	95	81	138	162	10	8	91
Las Mercedes II	168	38	29	50	47	3	1	30
Mercedes I	535	129	112	123	163	4	4	102
Caserío El Milagro	219	68	50	45	38	10	8	47
Aldea San Francisco Las Mercedes	337	72	73	100	84	4	4	72
Verapaz	873	176	175	247	252	13	10	137
Quimalá	216	63	54	52	40	4	3	36
Tierra Negra I	266	58	48	81	68	6	5	
Aldea Playitas	671	192	177	139	143	12	8	155
Aldea Isla Remolino								
Aldea Rubelsanto								
Aldea Tierra Linda								
Total	3779	891	799	975	997	66	51	670

Fuente: Municipalidad de Chisec, 2017.

En el cuadro 9 se observa una aproximación a la población de todas las comunidades, esta información surgió a partir de los datos recopilados durante las entrevistas semiestructuradas, en base a la cantidad de familias encontradas en cada comunidad se estimó la población dependiendo el número promedio de personas por familia de cada comunidad. Se estima un total de 5,878 personas habitando la microrregión en 2018.

Cuadro 9. Población estimada en la microrregión Playitas

Comunidad	Variable					
	Población	Familias	Niños	Mujeres	Hombres	Ancianos
Playitas	765	175	350	no indican	no indican	55
Isla Remolino	156	41	50	50	50	6
El Milagro	400	80	125	120	125	10
San Francisco las Mercedes	350	60	125	80	80	5
Quimala	260	40	100	35	80	5
Tierra Negra I	277	52	152	60	61	4
Tierra Blanca	390	90	150	103	100	33
Verapaz	600	100	158	90	85	15
Mercedes I	580	170	150	200	150	80
Mercedes II	300	48	100	48	48	4
Rubel Santo	600	160	200	160	300	10
Tierra Linda	1200	400	350	450	400	30

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de encuesta semi estructurada, 2018.

B. Población económicamente activa

En el cuadro 10 se observa el detalle de la población económicamente activa donde se determinó que la mayoría de las mujeres trabajan en tareas domésticas, una minoría trabaja en jornales, en relación a los hombres casi el 100% de los hombres adultos se encuentran económicamente activos incluyendo ancianos ya que todos trabajan para el sustento de su hogar y con ello poder cubrir sus necesidades básicas. Uno de los principales lugares donde laboran los hombres es en la industria de la palma.

Cuadro 10. Población económicamente activa en la microrregión Playitas

	Hombres	Mujeres
Playitas	Los hombres económicamente activos son el 100 %, estos laboran en la petrolera.	Algunas mujeres laboran en la industria de las palmas siendo un aproximado de 4 mujeres.
Isla Remolino	Los hombres económicamente activos son aproximadamente 50, laboran en la industria de la palma y la petrolera.	Se encuentran activas económicamente el 10% de las mujeres.
El Milagro	Los hombres económicamente activos son aproximadamente 60, laboran en la industria de la palma.	100 % de las mujeres se dedican únicamente al cuidado del hogar.
San Francisco las Mercedes	El 100 % de los hombres se encuentran activos económicamente.	100 % de las mujeres se dedican únicamente a las labores domésticas sin recibir remuneración alguna.
Quimala	Los hombres económicamente activos son 40	100 % de las mujeres trabajan en el campo recibiendo una remuneración por la actividad agrícola que realizan.
Tierra Negra I	Existe un aproximado de 30 hombres económicamente activos.	100 % de las mujeres se dedican únicamente a las labores domésticas sin recibir remuneración alguna.
Tierra Blanca	La mayor parte de hombres trabajan en una empresa llamada Industrias Chiquibul, siendo el 100 % de los hombres del Caserío Tierra Blanca los que laboran allí.	100 % de las mujeres se dedican únicamente a las labores domésticas sin recibir remuneración alguna.
Verapaz	El 20 % de los hombres se encuentran activos económicamente.	100 % de las mujeres se dedican únicamente a las labores domésticas sin recibir remuneración alguna.
Mercedes I	El 100 % de los hombres son económicamente activos.	Aproximadamente el 50 % de las mujeres trabajan por jornal en agricultura y palma
Mercedes II	Los hombres económicamente activos son el 100 %.	100 % de las mujeres se dedican únicamente a las labores domésticas sin recibir remuneración alguna.
Rubel Santo	El 100 % de los hombres se encuentran activos económicamente.	5 mujeres se encuentran activas económicamente
Tierra Linda	Aproximadamente 400 hombres son económicamente activos.	100 % de las mujeres se dedican únicamente a las labores domésticas sin recibir remuneración alguna.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de encuesta semi estructurada, 2018.

En el cuadro 11 se encuentra un resumen del ingreso promedio, aquí se puede ver que las principales fuentes de ingreso es el trabajo por jornal en la industria de palma y la venta de productos

de la agricultura, al trabajar en la agricultura los pobladores corren el riesgo de perder todo a causa del río (figura 3 y 4), pues para hacer las siembras realizan préstamos en bancos del sistema nacional.

Figura 3. Producción de maíz en comunidad Las Mercedes 1



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Figura 4. Pérdida de cultivos por inundación en comunidad Las Mercedes 1



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Cuadro 11. Ingreso promedio en la microrregión Playitas

Comunidad	Valor del jornal (quetzales / día)	Ingreso aproximado (mensuales)	Fuente de ingreso
Playitas	Q 85.00	Q 1,000.00	La principal fuente de ingresos es la agricultura y el trabajo en la industria de la palma.
Isla Remolino	Q 100.00	Q 1,500.00	La principal fuente de ingresos es la venta de la cosecha del maíz, la sandía y el tomate,
El Milagro	Q 70.00	Q 840.00	La principal fuente de ingresos es el trabajo en la palma.
San Francisco las Mercedes	Q 70.00	Q 840.00	La principal fuente de ingresos es la agricultura.
Quimala	Q 50.00	Q 600.00	La principal fuente de ingresos es la agricultura.
Tierra Negra I	Q 70.00	Q 840.00	La principal fuente de ingresos es el trabajo en la palma.
Tierra Blanca	Q 70.00	Q 700.00	La principal fuente de ingresos es el trabajo en Industrias Chiquibul.
Verapaz	Q 70.00	Q 850.00	La principal fuente de ingresos es la agricultura y el trabajo en la industria de la palma.
Mercedes I	Q 75.00	Q 600.00	La principal fuente de ingresos es el trabajo en empresas.
Mercedes II	Q 75.00	Q 600.00	La principal fuente de ingresos es el trabajo en empresas.
Rubel Santo	Q 50.00	Q600	La principal fuente de ingresos es la agricultura.
Tierra Linda	Q 70.00	de Q450 a Q600	La principal fuente de ingresos es el trabajo en las palmas puesto que en la región no existen empresas y/o instancias que requieran mano de obra.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de encuesta semi estructurada, 2018.

El ingreso promedio en la microrregión es de Q 800.00 quincenales.

C. Educación

En el cuadro 12 se describe la educación promedio de los pobladores, se puede observar que el nivel educativo promedio de la microrregión es sexto primaria, donde solamente en la comunidad Playitas tienen nivel de diversificado como educación promedio. Esto se debe a la baja calidad educativa de la región y a problemas económicos que impiden a los pobladores tener tiempo para la educación.

Cuadro 12. Educación en la microrregión Playitas

Comunidad	Nivel de educación promedio
Playitas	Nivel diversificado
Isla Remolino	Sexto grado
El Milagro	Nivel básico
San Francisco las Mercedes	Tercero y cuarto primaria
Quimala	Sexto primaria
Tierra Negra I	Sexto primaria
Tierra Blanca	Básico y bachillerato
Verapaz	Sexto primaria y básicos
Mercedes I	Sexto primaria
Mercedes II	Sexto primaria
Rubel Santo	Sexto primaria
Tierra Linda	Sexto primaria

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de encuesta semi estructurada, 2018.

D. Emigración

Una de las principales causas de emigración (cuadro 13) son los préstamos efectuados por algunos pobladores a los Bancos para poder sembrar, sin embargo, cuando ocurren las inundaciones lo pierden todo y ya no tienen el recurso económico para poder solventar las deudas adquiridas y tienen que salir de la comunidad en busca de un trabajo para pagar lo que deben, en algunos casos han llegado al extremo de hipotecar sus terrenos y los pierden por falta de ingresos.

El principal motivo de las migraciones en jóvenes es para poder estudiar, algunos jóvenes trabajan y estudian al mismo tiempo. Algunos padres de familia emigran para darles mejor educación a sus

hijos. Las personas también emigran por la falta de trabajo. aunque en la región existen dos empresas no todas las personas trabajan para ellas.

Algunas personas han emigrado a los Estados Unidos para poder mejorar su condición y calidad de vida sin embargo, no todos envían remesas ya que se olvidan de los familiares y los que si lo hacen envían \$ 100 dólares en promedio.

Cuadro 13. Migración en la microrregión Playitas

Comunidad	Emigración	Motivo	Remesas
Playitas	Emigran aproximadamente 10 personas a la ciudad capital y algunos a los Estados Unidos.	Las inundaciones	Aproximadamente 2 familias reciben remesas de 100 Dólares mensuales.
Isla Remolino	Emigran aproximadamente 10 personas.	Mejorar su condición de vida	Reciben remesas 8 familias aproximadamente.
El Milagro	Aproximadamente un 25%.de los pobladores	Mejorar su condición de vida	10 familias reciben remesas, como un aproximado de \$ 300.00 mensuales
San Francisco las mercedes	Aproximadamente 15 personas, pero lo hacen a otras regiones del territorio guatemalteco.	Falta de trabajo	No reciben
Quimala	No emigran	No emigran	No reciben
Tierra Negra I	No emigran	No emigran	No reciben
Tierra Blanca	No emigran	No emigran	No reciben
Verapaz	No emigran	No emigran	No reciben
Mercedes I	Aproximadamente 4 personas a otras regiones de Guatemala	Para estudiar en otro municipio / departamento	No reciben
Mercedes II	Aproximadamente 15 personas a la ciudad capital y algunos a los Estados Unidos.	Para estudiar en otro municipio/departamento	Aproximadamente 3 familias reciben remesas de \$ 150 a \$ 200 mensuales.
Rubel Santo	Aproximadamente 60 personas a otras regiones del territorio guatemalteco	Falta de trabajo	Aproximadamente 4 familias reciben \$ 100.00 mensuales
Tierra Linda	Asciende aproximadamente a 30.	Mejores oportunidades de trabajo en otras regiones	Aproximadamente 6 familias reciben \$ 100.00 mensuales

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de encuesta semi estructurada, 2018.

E. Etnias

La etnia dominante (cuadro 14) en la microrregión es la ladina, seguido de Q'eqchi', el idioma predominante es el Q'eqchi' y el español

Cuadro 14. Etnias en la microrregión Playitas

Comunidad	Población indígena	Etnias presentes	Idioma
Playitas	100 % ladina	Existe un escaso porcentaje de la etnia Q'eqchi'	Q'eqchi' y español
Isla Remolino	90 % ladina, 10 % Q'eqchi'	En la isla el Remolino habitan una familia de la etnia maya Q'eqchi', y la ladina.	Q'eqchi' y español
El Milagro	50 % Q'eqchi'	En el caserío habitan las etnias maya Q'eqchi', Achi y ladina.	Q'eqchi', Achi y español
San Francisco las Mercedes	100 % Q'eqchi'	Etnia Q'eqchi'.	Q'eqchi' y español
Quimala	100 % Q'eqchi'	La totalidad de la etnia pertenece a la maya Q'eqchi'.	Q'eqchi'
Tierra Negra I	100 % Q'eqchi'	En el caserío habitan únicamente la etnia maya Q'eqchi', Achi, poqom.	Q'eqchi', Achi, Poqom y español.
Tierra Blanca	100 % Q'eqchi'	El idioma del caserío Tierra Blanca es el Q'eqchi', aunque también se habla un bajo porcentaje del español, un aproximado del 5%.	Q'eqchi' y 5 % español aproximadamente
Verapaz	100 % Q'eqchi'	Etnia Q'eqchi'.	Q'eqchi' y español
Mercedes I	100 % Q'eqchi'	En la comunidad habitan etnias mayas Q'eqchi'.	Se habla el idioma Q'eqchi'.
Mercedes II	100 % Q'eqchi'	En la comunidad habitan etnias mayas Q'eqchi'	Q'eqchi' y español
Rubel Santo	50 % Q'eqchi'	Q'eqchi' y ladina	Q'eqchi' y español
Tierra Linda	10 % ladina, 90 % Q'eqchi'	En la comunidad se encuentran presentes las etnias mayas Q'eqchi', poqomchi' y Kakchiquel, asimismo la ladina.	Q'eqchi', poqomchi', kaqchiquel y el español.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de encuesta semi estructurada, 2018.

F. Organización comunitaria

La única organización comunitaria es el Consejo Comunitario de Desarrollo (COCODE). La jerarquía organizacional de la microrregión es muy importante para ellos, se respetan entre líderes religiosos existentes quienes también toman el papel de líderes comunitarios dentro y fuera del COCODE.

G. Tenencia de la tierra

En relación con la tenencia de la tierra (cuadro 15) son muy pocas las familias que poseen terrenos propios, muchas familias los han vendido por necesidad económica y actualmente la mayoría arrenda tierra a un costo promedio de Q 1,000.00 por manzana.

Cuadro 15. Tenencia de la tierra en la microrregión

Comunidad	Precio de alquiler	Tenencia
Playitas	Q 1,000.00 / manzana	Se desconoce
Isla Remolino	Q 1,000.00 / manzana	Se desconoce
El Milagro	Q 1,000.00 / manzana	20 familias poseen terreno propio. El resto alquila la tierra.
San Francisco Las Mercedes	Q 1,000.00 / manzana	La mayoría poseen terreno propio.
Quimala	Q 1,000.00 / manzana	23 familias aproximadamente poseen terreno propio, el resto alquilan terrenos
Tierra Negra I	Q 1,000.00 / manzana	20 familias aproximadamente poseen terreno propio, el resto alquilan terrenos
Tierra Blanca	Q 1,100.00 / manzana	13 o 14 familias poseen terreno propio, resto alquila. La tenencia promedio de la tierra es de 1 manzana por familia.
Verapaz	El precio de alquiler de la tierra haciendo a la cantidad de Q. 400 por manzana.	Las familias que poseen terrenos propios ascienden a 44 aproximadamente.
Mercedes I	Q 1,000.00 / manzana	10 familias aproximadamente poseen terreno propio, el resto alquilan terrenos
Mercedes II	Q 1,000.00 / manzana	10 familias aproximadamente poseen terreno propio, el resto alquilan terrenos
Rubel Santo	Q 1,000.00 / manzana	La mayoría poseen terreno propio destinado a viviendas, la tenencia promedio es un lote por familia, alquilan para cosechar.
Tierra Linda	Q 100.00 / cuerda ó Q 1,600.00 / manzana	300 familias aproximadamente poseen terreno propio, el resto alquilan terrenos

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de encuesta semi estructurada, 2018.

H. Tipos de vivienda

En el cuadro 16 se detalla la cantidad de familias con viviendas formales, se determinó que la mayoría de familias tienen viviendas rústicas hechas de techos de lámina o paja y paredes de madera.

Cuadro 16. Tipos de vivienda en la microrregión

Comunidad	Familias con vivienda formal	Materiales de construcción de viviendas
Playitas	60	
Isla Remolino	10	Techo de lámina y paredes de madera
El Milagro	20	Techo de lámina y paredes de madera
San Francisco Las Mercedes	0	Techo de lámina / paja y paredes de madera
Quimala	0	Techo de lámina / paja y paredes de madera
Tierra Negra I	0	horcones, techos de paja de manaque
Tierra Blanca	2	Techo de lámina y paredes de madera
Verapaz	5	Techo de lámina / paja y paredes de madera
Mercedes I	10	Techo de lámina / paja y paredes de madera
Mercedes II	4	Techo de lámina / paja y paredes de madera
Rubel Santo	20	Techo de lámina y paredes de madera
Tierra Linda	100	Paredes de block / madera / palos y techo de lámina

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de encuesta semi estructurada, 2018.

I. Actividades productivas

La principal actividad productiva (cuadro 17) es la agricultura seguido del ganado y los principales cultivos son maíz y frijol, aunque en algunas comunidades se cultiva también el achiote y chile pimiento.

Cuadro 17. Tipos de vivienda en la microrregión

Comunidad	Actividades productivas	Descripción
Playitas	Agricultura	Cultivo de maíz y frijol.
Isla Remolino	Agricultura	Cultivo de maíz, frijol, tomate y sandía.
El Milagro	Agricultura	Cultivo de maíz, cardamomo, achiote y frijol.
San Francisco Las Mercedes	Agricultura	Cultivo maíz.
Quimala	Agricultura	Cultivo maíz.
Tierra Negra I	Agricultura	Cultivo de maíz y frijol.
Tierra Blanca	Agricultura y ganado	Pastoreo de ganado, el cultivo de maíz y frijol.
Verapaz	Agricultura y ganado	Pastoreo de ganado, el cultivo de maíz y frijol.
Mercedes I	Las actividades productivas que realizan son la siembra de maíz, frijol y pepitoria.	Cultivo de maíz
Mercedes II	Las actividades productivas que realizan son la siembra de maíz, frijol y chile.	Cultivo de maíz, frijol, chile.
Rubel Santo	Las actividades productivas que realizan son la siembra de maíz y frijol.	Cultivo de maíz
Tierra Linda	Agricultura	Tanto hombres y mujeres se dedican al cultivo de maíz, frijol y achiote. Toda la familia participa en el mantenimiento de los cultivos

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de encuesta semi estructurada, 2018.

J. Servicios

Los principales servicios en la microrregión se describen en el cuadro 18, se determinó que la mayoría de las comunidades reciben agua entubada y tienen acceso a energía eléctrica con excepción de las aldeas Tierra Negra, Tierra Blanca y Verapaz.

Cuadro 18. Servicios en la microrregión

Comunidad	Servicios que dispone	Descripción
Playitas	Agua, energía eléctrica, servicio de tv cable y transporte	Entre los servicios con los que dispone la comunidad se encuentran: Agua, luz, cable y transporte
Isla Remolino	Energía eléctrica, servicio de tv cable, y buena señal de teléfono celular.	La calidad de estos servicios es regular.
El Milagro	Energía eléctrica, agua entubada, servicio de tv cable y servicio de transporte.	La calidad de estos servicios es regular
San Francisco Las Mercedes	La comunidad no cuenta con ningún tipo de servicio	Se omite esta interrogante por haber recibido una respuesta negativa de la anterior pregunta.
Quimalá	Energía eléctrica, y buena señal de teléfono celular.	La calidad es regular
Tierra Negra I	La comunidad no cuenta con ningún tipo de servicio	Para poder obtener agua deben de caminar de 40 a 50 minutos.
Tierra Blanca	La comunidad no cuenta con ningún tipo de servicio	La calidad de estos servicios es nula
Verapaz	La comunidad no cuenta con ningún tipo de servicio	La calidad de estos servicios es nula
Mercedes I	Energía eléctrica, agua entubada, y servicio de transporte.	La calidad de estos servicios es regular
Mercedes II	La comunidad no cuenta con ningún tipo de servicio	La calidad de estos servicios es nula
Rubel Santo	Agua, energía eléctrica, servicio de tv cable y transporte.	La calidad de estos servicios es regular.
Tierra Linda	Agua, energía eléctrica, servicio de tv cable y transporte.	El servicio de agua es de mala calidad al igual que el transporte pues las calles se encuentran en pésimas condiciones.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de encuesta semi estructurada, 2018.

K. Hospitales y centros de salud

El servicio de salud (cuadro 19) es deficiente y no se encuentra disponible en caso de emergencias, los pobladores se tratan durante jornadas médicas o en el hospital de Chisec.

Cuadro 19. Hospitales y centros de salud en la microrregión

Comunidad	Centros de convergencia / hospitales	Tipo de servicio
Playitas	Cuentan con un centro de convergencia.	Atienden todos los días. Siendo una enfermera la encargada de atender el puesto.
Isla Remolino	Cuentan con una clínica, atendida por la cruz roja guatemalteca.	Atienden tres veces al mes y llegan de 1 a 3 personas a atender la clínica.
El Milagro	No cuentan con puesto de salud	No existe este servicio en su comunidad
San Francisco Las Mercedes	En su comunidad existe 1 puesto de salud	Atienden 1 vez al mes, un aproximado de 60 personas
Quimalá	Cuentan con un centro de convergencia	Atienden una al mes. Siendo una enfermera la encargada de atender el puesto
Tierra Negra I	No cuentan con puesto de salud	No existe este servicio en su comunidad
Tierra Blanca	Existe un Centro de convergencia, unidad mínima donada por la cruz roja. Aunque en el mismo no existe ningún tipo de medicamentos.	Atienden 1 vez al mes, 1 enfermera
Verapaz	Existe un Centro de convergencia, unidad mínima donada por la cruz roja. Aunque en el mismo no existe ningún tipo de medicamentos	Atienden 1 vez al mes, 1 enfermera
Mercedes I	En su comunidad existe 1 puesto de salud.	Actualmente el puesto de salud se encuentra cerrado, nadie lo atiende
Mercedes II	Cuentan con un centro de convergencia, pero según informan no tiene ningún tipo de medicamentos.	Atienden dos veces al mes. Siendo una enfermera la encargada de atender el puesto.
Rubel Santo	No cuentan con un centro de convergencia. Pero existe una clínica que le pertenece a una empresa, no les dan medicinas solo recetas	Atienden todos los días, hay 1 doctora y 1 enfermera y atienden aproximadamente al día a 50 comunitarios.
Tierra Linda	En la comunidad existe un puesto de salud, sin embargo no se respondió la interrogante sobre su categoría.	Atienden 3 veces a la semana, 1 enfermera auxiliar y 2 facilitadores

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de encuesta semi estructurada, 2018.

L. Morbilidad

Las principales enfermedades que afectan a la población son enfermedades vectoriales como dengue, paludismo Chikungunya, resfriados comunes, altas enfermedades gastrointestinales debido a la escases de drenajes y tratamiento de agua, paludismo, y enfermedades respiratorias que podrían ser por causa de la industriad de la palma africana.

M. Natalidad y mortalidad

Aproximadamente 5 personas nacen al año en cada una de las comunidades como se describe en el cuadro 20. La principal causa de mortalidad en las comunidades es la vejez, se reportaron casos de muerte por diabetes y enfermedades desconocidas.

Cuadro 20. Natalidad y mortalidad en la microrregión

Comunidad	Nacimientos por año	Mortalidad
Playitas	20 a 25 personas.	Las principales causas de mortandad son las enfermedades comunes.
Isla Remolino	3 personas.	
El Milagro	5 personas	
San Francisco Las Mercedes	2 personas.	
Quimalá	2 personas.	
Tierra Negra I	2 personas	
Tierra Blanca	12 a 18 personas	Las principales causas de mortandad son por vejez.
Verapaz	12 a 18 personas	
Mercedes I	En la comunidad nacen al año 5 personas	Las principales causas de mortandad son las enfermedades comunes.
Mercedes II	1 a 2 personas.	
Rubel Santo	En la comunidad nacen al año 4 personas	Las principales causas de mortandad son por accidentes de tránsito
Tierra Linda	15 a 20 personas	Las principales causas de mortandad son por diarrea

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de encuesta semi estructurada, 2018.

N. Alimentación

Los pobladores, principalmente niños demostraron señales de desnutrición, esto se debe a la falta de vitaminas en su alimentación (cuadro 21), algunos pobladores indicaron comer pollo 2 veces al mes, esto podría ser índice de déficit de proteínas en su alimentación.

Cuadro 21. Alimentación de los pobladores en la microrregión

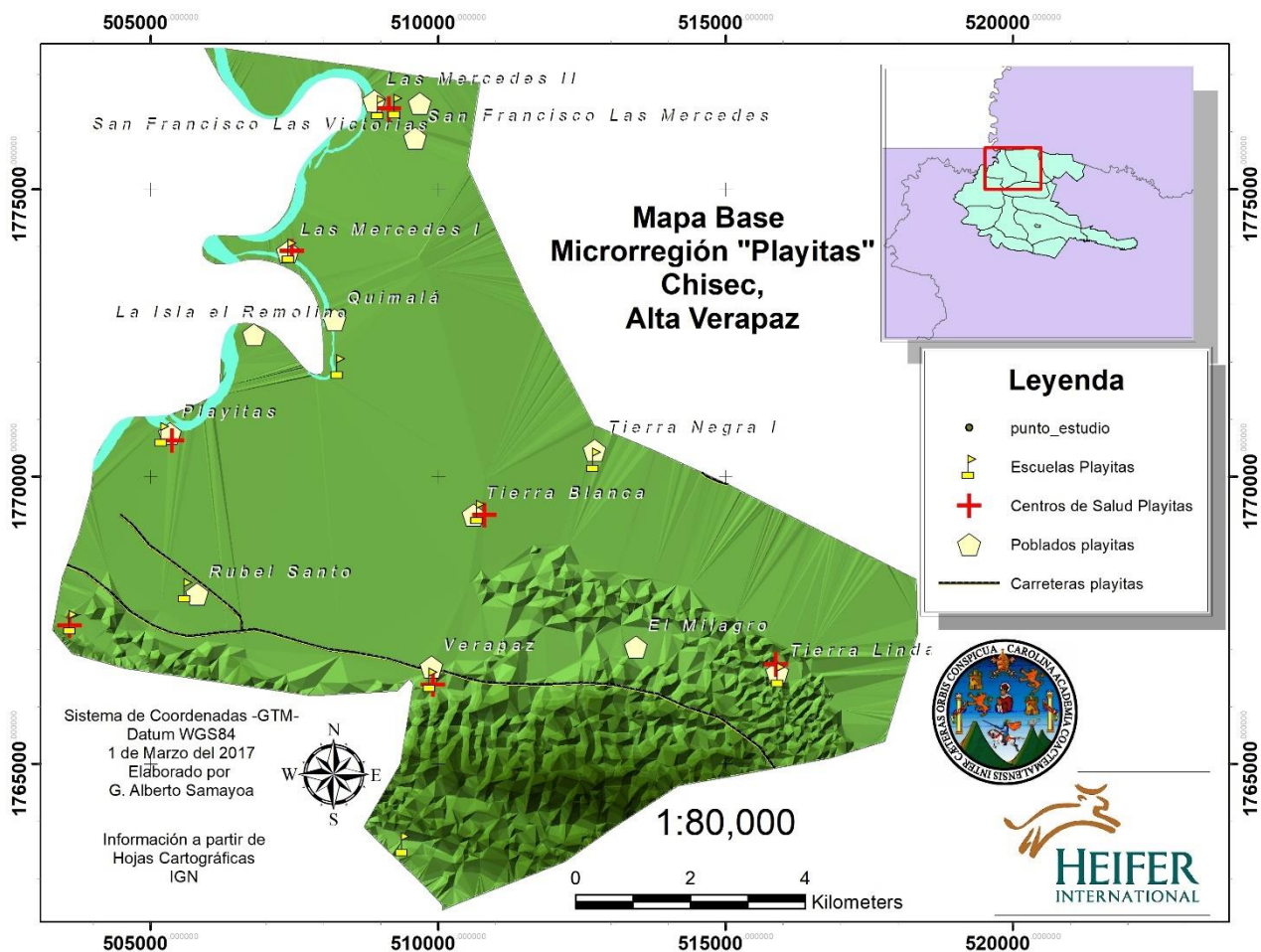
Comunidad	Alimentación
Playitas	Los alimentos que se consumen con frecuencia son el frijol, el arroz y el pescado.
Isla Remolino	los alimentos que consumen con frecuencias son el frijol el maíz el arroz y el pescado.
El Milagro	Los alimentos que se consumen con frecuencia son el frijol, arroz y maíz.
San Francisco Las Mercedes	Los alimentos que se consumen con frecuencia son el frijol y el maíz
Quimalá	Los alimentos que se consumen con frecuencia son el frijol, el maíz
Tierra Negra I	Los alimentos que se consumen con frecuencia son el frijol y el arroz que en la mayor parte son comprados
Tierra Blanca	Los alimentos que se consumen con frecuencia son el banano, la malanga, la yuca, el camote y los frijoles.
Verapaz	Los alimentos que se consumen con frecuencia son el banano, la malanga, la yuca, el camote y los frijoles.
Mercedes I	Los alimentos que se consumen con frecuencia son el frijol y el maíz, la malanga, el camote
Mercedes II	Los alimentos que se consumen con frecuencia son la hierba mora, punta de güisquil, papas, ayote, malanga.
Rubel Santo	Los alimentos que se consumen con frecuencia son el frijol, el maíz, arroz y el pollo
Tierra Linda	Los alimentos que se consumen con frecuencia son los frijoles y también verduras.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de encuesta semi estructurada, 2018.

1.6.2 Topografía y mapa base

En la microrregión (figura 5) se observan 13 comunidades en las que solamente existen 6 centros de convergencia, estos centros de convergencia prestan atención solamente durante jornadas médicas, de lo contrario los pobladores deben acudir a curanderos o al hospital de Chisec.

Figura 5. Mapa base de la microrregión "Playitas"



Fuente: Elaboración propia, 2017.

De las 19 escuelas georreferenciadas por el IGN solamente 13 se encontraban activas, estas escuelas tienen capacidad para atender únicamente el nivel primario.

La carretera de la microrregión brinda acceso únicamente a la comunidad playitas, el resto de las comunidades deben transportarse por río o por caminos de terracería.

1.6.3 Series de suelos

En el cuadro 22 se presenta el resumen de series de suelos encontradas en la microrregión Playitas, en la figura 6 se puede observar la distribución espacial de cada una de estas series de suelos.

Cuadro 22. Series de suelos.

Símbolo	Serie	Material originario	Altitud	Relieve	Drenaje	Color	Textura superficial	Profundidad efectiva	Ph
Cha	Chacalté	Caliza	< 450	Karst	Bueno	Café muy oscuro	Muy fina	50	Neutro
Chl	Chapayal	Esquisto Arcilloso Calcáreo o Caliza suave	150	Suavemente Ondulado	Imperfecto a malo	Gris muy Oscuro a Negro	Muy fina	70	Neutro
Sb	Sebol	Aluvión	< 450	Casi Plano a Suavemente Ondulado	Bueno	Café a Café Oscuro ó Café Grisáceo	Moderadamente fina	mayor a 100	Ácido
Tm	Tamahú	Caliza		Karst	Bueno a Excesivo	Café muy oscuro	Media	50	Alcalino
Tz	Tzejá	Esquisto Arcilloso	150 a 250	Inclinado	Bueno	Café a Café Oscuro	Media	150	Muy Ácido
Us	Usumacinta	Aluvión	50 a 100	Plano	Malo	Café Oscuro a Café Claro ligeramente Grisáceo	Fina	60	Neutro

Fuente: Elaboración propia a partir de MAGA, 2010.

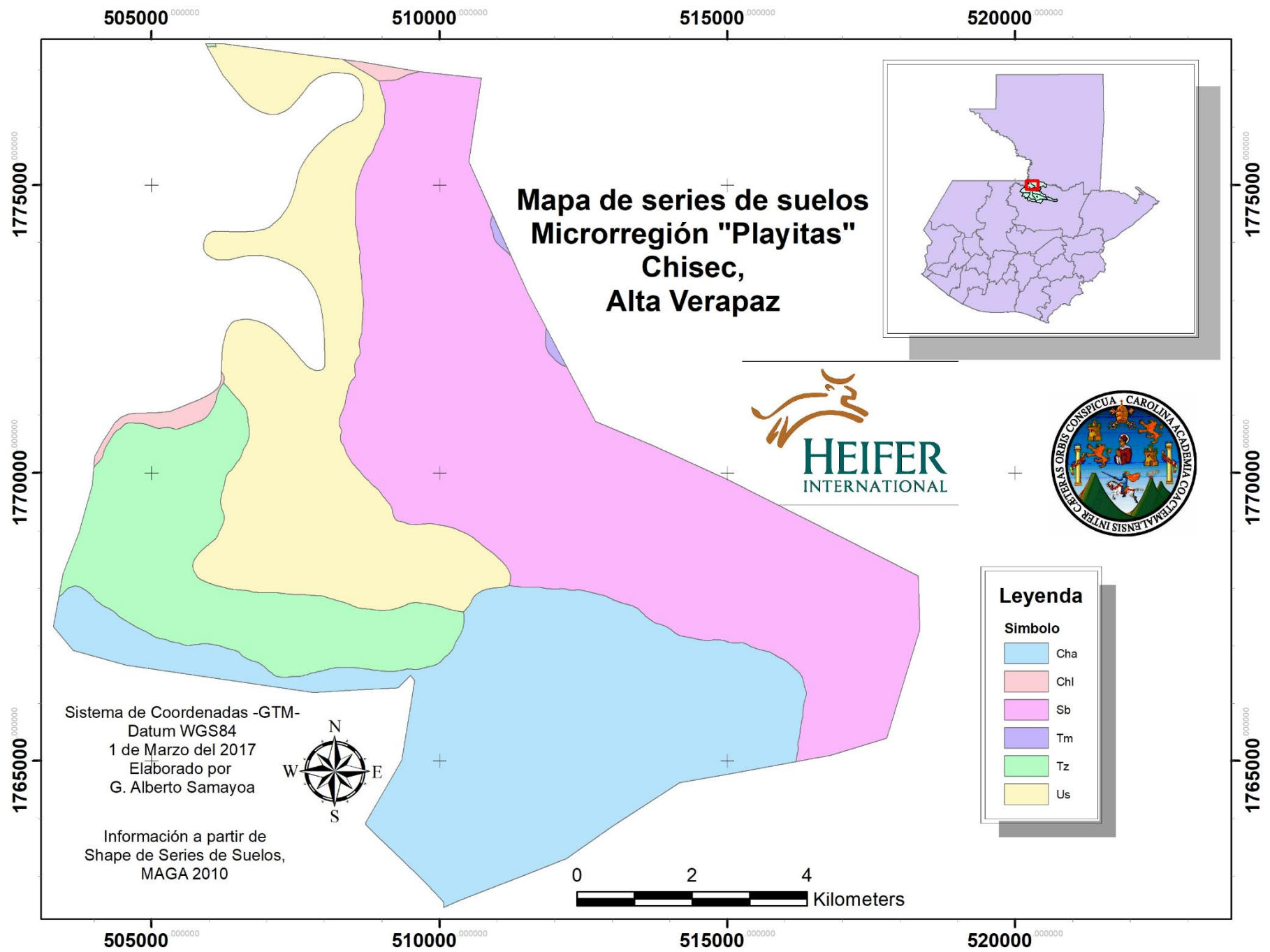


Figura 6. Mapa de series de suelos

1.6.4 Geología

En el cuadro 23 se presenta el resumen de geología de la microrregión Playitas, en la figura 7 se puede observar la distribución espacial de cada uno de los estratos geológicos encontrados.

Cuadro 23. Geología.

Geología	Tipo de roca	Período	Característica
Ksd	Rocas sedimentarias	Cretácico	Carbonatos Neocomiano-Camapanianos. Incluye Cobán, Ixcoy, Campur, Sierra Madre y Grupo Yojoa
KTs	Rocas sedimentarias	Cretácico-Terciario	Formación Sepur, Campaniano-Eoceno. Predominantemente sedimentos clásticos marinos. Incluye Formaciones Toledo, Reforma y Cambio, y Grupo Verapaz
Qa	Rocas sedimentarias	Aluviones Cuaternarios	
Tpe	Rocas sedimentarias	Paleoceno-Eoceno	Sedimentos marinos
Tsp	Rocas sedimentarias	Terciario Superior Oligoceno-Plioceno	Predominantemente continental: Incluye Formaciones Cayo, Armas, Herrería, Bacalar, y White Marls

Fuente: Elaboración propia a partir de MAGA, 2010.

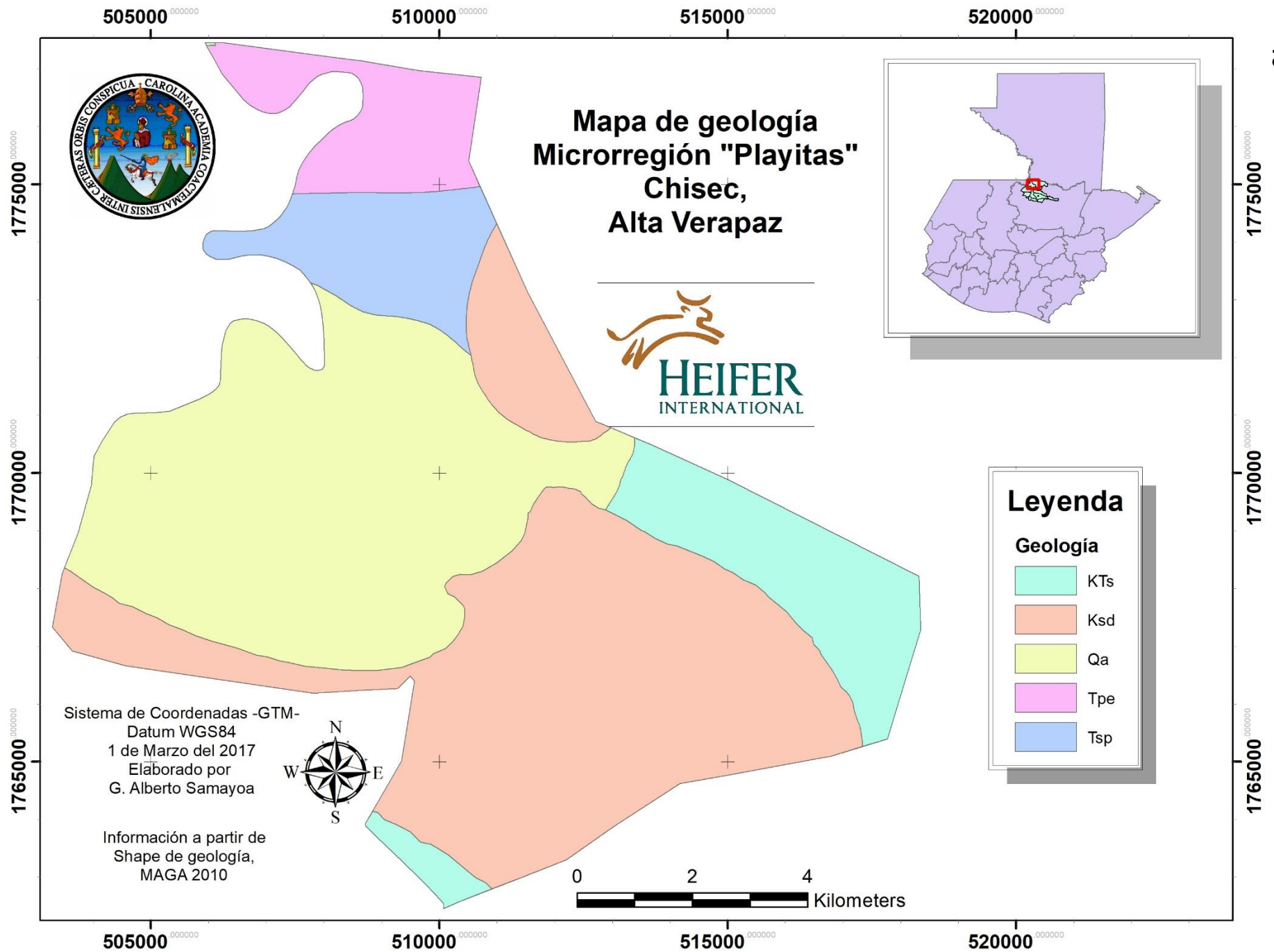


Figura 7. Mapa de geología

1.6.5 Zonas De Vida Por Holdrige

La Clasificación de Zonas de Vida (figura 8) de Guatemala por el sistema Holdridge descrito por el Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA 2018), identifica y delimita cartográficamente las formaciones vegetales que se han desarrollado por factores básicos del clima y los demás factores ecológicos.

El sistema Holdridge define cuantitativamente la relación entre los factores principales del clima y la vegetación, usando básicamente dos factores, biotemperatura media anual y precipitación total anual.

Para su categoría Holdridge utiliza rangos, el primer orden o rango mayor de Holdridge se refiere a la zona de vida específicamente, para referirse, a la misma Holdridge utiliza una simbología constituida por los siguientes componentes; la primera letra es una minúscula que se refiere a la formación y es seguida por una mayúscula que se refiere al piso altitudinal.

La formación o rango menor se define utilizando como variables la biotemperatura, la precipitación y la humedad. La zona de vida se puede dividir según sea cálida, fría o templada.

Geográficamente se ubica en las últimas estribaciones de la cadena montañosa. Su altitud varía entre 300 a 600 m.s.n.m. Su biotemperatura media anual varía entre 17 y 22, 5 ° C. y la precipitación pluvial total anual varía entre 2 000 a 4 000 mm. El relieve es predominantemente de colinas bajas y terrazas altas. Suelos medianamente profundos de naturaleza ácida de tono rojizo-amarillo.

La vegetación es un bosque conformado por árboles de altura media y de variedad florística.

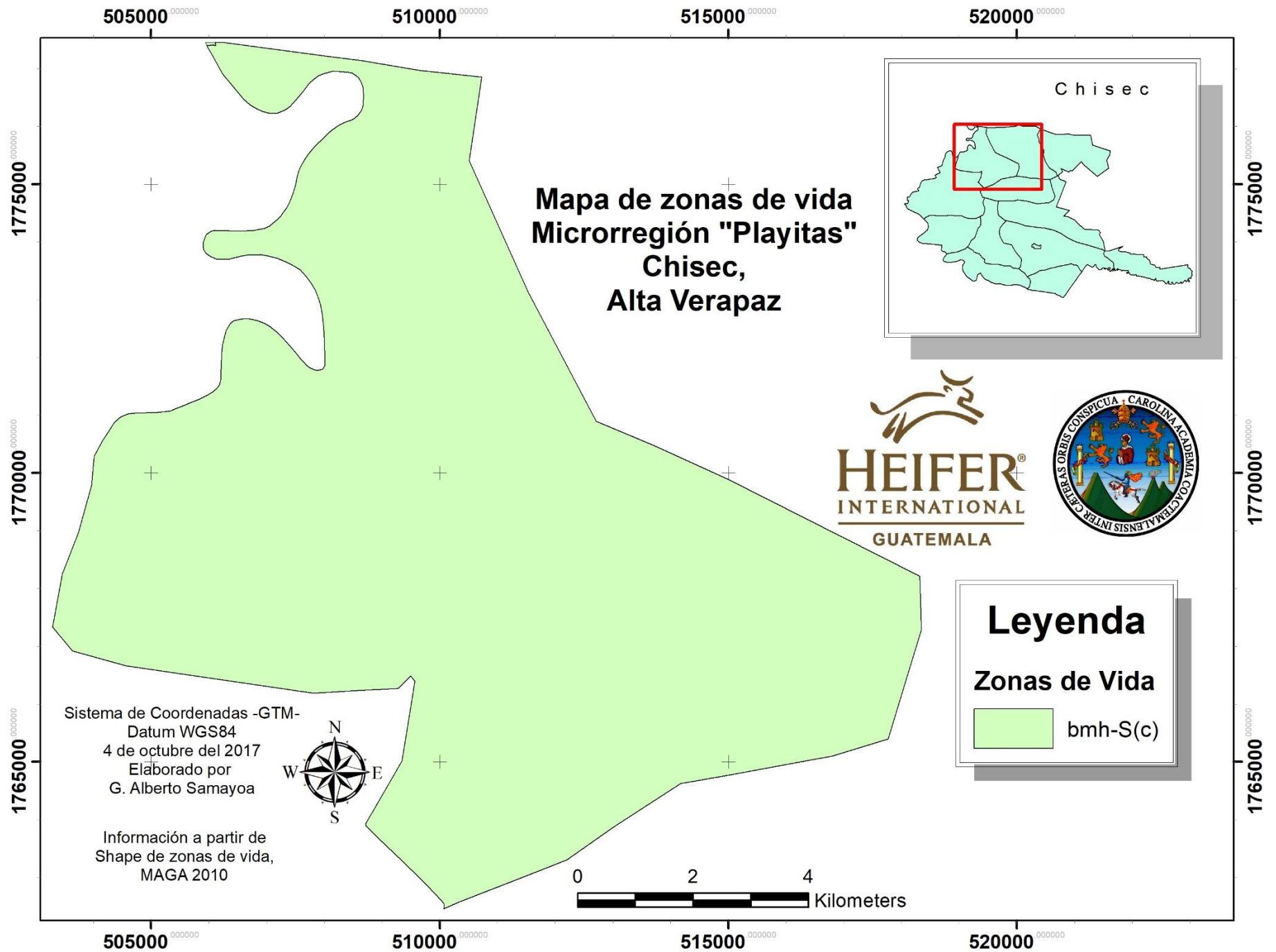


Figura 8. Mapa de zonas de vida

1.6.6 Fisiografía

Cada una de las siguientes descripciones respecto a las regiones fisiográficas (figura 9) se extrajeron de MAGA (2001).

A. Región Fisiográfica De Las Tierras Altas Sedimentarias

La unidad del altiplano de Guatemala puede ser separada en tres regiones, basados en el tipo predominante de rocas. La primera de éstas, de área más extensa, es la de las Tierras Altas Sedimentarias, definida al norte por las márgenes de la cuenca de Petén y al sur por las fallas y contactos que la separan de la parte dominante cristalina del altiplano.

También se extiende desde la actual frontera con México en el oeste, hacia las montañas del Mico en el este. Dentro de esta unidad fisiográfica, hay una gran cantidad de formas de la tierra, entre las cuales se puede mencionar la sección compleja localizada al norte de la Sierra de Chamá, cuyos pliegues, fallas y procesos erosivos han creado un paisaje de colinas paralelas, topografía cárstica, anticlinales y sinclinales sumergidos.

La Sierra de los Cuchumatanes, en su parte sur con gran número de fallas, es abrupta. Domina la parte occidental de la región y contiene algunas de las más espectaculares vistas en el país, mientras que el área alrededor de Cobán muestra ejemplos clásicos de sumideros, conocidos localmente como siguanes, así como cavernas de piedra caliza.

El drenaje, en el Oeste, tiene una dirección Norte-Noroeste hacia el Golfo de México. Los sistemas de los ríos Selegua y Chixoy o Negro han esculpido profundos desfiladeros dentro y a través de la Sierra Los Cuchumatanes y, a medida que el río Chixoy o Negro pasa a través de las Colinas paralelas a la Zona Norte de la Sierra Chamá, el control estructural de los tributarios se hace evidente.

Las elevaciones dentro de esta Región varían desde el nivel del mar en el Este, hasta más de los 3,000 metros en la Sierra de los Cuchumatanes.

A.1 Subregión Sierra de Chamá

Esta unidad se ubica y localiza en el occidente de Huehuetenango y Quiché; al norte de Izabal y en el vértice de Guatemala-Belice, al sur de Petén. Su relieve muy complejo, tiene alturas que van desde 200 a los 2,000 msnm.

Debido a la dominancia del fenómeno de Karst en dicha unidad fisiográfica, las corrientes de drenaje superficial son escasas. Se observan rocas como carbonatos (calizas, dolomías y evaporitas), anhidrita, clásticas y material coluvio-aluvial. Las edades de las distintas geoformas corresponden a los períodos geológicos del Cretácico superior, Terciario y Cuaternario.

A.1.1 Gran Paisaje: Sierra Plegada de Chamá

Ubicación y localización: Constituye el eje central Norte del país, desde el Occidente en Huehuetenango hasta el Norte de Izabal, pasando por Quiché y Alta Verapaz. **Morfografía:** Está formada por una serie de lomas plegadas en sentido E-O, ligeramente arqueadas en forma cóncava vistas en planta. Pocas corrientes de drenaje superficial la atraviesan debido a su topografía carstica. Las mayores elevaciones se localizan en la parte central al Norte de Cobán, donde se presentan cerros con alturas de 1,800 msnm a 1,939 msnm en el área denominada La Pimienta al Oeste del río Chajul en el Occidente de Quiché. Las elevaciones van disminuyendo hacia el Este al internarse en Izabal (300 msnm a 600 msnm). Las colinas son de pendiente suave con cimas alargadas, mientras que los fondos de los valles son redondeados y anchos.

Tipo de roca: Las rocas son carbonatos de las Formaciones Ixcoy, Cobán y Campur. Dominan las calizas y, en menor grado, las dolomías, con algunas intercalaciones de lutitas,

limolitas y brechas calcáreas. En la Formación Cobán también se pueden encontrar algunas capas de anhidrita.

Morfogénesis: De acuerdo a los fósiles asociados con las facies litológicas, esta unidad estuvo relacionada en algún tiempo a un ambiente marino poco profundo, como lo confirma la Formación Cobán por la presencia de stromatolitos, que indican una deposición de rocas carbonatadas en un ambiente tipo Sabka en el Cretácico. Posteriormente, se dio un levantamiento en la parte sur debido a la falla regional del Polochic. En el Terciario se dio un choque principalmente en el área de San Cristobal y Cobán, generándose una serie de pliegues en dirección E-O, originando el relieve actual. La estructura domina la formación del paisaje relacionado a la topografía cársticas que ha acentuado estos rasgos estructurales.

Morfocronología: Siendo la edad de las rocas del Cretácico y el tectonismo del Terciario, la edad de estas formas es considerada del Terciario.

A.1.2 Gran Paisaje: Sierra de Chinajá

Ubicación y localización: Se localiza al norte del Departamento de Alta Verapaz, al suroeste del poblado de Chinajá.

Morfografía: A esta unidad la conforman una serie de lomas plegadas en sentido Noroeste a Suroeste y ligeramente arqueadas de forma cóncava vistas en planta, con una longitud de más de 20 km. y un ancho promedio de 5 km. Muy pocas vías de drenaje superficial la atraviesan debido a su topografía cárstica. Sus mayores elevaciones se localizan en la parte central, donde presentan cerros de alturas de más de 600 msnm. Las elevaciones disminuyen hasta menos de los 200 msnm. Las colinas, en general, son de pendiente fuerte con cimas alargadas, mientras que los fondos de los valles son redondeados y anchos.

Tipo de roca: Las rocas son carbonatos de las Formaciones Ixcoy, Cobán y Campur. Las rocas dominantes son las calizas y, en menor grado, las dolomias con algunas

intercalaciones de lutitas, limolitas y brechas calcáreas. En la Formación Cobán también se pueden encontrar algunas capas de anhidrita, sobre todo en los miembros B y C.

Morfogénesis: De acuerdo con los fósiles asociados con las facies litológicas, esta unidad estuvo relacionada en algún tiempo a un ambiente marino poco profundo, como lo confirma la Formación Cobán (miembros B y C), por la presencia de stromatolitos, que indican una deposición de rocas carbonatadas en un ambiente tipo Sabka en el Cretácico. Posteriormente, se dio un levantamiento y, posiblemente en la parte norte, por el fallamiento del Terciario, se dio un choque principalmente en el área norte, generándose un plegamiento en dirección NO - SE, originando la morfología actual. Por lo anterior, domina la topografía cárstica que ha acentuado los rasgos estructurales.

Morfocronología: Siendo la edad de las rocas del Cretácico y el tectonismo del Terciario, la edad de estas formas se considera de este último período.

B. Region Fisiografica Tierras Bajas Interiores De Peten

Circunscrita por el Cinturón Plegado del Lacandón, Las Tierras Altas Sedimentarias y el río Salinas, esta región presenta una superficie plana casi intacta. Los rasgos Cársticos no se encuentran, como tampoco indicaciones superficiales de pliegues y fallas. La estructura sedimentaria es aquí extremadamente profunda y compuesta principalmente de evaporitas.

Las llanuras de inundación del río Salinas y del río de la Pasión, contribuyen, además, con cantidades grandes de aluvión reciente. El drenaje está influenciado por estos ríos de lenta corriente y recorrido serpenteado. Las elevaciones, a través de la región, son generalmente de menos de doscientos metros sobre el nivel del mar (IGN, 1972).

B.1 Subregión planicies aluviales

Esta unidad fisiográfica se ubica y localiza al suroeste del Departamento de Petén, desde Santa Amelia al sur, hasta el vértice del Ceibal y la población de Sayaxché al norte, abarca

las planicies aluviales del río de La Pasión. Su relieve está a alturas de 100 a los 150 msnm. Es una superficie de plana a cóncava. El drenaje superficial es meándrico; es común observar que han originado lagunas o pantanos. Han sido formados principalmente por rellenos de material sedimentario marino fino, en el período del Terciario inferior.

B.1.1 Gran Paisaje: Llanura Aluvial del río San Román

Ubicación y localización: Se encuentra en el extremo Suroeste de Petén, al Norte de Chinajá y alrededor del río San Román que desemboca en el río Salinas.

Morfografía: El área es de topografía plana, con declive hacia el Noroeste y pendientes menores al 4%. Ligeras ondulaciones se presentan en las cercanías de los cauces de los ríos del área con elevaciones de 150 msnm, que van disminuyendo a 125 msnm sobre el río Salinas.

Tipo de roca: El relleno es de origen aluvial compuesto por fracciones provenientes de sedimentos clásticos marinos y rocas carbonatadas provenientes de las partes altas.

Morfogénesis: El origen de la unidad es un relleno efectuado por las diversas corrientes del río San Román y la Quebrada Chinajá, que han erosionado las colinas cársticas.

Morfocronología: La edad de esta forma es del Pleistoceno al actual, del período Cuaternario.

B.1.2 Gran Paisaje: Llanura Aluvial del río Chixoy

Ubicación y localización: Se encuentra en la parte final del río Chixoy, al Noroeste del Departamento de Alta Verapaz con el límite entre el Departamento de El Quiché y la frontera con México. Abarca las poblaciones de Cantabal (Playa Grande) al Oeste de la Laguna Lachuá, hasta Santa Elena cerca de la frontera con México.

Morfografía: La unidad constituye una superficie de topografía plana con pendientes menores al 3%, con declive hacia el Noreste. Existen algunas pequeñas colinas a manera de relictos, así como pequeñas áreas de lagunas y lagunetas, siendo la de mayor importancia la Laguna de Lachuá. El río Chixoy, en esta unidad, a formado meandros en la parte baja al Norte.

Tipo de roca: Las áreas aledañas al río y principalmente en la parte baja son aluviones recientes, mientras que en la parte central de la unidad son arcillas, areniscas, limolitas, arenas calcáreas y conglomerados pertenecientes a la Formación Caribe, las que afloran principalmente en el río Salinas.

Morfogénesis: El origen de esta unidad es un relleno efectuado por los ríos Chixoy e Icbolay, los que transportan materiales carbonatados de la Sierra de Chamá y otros lugares más al Sur. La unidad se encuentra rodeada de rocas carbonatadas.

Morfocronología: La edad es del Terciario superior (Oligoceno-Plioceno).

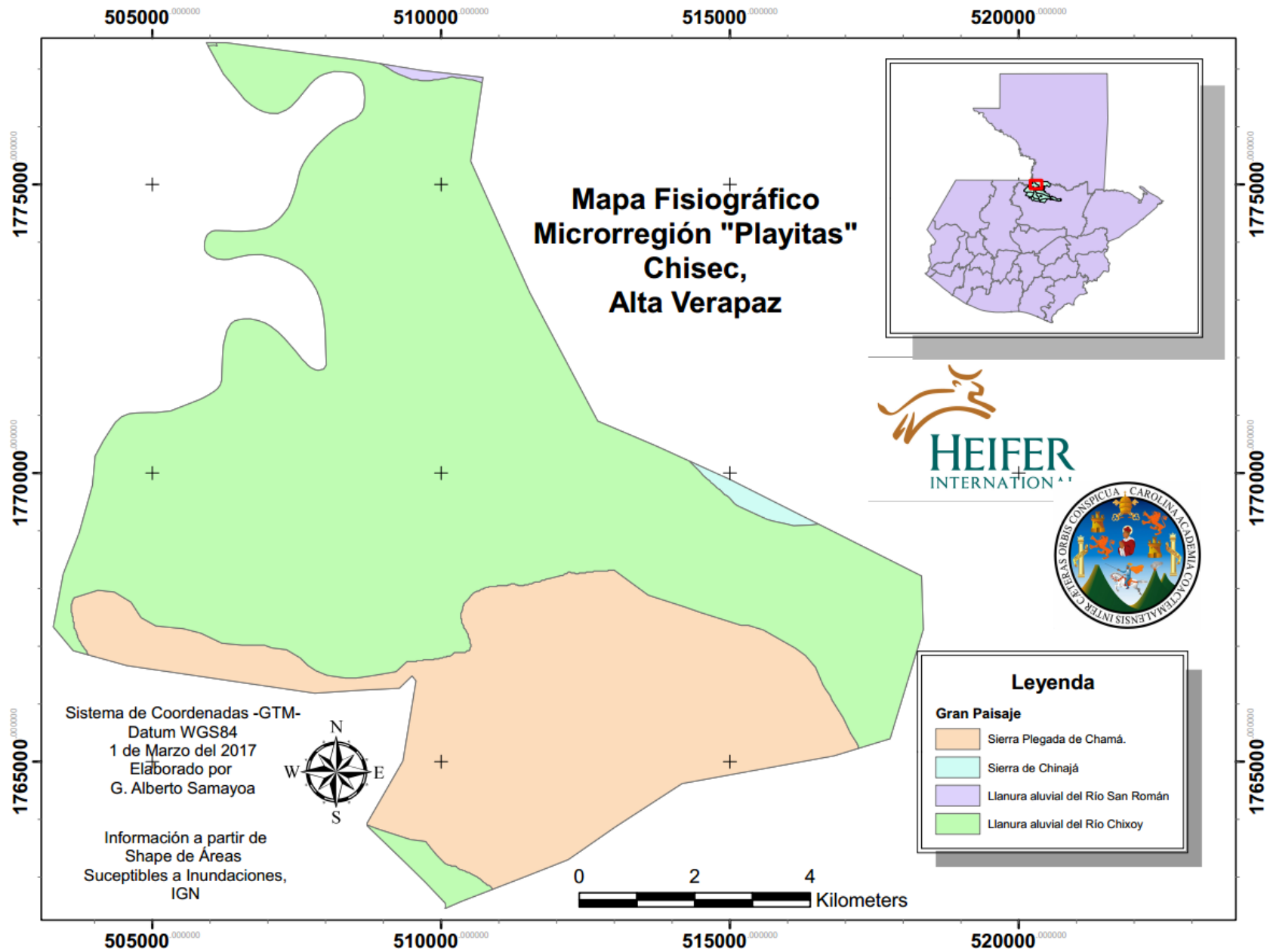


Figura 9. Mapa fisiográfico

1.6.7 Uso de la tierra

1.6.8 Capacidad de Uso de la Tierra (CUT)

El mapa que se presenta a continuación es un mapa elaborado en base a la clasificación de la capacidad de uso de la tierra (CUT) por la metodología del instituto nacional de bosques –INAB- en el cual se clasifica la aptitud de las tierras para su uso que no reduzca la capacidad productiva de los mismos y fortalecer el cuidado de este delicado sistema.

En el cuadro 24 se puede observar los usos apropiados en función de la profundidad efectiva del suelo y la pendiente para la región fisiográfica a la que pertenece la microrregión.

Cuadro 24. Matriz de CUT para la región “Tierras Calizas Bajas del Norte”

PENDIENTES (%)					
PROFUNDIDAD DEL SUELO (cm)	< 4	4 - 8	8 - 16	16 - 32	> 32
>90	A	A	A/Am	A m	Ap
50-90	A	A	A m	Am/Aa	Ap/F
20-50	A/Am	Am/Ap	Aa/Ss/Ap	Ss/Ap	F/Fp
<20	Aa/Ap	Aa/Ap	Ss/Ap	F/Fp	Fp

Fuente: Recuperado de MAGA (2001).

A partir del cuadro 25 y cuadro 26 se crea el cuadro 27 que muestra el uso adecuado, el área en Ha y el % de área para cada uso en la microrregión Playitas.

Cuadro 25. Matriz de CUT para la región “Tierras Calizas Bajas del Norte”

CATEGORÍA SIN FACTORES MODIFICADORES	PEDREGOSIDAD	DRENAJE	CATEGORÍA MODIFICADA
A	No limitante	No limitante	A
		Limitante	A m
	Limitante	No Limitante	Ss
		Limitante	Ss
A m	No limitante	No limitante	A m
		Limitante	Ss/Ap
	Limitante	No Limitante	Ss
		Limitante	Ss
Aa	No limitante	No limitante	Aa
		Limitante	Ss/Ap
	Limitante	No Limitante	Ss
		Limitante	Ss
Ss	Limitante	No Limitante	F/Fp
		Limitante	Fp
Ap	No limitante	No Limitante	Ap
	Limitante	No Limitante	F/Fp
F	No limitante	No limitante	F
	Limitante	No Limitante	Fp

CASOS ESPECIALES: En las categorías Ap y F, se considera poco probable la presencia de limitaciones de drenaje; de presentarse, se modifican hacia Fp. La categoría Ss por definición ya presenta limitaciones de pedregosidad y/o de drenaje, por lo que su grado de manifestación determina que permanezca como Ss o bien se modifique hacia F o Fp.

Fuente: Recuperado de MAGA (2001).

Cuadro 26. Resumen de CUT.

Capacidad de Uso de la Tierra	Código	Área (ha)	% Área
Agricultura sin limitaciones	A	5,134.30	49.73
Agricultura con mejoras	Am	2,197.63	21.29
Agroforestería con cultivos permanentes	Ap	110.23	1.07
Sistemas Silvopastoriles	Ss	2,343.82	22.70
Tierras Forestales de Producción	F	537.39	5.21
TOTAL		10,323.37	100

Fuente: Elaboración propia.

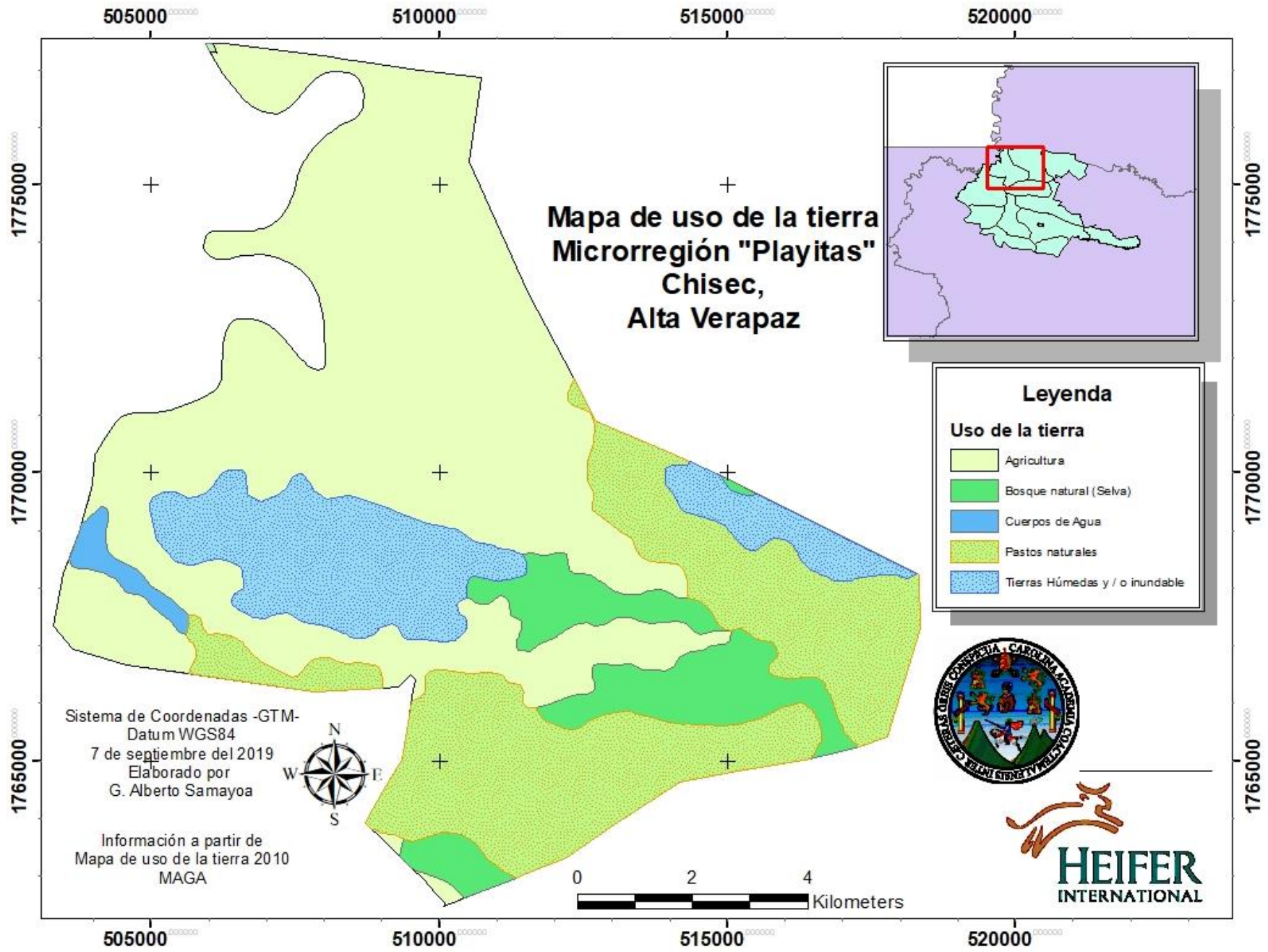


Figura 10. Mapa de uso de la tierra.

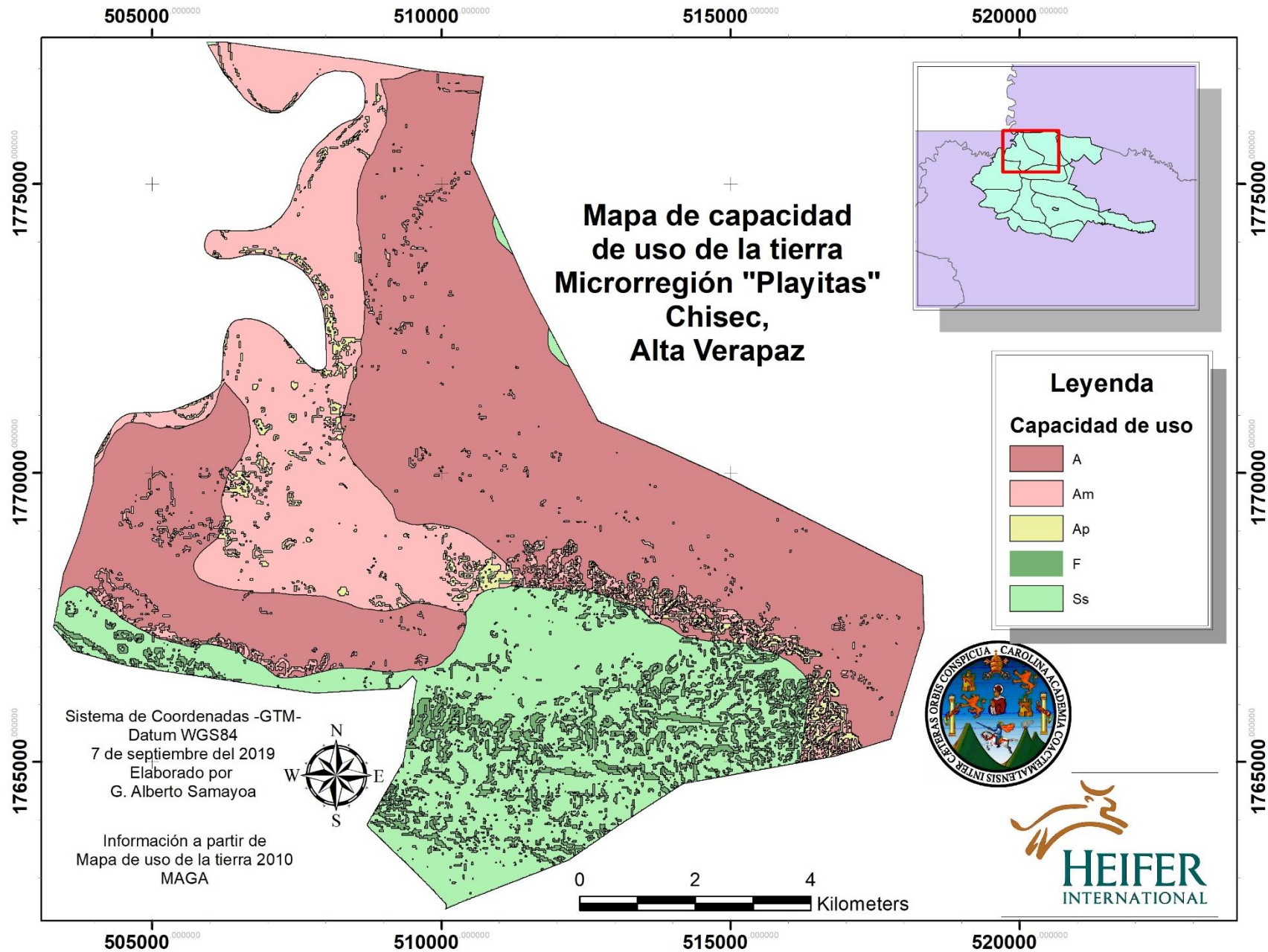


Figura 11. Mapa de capacidad de uso de la tierra.

1.6.9 Intensidad de Uso de la Tierra

El presente busca brindar algunos lineamientos sobre el uso y manejo de la tierra de la microrregión “Playitas”. La capacidad de uso del suelo (cuadro 27) es una forma de clasificar los suelos según un ordenamiento sistemático de carácter práctico e interpretativo, fundamentado en la aptitud natural que presenta el suelo para producir constantemente bajo tratamiento continuo y usos específicos. La intensidad de uso de la tierra refleja la relación entre el uso que se le da versus su capacidad de uso. Se consideran tres grados de intensidad; sobre uso, uso correcto y sub-uso.

El desarrollo del estudio de Capacidad de Uso de la Tierra (CUT), debe de concebirse como una herramienta de toma de decisiones, al considerar los datos aportados como propuestas que permitan reducir el sobreuso del recurso suelo, para llevar a cabo los mapas de capacidad de uso fue necesario hacer uso de pendientes y profundidades del área de estudio, ya que la capacidad de uso es lo que abarca entorno a su aptitud.

El desarrollo del estudio de Intensidad de Uso de la Tierra (IUT), se tomaron en cuenta tres categorías calificativas como lo indican las literaturas las cuales corresponde a; sobre uso, uso correcto y subuso. Para hacer uso de estas tres categorías es necesario contar con los mapas de uso de la tierra 2016 y la capacidad de uso tanto de la metodología USDA como INAB, y asimismo evaluar las áreas críticas para poder plantear prácticas correctas y disminuir el sobreuso de estas.

Cuadro 27. Descripción de clases de Capacidad de Uso de la Tierra

INAB	
A	Agricultura sin limitaciones
Am	Agricultura con mejoras
Aa	Agroforestería con cultivos anuales
Ss	Sistemas silvopastoriles
Ap	Agroforestería con cultivos permanentes
F	Tierras forestales para producción
Fp	Tierras forestales de protección

Fuente: Adaptado de INAB, 2001.

Cuadro 28. Nomenclatura de Intensidad de uso de la tierra.

		Clases de uso de la tierra Metodología INAB-PAF						
		Agricultura sin limitaciones	Agricultura con mejoras	Agroforestería con cultivos anuales	Sistemas silvopastoriles	Agricultura con cultivos permanentes	Tierras forestales para producción	Tierras forestales de protección
APTITUD ➔		A	Am	Aa	Ss	Ap	F	Fp
USO ACTUAL		A	Am	Aa	Ss	Ap	F	Fp
1- Cultivos Anuales en asocio, Sistema milpa	A(1)		Am (1)	Aa(1)	Ss(1)	Ap(1)	F(1)	Fp(1)
2- Hortalizas de clima frío	A(2)		Am (2)	Aa(2)	Ss(2)	Ap(2)	F(2)	Fp(2)
3- Pastos cultivados/ Naturales	A(3)		Am (3)	Aa(3)	Ss(3)	Ap(3)	F(3)	Fp(3)
4- Cultivos Semipermanentes	A(4)		Am (4)	Aa(4)	Ss(4)	Ap(4)	F(4)	Fp(4)
5- Cultivos Permanentes	A(5)		Am (5)	Aa(5)	Ss(5)	Ap(5)	F(5)	Fp(5)
6- Bosque Mixto disperso	A(6)		Am (6)	Aa(6)	Ss(6)	Ap(6)	F(6)	Fp(6)
7- Bosque Mixto Poco denso	A(7)		Am (7)	Aa(7)	Ss(7)	Ap(7)	F(7)	Fp(7)
8- Bosque Mixto denso	A(8)		Am (8)	Aa (8)	Ss (8)	Ap (8)	F (8)	FP (8)

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro 28 se presenta la nomenclatura de IUT, el uso actual en la simbología se representa con un número arábigo y la capacidad de uso de la tierra se representa con una letra capital. Por ejemplo, si se tiene una capacidad de uso de la tierra adecuada para sistemas silvopastoriles (Ss) y se tiene un uso actual de Agricultura con mejoras (Am) se utilizará el número 2 ya que la clase 2 corresponde a Agricultura con mejoras y quedaría como D2 en el mapa de intensidad de uso de la tierra (INAB). Las casillas resaltadas en color rojo hacen referencia a sobre-utilización de la tierra, las casillas de color blanco a un uso correcto y las casillas de color amarillo pálido indican sub-uso de la tierra.

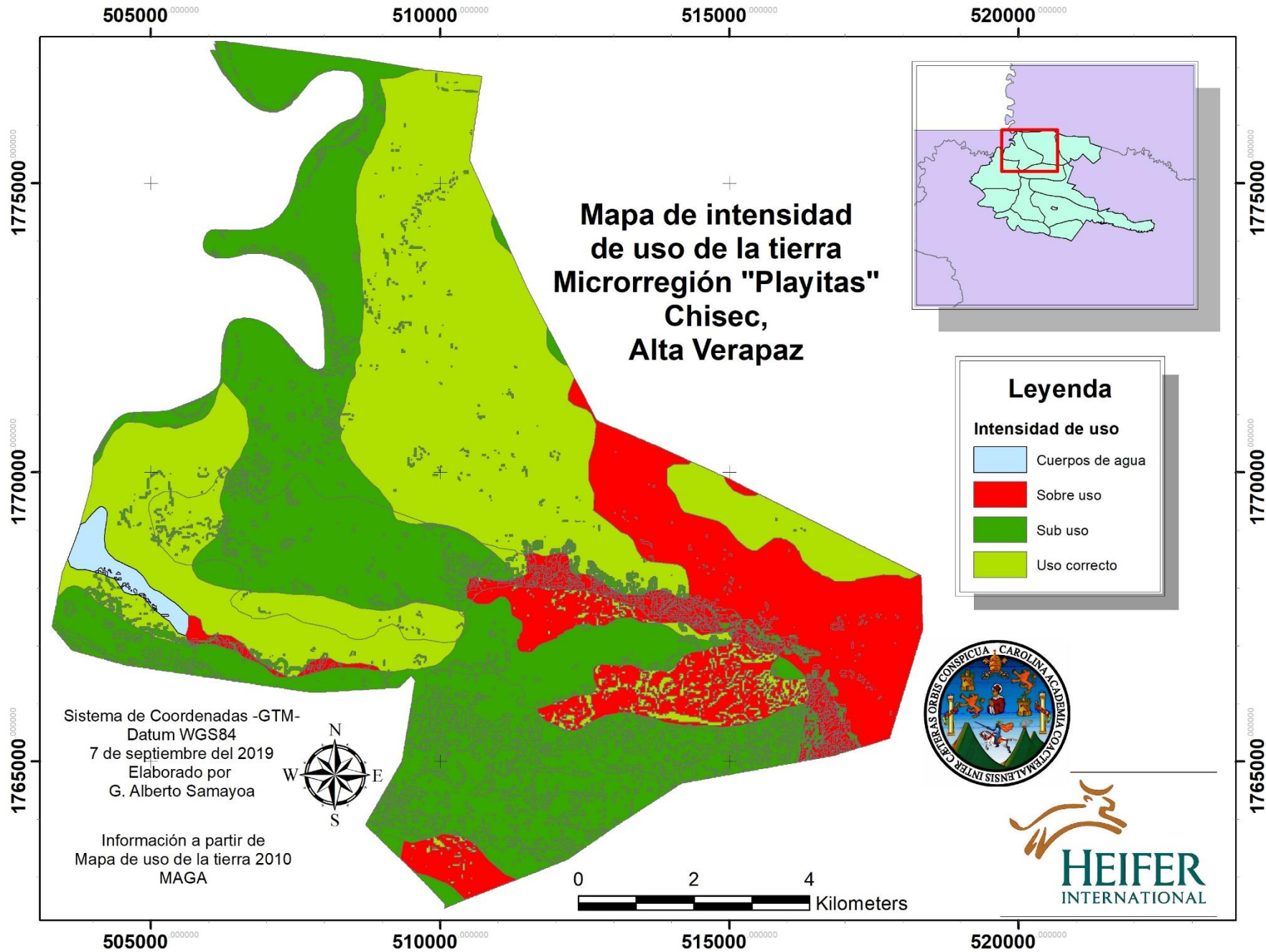


Figura 12. Mapa de intensidad de uso de la tierra.

1.6.10 Problema principal

Según los resultados de la caracterización socioeconómica y biofísica se establece que la problemática que enfrenta la microrregión son las inundaciones y surgen interrogantes de causas y efectos que conllevan a esta situación. Reconocer estas causas y efectos es un paso fundamental en el proceso de toma de decisiones, ya que es cuando se cambian los papeles y se plantean escenarios positivos para el fácil planteamiento de objetivos a alcanzar. En esta fase, el árbol de medios y fines es una herramienta indispensable para lograr dicho fin.

Sobre la base del árbol de medios y fines, se obtendrán los posibles proyectos a ser evaluados. Se busca establecer soluciones y plantear acciones vinculadas con los medios fundamentales. Las acciones deben ser seleccionadas de acuerdo con su viabilidad para luego ser agrupadas o buscar nuevas posibilidades a partir de ellas. Antes de plantear los posibles proyectos, es necesario caracterizar las alternativas existentes, esto es, definir las acciones imprescindibles.

Como parte del establecimiento del problema principal se determinó que las inundaciones son solamente una causa de un problema mayor “la baja calidad de vida en la región”, eso debido a que existen otras causas que influyen significativamente en la calidad de vida de los pobladores.

1.6.11 Árbol de Causas y Efectos

Después de identificar el problema principal, fue necesario analizar las causas y las consecuencias de este con el fin de ampliar la visión y elaborar un árbol que, posteriormente permita hallar posibles soluciones. A continuación, se presenta el árbol de problemas de la microrregión “Playitas”.

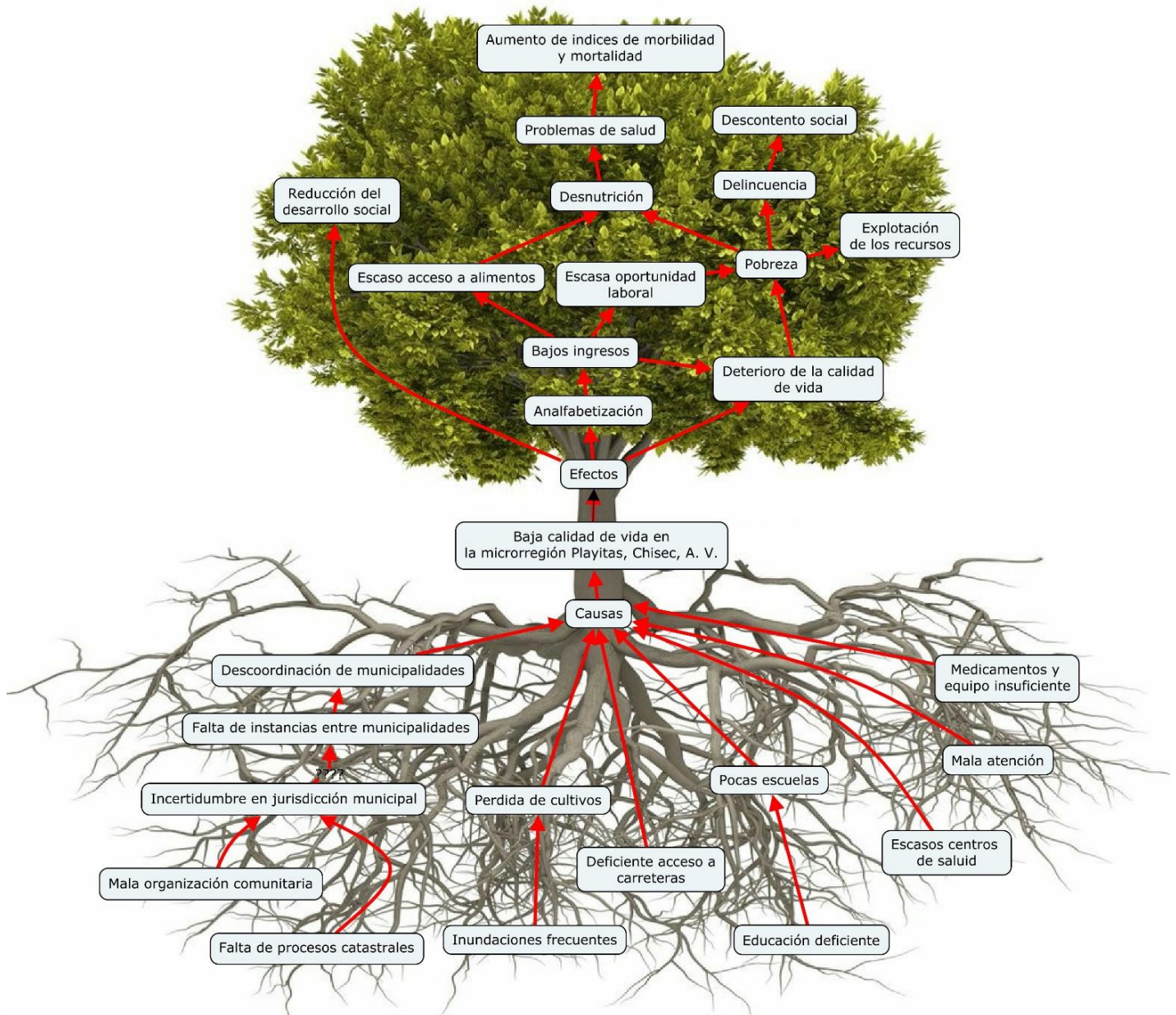


Figura 13. Árbol de causas y efectos

Fuente: Elaboración propia, 2019.

A. Fundamento de las causas

A.1 Falta de organización comunitaria

En Latinoamérica como parte del empoderamiento de sus territorios por parte de las comunidades se ha establecido el derecho a la consulta comunitaria para el establecimiento de proyectos mineros. Cuando estos intentos de organización social son violados por parte de las instituciones competentes ocasionan rupturas en el proceso organizativo y por ende en la confianza de dichas comunidades ante los proyectos de desarrollo, debido a que estos se utilizan muchas veces como parte del encubrimiento de las actividades de la industria extractiva.

Esta problemática tiene como efecto general, la dificultad en el trabajo y proposición de proyectos de desarrollo comunitario por la baja incidencia de actores tanto locales como estatales y paraestatales, lo cual no permite la transferencia de capacidades y conocimientos técnicos que promuevan un desarrollo sistemático de las comunidades y su organización propia.

A.3 Uso inadecuado de la tierra.

El uso intensivo de la tierra es un problema que comúnmente se asocia en forma de causas a la mala producción agrícola y al paulatino deterioro de los recursos naturales renovables en términos que esto provoca la pérdida de la capacidad productiva de los suelos y en otros casos que no se aproveche de la manera más eficiente posible el recurso suelo disponible.

Es por esto que vemos como una causa de la mala administración de los recursos naturales, el mal manejo y planificación de la tierra provocando como causa la degradación del suelo principalmente y que repercute en su capacidad productiva.

B. Fundamento de los Efectos

B.1 Poca o nula Organización de productores.

Según los indicadores socioeconómicos aportados por Fuentes I.(2014) y por el INE, existen problemas de desempleo siendo la población económicamente inactiva mayor a la activa por las pocas fuentes de empleo existentes, también existe bajo nivel de escolaridad y problemas de desnutrición.

B.2 Poca cobertura educativa.

Otro efecto encontrado fue la mala cobertura educativa y del sistema de salud, este problema lo enfrenta la mayor parte del país. En cuanto a los bajos niveles de educación se debe a la poca capacidad de las instalaciones y a que las personas desde edades tempranas se dedican a actividades que generan pequeños ingresos para su familia, pero provocan que en el futuro no puedan optar a mejores oportunidades de empleo.

B.4 Sobreexplotación de los recursos naturales renovables

Las actividades a las que se dedica la población son en su mayoría de tipo agrícola, sin embargo, los suelos no son de esta vocación. Esto ha provocado que se sobre use el suelo y se degrade más, el problema se agrava al no existir proyectos de capacitación y desarrollo comunitario por la fragmentación social mencionada anteriormente.

1.6.12 Árbol de Objetivos o Árbol de Medios y Fines

Después de elaborar el árbol de causa y efectos, se debe identificar el lado opuesto del problema; es decir, la situación positiva que sería observada si el proyecto se implementara.

Por esta razón, esta tarea consiste, principalmente, en convertir todos los elementos negativos del árbol de causas y efectos en elementos positivos. A continuación, se presenta el árbol de medios y fines.

La siguiente tarea consiste en buscar soluciones y plantear alternativas como resultado de ella, sobre la base del árbol de medios y fines, se obtendrán los posibles proyectos a ser evaluados. Con esta finalidad, se buscará, en primer lugar, establecer soluciones y plantear acciones vinculadas con los medios fundamentales señalados en los siguientes esquemas que se presentan a continuación.

Para diseñar el árbol que busca soluciones el problema principal y plantear acciones, fue necesario tomar como punto de partida los medios fundamentales, que representan la raíz del árbol de objetivos. Éstos surgen a partir de causas que, como ya se mencionaron en el árbol de problemas, son posibles atacar a partir de acciones concretas.

La organización comunitaria es una alternativa que permitirá resolver el conflicto de mala administración por parte de los consejos comunitarios y la misma municipalidad a través de talleres de desarrollo de capacidades organizativas de productores, fomentando las nuevas prácticas agrícolas.

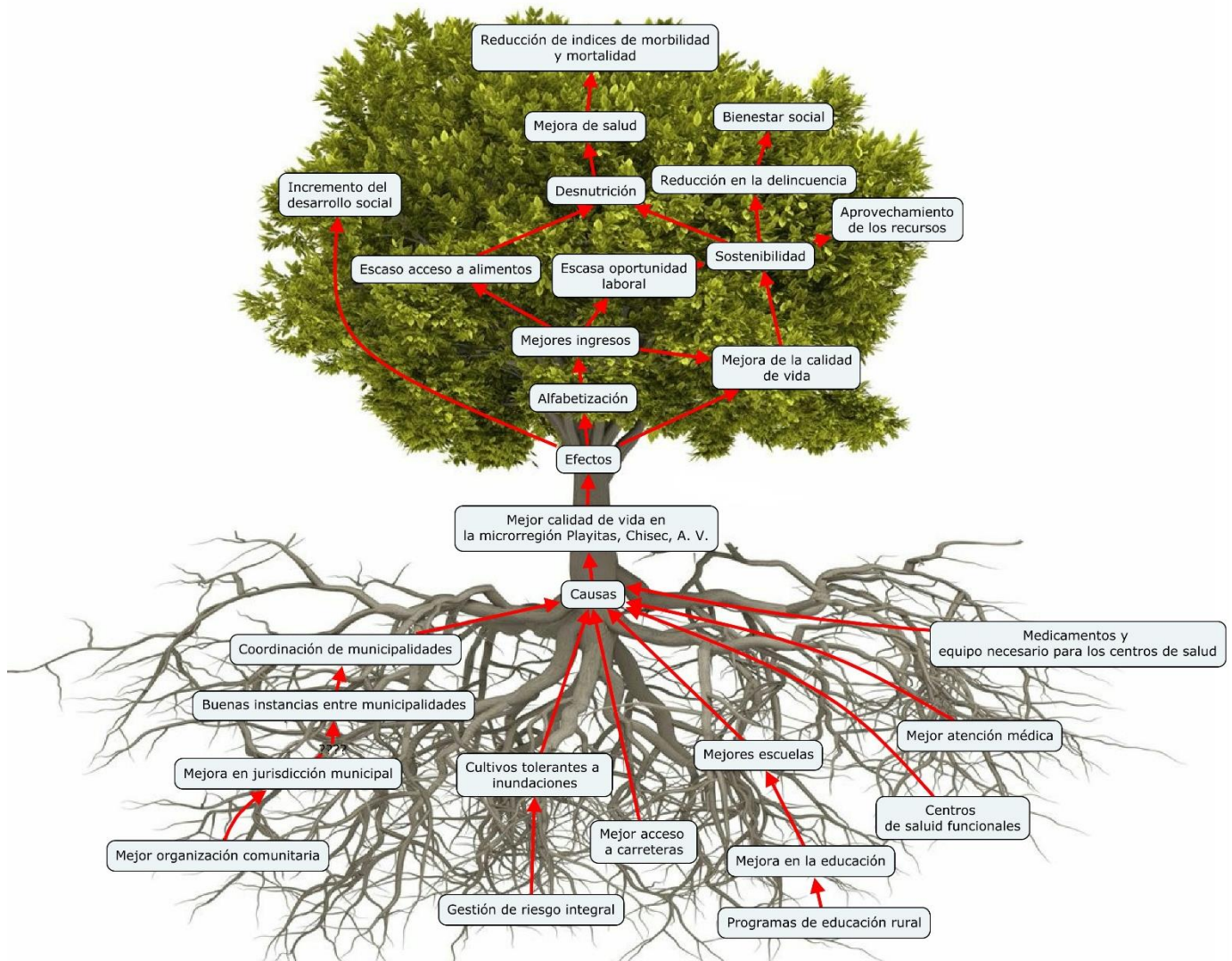


Figura 14. Árbol de medios y fines

Fuente: Elaboración propia, 2019.

1.7 BIBLIOGRAFÍA

1. EC-FAO (2006) "Stakeholders Analysis", Annex I to lesson "understanding the Users' Information Needs", Food Security Information for Action Programme, FAO-EU.
2. Fuentes I. 2014 Maestría en Desarrollo Urbano y Territorio. Esquema Director de Ordenación Urbanística Para el Casco Urbano de San Pedro Ayampuc 2013-2028. Universidad de San Carlos de Guatemala. Escuela de Estudios de Postgrados. Guatemala. Recaudado en PDF. 182 p.
3. Herrera, L. Caracterización e investigación geológica de los materiales utilizados en la construcción civil en Guatemala. Guatemala. 2005. En línea. Consultado 18 de noviembre 2016. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2541_C.pdf
4. IARNA (Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente). 2018. Ecosistemas de Guatemala. Universidad Rafael Landívar. 140. Disponible en <http://www.infoiarne.org.gt/wp-content/uploads/2019/02/Ecosistemas-de-Guatemala-final.pdf>
5. Mapa Fisiográfico-Geomorfológico de la República de Guatemala, a escala 1:250,000-Memoria Técnica-. (en línea). Consultado el 01 de diciembre de 2016. Disponible en: http://web.maga.gob.gt/wpcontent/blogs.dir/13/files/2013/widget/public/mapa_fisiografia_memoria_2001.pdf
6. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAGA). 2001. Mapa Fisiográfico-Geomorfológico de la República a escala 1:250,000. Guatemala, Unidad de Políticas e Información Estratégica (UPIE-MAGA). Consultado 7 sep. 2019.
7. Ministerio de educación. Censo de listado de establecimiento de nivel medio 2012, consultado 17 de diciembre del 2016. Disponible en: http://www.mineduc.gob.gt/DIPLAN/?p=inventarioInfraestructura.asp&t=Inventario_de_Infraestructura_Educativa_2011.
8. Ministerio de salud pública. Red de servicios de salud, consultado 17 de diciembre del 2016. Disponible en: <http://www.mspas.gob.gt/index.php/en/mspas/red-de-servicios.html>
9. Pozo Solis, A. Mapeo de actores sociales. Lima, Peru. (en línea). Consultado (09 Dic. 2016). Disponible en: <http://documents.mx/documents/mapeo-de-actores.html>
10. Primera Aproximación al Mapa de Clasificación Taxonómica de los Suelos de la República de Guatemala, a escala 1:250,000 -Memoria Técnica-.(en línea). Consultado el 01 de diciembre de 2016. Disponible en: http://web.maga.gob.gt/wp-content/blogs.dir/13/files/2013/widget/public/mapa_taxonomica_memoria_tecnica_2000.pdf

11. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Curso Subregional, Manejo Integrado de Agua y Áreas Costeras. Junio 2010. <http://www.pnuma.org/agua-miaac/SUBREGIONAL%20MESO/MATERIAL%20ADICIONAL/PRESENTACIONES/PONENTES/Tema%20%20-%20Herramientas%20para%20MIAAC/Balance%20Hidrico%20y%20Caudal%20Ecologico%20-%20M%20Hernandez/Balance%20Hidrico.pdf>
12. SEGEPLAN, 2011. Plan de Desarrollo San Pedro Ayampúc Guatemala, Consejo Municipal de Desarrollo del Municipio de San Pedro Ayampuc. Recaudado en PDF. 85 p.
13. Tapella, E. S.f. El mapeo de actores claves. Universidad Nacional de Córdoba. (en línea). Consultado (09 Dic. 2016). Disponible en: <https://planificacionsocialunsj.files.wordpress.com/2011/09/quc3a9-es-el-mapeo-de-actores-tapella1.pdf>
14. Universidad de San Carlos de Guatemala Dirección General de Investigación Centro de Estudios del Mar y Acuicultura MANEJO INTEGRADO DE LAS MICROCUENCAS HIDROGRÁFICAS DEL MUNICIPIO DE PALENCIA, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA. :<http://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/puirna/INF-2008-075.pdf>
15. Zonas de vida Holdrige.(en línea). Consultado el 01 de diciembre de 2016. Disponible en:<http://www.leopl.com/ciencias-naturales/2553/bosque-humedo-subtropical-templado>
16. Zonas de vida Holdrige.(en línea). Consultado el 01 de diciembre de 2016. Disponible en:<http://www.jmarcano.com/ecohis/zonas/secos.html>

**CAPÍTULO II: ANÁLISIS DE LA MODELACIÓN HIDRÁULICA, PARTE NORTE DEL RÍO
CHIXOY, MICRORREGIÓN PLAYITAS, CHISEC, ALTA VERAPAZ, GUATEMALA**



2.1 PRESENTACIÓN

Las inundaciones son una de las amenazas con mayor impacto económico, ambiental y social a las orillas del río Chixoy. Según el coordinador de la Unidad de Gestión Ambiental Municipal (UGAM) el río Chixoy causa grandes pérdidas económicas a los pobladores de las comunidades aledañas al río². Por esto se ha seleccionado como lugar de estudio la microrregión “Playitas” ubicada a orillas del río en el municipio de Chisec, Alta Verapaz.

El impacto negativo que las inundaciones generan en la región ha llegado a provocar altos daños económicos descritos en el diagnóstico de la microrregión Playitas, afectando los medios de producción agrícola, y alterando de manera significativa las condiciones de vida³.

Para los pobladores de la microrregión Playitas el río Chixoy tiene gran importancia porque lo utilizan como medio de transporte, las tierras cerca de la ribera del río son altamente fértiles, esto hace que las personas continúen subsistiendo allí a pesar de las inundaciones periódicas. Es importante estimar el nivel amenaza a inundaciones y las zonas más vulnerables para poder reubicar las zonas de cultivos y de residencia de los pobladores, además permitirá a entidades de desarrollo social conocer la problemática para poder invertir y mejorar las condiciones de vida de los pobladores.

Por esa razón se diseñó un modelo hidráulico para obtener un mapa de amenaza a inundaciones, así como información estimada de caudales.

La modelación hidráulica es una herramienta muy útil para el estudio de crecidas. Estos modelos permiten una mejor comprensión, análisis y prevención de inundaciones; permite tener un cierto grado de confianza para la toma de decisiones, en la ordenación del territorio en comunidades o poblados cercanos a ríos, permite jerarquizar la necesidad de

² Isaac Matías 22 febrero 2018. Inundaciones en microrregiones de Chisec. (entrevista). Chisec, Guatemala, Unidad de Gestión Ambiental Municipal de Chisec, Alta Verapaz.

³ El diagnóstico socioeconómico y biofísico de la microrregión Playitas fue realizado como parte del EPS de la FAUSAC y se encuentra descrito en el capítulo 1 de este documento.

construcción de obras de reducción de riesgo a inundaciones puntos de mayor probabilidad de una inundación. Permite organizar a las comunidades para mantenerse alertas y ser capacitados con antelación para reducir la cantidad de pérdidas humanas, agrícolas, pecuarias y materiales.

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El municipio de Chisec, ubicado en el departamento de Alta Verapaz es un municipio con altos índices de inundaciones, según la UGAM, uno de los ríos que presentan inundaciones y generan grandes pérdidas animales y económicas dentro del municipio de Chisec es el río Chixoy, este se encuentra en la parte noroeste del municipio⁴. Según los presidentes del Consejo Comunitario de Desarrollo (COCODE) entrevistados en el diagnóstico de la microrregión Playitas, anualmente se tienen pérdidas de bienes materiales, cosechas y animales por causa de crecidas del río Chixoy.

Este río tiene gran importancia para las personas pues los pobladores de las comunidades cercanas al río se transportan principalmente en lancha entre las comunidades. Las tierras aledañas al río son fértiles, esto hace que las personas sigan viviendo en la región a pesar de los altos índices de inundaciones. Existen diversas entidades interesadas el análisis y gestión de riesgo a inundaciones en el municipio, por lo tanto, será de vital importancia un estudio hidrológico e hidráulico en la microrregión Playitas. Se seleccionó una microrregión ya que, al no ser una región muy extensa en área, da lugar a una factibilidad económica de poder implementar una solución a los problemas de inundaciones en un futuro y además de reducir el valor económico de la nivelación de secciones transversales requerido para realizar el modelo hidráulico.

⁴ Isaac Matías 22 febrero 2018. Inundaciones en microrregiones de Chisec. (entrevista). Chisec, Guatemala, Unidad de Gestión Ambiental Municipal de Chisec, Alta Verapaz.

2.3 MARCO CONCEPTUAL

A través de los años las inundaciones han sido un problema que ha afectado principalmente a comunidades en desarrollo en Guatemala que generalmente se ubican a orillas de ríos y lagos, este es el caso de las comunidades de la microrregión Playitas, en la entrevista semiestructurada del 2017 los presidentes del Consejo Comunitario de Desarrollo (COCODE) aseguraron que periódicamente (1 a 2 años) existen inundaciones que afectan los cultivos afectando el rendimiento u ocasionando pérdida total de los cultivos, esto deja a los pobladores sin ingresos e impide el desarrollo de la microrregión.

Una herramienta que puede ayudar en situaciones de alta amenaza a inundación es la modelación de canales abiertos o ríos porque da la oportunidad de estimar las cotas de crecidas de los ríos y estimar el alcance del agua bajo ciertas condiciones establecidas dentro de los parámetros del modelo, dependiendo la complejidad del modelo y la información disponible este modelo será más preciso y permitiría organizar a las comunidades antes de que suceda una avenida o indicaría las zonas de alto, medio y baja amenaza a inundaciones.

2.3.1 Flujo de canales abiertos

Este tipo de flujo se diferencia con el flujo en tubería porque este tiene una superficie libre y se encuentra sometida a presión atmosférica de forma directa, aunque un conducto cerrado se podría considerar flujo en canal abierto si encuentra en una superficie libre la mayor parte del tiempo.

El flujo de canales abiertos puede clasificarse de varias maneras, por esto, Chow (1994:5) explica que existen tipos de flujo permanente y no permanente, la única diferencia radica en que la profundidad del flujo permanente no cambia o se podría considerar constante durante el intervalo de tiempo, por el contrario, el flujo variado se da cuando existe cambio en la profundidad del flujo a través del tiempo.

El flujo variado puede clasificarse en flujo uniforme no permanente (poco frecuente), el flujo rápidamente variado que cambia de manera abrupta en distancias comparativamente cortas y el flujo gradualmente variado que considera cambios menos abruptos (Chow 1994:6).

Los canales naturales, pueden considerarse con flujo gradualmente variado porque los cambios en el nivel en promedio son leves, a menos que se vean afectados por fenómenos o agentes externos, estos canales consideran todos los cursos de agua que existen en la tierra y sus condiciones son muy irregulares, para determinar su geometría es necesario considerar las secciones transversales que son tomadas en forma perpendicular a la dirección del flujo y son indispensables para cálculos hidráulicos, la forma de estas secciones puede variar desde aproximadamente una parábola hasta aproximadamente un trapecio (Chow 1994:19, 20). Es importante considerar que la sección de un canal natural se debe medir más allá del nivel actual del cauce, es decir, se debe medir los puntos a los que el nivel del agua podría llegar en caso de una avenida o crecida.

2.3.2 Modelación hidráulica

Para describir la modelación, Cabrera (2015:1) explica que un modelo jamás será exacto pero según el entendimiento que se tiene del fenómeno y del sistema y según su construcción y aplicación así serán de precisas sus predicciones.

La modelación se ha desarrollado notablemente en el campo de la hidráulica, existen evidencias de estudios de diseños hidráulicos realizados desde tiempos antiguos, mediante pequeñas representaciones de estructuras y máquinas, por los cuales se ha llegado a enunciar principios fundamentales en la hidráulica; sin embargo hasta hace poco tiempo la experimentación hidráulica se llevaba a cabo habitualmente a escala real ya sea en vertederos, canales, tuberías y presas construidas sobre el terreno (UDEP 2006:1).

Un modelo hidráulico consiste en representar dimensiones de estructuras hidráulicas, en las que se puede predecir el comportamiento o conducta de la estructura real (en este caso un río), a la que conocemos como prototipo. Los principios en los que se basan estos

procedimientos incluyen las teorías de similitud hidráulica. Estos modelos desprecian cualquier componente que interviene mínimamente en el prototipo como radiación solar, temperatura del suelo y otras condicionantes despreciables. Los modelos hidráulicos también permiten controlar las condiciones de simulación lo que nos permite evaluar eventos extremos (UDEP 2006:12).

2.3.3 Tipos de modelos hidráulicos

Para su análisis, Rios (2014) explica que existen 3 tipos de modelos (cuadro 29), los modelos físicos, analógicos, y matemáticos.

A. Modelo físico

Ese tipo de modelo se refiere a la construcción de un prototipo físico a menor escala o con características diferentes de las que posee originalmente el sistema, esto permitirá probar el sistema bajo diferentes condiciones controladas. Los modelos físicos se encuentran diseñados a escala o con dimensiones geométricas alteradas, algunos pueden tener dimensiones variables o fijas.

B. Modelo analógico

Consiste en reproducir un fenómeno con un prototipo diferente al que se desea estudiar, aprovecha las similitudes matemáticas que se presentan en ambos sistemas.

C. Modelo matemático

Este tipo de modelo simplifica el fenómeno de estudio y existen 3 tipos, el modelo determinístico involucra los procesos físicos, pero no la probabilidad de ocurrencia del fenómeno, el modelo estocástico representa los procesos físicos con variables aleatorias

probabilísticas, y el modelo de simulación numérica emplea principalmente ecuaciones diferenciales y condiciones iniciales de borde.

Cuadro 29. Limitaciones entre modelos físicos y matemáticos.

Modelo físico	Modelo numérico
Tamaño del modelo (espacio en el laboratorio)	Capacidad de almacenamiento en la memoria del computador
Caudal de bombeo	Velocidad de cálculo
Carga hidráulica (capacidad de bombeo)	Conjunto incompleto de ecuaciones
Leyes de similitud	Hipótesis de turbulencias
Escala mínima del modelo	En ecuación de simplificación existe la exactitud de relaciones supuestas
Método de medida y recolección de datos	Disponibilidad de coeficientes

Fuente: Tomado de Rios (2014).

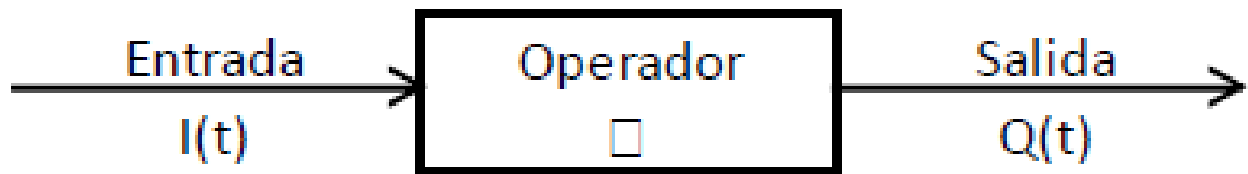
2.3.4 Modelación de canales abiertos

Los modelos de canales abiertos expresan de una forma simplificada el comportamiento de todos aquellos canales que se encuentran expuestos a la presión atmosférica y su flujo se caracteriza porque tiene una superficie libre (Chow 1994).

2.3.5 El sistema hidrológico “cuenca”

El ciclo hidrológico puede tratarse como un sistema cuyos componentes son precipitación, evaporación, escorrentía y otras fases del ciclo hidrológico, los cuales pueden agruparse en subsistemas del ciclo total. Éste “sistema hidrológico” posee una estructura (o volumen) en el espacio, rodeada por una frontera, que acepta agua y otras entradas, opera en ellas

internamente y produce salidas. La figura 15 esquematiza un sistema hidrológico. (Cabrera, J. 2015).



Fuente: Chow, 1994.

Figura 15. Esquema de un sistema hidrológico.

Este concepto puede aplicarse claramente a una cuenca hidrográfica, pues a ella ingresa agua, por medio de la precipitación y otras formas; y una cantidad de ella sale de la cuenca, por medio de su cauce principal o por el uso que adquiera el agua (Cabrera 2015).

Los procesos hidrológicos presentes en el ciclo hidrológico de una cuenca según Cabrera (2015) se caracterizan:

- Por ser no lineales, pues tienen variaciones complejas en el espacio y en el tiempo.
- Por ser no estacionarios, pues están afectados a periodicidad y tendencias.
- Por ser variables en el espacio, debido a las características variables del suelo, del uso y del clima a lo largo de la cuenca.
- Por ser variables en el tiempo, en todas las escalas, ya sea horaria, diaria, mensual, etc.

Debido a esta variabilidad, las mediciones de los procesos hidrológicos solo pueden considerarse como un punto de información, y la comprensión de las leyes que gobiernan el ciclo hidrológico cobra mayor importancia. Es en este punto que empezamos a delinear lo que será nuestro modelo hidrológico: definiendo cuales son los procesos principales y las variables que intervienen en la generación de caudales (Cabrera 2015).

Asimismo, la topografía y geomorfología, y los mecanismos físicos que representan, son heterogéneas y anisotrópicas en una cuenca pues varían en todas las direcciones en que son analizadas. El desconocimiento (o poco conocimiento) de las características de una cuenca solamente conducirá a modelos ineficientes, de baja capacidad predictiva. Por lo tanto, un modelo de cuenca debe representar un punto de equilibrio entre complejidad y exactitud de la representación, basado en nuestra comprensión del sistema y al manejo matemático (Cabrera 2015).

2.3.6 Complejidad de modelos vs disponibilidad de datos

La disponibilidad de datos es determinante en la selección del modelo a utilizar y en la capacidad predictiva de dicho modelo. Van de la mano y debe entenderse claramente la relación que existe entre ellas. Si la data es pobre (de baja resolución), incrementar la complejidad del modelo no ayudará a mejorar su capacidad predictiva, ésta será también baja. Si la data es de alta resolución, pero el modelo es simple (poco complejo), entonces la capacidad predictiva también será baja pues la simplicidad del modelo introduce incertidumbre (Cabrera 2015).

De esta Cabrera (2015) concluye que:

- Para datos de baja resolución es recomendable utilizar modelos poco complejos.
- Para datos de alta resolución es recomendable utilizar modelos de mayor complejidad.

2.3.7 Elementos de un modelo

Los modelos determinísticos suelen presentar tres tipos de elementos que Cabrera (2015) describe como:

- Variables de entrada; series espaciotemporales de precipitación, temperatura, etc.
- Parámetros; parámetros asumidos constantes en el modelo, por ejemplo, la conductividad hidráulica, la velocidad de infiltración, etc.
- Variables de estado; series espaciotemporales de humedad de suelo, etc, las cuales permiten establecer condiciones iniciales.
- Asimismo, suele hablarse de variables de salidas, que usualmente son las descargas.

2.3.8 Calibración y validación

Modelar una cuenca implica establecer una relación entre variables de entrada; esta relación implica introducir parámetros (con significado físico o no) que permitan simular lo mejor posible la variable de salida. Ya que estos parámetros son inicialmente desconocidos, se requiere de un proceso de “calibración” para identificar sus valores. De esta manera podemos definir “calibración” como el proceso por el cual se identifican los valores de los parámetros del modelo para los cuales la serie de datos simulados se ajusta de manera óptima a la serie de datos observados (Cabrera 2015).

Dependiendo del uso que se le quiera dar al modelo, éste puede requerir pasar por un proceso de “validación”. La validación tiene por objetivo determinar la bondad del modelo para realizar predicciones en un lugar específico para períodos fuera del período de calibración (Cabrera 2015).

2.3.9 Modelación hidráulica

En hidráulica, el término modelo corresponde a un sistema que simula un objeto real llamando prototipo. Mediante la entrada de cierta información se procesa y se presenta de forma adecuada para emplearse en el diseño y operación de obras de ingeniería civil (Álvarez 2007).

La mayoría de los fenómenos que ocurren en la naturaleza y que involucran el campo de la hidráulica son tan complejos que no es fácil tratarlos únicamente con métodos matemáticos.

Debido a lo anterior, es beneficioso recurrir al empleo de técnicas experimentales, para la solución de algunas problemáticas frecuentes en el campo de la ingeniería hidráulica (Zamora 2008).

Según Zamora (2008) los modelos hidráulicos requieren como principales variables de entrada caudales de diseño para diversos períodos de retorno, levantamientos topográficos de varias secciones transversales del cauce, tipo y usos del suelo en la cuenca. Teniendo diversas aplicaciones, como lo son:

- Delimitación de áreas inundables.
- Niveles de inundación.
- Tránsito de crecidas.
- Control de crecidas.
- Sedimentación.
- Protección de obras.
- Sistemas de alerta temprana.
- Otras.

Muchos de los fenómenos que ocurren en la naturaleza y dentro del campo de la hidráulica son tan complejos que no es fácil tratarlos únicamente con métodos matemáticos. Por lo anterior, es conveniente recurrir al empleo de técnicas experimentales, como herramienta en la obtención de soluciones prácticas, aplicadas a problemas de ingeniería.

Algunas de las aplicaciones más comunes se presentan en estudios de propagación de oleaje, acción de mareas y corrientes, movimiento de sedimentos, estabilidad de estructuras sujetas a la acción del oleaje, efecto de estructuras en protección de playas, acción del oleaje sobre embarcaciones atracadas o en movimiento, propagación de mareas, funcionamiento de estuarios, erosión y sedimentación de cauces, control de avenidas, obras de toma, cárcamos de bombeo, vertederos, conducción de agua a presión, difusión térmica y desechos, etc. (Álvarez 2007).

2.3.10 Modelación en HEC-RAS

El Sistema de Análisis de Ríos del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de Estados Unidos (HEC-RAS, por sus siglas en inglés) es un software que permite realizar cálculos hidráulicos de ríos en flujo constante de una dimensión, de una y dos dimensiones en flujo inestable y cálculos de transporte de sedimentos / lecho móvil (US Army Corps of Engineers 2016).

HEC-RAS es un software de sistema integrado diseñado para uso interactivo en un ambiente de red multiusuario y multitarea. El sistema se compone de una interfaz gráfica (GUI, por sus siglas en inglés), componentes separados de análisis hidráulico, capacidad de almacenamiento y manejo de datos, gráficas y sección de informes (US Army Corps of Engineers 2016).

2.3.11 Componentes del modelo hidráulico de HEC-RAS

A. Geometría

La geometría límite para el análisis HEC-RAS del flujo en corrientes naturales se especifica en términos de las secciones transversales de la superficie del terreno y las distancias de flujo medidas entre ellas (longitudes de alcance). Las secciones transversales se ubican a intervalos a lo largo de una corriente para caracterizar la capacidad de transporte de flujo de la corriente y la llanura de inundación adyacente (CivilGEO 2019).

Las secciones transversales deben extenderse a lo largo de toda la llanura de inundación y deben ser perpendiculares a las líneas de flujo previstas. Ocasionalmente, es necesario diseñar secciones transversales en una alineación curva o de patas de perro para cumplir con este requisito. Se debe hacer todo lo posible para obtener secciones transversales que representen con precisión la geometría de la corriente y la planicie de inundación (CivilGEO 2019).

B. Datos de flujo estable

El manual de US Army Corps of Engineers (2016) indica que este componente requiere la siguiente información:

- Número de perfiles a ser calculados.
- Caudales máximos (al menos uno por cada tramo del río y cada perfil).
- Cualquier condición del contorno requerida.

Primero el usuario deberá ingresar el número de perfiles, el siguiente paso será ingresar los datos de caudal directamente al software.

Los datos de caudales se deberán ingresar desde aguas arriba hacia aguas abajo para cada tramo. Una vez el caudal es ingresado aguas arriba para cada tramo se asume que el flujo permanece constante hasta que otro valor de caudal sea encontrado en el tramo. Los datos de caudal pueden ser cambiados en cualquier sección transversal en el tramo (US Army Corps of Engineers 2016).

C. Condiciones de contorno

Las condiciones de contorno son necesarias para establecer el inicio de la superficie de agua en los extremos del sistema de ríos. Una superficie de agua inicial es necesaria para que el programa pueda iniciar los cálculos. En un flujo de régimen subcrítico las condiciones de contorno solo son necesarias al extremo aguas abajo del sistema de ríos. Si se va a calcular un flujo de régimen supercrítico las condiciones de contorno solamente son necesarias en el extremo de aguas arriba del sistema de ríos. Si se hará un cálculo de un flujo de régimen mixto las condiciones de contorno deben ser ingresadas en ambos extremos del sistema de ríos (US Army Corps of Engineers 2016).

Se debe seleccionar 1 de los 4 tipos de condiciones de contorno que en el manual de US Army Corps of Engineers (2016) se describen como:

- a. Elevaciones conocidas de la superficie del agua.
- b. Profundidad crítica: cuando este tipo de condición es seleccionada el usuario no necesita ingresar ninguna otra información. El programa calculará la profundidad crítica para cada uno de los perfiles y la usará como condición de contorno.
- c. Profundidad normal: Para este tipo de condición de contorno el usuario debe ingresar una pendiente de energía que será usada para calcular la profundidad normal (ecuación de Manning) en esa ubicación. La profundidad normal será calculada para cada perfil basada en la pendiente ingresada. Si la pendiente de energía es desconocida el usuario deberá aproximarla ingresando ya sea la pendiente de la superficie del agua o la pendiente del fondo del canal.
- d. Curva de calificación: Cuando este tipo de condición de contorno es seleccionada será posible ingresar datos de elevación versus datos de curva de clasificación (rating curve) de caudal. Para cada perfil la elevación es interpolada de la curva de clasificación dado el caudal.

2.3.12 Simulación

La simulación consiste en diseñar un modelo a partir de conocimiento previo sobre un sistema real, para experimentar con él y entender el comportamiento de ese sistema, de modo que en el futuro sea posible predecirlo. El desarrollo de la capacidad de predicción permite evaluar estrategias y alternativas de gestión, comparar resultados y tomar decisiones acerca del sistema en estudio, para optimizar inversiones, reducir costos o disminuir vulnerabilidades, daños y pérdidas, en función del período y de las actividades y prioridades que interesan a los actores involucrados (Tarifa 2007).

Según Tarifa (2007) las etapas de la simulación son:

- Formulación del problema.
- Definición del sistema a modelar.
- Formulación del modelo.
- Recolección de datos.

- Implementación del modelo en la computadora.
- Verificación.
- Validación.
- Diseño del experimento.

Cuadro 30. Ventajas y desventajas de la simulación.

Ventajas de la simulación	Limitaciones de la simulación
Permite una experimentación controlada.	El desarrollo de un modelo puede ser costoso (por el equipamiento, el tiempo y costo de mano de obra); laborioso y lento.
Permite comprimir el tiempo al experimentar.	
Permite el análisis de sensibilidad del sistema ante determinados cambios.	Existe la posibilidad de cometer errores. La experimentación se lleva a cabo con un modelo y no con el sistema real, por lo que si el modelo está mal o se cometen errores en su manejo, los resultados también serán incorrectos.
Evita costos o riesgos, ya que no es necesario interrumpir el desarrollo del sistema para estudiar su comportamiento.	
No es necesario destruir el sistema si se desea investigar sus límites de resistencia.	No se puede conocer el grado de imprecisión de los resultados. Por lo general el modelo se utiliza para experimentar situaciones nunca planteadas en el sistema real (por ejemplo, impactos de cambio climático en magnitudes desconocidas como parte de la variabilidad climática), por tanto, no existe información previa para estimar el grado de correspondencia entre la respuesta del modelo y la del sistema real, ante un cambio dado.
Si solo es un sistema propuesto, no es necesario construirlo físicamente.	
Es una herramienta efectiva de entrenamiento.	
Puede ayudar a simplificar procesos productivos.	Es la última opción, cuando otras técnicas no son factibles para analizar un sistema.
Permite evaluar diseños alternativos de sistemas.	Es experimental e iterativa, es decir, se acerca a un resultado por aproximación, mediante la reiteración de un ejercicio.
En ocasiones es el único método disponible para analizar un sistema.	
Es un proceso relativamente eficiente y flexible.	Generalmente proporciona soluciones subóptimas, debido a que se basa en la iteración de un proceso.
Puede ser usada para analizar y sintetizar una compleja y extensa situación real.	Su validación es compleja.
Permite estudiar los efectos interactivos de los componentes individuales o variables para determinar las más importantes.	La recopilación, análisis e interpretación de resultados requiere buenos conocimientos de probabilidad y estadística.

Fuente: Tomado de Tarifa (2007).

2.3.13 Comportamiento de los eventos extremos

El estudio de los eventos extremos en hidrología es un poco complejo, Orozco Ramírez (2014:21) explica que en la estadística clásica, el recuento o frecuencia de las observaciones se modela a través de distribuciones discretas como la distribución binomial, de Poisson, geométrica o hipergeométrica pero en el campo de los valores extremos, asumiendo la hipótesis de independencia entre las observaciones, la estadística que mide su frecuencia es la no paramétrica o de distribución libre. Para esto se dispone de las distribuciones teóricas para casos extremos entre las cuales se pueden mencionar: binomial, normal, log-normal, Gumbel, Pearson, Gamma, etc.

En el análisis de frecuencia en hidrología, se centra la atención en los valores anuales extremos; por ejemplo, el caudal (Q) pico en un sitio determinado. En general, según (Orozco E 2004) se consideran dos tipos de interrogantes que se debe contestar mediante el análisis de frecuencia:

A. La estimación de la probabilidad de ocurrencia de un valor $Q \geq q_0$, para un valor preestablecido q_0 ; o sea, $P(Q \geq q_0)$. A esta probabilidad se le denomina probabilidad de excedencia (p).

B. La estimación del cuantil P de Q con el cual un determinado valor q_0 se igualará; o sea, $(Q < q_0)$. A esta probabilidad se le denomina probabilidad de no excedencia (q).

Donde Q (caudal) es la variable aleatoria en el sitio dado. La distribución de probabilidades de Q es, generalmente, desconocida. Con el auxilio de funciones teóricas de frecuencia, que se discutirán más adelante, se pueden calcular q y p . Estos valores; sin embargo, no indican el período de recurrencia en el cual se espera que ocurra un determinado evento. El período de tiempo promedio, expresado en años, en el que un evento $Q \geq q_0$ ocurra una vez, se le conoce como tiempo de retorno (T_r) (Orozco E 2004).

La relación entre q , p y Tr es:

$$Tr = \frac{1}{p} = \frac{1}{1 - q}$$

El período de retorno conecta una cantidad de agua con un tiempo. Pequeñas crecidas ocurren muy frecuentemente, cada año. Por lo contrario, eventos de gran magnitud ocurren menos frecuentemente (Orozco E 2004).

Desde el punto de vista estadístico, a mayor magnitud de una crecida, mayor es el período de retorno y menor es la probabilidad de que ese evento ocurra en cualquier año. Cuando se habla de la crecida de 100 años (Q_{100}), significa estadísticamente, que es el evento que se ha observado que ocurre o ha sido superado por uno mayor, en promedio durante varios siglos, una vez en 100 años ($Tr=100$). Esto no significa; sin embargo, que este evento ocurrirá cada 100 años o que en un período de 100 años ocurra con seguridad. Una Q_{100} puede ocurrir, teóricamente en cualquier año (Orozco E 2004).

Estadísticamente, la probabilidad de que ocurra en cualquier año es 1 % ($q=0.01$). La probabilidad de que una Q_{100} ocurra en un período de 100 años no es 100 %. Ninguna crecida tiene probabilidad de ocurrencia de 100 %. La probabilidad de que una Q_{100} ocurra en un período de 100 años es 63 % ($q=0.63$) en concordancia con la ecuación:

$$q = 1 - \left(1 - \frac{1}{Tr}\right)^n$$

Donde n es el número de años, en que el evento con período de retorno Tr , sea igualado o excedido (Orozco E 2004).

Puede ser también que una Q_{100} ocurra en un año y es probable que otra de igual magnitud o mayor ocurra en el siguiente año. Una Q_{100} es un evento estadístico promedio que ocurre aleatoriamente y no en intervalos regulares. De tal manera que no se puede asegurar que después de que se proteja un área contra la Q_{100} , esta esté protegida por un intervalo de 100 años (Orozco E 2004).

2.3.14 Distribución de frecuencia para valores extremos

Existe una gama de distribuciones teóricas de frecuencia que pueden usarse para el análisis de frecuencia de crecidas, entre ellas se pueden mencionar

- Distribución Pearson tipo III.
- Distribución Gumbel (valor extremo tipo I).
- Log-normal.
- Log-Gumbel.
- Log Pearson tipo III.
- Log-normal con tres parámetros.
- Valor extremo generalizado.
- Distribución logística.
- Distribución Weibull (valor extremo tipo III).
- Wakeby.
- Valor extremo de dos componentes.
- Distribución gama.
- Pareto.

2.3.15 Distribución Gumbel

En el caso de la distribución normal, se supone que el coeficiente de sesgo, C_s de la muestra es cero; o sea que la función de densidad es simétrica. En el caso de la distribución Gumbel, el C_s es fijo y tiene un valor de 1.14 (Orozco E 2004).

El valor de z , se obtiene a partir de p , q o T_r , cuando N (número de datos de la serie) es mayor o igual a 30 se recomienda usar la ecuación:

$$z = \frac{y_T - y_N}{s_N}$$

con

$$y_T = -\ln \left[\ln \left(\frac{Tr}{Tr-1} \right) \right]$$

y_N y s_N pueden calcularse mediante las ecuaciones:

$$y_N = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^N \left[-\ln \left(-\ln \frac{m}{N+1} \right) \right], \text{ con } m=1, 2, \dots, N$$

$$s_N^2 = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^N \left\{ \left[-\ln \left(-\ln \frac{m}{N+1} \right) \right] - y_N \right\}^2, \text{ con } m=1, 2, \dots, N$$

2.3.16 Distribución Pearson Tipo III

La distribución Pearson tipo III es una función más flexible que la normal y la Gumbel, debido a que z depende, además de Tr , de Cs . Esta distribución corresponde a la normal cuando $Cs=0$. El valor de z se obtiene del cuadro A2 (Orozco E 2004).

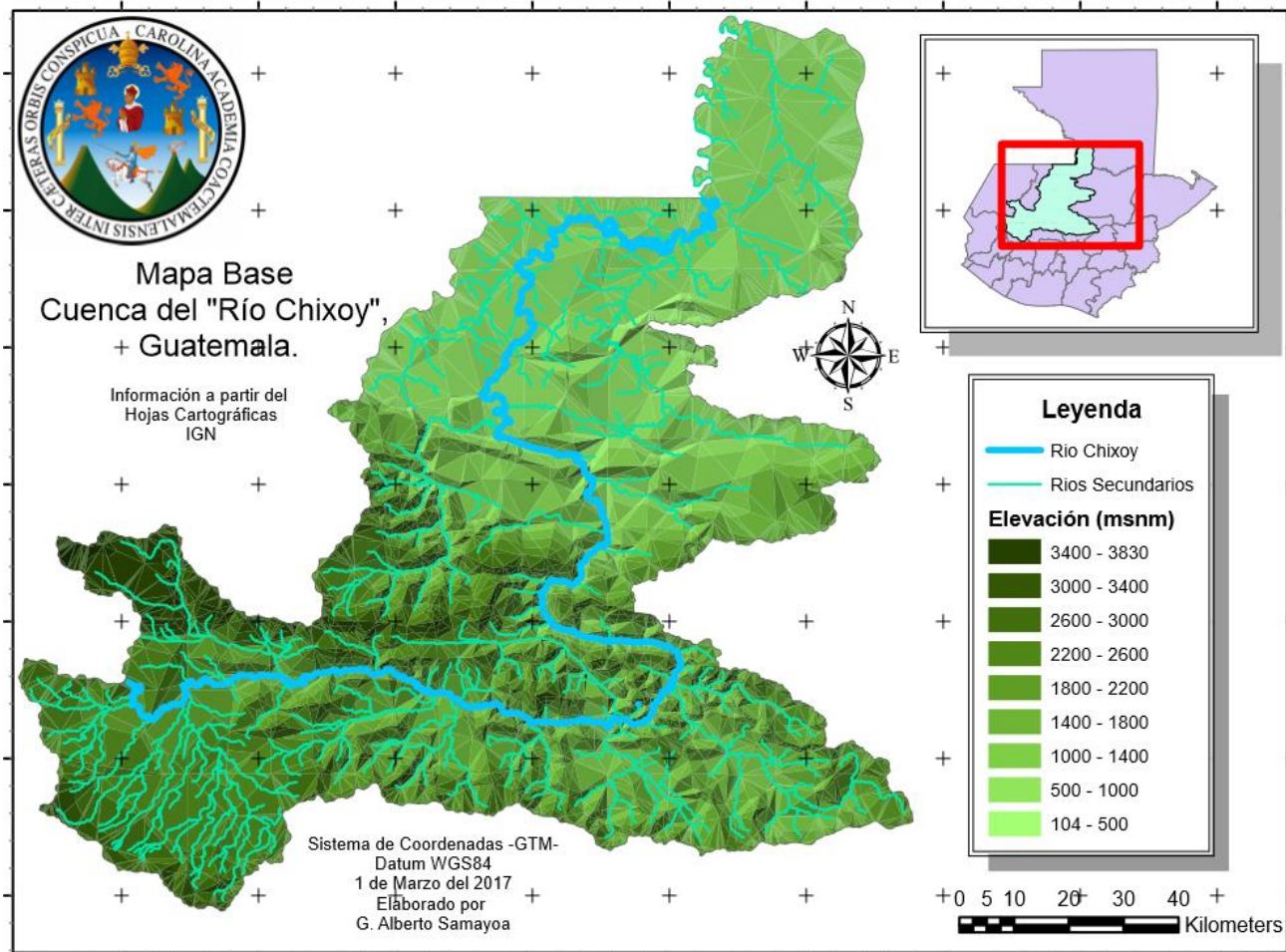
2.4 MARCO REFERENCIAL

El río Chixoy es llamado río Negro desde sus fuentes en el altiplano de Huehuetenango y en Quiché hasta llegar a la represa de la central hidroeléctrica Chixoy, donde el río Salamá y el río Carchelá se le unen y alimentan la represa de la hidroeléctrica. Después de la represa el río continúa su recorrido sobre 56 km como río Chixoy hacia el Norte, marcando los límites entre los departamentos de Alta Verapaz y El Quiché, hasta llegar a la frontera con México. Desde la frontera toma el nombre de río Salinas y sigue marcando la frontera sobre 113 km, hasta llegar a la confluencia con el río La Pasión, para formar el Usumacinta (Reyes 2013).

El clima tiene un amplio rango de variación, con la presencia de microclimas que caracterizan zonas particulares. La precipitación media anual es de 1,200 mm. La variación estacional diferencia una época lluviosa entre mayo y octubre, cuando se precipita el 94 % de la lluvia anual. Los valores promedios de temperatura fluctúan entre los 12 °C a 24 °C, con pequeñas variaciones anuales (Reyes 2013).

Las zonas de vida determinadas para la región son las siguientes:

- Bosque húmedo Subtropical templado (bh-St).
- Bosque seco Subtropical (bs-S).
- Bosque húmedo Montano Subtropical (bh-M).
- Bosque húmedo Montano Bajo Subtropical (bh-MB).
- Bosque muy húmedo Montano Bajo Subtropical (bmh-MB).
- Bosque muy húmedo Montano Subtropical (bmh-M).



Fuente: elaboración propia, MAGA 2012.

Figura 16. Mapa base de cuenca del río Chixoy.

Los suelos en la cuenca del río Chixoy son pocos profundos, excesivamente drenados desarrollados sobre caliza fracturada, en un clima húmedo seco. Ocupan terreno quebrado, inclinado y las pendientes en la mayoría de los lugares tienen más del 50 % de inclinación. En su estado natural, están densamente forestados con árboles deciduos y pino. Pero gran parte del área ha sido deforestada para cultivar maíz con resultados poco satisfactorios (Reyes 2013).

El suelo superficial tiene una profundidad de 30 cm y es arcilla, incluye muchos fragmentos pequeños de caliza en la mayoría de los lugares. Las pruebas de Potencial de Hidrógeno (pH) dan una reacción medianamente alcalina de 7.0 a 7.5. La mayor parte del área estudiada presenta una topografía muy quebrada. Las pendientes son inclinadas hasta

escarpados, variando desde el 15 % hasta el 75 % de inclinación. Terrenos planos son virtualmente inexistentes (Reyes 2013).

2.4.1 Recurso hídrico de la cuenca Chixoy

En muchas zonas de la cuenca hidrográfica Chixoy se observa un aumento de la precipitación acumulada durante el año, así mismo de las tormentas o lluvias intensas; se destacan las zonas del Sur, Este y Oeste de la cuenca, éstas irán en aumento, por lo que se pueden esperar temporadas de lluvia tanto intensas como parcialmente intensas, así también en la parte norte de la cuenca la intensidad de las precipitaciones ha ido disminuyendo y los valores de éstas son considerables (Reyes 2013).

Según los índices de temperatura media, los días son más fríos en las partes altas de la cuenca y más calientes en las partes bajas, las temperaturas tienden a descender, sobresaliendo el Norte de la cuenca, donde las temperaturas son muy bajas debido a la altura sobre el nivel del mar (Reyes 2013).

El caudal, en la mayoría de las estaciones de aforo, ha mostrado incrementos en el mismo, sin embargo, en la parte Norte de la cuenca éste se ha disminuido de gran manera (Reyes 2013).

2.4.2 Precipitación en la cuenca

En la cuenca existen muchas estaciones meteorológicas de diversas instituciones públicas y privadas, muy pocas instituciones hacen accesible los datos, los datos más fiables y con mejor detalle encontrados fueron los de las estaciones meteorológicas del INSIVUMEH (2016), estas estaciones registran datos de precipitación diaria en mm y a partir de estos datos se genera el cuadro 31.

Cuadro 31. Precipitación en la cuenca del río Chixoy.

Año	Cahabon (mm)	Chinique (mm)	San Agustín Chixoy (mm)	Cubulco (mm)	Huehuetenango (mm)	Sacapulas (mm)	San Jerónimo (mm)
2002	1853	1032	1867	856	660	608	688
2003	2394	1044	2239	927	897	603	746
2004	1981	1147	1616	924	1081	718	840
2005	1654	1190	1464	705	914	778	665
2006	2139	1045	1843	1295	726	605	1009
2007	1657	1087	1973	890	836	581	752
2008	1963	1376	2538	1170	951	855	1004
2009	1482	903	1365	651	848	687	514
2010	1567	1212	2021	1144	1156	1149	1232
2011	4294	2391	2241	1396	1131	1330	1277
2012	1794	1927	1564	990	1046	1082	684
2013	1831	2411	1838	1020	1078	799	1028
2014	961	496	997	464	495	390	413
2015	2809	799	1407	1170	845	440	932
2016	2503	1220	1709	933	715	497	667
Promedio	2059	1285	1779	969	892	741	830

Fuente: elaboración propia, INSIVUMEH (2016).

2.4.3 Caudales antes del embalse

A partir de datos de 9 estaciones del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) Reyes (2013) explica la tendencia del caudal en 9 puntos del río Chixoy, este análisis presentó una variedad de cambios en los valores extremos en los años de estudio de la cuenca del río Chixoy. Se puede observar que hay una disminución en el caudal para dos estaciones que se ejemplificaron, a continuación, se muestra un resumen de los resultados en el cuadro 32 (Reyes 2013).

Cuadro 32. Tendencia de caudal medio anual.

Estación	Altura (m s.n.m)	Caudal medio anual (m ³ /año)	Tendencia
Camalmapa	850	29,539	+
Chisiguan	1161	62,214	+
El Cebollal	820	154,055	+
La Estancia	1600	38,709	+
Las Torres	568	330,319	-
Los Ganchos	290	2,137	-
Pacaranat	1460	38,046	+
Quixal II	295	70,894	-
Serchil	1610	14,434	+

Fuente: Tomado de Reyes (2013).

El símbolo (+) significa tendencia positiva del caudal, es decir, incremento y (-) tendencia negativa o disminución del caudal. La estación el Cebollal reúne gran parte de la red hidrográfica, previo a ingresar al embalse de Chixoy, muestra una tendencia significativa al incremento del caudal (Reyes 2013).

2.4.4 Caudal después del embalse

Los caudales registrados en la estación San Agustín Chixoy del INSIVUMEH a través de un limnómetro (figura 17) se muestran en el cuadro 33, esta estación se encuentra a unos metros de la comunidad Las Mercedes II.



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 17. Limnómetro de estación San Agustín Chixoy.

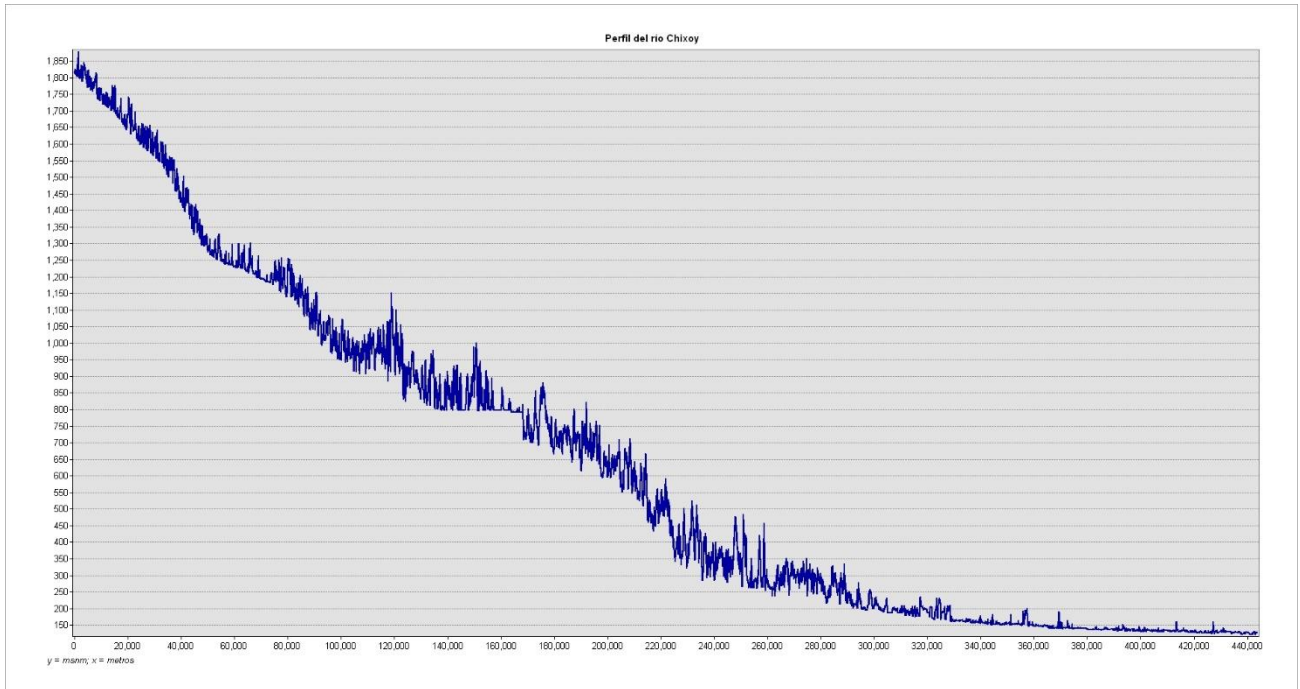
Cuadro 33. Caudales en la microrregión Playitas.

Año	Caudal medio (m³/s)
2002	488.5
2003	482.0
2004	447.8
2005	436.6
2006	540.0
2007	391.5
2008	560.9
2009	353.8
2010	472.7
2011	540.7
2012	456.4
2013	601.8
2014	452.1
2015	434.5
2016	381.2
Promedio	469.4

Fuente: elaboración propia, INSIVUMEH (2016).

2.4.5 Perfil del río Chixoy

El perfil generado a través del DEM en ArcGIS se presenta en la figura 18.



Fuente: elaboración propia a partir del DEM del MAGA (2001).

Figura 18. Perfil del río Chixoy.

2.4.6 Microrregión Playitas

Es una microrregión⁵ que se encuentra al Noroeste del municipio de Chisec, es el límite de Chisec que colinda con el municipio de Playa Grande, Quiché y Sayaxché, Petén. Es de vital importancia ya que en uno de sus límites está definido por el río Chixoy o río Negro, lo cual provee a esta microrregión un alto valor ecológico, socioeconómico y turístico. Se encuentra conformado por 12 comunidades:

⁵ El diagnóstico llevado a cabo en la práctica del EPS (capítulo 1 del documento de graduación) consiste en un diagnóstico socioeconómico y biofísico de la microrregión "Playitas" por lo que no se entrará en mucho detalle sobre esto en esta sección del documento.

- Aldea Playitas.
- Aldea San Francisco Las Mercedes.
- Aldea Isla del Remolino.
- Aldea Rubelsanto.
- Aldea Verapaz.
- Aldea Las Mercedes I.
- Aldea Las Mercedes II.
- Aldea Tierra Linda.
- Caserío Tierra Negra I.
- Caserío Quimalá.
- Caserío Tierra Blanca.
- Caserío San Francisco Las Victorias.

En la figura 19, se puede observar el mapa base de la microrregión y sus puntos de interés.

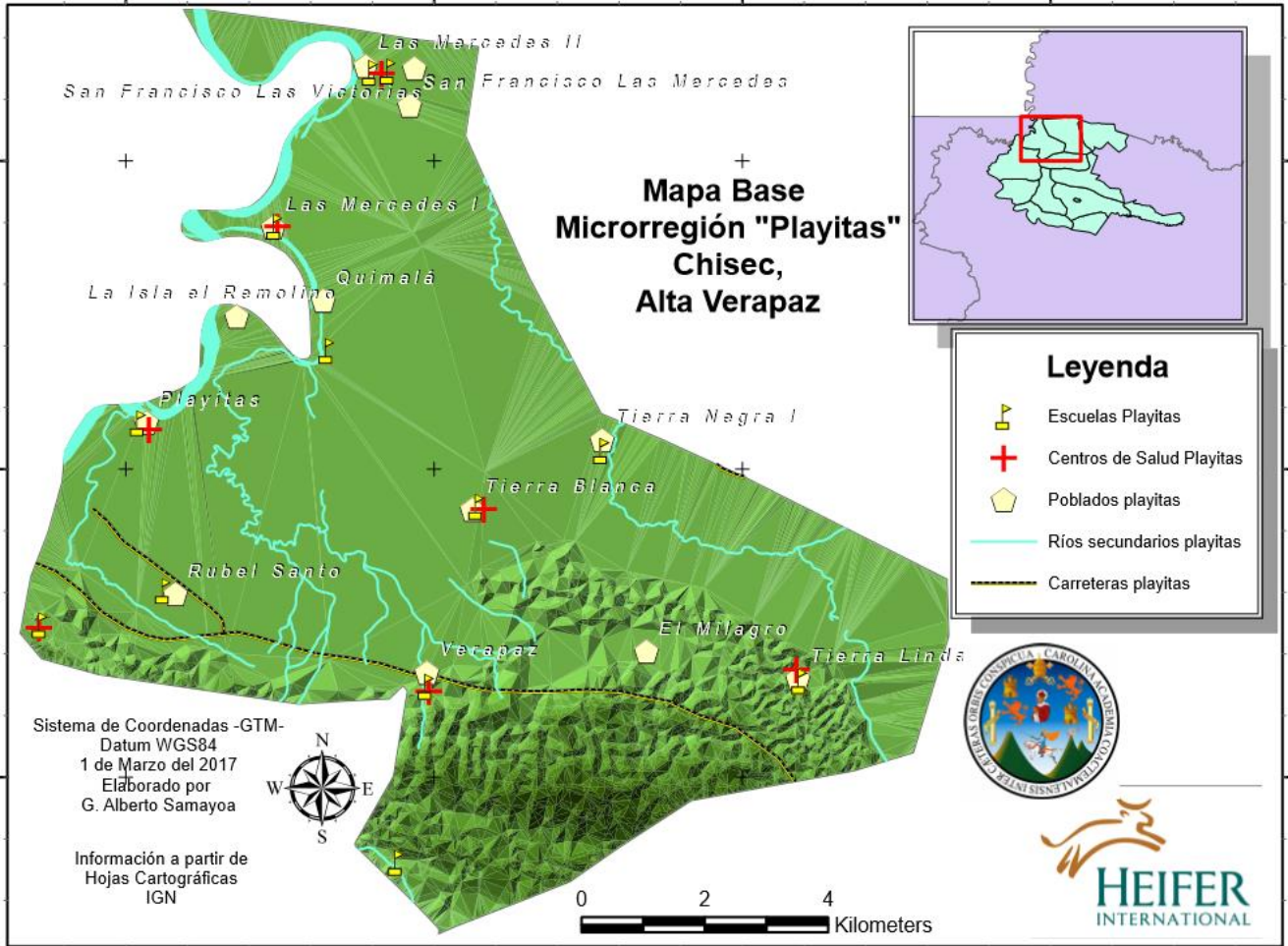


Figura 19. Mapa base de microrregión "Playitas".

Fuente: elaboración propia, MAGA 2019.

2.5 Objetivo General

Realizar una modelación hidráulica a través del software del Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC) para simular crecidas en la microrregión Playitas, Chisec, Alta Verapaz.

2.5.1 Objetivos Específicos

1. Determinar el caudal de diseño para diferentes periodos de retorno de eventos extremos registrados por la estación San Agustín Chixoy.
2. Determinar el área inundada por del caudal máximo registrado por la estación San Agustín Chixoy en la microrregión Playitas, Chisec, Alta Verapaz, durante el período de 2002 al 2016 a través de simulación hidráulica en el software HEC-RAS.
3. Elaborar un mapa de amenazas a inundaciones en la microrregión Playitas, Chisec, Alta Verapaz.

3.1 Metodología

3.1.1 Determinación de caudales de diseño

Para determinar el caudal de diseño para diferentes periodos de retorno de caudales se utilizó Excel 365 y se trabajó en hojas de cálculo, este procedimiento se describe a continuación.

A. Determinación de medidas estadísticas de caudales

Para determinar la desviación estándar (S_x), asimetría (C_s) y la media (μ) de caudales fue necesario utilizar las funciones “desvest()”, “coeficiente.asimetria()” y “promedio()” respectivamente a la serie de datos de caudales y caudales logarítmicos como se muestra en el cuadro 34.

Cuadro 34. Medidas estadísticas de caudales.

m	Q (m³/s)	Log(Q) (m³/s)
1	1060.76	3.026
2	1121.87	3.050
3	1516.78	3.181
4	1555.2	3.192
5	1557.06	3.192
6	1570.94	3.196
7	1595.94	3.203
8	1618.17	3.209
9	1774.65	3.249
10	1807.06	3.257
11	1819.09	3.260
12	1840.39	3.265
13	1905.2	3.280
14	2003.35	3.302
15	2022.33	3.306
N =	15	15
Media μ =	1651	3.211
S_x =	281	0.082
C_s(x) =	-0.858	-1.259

Fuente: elaboración propia, distribución Gumbel 2019.

B. Distribución Gumbel

Para determinar el valor de los caudales de diseño para los períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 y 1000 años se requiere determinar el valor de Z de Gumbel para esto será necesario determinar los coeficientes Y_T , Y_n y S^2_n (variable de Gumbel para un período de retorno T, mediana aritmética y varianza de la variable reducida) a partir de caudales máximos anuales registrados con el limnómetro de la estación San Agustín Chixoy, estos coeficientes se determinaron con las fórmulas:

$$y_N = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^N \left[-\ln \left(-\ln \frac{m}{N+1} \right) \right], \text{ con } m=1, 2, \dots, N$$

$$s_N^2 = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^N \left\{ \left[-\ln \left(-\ln \frac{m}{N+1} \right) \right] - y_N \right\}^2, \text{ con } m=1, 2, \dots, N$$

$$y_T = -\ln \left[\ln \left(\frac{Tr}{Tr-1} \right) \right]$$

$$Tr = \frac{1}{1-P}$$

$$P = \frac{m}{N+1}$$

Donde m es cada uno de los años incluidos en el registro y N es el número total de años incluidos en la muestra. El caudal de diseño para los períodos de retorno con la distribución Gumbel se determinó multiplicando la desviación estándar de la muestra por el factor Z de Gumbel más la media.

$$z = \frac{y_T - y_N}{s_N}$$

C. Distribución Normal

Para determinar los caudales de diseño con la distribución normal fue necesario multiplicar la desviación estándar de los valores de la muestra por el valor de Z de tabla de la distribución normal obtenida a través de Excel 2016 y sumarle la media.

D. Distribución Pearson III

Para determinar los caudales de diseño con la distribución Pearson III fue necesario multiplicar la desviación estándar de los caudales de la muestra por el valor de Z de tabla de la distribución Pearson III del cuadro 2A

E. Determinación de caudales de diseño con tres distribuciones de probabilidad

A partir de los valores Z de Pearson del cuadro 2A, los valores de Gumbel del cuadro 1A se estimó el caudal de diseño de diferentes periodos de retorno para caudales máximos anuales siguiendo la distribución Normal, Gumbel y Pearson III, esto se realizó a través de una hoja de cálculo y la tabla de resumen del procedimiento se muestra en el cuadro 35.

Cuadro 35. Caudales de diseño para tres distribuciones de probabilidad.

Tiempo de retorno				Normal	Gumbel		Pearson III	Normal	Gumbel	Pearson III
q (%)	p (%)	p	Tr	Z	yT	Z	Z	Q (m ³ /s)	Q (m ³ /s)	Q (m ³ /s)
1	99	0.990	1.010	-2.326	-1.527	-1.999	-1.66	998	1090	1185
5	95	0.950	1.053	-1.645	-1.097	-1.578	-1.353	1189	1208	1271
20	80	0.800	1.25	-0.842	-0.476	-0.969	-0.854	1415	1379	1411
50	50	0.500	2	0.000	0.367	-0.143	-0.148	1651	1611	1610
80	20	0.200	5	0.842	1.500	0.967	0.769	1888	1923	1867
90	10	0.100	10	1.282	2.250	1.703	1.339	2011	2130	2027
96	4	0.040	25	1.751	3.199	2.632	2.018	2143	2391	2218
98	2	0.020	50	2.054	3.902	3.321	2.498	2228	2584	2353
99	1	0.010	100	2.326	4.600	4.005	2.957	2305	2777	2482
99.5	0.5	0.005	200	2.576	5.296	4.687	3.401	2375	2968	2607
99.9	0.1	0.001	1000	3.090	6.907	6.266	4.388	2520	3412	2884

Fuente: elaboración propia, Excel 2019.

Determinación de caudales de diseño a partir de distribuciones logarítmicas: las distribuciones logarítmica Normal, logarítmica Gumbel y logarítmica Pearson III surgen de estimar las distribuciones Normal, Gumbel y Pearson III con la media, desviación estándar y coeficiente de sesgo logarítmico del cuadro 34, luego de esto, fue necesario utilizar estos caudales como exponentes de una base 10, todo esto se realizó a través de una hoja de cálculo y la tabla de resumen del procedimiento se muestra en el cuadro 36.

Cuadro 36. Caudales de diseño para tres dist. de probabilidad logarítmica.

Tiempo de retorno		Normal	Gumbel		Pearson III	Normal	Gumbel	Pearson III	Log Normal	Log Gumbel	Log Pearson III
p	Tr	Z	yT	Z	Z	Q (m ³ /s)	Q (m ³ /s)	Q (m ³ /s)	Q (m ³ /s)	Q (m ³ /s)	Q (m ³ /s)
0.99	1.01	-2.326	-1.527	-1.999	-1.383	3.02	3.05	3.10	1051	1117	1254
0.95	1.053	-1.645	-1.097	-1.578	-1.206	3.08	3.08	3.11	1194	1209	1297
0.8	1.25	-0.842	-0.476	-0.969	-0.838	3.14	3.13	3.14	1388	1356	1389
0.5	2	0.000	0.367	-0.143	-0.210	3.21	3.20	3.19	1626	1583	1563
0.2	5	0.842	1.500	0.967	0.719	3.28	3.29	3.27	1904	1950	1861
0.1	10	1.282	2.250	1.703	1.339	3.32	3.35	3.32	2068	2238	2091
0.04	25	1.751	3.199	2.632	2.108	3.35	3.43	3.38	2259	2665	2416
0.02	50	2.054	3.902	3.321	2.666	3.38	3.48	3.43	2391	3033	2682
0.01	100	2.326	4.600	4.005	3.211	3.40	3.54	3.47	2517	3449	2971
0.005	200	2.576	5.296	4.687	0.745	3.42	3.59	3.27	2637	3920	1870
0.001	1000	3.090	6.907	6.266	4.955	3.46	3.72	3.62	2905	5272	4122

Fuente: elaboración propia, Excel 2019.

3.1.2 Determinación de cotas de crecidas de caudal máximo

Para determinar las cotas de crecidas del caudal más alto registrado durante el período del 2002 al 2016 en la estación San Agustín Chixoy con salidas en la microrregión Playitas fue necesario contar con los componentes para la modelación hidráulica, cada uno de estos componentes se describirán a continuación.

A. Delimitación de la cuenca

El proceso de delimitación de la cuenca se realizó a través del plugin HEC-GeoHMS 10.2 desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC por sus siglas en inglés) en el software ArcGIS 10.2, este es un plugin que a partir de Modelos de Elevación Digital –DEM– (por sus siglas en inglés) permite la delimitación de cuencas, definición de drenajes y ríos

principales y secundarios, y otros procesos necesarios para la modelación hidrológica, esto se realizó de la siguiente manera:

a. Reacondicionamiento del DEM

Este es un proceso de ajuste del DEM para que las elevaciones dirijan el drenaje hacia la información del vector en la posición de la corriente. Esto consiste en convertir primero las características vectoriales de la corriente en un conjunto de datos ráster de celdas en las rutas que tienen exactamente las mismas dimensiones (filas, columnas, tamaño de celda) que el ráster DEM.

b. Fill sinks

Un sumidero (sink) es una celda o conjunto de celdas conectadas espacialmente cuya dirección de flujo no puede asignarse a uno de los ocho valores válidos en un ráster de dirección de flujo. Esto puede ocurrir cuando todas las celdas vecinas son más altas que la celda de procesamiento o cuando dos celdas se unen, creando un bucle de dos celdas. Se considera que los sumideros tienen direcciones de flujo indefinidas y se les asigna un valor que es la suma de sus direcciones posibles (Mark 1988).

c. Flow direction

Este es un proceso que genera un ráster que muestra la dirección de flujo de cada celda de un DEM, este proceso es un análisis de la relación y elevación de cada celda con las celdas que se encuentran alrededor de ella (ESRI 2018).

d. Flow accumulation

Calcula el flujo acumulado como el peso acumulado de todas las celdas que fluyen en cada celda de pendiente descendente en el ráster de salida.

e. Stream Definition

Este proceso selecciona los píxeles con valores más altos del ráster "Flow Accumulation" y genera un nuevo ráster con las corrientes de la cuenca o área de trabajo. Para esto se seleccionó un mínimo de 444,444 píxeles que equivalen a un área de 100 km² como área mínima alrededor de cada corriente, esto se seleccionó en relación con la capacidad del procesador de la computadora y el área total de la cuenca.

f. Stream segmentation

Este proceso crea un nuevo ráster y asigna un valor diferente a cada segmento de la corriente.

g. Catchment grid delineation

Este proceso crea una microcuenca a partir de cada segmento de la corriente y la delinea en forma de vector.

h. Catchment polygon processing

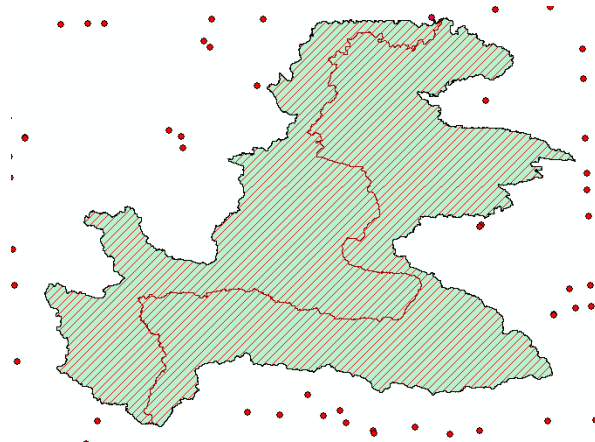
Convierte el ráster de microcuencas en un vector de polígonos.

i. Drainage line processing

Crea un vector de drenajes a partir del ráster “stream segmentation” y “flow direction”.

j. Adjoint catchment processing

Este proceso crea cuencas secundarias para acelerar el proceso de delineación de puntos, el resultado final de la delimitación de la cuenca se muestra en la figura 20.



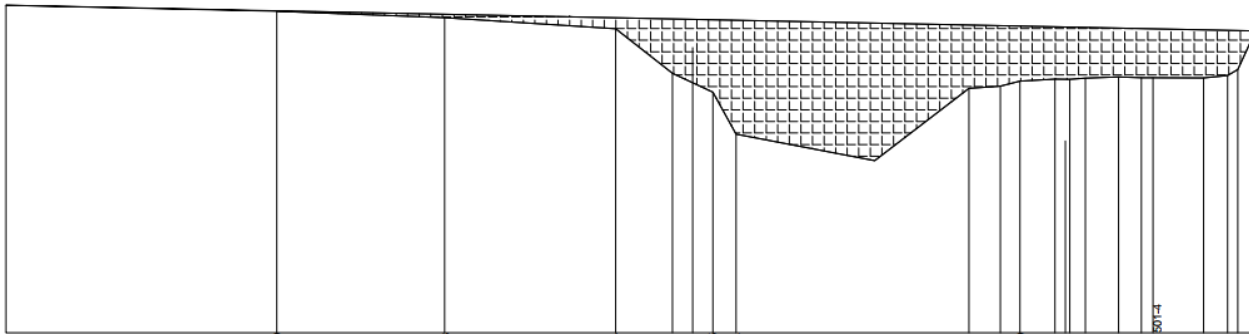
Fuente: elaboración propia, ArcGIS 2019.

Figura 20. Delimitación de la cuenca del río Chixoy.

B. Determinación de secciones transversales del tramo de estudio

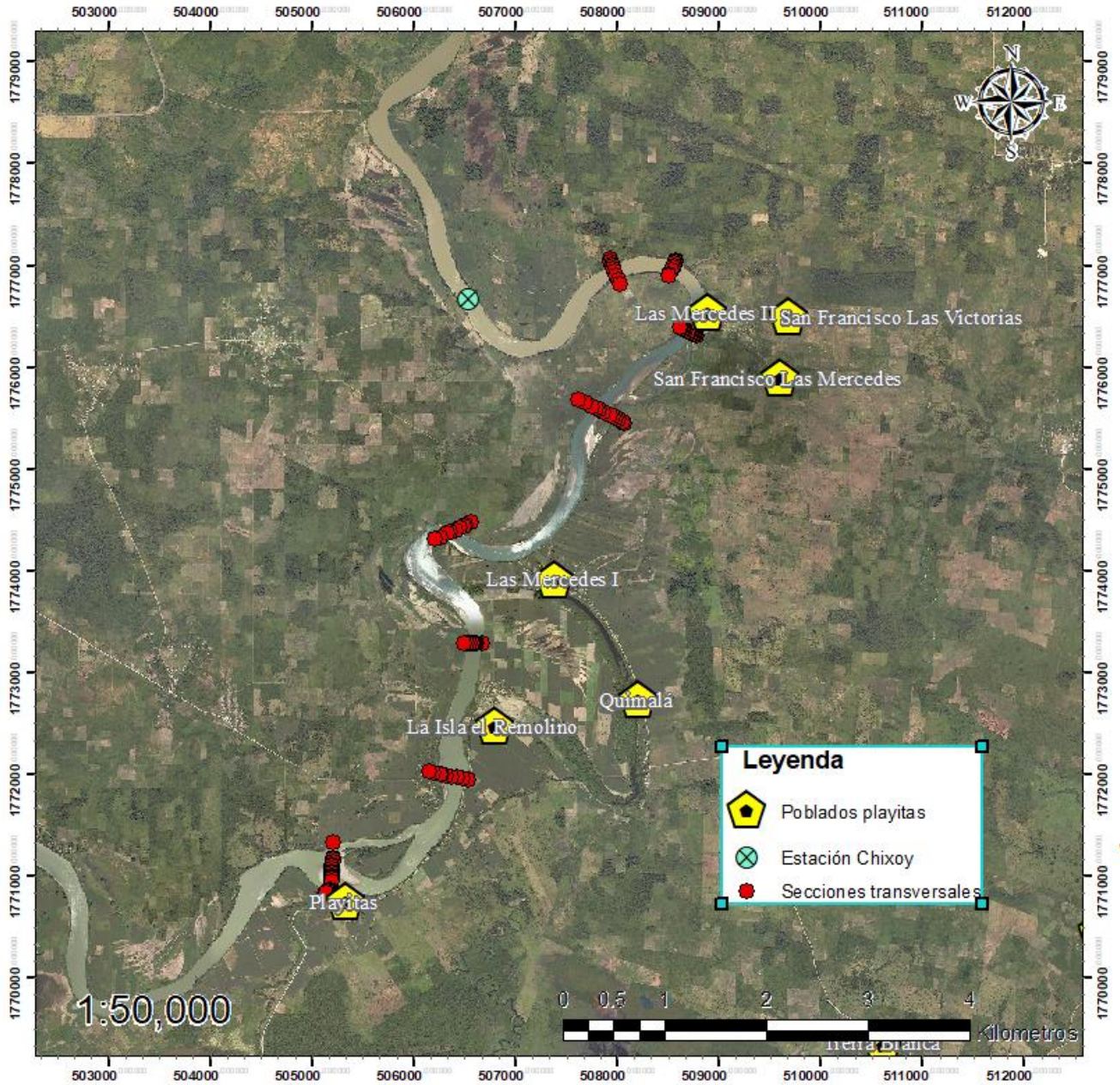
Una de las partes principales del modelo hidráulico es la geometría, esta geometría está formada por coordenadas X, Y y Z de las secciones transversales de la zona de estudio, para obtener estas coordenadas generalmente se utiliza equipo de batimetría, este tipo de estudio requiere de un usuario capacitado para operar el equipo, por esto se decidió cambiar a una metodología más económica y se optó por realizar un levantamiento con estación total utilizando el estadal en las zonas poco profundas y la profundidad del cauce principal se determinó con una técnica mixta entre uso de un regla graduada, un plumón con peso y marcas de medición graduadas en la cinta que lo sujeta, esta metodología reduce la exactitud del proceso pero permite obtener información altamente representativa.

Se determinaron 8 secciones transversales que fueron tomadas a lo largo del tramo de estudio principalmente en zonas cercanas a las comunidades que es donde se requiere mayor precisión en los resultados. Los puntos fueron seleccionados en áreas donde fuera más factible realizar el levantamiento porque los pobladores de muchas comunidades se opusieron a que este estudio se llevara a cabo por cuestiones sociales y desconfianza.



Fuente: elaboración propia, AutoCAD 2019.

Figura 21. Ejemplo de sección transversal del tramo de estudio.



Fuente: elaboración propia, ArcGIS 2019.

Figura 22. Secciones transversales en tramo de estudio.

Las figuras 21 y 22 muestran el resultado final del levantamiento. Las coordenadas de las secciones transversales se muestran en el cuadro 37.

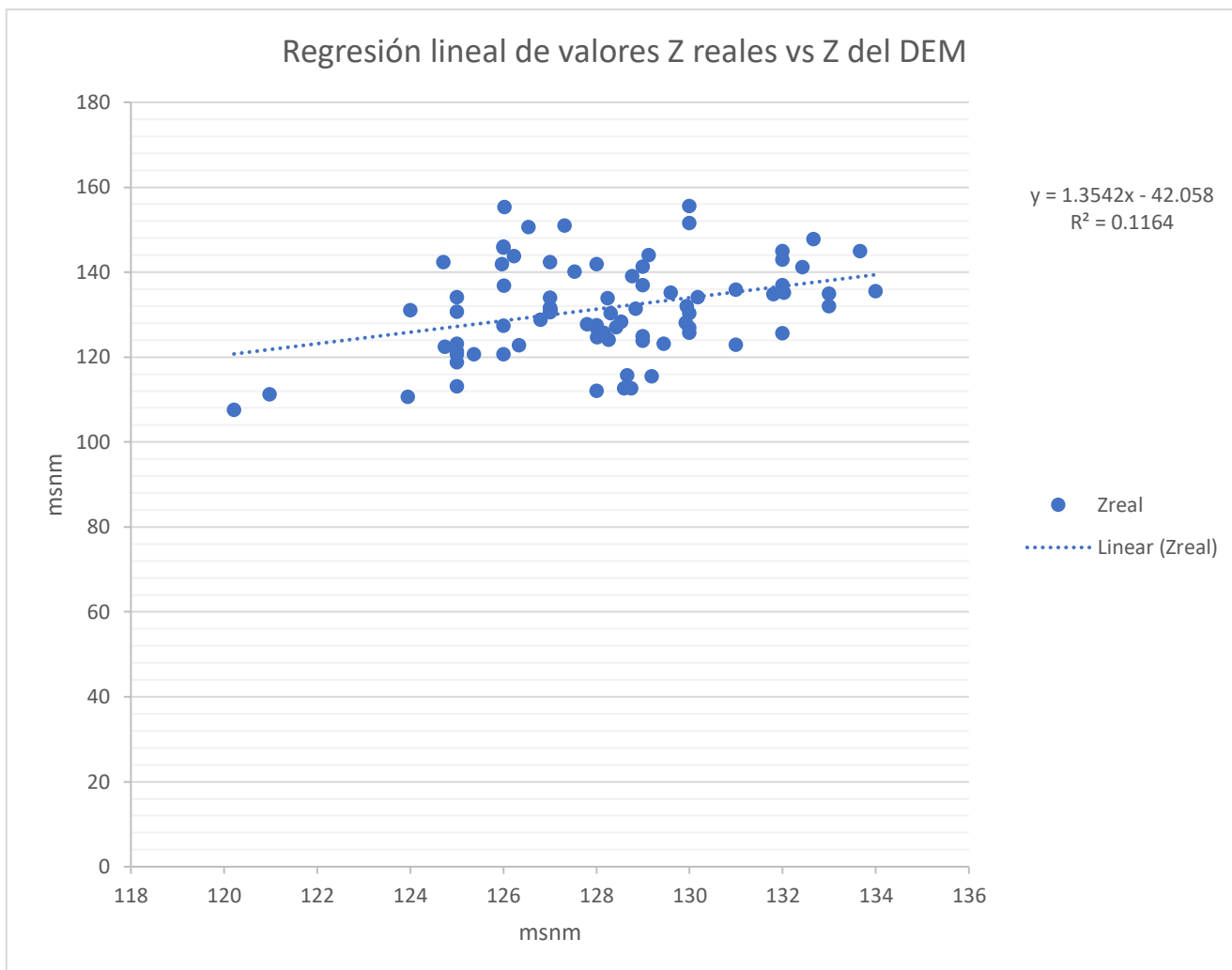
Cuadro 37. Coordenadas de secciones transversales.

Río	Tramo	Correlativo	x	y	z
río Chixoy	Tramo 1	8	507,926.2	1,777,060	142.97
río Chixoy	Tramo 1	8	507,937.7	1,777,032	136.97
río Chixoy	Tramo 1	8	507,945.4	1,777,013	131.99
río Chixoy	Tramo 1	8	507,953.1	1,776,995	127.02
río Chixoy	Tramo 1	8	508,025.1	1,776,820	136.97
río Chixoy	Tramo 1	7	508,579.4	1,777,043	155.53
río Chixoy	Tramo 1	7	508,572.4	1,777,030	151.57

Fuente: elaboración propia, Excel 2019.

C. Determinación del componente geométrico del modelo

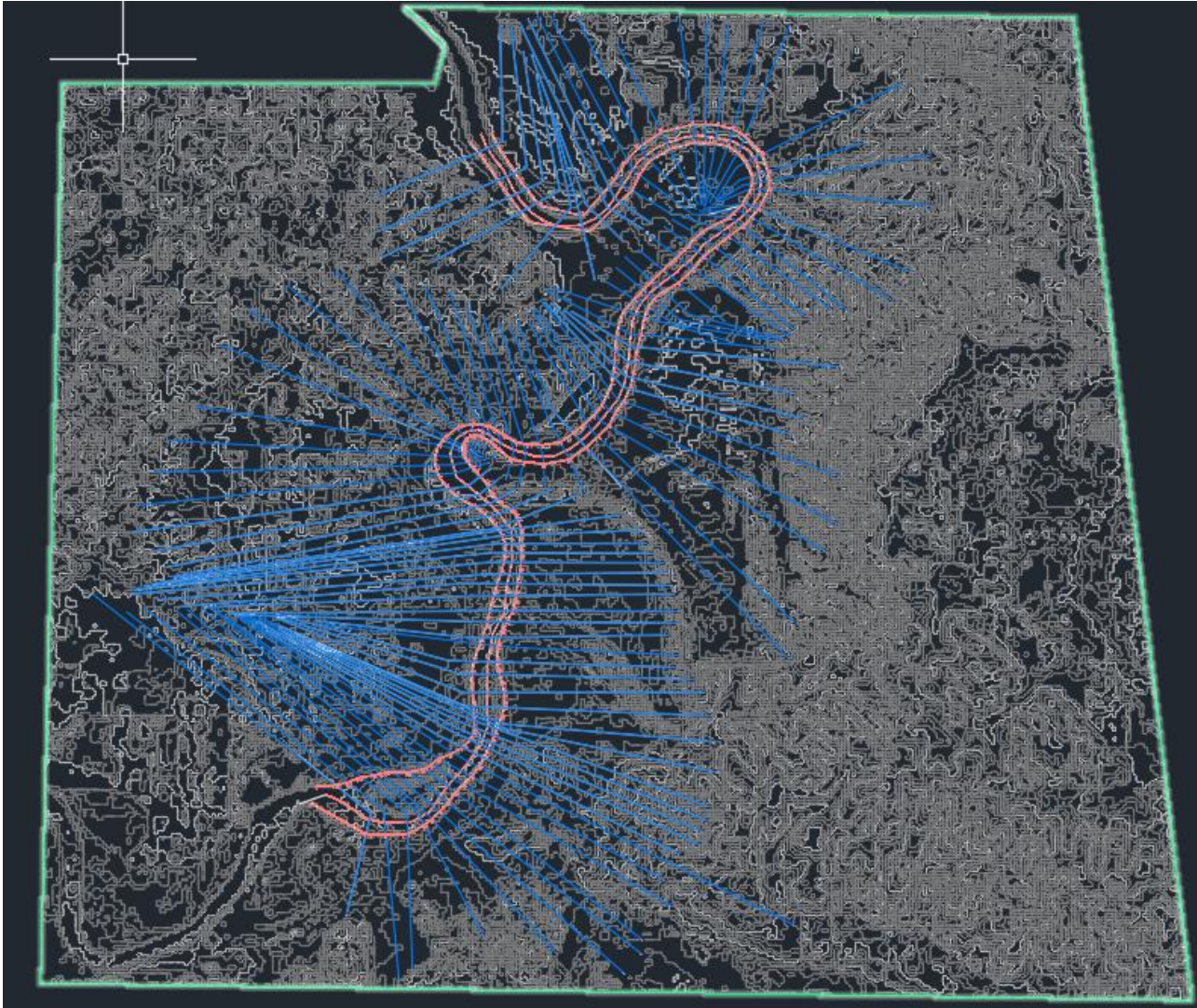
Para determinar el componente geométrico del modelo fue necesario la corrección del DEM nacional, el DEM nacional tiene una precisión de 30 m y posee un margen de error al estimar la elevación, para corregir esto se tomaron las coordenadas Z de los puntos obtenidos con la nivelación y a través de un modelo de regresión lineal (figura 23) entre las coordenadas Z del levantamiento y las coordenadas Z del DEM. El resultado final fue el DEM con las coordenadas Z corregidas a través de la herramienta “raster calculator” de ArcMap 10.2.2.



Fuente: elaboración propia, Excel 2019.

Figura 23. Modelo de regresión lineal para corrección del DEM.

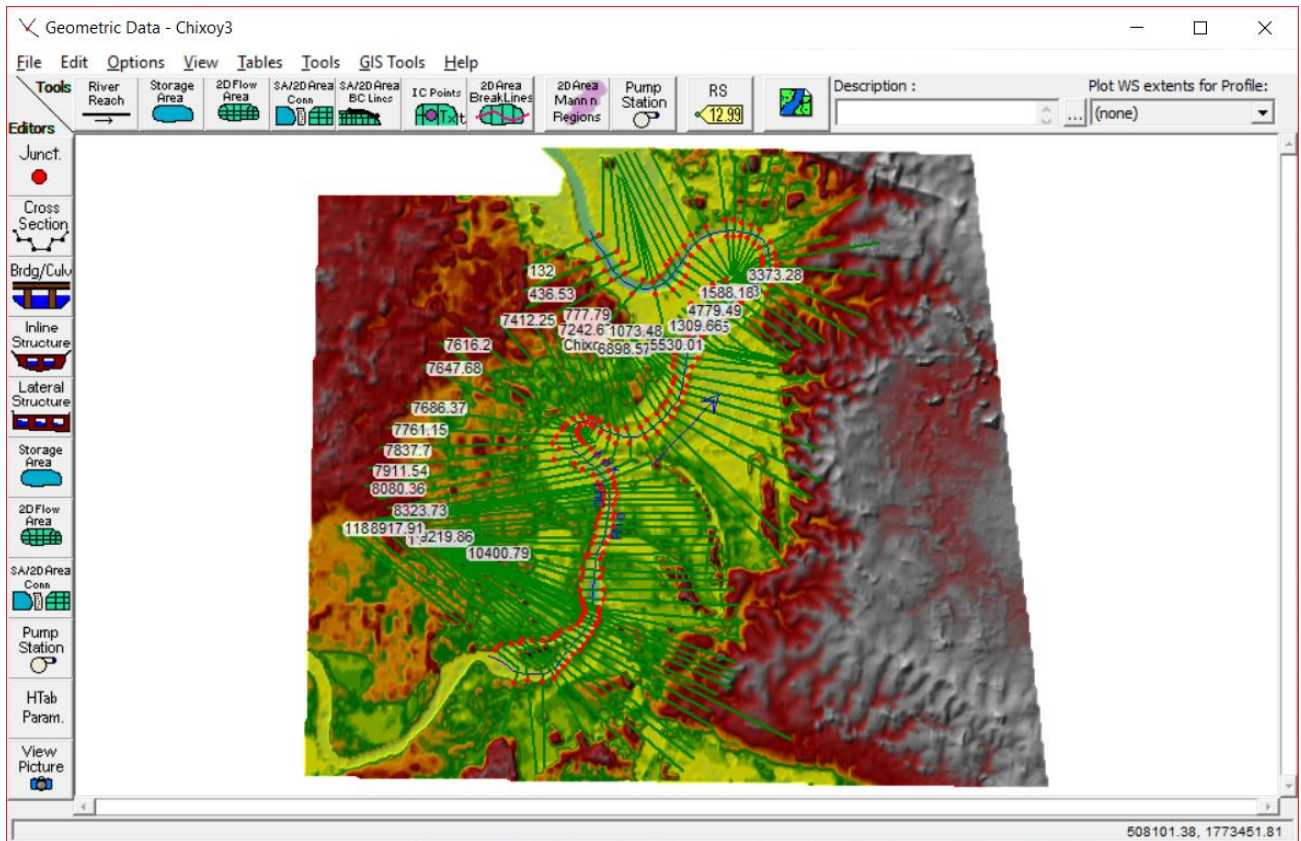
Con el DEM corregido fue posible importarlo en CivilCAD 3D y crear la diagramación del modelo del tramo del río estudiado como se muestra en la figura 24 donde las líneas grises son polígonos de elevación del DEM, las líneas rojas son las banquetas del río y el cauce principal, y las líneas azules son secciones transversales. Cada uno de los componentes fue interpolado con los datos de elevación del DEM.



Fuente: elaboración propia, CivilCAD 3D 2018.

Figura 24. Diagramación de componente geométrico del modelo hidráulico.

Los componentes geométricos de CivilCAD 3D fueron exportados con la herramienta “Export to RAS” y se importaron en HEC-RAS el resultado se muestra en la figura 25 incluyendo el DEM corregido.



Fuente: elaboración propia, HEC-RAS 2018.

Figura 25. Componente geométrico en HEC-RAS.

D. Determinación del coeficiente de Manning

La determinación del coeficiente de Manning se llevó a cabo con la metodología descrita por Phillips y Tadayon (2006) quienes presentan la ecuación

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + \dots + n_n)m$$

Donde n es el coeficiente de Manning, n_0 corresponde a un valor base de n de Manning de acuerdo con el material promedio que conforma la superficie del río, n_n son todos los ajustes de rugosidad y cambios en el cauce, y m es un factor de ajuste.

a. n de Manning para planicie de inundación

La superficie del cauce (figura 26) se encuentra constituida por arena, tierra sólida y grava, por esto, a partir del cuadro 38 se determinó un valor base $n_0 = 0.024$ que Chow (1959) recomienda para grava fina. A partir del cuadro A3. fue posible determinar los valores n_1 (grado de irregularidad) = 0.001, n_2 (variación en la sección transversal) = 0.003, n_3 (efecto de obstrucciones) = 0.001, n_5 (cantidad de vegetación) = 0.001 y la sinuosidad (m) (meandering) = $11,459.23 \text{ m (longitud real del tramo)} / 5,789.16 \text{ m (longitud en línea recta del tramo)} = 1.97$ esta es una sinuosidad severa y en el manual se indica que para esta sinuosidad este coeficiente debe ser 1.30.

$$n = (0.024 + 0.001 + 0.003 + 0.001 + 0.001) * 1.30 = 0.039$$



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 26. Planicie de inundación.

b. n de Manning para canal principal

El canal principal (figura 27) se encuentra constituida por arena, tierra sólida y grava, por esto, a partir del cuadro 38 se determinó un valor base $n_0 = 0.028$ que Chow (1959) recomienda para grava gruesa. A partir del cuadro A3 fue posible determinar los valores n_1

(grado de irregularidad) = 0.001, n_2 (variación en la sección transversal) = 0.003, n_3 (efecto de obstrucciones) = 0.003, n_5 (cantidad de vegetación) = 0.002 y la sinuosidad (m) (meandering) = 11,459.23 m (longitud real del tramo) / 5,789.16 m (longitud en línea recta del tramo) = 1.97 esta es una sinuosidad severa y en el manual se indica que para esta sinuosidad este coeficiente debe ser 1.30.

$$n = (0.028 + 0.001 + 0.003 + 0.003 + 0.002) * 1.30 = 0.0481$$



Fuente: elaboración propia, 2017.

Figura 27. Superficie del cauce.

Cuadro 38. Valores base de n de Manning para canales estables.

Channel type	Median size of bed material		Base <i>n</i> value	
	Millimeters	Inches	Benson and Dalrymple (1967)	Chow (1959)
Firm earth	—	—	0.025–0.032	0.020
Coarse sand	1–2	—	.026–.035	—
Fine gravel	—	—	—	.024
Gravel	2–64	0.08–2.5	.028–.035	—
Coarse gravel	—	—	—	.028
Cobble	64–256	2.5–10.5	.030–.050	—
Boulder	> 256	> 10	.040–.070	—

Fuente: Tomado de Phillips y Tadayon (2006).

A partir de esto se seleccionaron coeficientes de Manning donde se utilizó 0.3 para secciones planas, 0.35 para secciones con pequeñas rocas y 0.55 para terreno muy escarpado; y coeficientes de contracción y expansión 0.1 y 0.3 respectivamente

E. Parámetros de flujo estable

Este componente consiste en introducir los valores del caudal a simular y delimitar las condiciones del límite del tramo. La pendiente 0.00364 se determinó a través de ArcMap 10.2.2 y los caudales provienen de la base de datos de la estación San Agustín Chixoy del INSIVUMEH y son mediciones de una tormenta observada el mes de noviembre del 2003. Las opciones seleccionadas para el componente de flujo estable se muestran en la figura 28.

Enter/Edit Number of Profiles (32000 max):

Locations of Flow Data Changes

River:

Reach: River Sta.:

Flow Change Location			Profile Names and Flow Rates	
	River	Reach	RS	Qmax
1	RioChixoy	Chixoy	11889.17	2022.33

Steady Flow Boundary Conditions

Set boundary for all profiles Set boundary for one profile at a time

Available External Boundary Condition Types

Selected Boundary Condition Locations and Types

River	Reach	Profile	Upstream	Downstream
RioChixoy	Chixoy	all	Normal Depth S = 0.036	Normal Depth S = 0.036

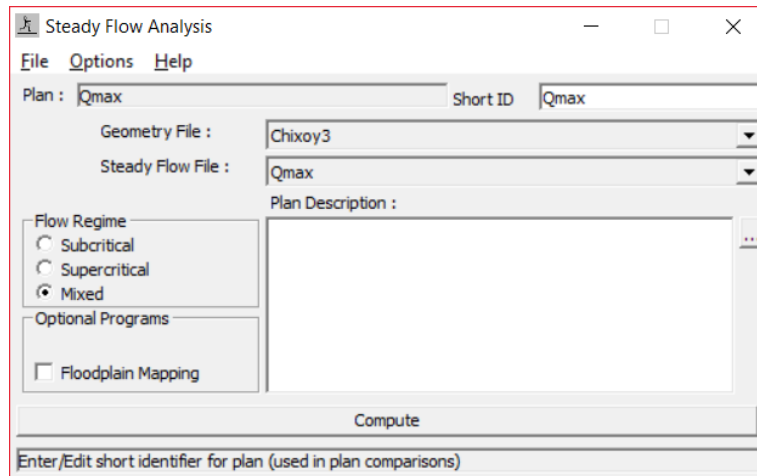
Enter to make the boundary for selected location normal depth.

Fuente: elaboración propia, HEC-RAS 2018.

Figura 28. Componentes de flujo estable.

F. Ejecución de la modelación

Al ejecutar el modelo es importante seleccionar un régimen de flujo súper crítico o mixto, esto con la finalidad de poder observar el escenario más extremo o el más apegado a la realidad respectivamente. Al ser un cauce natural se seleccionó el flujo mixto porque se podrían presentar tanto flujos subcríticos como flujos súper críticos. La configuración final de este componente se muestra en la figura 29. Al finalizar se computaron los resultados y se exportaron a ArcMap 10.2.2 para elaborar el mapa y exportarlo.



Fuente: elaboración propia, HEC-RAS 2018.

Figura 29. Análisis de flujo estable.

3.1.3 Elaboración del mapa de amenaza por inundación

Es de mucha importancia citar, que el mapa de amenaza por inundación en este caso, refleja los niveles de agua obtenidos con modelación de flujo en una dimensión, por lo que el fin de este mapa es brindar niveles de alerta a la población afectada (indicativo de las áreas amenazadas), para el caso de tener representaciones espaciales de una inundación se hace necesario el uso de modelos en dos dimensiones que logren simular lo más real posible el comportamiento de los niveles del flujo y por ende obtener con mayor precisión las áreas amenazada; no obstante, el producto resultante de la modelación con HEC –RAS, es aceptable para los fines del estudio realizado ya que el objetivo es ubicar y conocer los niveles de alerta para el sistema diseñado.

El mapa resulta de la combinación de la cartografía del sitio (levantamiento topográfico, ortofoto mapas o fotografías aéreas) con los resultados de la modelación en HEC-RAS de la inundación referida a los niveles de alerta establecidos, este proceso se realiza con la ayuda de ArcMap 10.2.2.

Para la selección de niveles de alerta del mapa se seleccionaron 4 categorías, bajo, medio, alto y muy alto. Las primeras dos categorías se crearon en función del caudal base que está entre 43.72 m³/s a 120.41 m³/s.

La categoría “bajo” equivale a caudales que superan ligeramente el caudal base (de 120.41 m³/s a 373.49 m³/s) y se han generado cuando la precipitación media de la cuenca ha sido aproximadamente 205.23 mm/día.

La categoría “medio” equivale a caudales (de 373.49 m³/s a 703.26 m³/s) que según la tabla de frecuencias del cuadro 39 se presentan el 35 % del tiempo y que según HEC-RAS podrían generar ligeras inundaciones en algunos puntos de la sección estudiada, estos caudales se han presentado cuando la precipitación media de la cuenca ha sido 333.21 mm/día.

La categoría “alto” equivale a caudales entre 703.26 m³/s a 1,362.80 m³/s y se han presentado cuando la precipitación media de la cuenca ha sido 617.63 mm/día.

La categoría “muy alto” equivale a caudales extremos que se presentan en tiempos de retorno entre 10, 50 y 100 años, son caudales muy poco frecuentes pero que han causado grandes daños económicos en las comunidades ubicadas a orillas del tramo estudiado, estos caudales van desde 1,362.80 m³/s hasta el caudal máximo registrado 2,022.33 m³/s, estos caudales se han presentado cuando la precipitación media diaria de la cuenca es cercana o mayor a 847.70 mm.

Cuadro 39. Tabla de frecuencias de caudales (2002-2016).

Variable	Clase	LI	LS	MC	FA	FR	FAA	FRA
Caudal (m ³ /s)	1	[43.72	208.60]	126.16	1202	0.22	1202	0.22
	2	(208.60	373.49]	291.05	1257	0.23	2459	0.45
	3	(373.49	538.37]	455.93	1128	0.21	3587	0.65
	4	(538.37	703.26]	620.81	790	0.14	4377	0.8
	5	(703.26	868.14]	785.7	451	0.08	4828	0.88
	6	(868.14	1033.03]	950.58	248	0.05	5076	0.93
	7	(1033.03	1197.91]	1115.47	165	0.03	5241	0.96
	8	(1197.91	1362.80]	1280.35	98	0.02	5339	0.97
	9	(1362.80	1527.68]	1445.24	66	0.01	5405	0.99
	10	(1527.68	1692.56]	1610.12	36	0.01	5441	0.99
	11	(1692.56	1857.45]	1775.01	30	0.01	5471	1
	12	(1857.45	2022.33]	1939.89	8	0.0015	5479	1

Fuente: elaboración propia, Excel 2018.

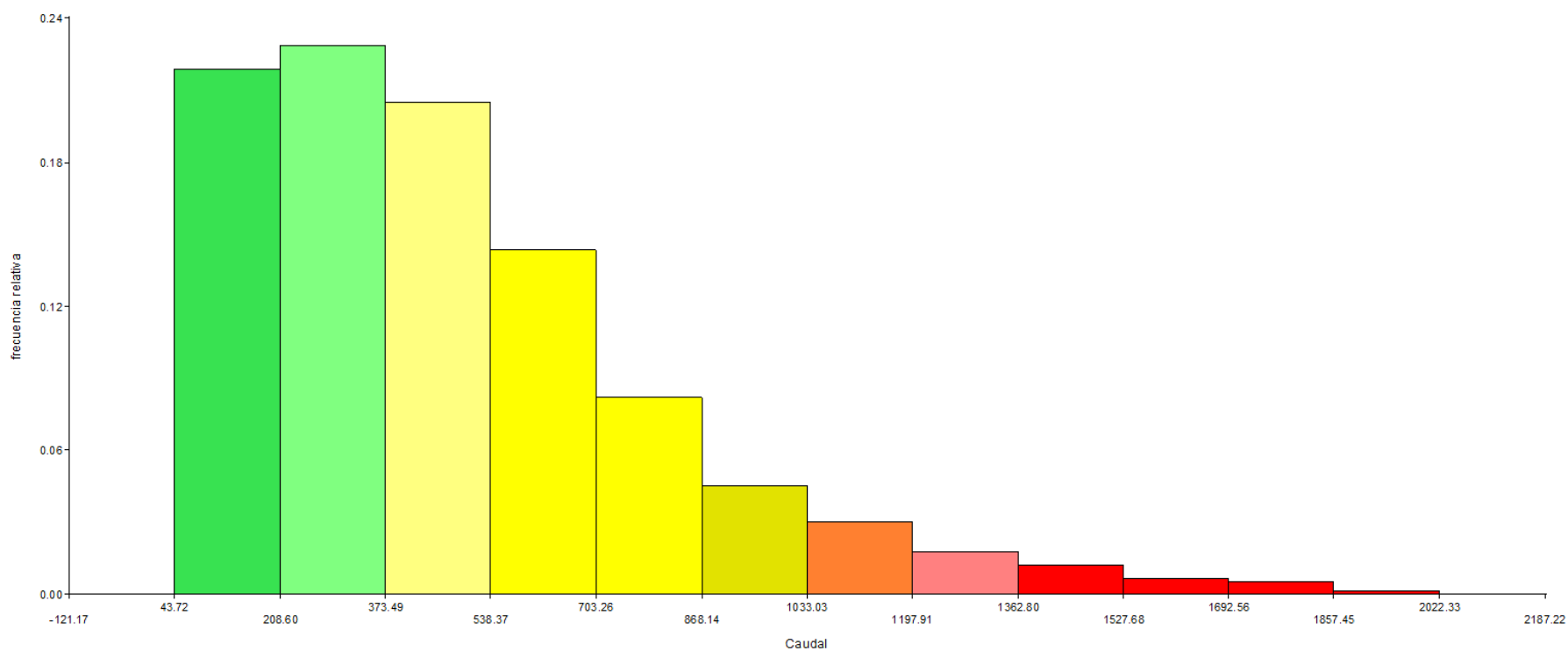
El cuadro 40 presenta la tabla de frecuencias para la base de datos de caudales registrados en la estación San Agustín Chixoy durante los años 2002 al 2016.

Cuadro 40. Niveles de alerta en mapa de amenaza a inundaciones.

Nivel	Caudal registrado (m ³ /s)	Precipitación media de la cuenca (mm/día)	Color en el mapa
Bajo	120.41 - 373.49	205.23	Verde
Medio	373.49 - 703.26	333.21	Amarillo
Alto	703.26 - 1362.80	617.63	Naranja
Muy alto	1362.80 - 2022.33	847.70	Rojo

Fuente: elaboración propia, Excel 2018.

Se creó cada capa del mapa con HEC-RAS simulando con límites superiores de cada categoría de amenaza y exportando cada una a ArcMap 10.2.2 donde se generó el resultado final.

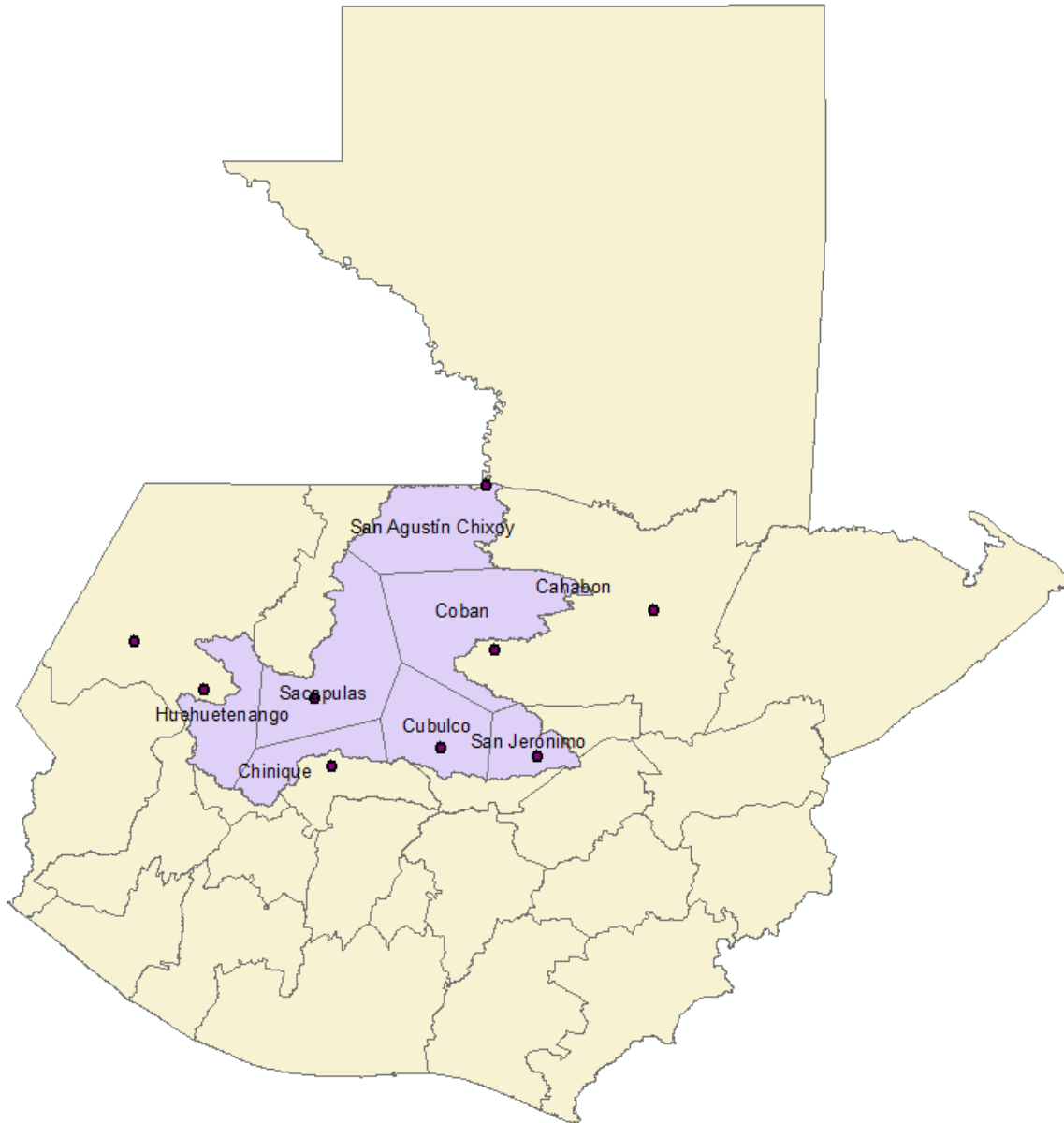


Fuente: elaboración propia, Infostat 2018.

Figura 30. Histograma de frecuencias de caudales.

Los niveles de alerta del mapa se crearon en función de las clases y se dan según la coloración de las barras en la figura 30.

Para conocer la precipitación media de la cuenca fue necesario realizar polígonos de Thiessen para estimar el área de influencia de cada estación meteorológica en la cuenca.



Fuente: elaboración propia, ArcGIS 2018.

Figura 31. Área de influencia de estaciones meteorológicas en la cuenca.

La figura 31 y el cuadro 41 muestran las estaciones dentro de la cuenca y su área de influencia gráfica y en porcentaje.

Cuadro 41. Área de influencia de estaciones meteorológicas en la cuenca.

Estación	Área (km ²)	%
Sacapulas	2400	22.03
Coban	2454	22.53
San Agustín Chixoy	1759	16.15
Chinique	845	7.76
Huehuetenango	1213	11.14
San Jerónimo	725	6.66
Cubulco	1437	13.20
Cahabon	56	0.52
Cuenca =	10893	100

Fuente: elaboración propia, ArcGIS 2018.

3.2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.2.1 Determinación de tiempos de retorno de eventos extremos

Se determinaron los períodos de retorno para 6 distribuciones de probabilidad, 3 de ellas corresponden a la distribución Normal, Gumbel y Pearson III y se presentan en la figura 32.

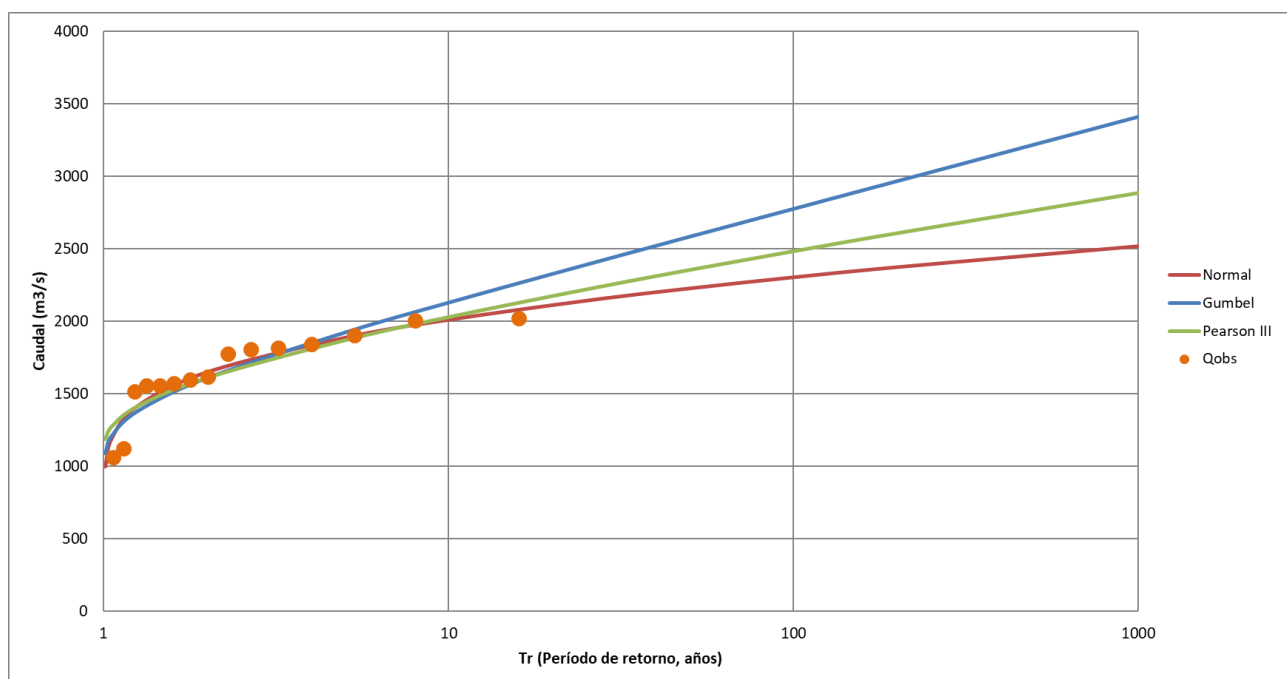


Figura 32. Caudal de diseño para distribución Normal, Gumbel y Pearson III.

Según la figura 32 el período de retorno de la tormenta presentada en noviembre del 2003 según la distribución Gumbel es de 10 años y según la distribución Pearson III y Normal es de 50 años.

Las distribuciones logarítmicas de Gumbel, Pearson III y Normal se presentan en la figura 32. Según la figura 33 la tormenta presentada en noviembre del 2003 tiene un período de retorno de 10 años según la distribución logarítmica Gumbel, de 30 años según la distribución logarítmica Pearson III y de 50 años según la distribución logarítmica Normal.

En la figura 34 se puede observar el comportamiento de la tormenta con relación a su tiempo de retorno y a las 6 distribuciones utilizadas.

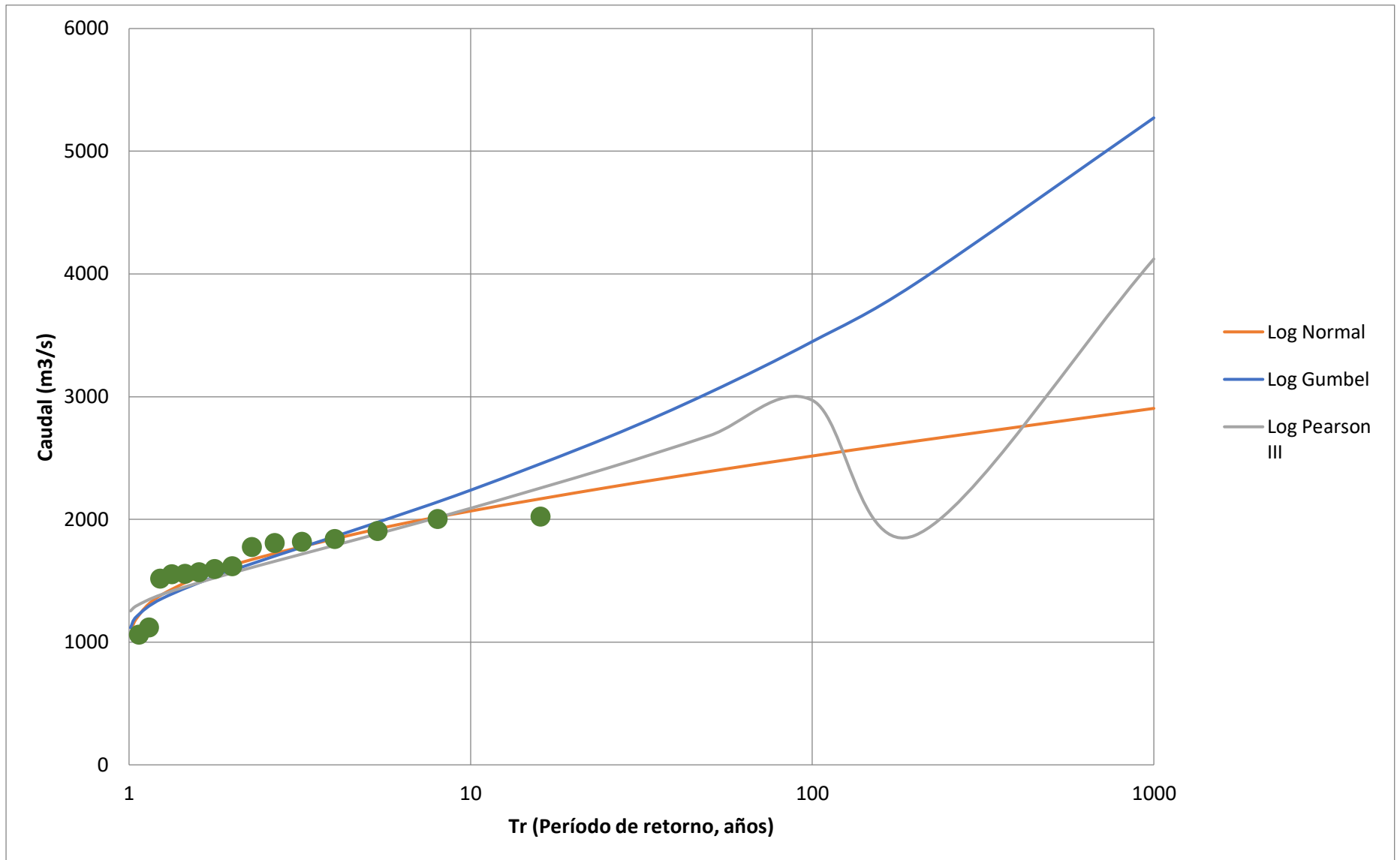


Figura 33. Caudales de diseño para distribuciones logarítmicas.

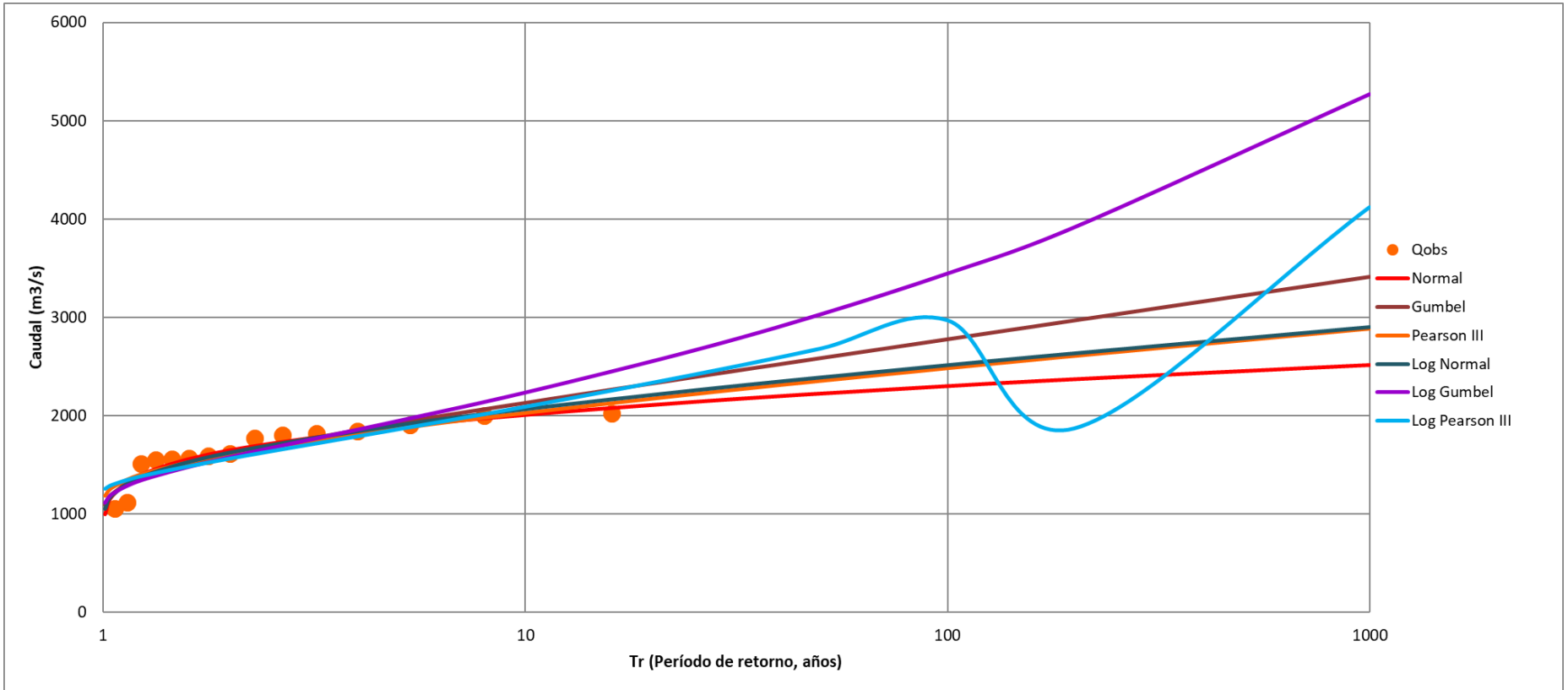


Figura 34. Caudal de diseño para todas las distribuciones.

3.3 Determinación de cotas de crecida máxima del tramo de estudio

Se determinaron las cotas de crecidas, así como también sus parámetros hidráulicos que se presentan en las siguientes figuras. En la figura 35 se presenta la gráfica de 1 de las 98 secciones transversales interpoladas y graficadas con sus respectivos niveles, si se observa con detalle se puede observar que el agua ha superado el nivel de los bancos.

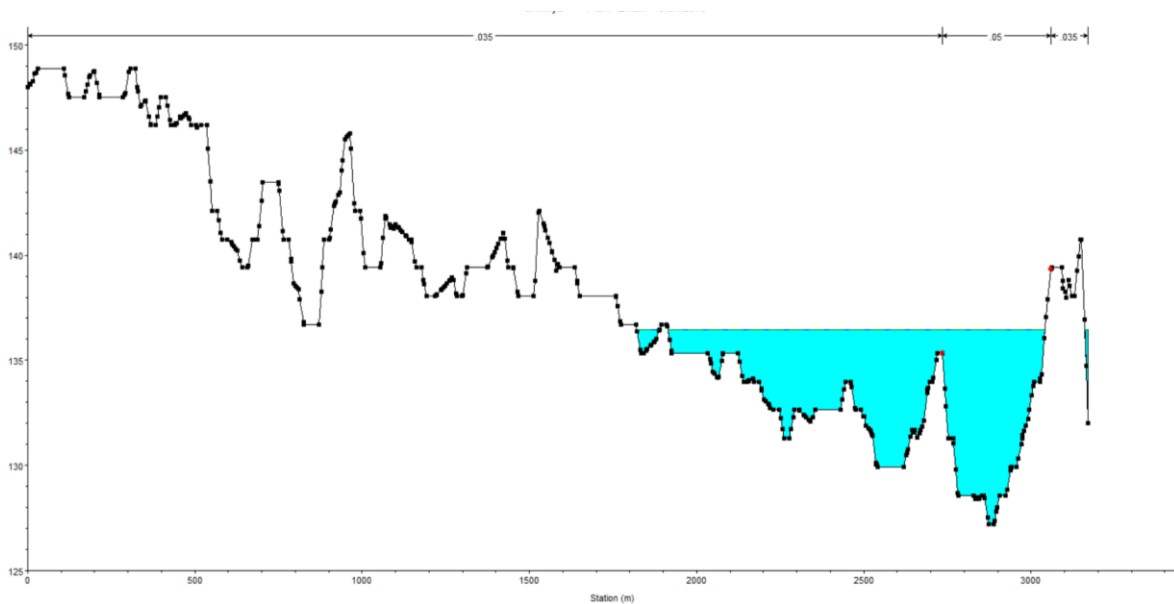


Figura 35. Nivel de agua en sección transversal.

En la figura 36 se muestra el perfil del canal principal (tramo del río estudiado) y se puede observar que la línea de energía está muy cercana al nivel del agua, pero la línea del nivel crítico está por debajo del nivel del agua, esto quiere decir que se tiene un flujo super crítico que podría causar erosión en ciertas partes del tramo estudiado, lo mismo sucede en la figura 37.

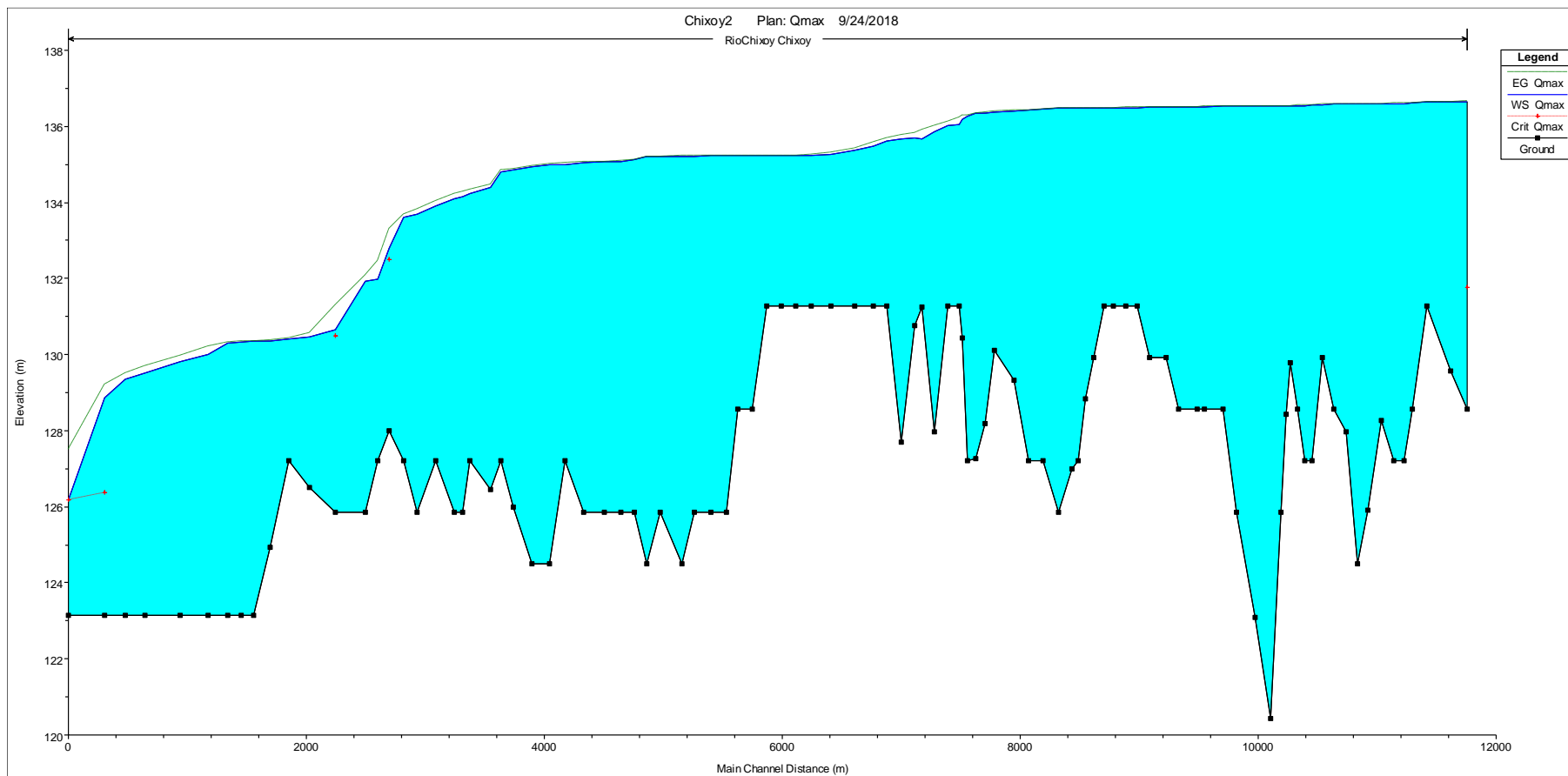


Figura 36. Gráfica del perfil del tramo del río Chixoy.

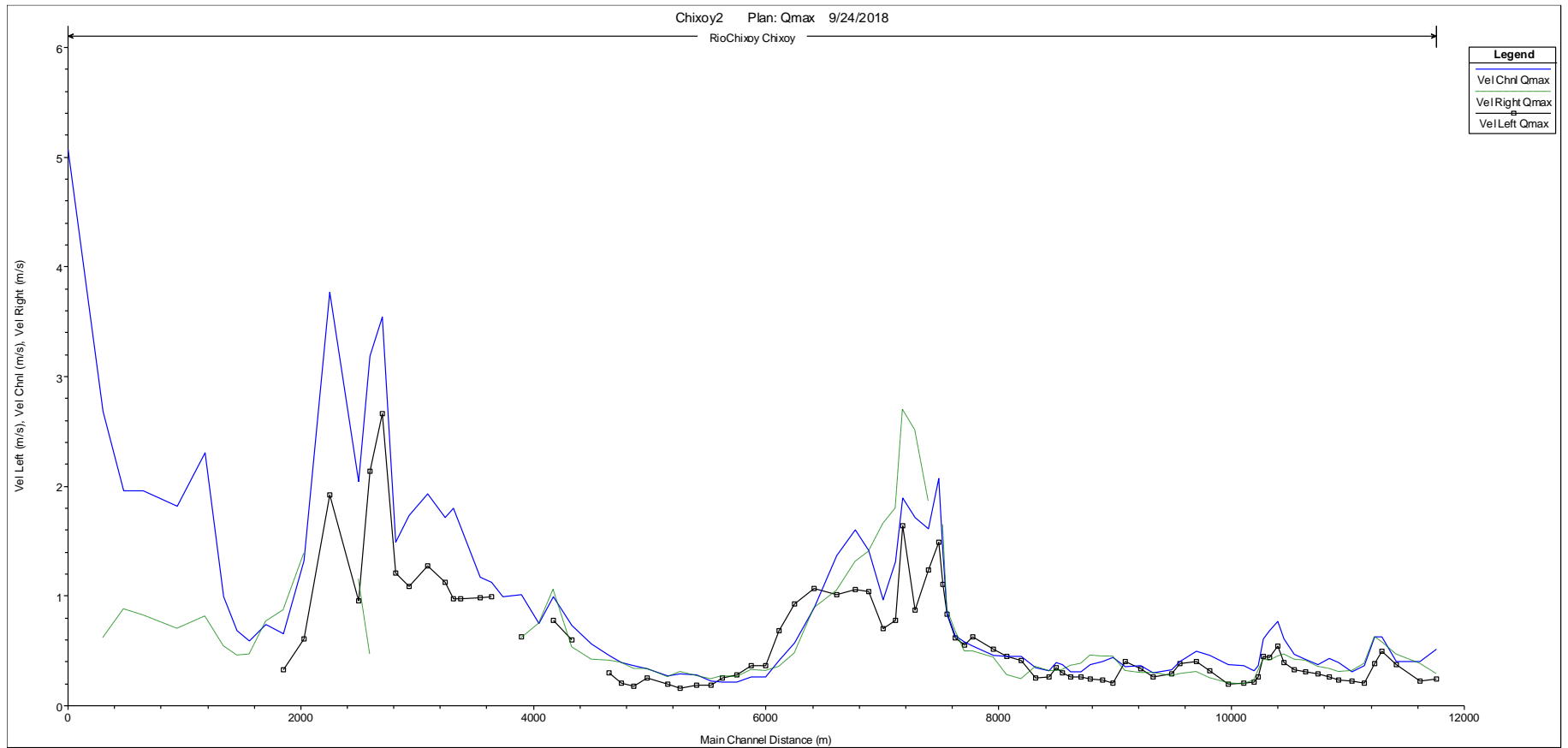


Figura 37. Gráfica del perfil general del tramo del río Chixoy.

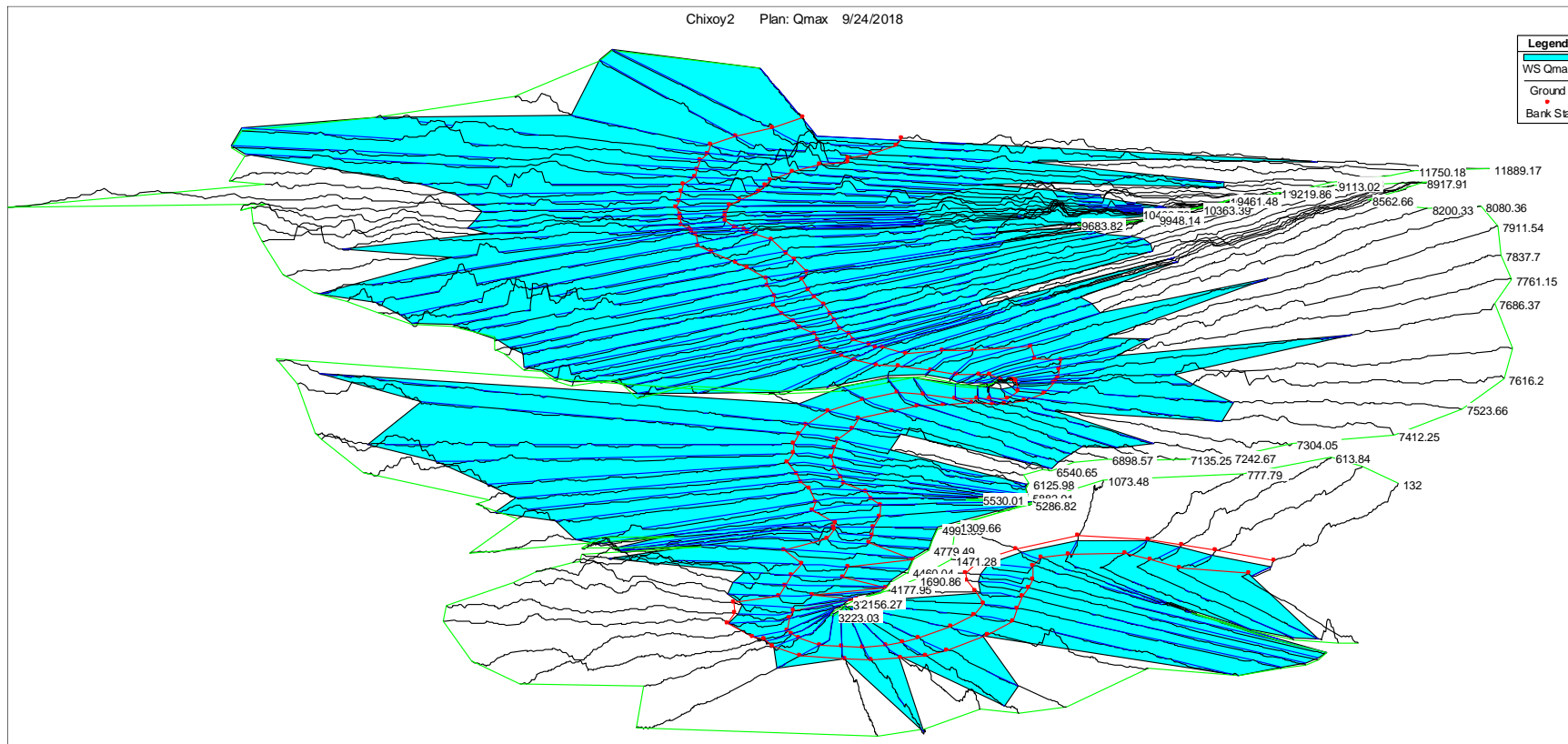


Figura 38. Gráfica del perfil general del tramo del río Chixoy.

La figura 38 permite ver la perspectiva X, Y, Z de la simulación y permite rotar los resultados para ver elevación y cotas de crecidas.

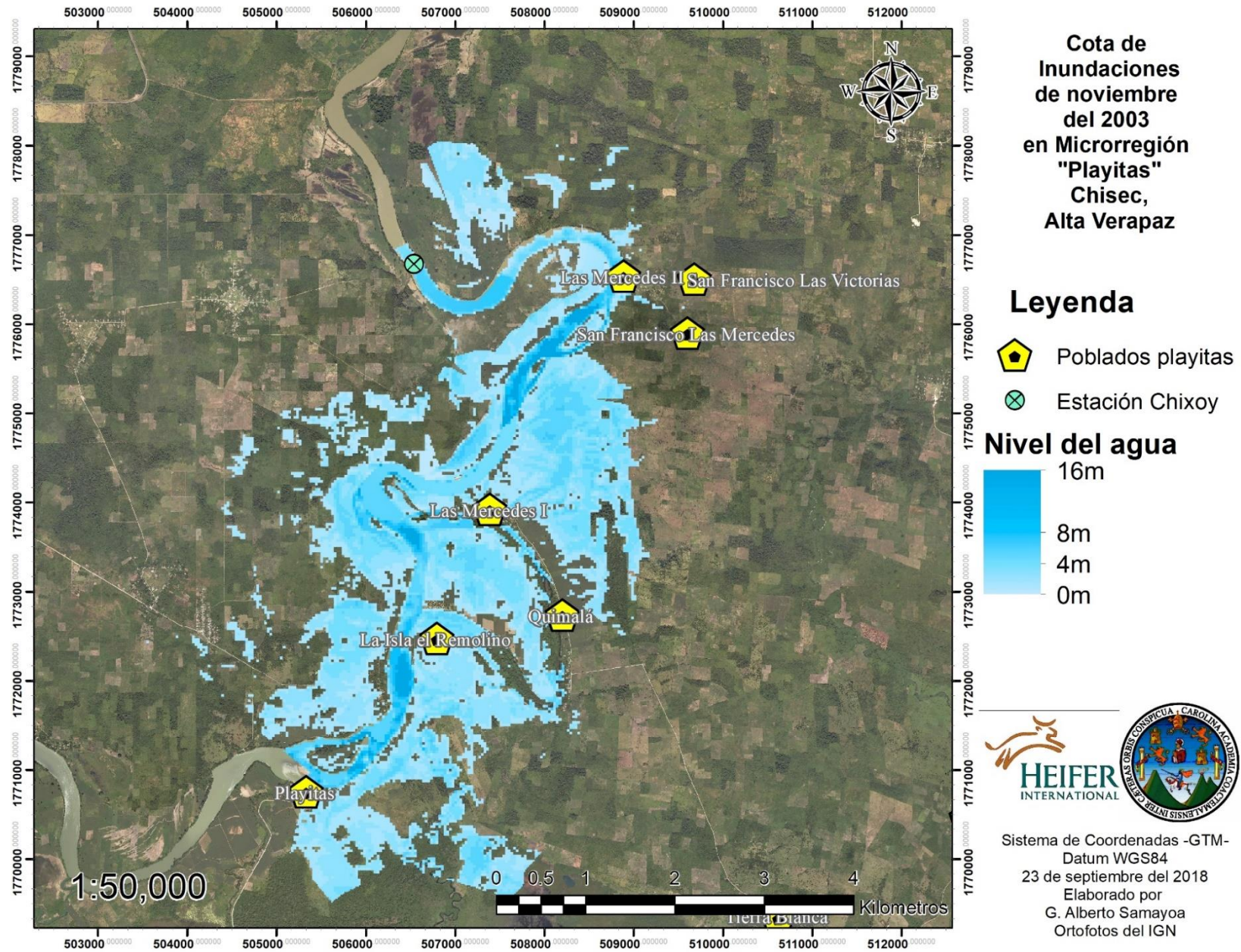


Figura 39. Mapa de cota de inundaciones de noviembre de 2003.

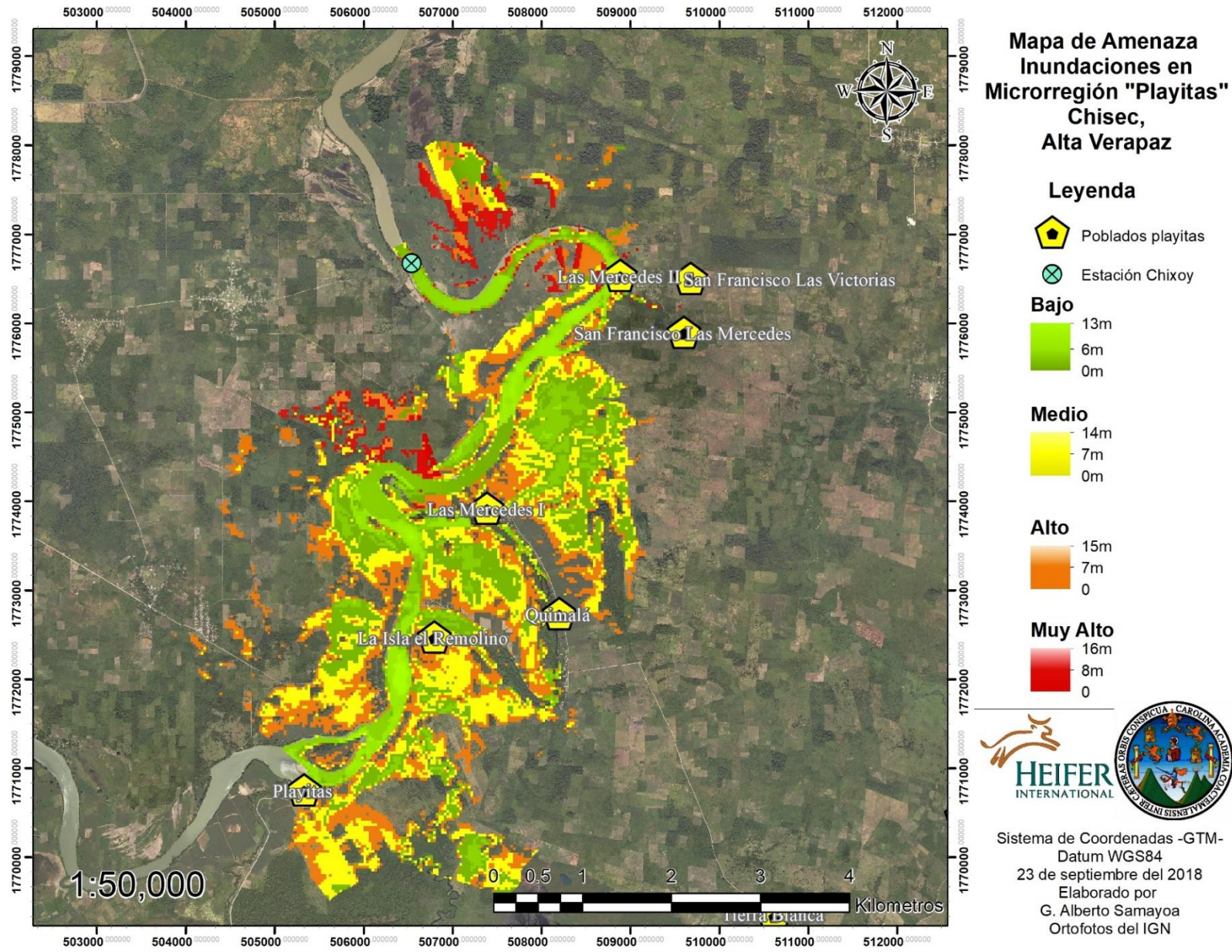


Figura 40. Mapa de amenaza a inundaciones.

El resultado final es el mapa de cotas de inundaciones de noviembre del 2003 donde el color azul oscuro representa el nivel de la columna de agua presente en cada tramo del río.

3.4 Cota de inundaciones de noviembre de 2003

El mapa de la figura 39 demuestra la cota de inundación de los caudales registrados en el mes de noviembre del 2003, estos caudales afectaron principalmente a las comunidades Las Mercedes I y II, La Isla Remolino y Playitas.

3.5 Mapa de amenaza a inundaciones

El mapa de amenaza a inundaciones (figura 40) demuestra niveles de alerta donde se observa que las comunidades Quimalá, San Francisco las Mercedes y San Francisco las Victorias no se encuentran dentro de la zona de amenaza, por otro lado, las comunidades Las Mercedes I y II, La Isla Remolino y Playitas se encuentran en zonas de amenaza media y alta, los niveles más altos simulados en el mapa equivalen a 16 m.

Además del mapa de amenaza a inundaciones se creó un mapa que delimita la zona donde según la topografía transita el cauce de forma natural cuando el caudal crece, esto se realizó marcando sección por sección (figura 41) los puntos donde se puede observar que la topografía tiene forma de canal, el resultado se muestra en la figura 42 y es la zona donde no se recomienda que los pobladores residan ni cultiven.

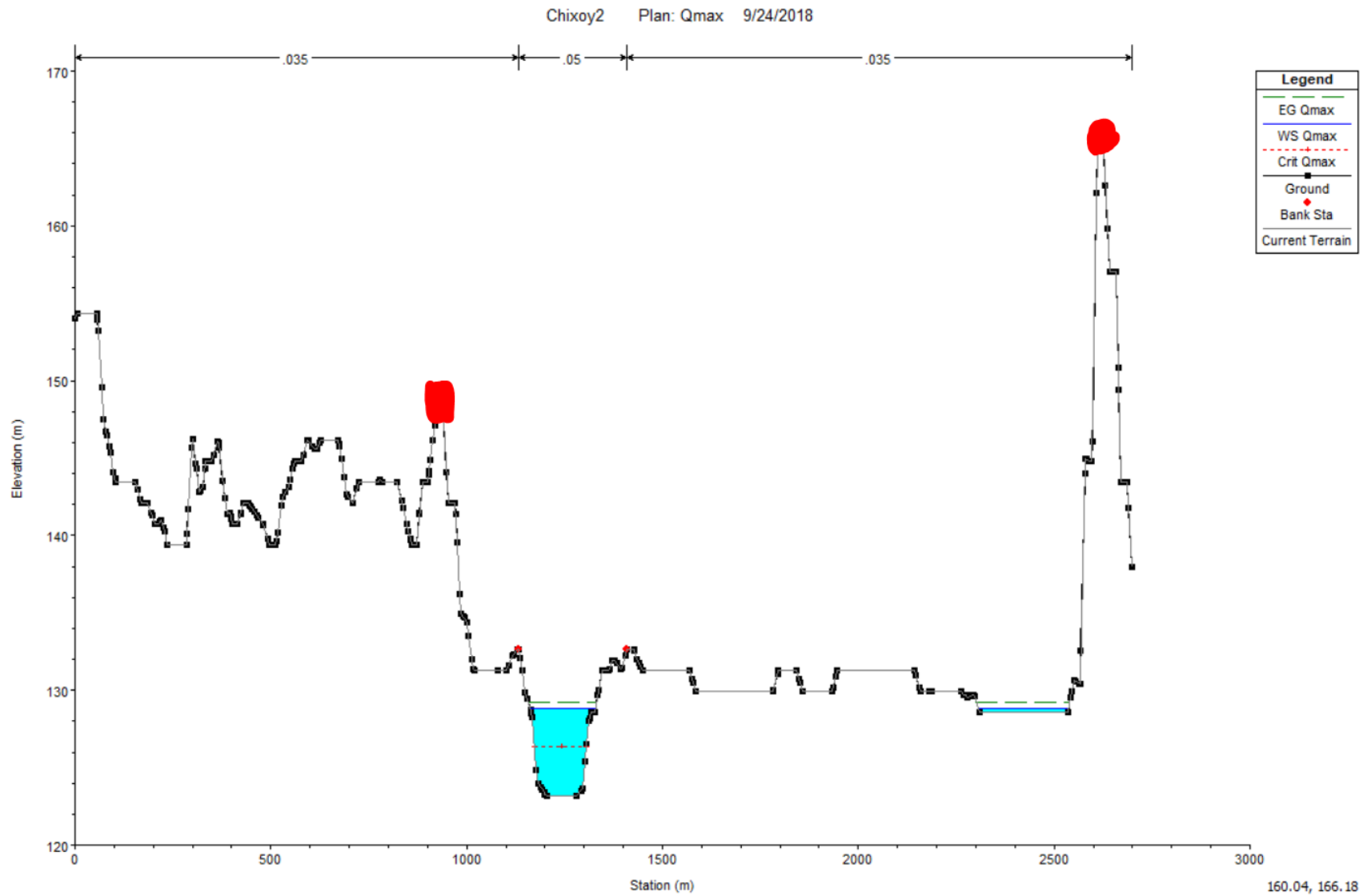


Figura 41. Ejemplo de sección del cauce natural.

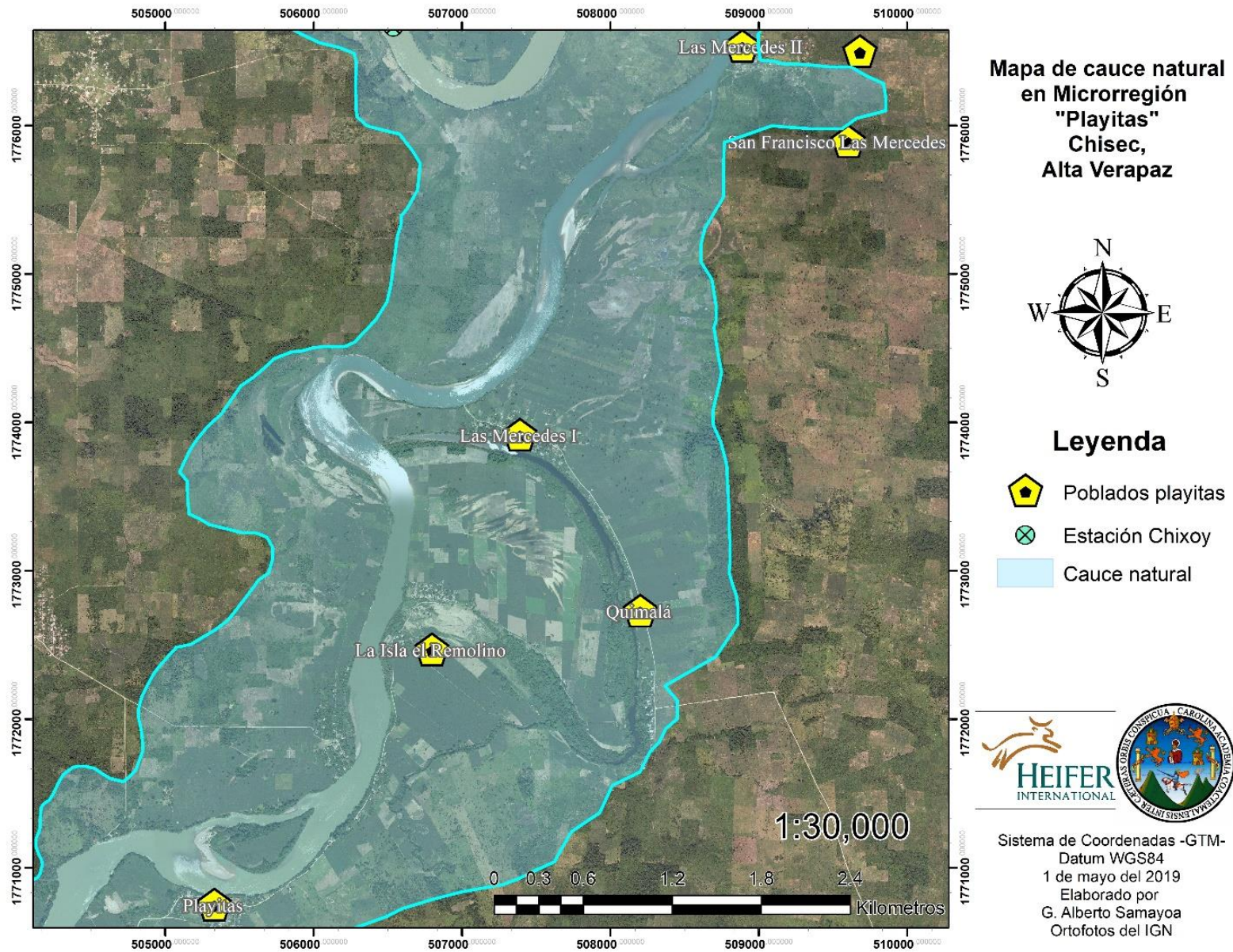


Figura 42. Mapa de cauce natural.

3.6 CONCLUSIONES

1. Los períodos de retorno de la tormenta de noviembre del 2003 determinados a partir de las 6 distribuciones estadísticas son variados dependiendo de cada distribución, las distribuciones estadísticas de Gumbel y log Gumbel tienen períodos de retorno con valores cercanos a los 10 años, la distribución Pearson III determinó un período de retorno 30 años al igual que la distribución normal con valores cercanos a los 30 años. Con la distribución log Pearson III se determinaron períodos de retorno de 50 años al igual que la distribución log Normal. La distribución Gumbel al ser una distribución que se ajusta mejor los datos de valores extremos es la que presentó valores más realistas y que se ajustan mejor a los periodos de inundaciones que los COCODE de las comunidades expresaron.
2. La tormenta modelada en HEC-RAS demostró cotas de crecidas que alcanzan a cubrir el territorio de las 6 comunidades ubicadas a orillas del río Chixoy, la altura promedio de la columna de agua que cubre las comunidades según la simulación es de más de un metro lo que significa que podría llegar a cubrir las casas en su totalidad, los valores del número de Froude demuestran niveles super críticos en diversos tramos del río, esto ocasionaría perdidas en los cultivos e infraestructura.
3. La modelación hidráulica permitió generar un mapa de amenaza (figura 40) a inundaciones del tramo del río Chixoy estudiado, este mapa de amenazas consta de 4 categorías de alerta que permitirán a los pobladores conocer el nivel de amenaza cuando la precipitación media de la cuenca se encuentre cerca de los niveles especificados en la metodología, el mapa demuestra que existe una amenaza de nivel medio a partir un caudal de 373.49 m³/s y que con este caudal el río podría llegar a cubrir las comunidades Las Mercedes 1 y La Isla Remolino, si el caudal supera los 703.26 m³/s las comunidades Las Mercedes I y II, La Isla Remolino y Playitas se verían afectadas por el aumento en el nivel del río y si el caudal excede los 1,362.80 m³/s las comunidades San Francisco Las Mercedes y Quimalá podrían ser afectadas. El mapa

del cauce natural (figura 42) indica que las comunidades Playitas, La Isla Remolino, Quimalá, Las Mercedes 1 y Las Mercedes 2 se encuentran ubicadas en la zona donde naturalmente transita el cauce, los COCODE informaron que el cauce fue desviado de la zona para poder habitar allí, esto puede traer graves consecuencias en el futuro.

3.7 RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar una prueba de ajuste para cada una de las 6 distribuciones para ver cuál de todas se ajusta más a los datos y así poder estimar períodos de retorno más precisos y puedan servir de apoyo para la ejecución de un proyecto para reducir el riesgo de las comunidades establecidas a orillas del río. Además de esto es recomendable realizar una prueba de correlación entre la precipitación diaria de las estaciones meteorológicas y los caudales diarios para seleccionar una estación que tenga mayor influencia en el comportamiento del caudal y así poder utilizarla como un sencillo sistema de alerta temprana se recomienda previamente corroborar la normalidad de los datos.
2. La precisión del modelo se da en función de los componentes, por tanto, es recomendable mejorar el componente geométrico porque realizar la modelación a partir de un DEM corregido puede llegar a ser bastante impreciso.
3. Es recomendable la implementación de barreras que impidan el paso del agua en ciertos puntos con mayor vulnerabilidad, entre esas barreras deben ser elaboradas de concreto y con materiales disponibles en la comunidad y que los pobladores participen en su construcción para mejorar la colaboración entre ellos, es posible a través de la modelación previamente realizada sugerir puntos críticos para la construcción de estas barreras.
4. Es importante informar a los pobladores sobre los riesgos de habitar en zonas donde transita el cauce de forma natural, no se recomienda la habitación ni el cultivo de plantas en la zona resaltada en la figura 42, lo ideal sería reordenar a la población y sugerir mejores ubicaciones para sus viviendas.

3.8 BIBLIOGRAFÍA

1. Álvarez, I. 2007. Determinación del comportamiento hidrológico e hidráulico en la cuenca del río Pensativo, en la zona de influencia del puente Matazano y consideraciones de un sistema de alerta temprana. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. 115 p. Consultado 20 set. 2018. Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0388_MT.pdf
2. Cabrera, J. 2015. Modelos hidrológicos. Perú, Universidad Nacional de Ingeniería. 8 p. Consultado 20 set. 2018. Disponible en http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/modhidro_1.pdf
3. Chow, V. 1994. Hidráulica de canales abiertos. Suárez, M (ed.); Saldarriaga, J (Trad.). Colombia, McGraw-Hill. 337 p.
4. CivilGEO, USA. 2019. HEC-RAS cross section geometry data, placement, spacing & layout. Estados Unidos. Consultado 18 abr. 2019. Disponible en <https://www.civilgeo.com/knowledge-base/hec-ras-cross-section-geometry-requirements/>
5. ESRI, USA. 2018. Dirección de flujo. Readlands, California, Estados Unidos. Consultado 17 mar. 2019. Disponible en <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/tools/spatial-analyst-toolbox/flow-direction.htm>
6. INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, Guatemala). 2016. Datos de caudales de estación San Agustín Chixoy. Guatemala. Consultado 01 ene. 2018. Disponible en https://1drv.ms/x/s!AjQM47SxsdRJg_8SIGZriwe7URdFMQ
7. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Guatemala). 2001. Base de datos digital 1:250,000. Guatemala, MAGA, Unidad de Políticas e Información Estratégica. Consultado 7 jun. 2018. Disponible en <http://ideg.segeplan.gob.gt/geoportal/>
8. Mark, DM. 1988. Network models in geomorphology: Modelling geomorphological systems. Anderson, M (ed.). New York, Estados Unidos, John Wiley. 97 p.
9. Orozco, E. 2004. Estadística matemática aplicada en los recursos hidráulicos y ciencias del medio ambiente. Consultado 18 abr. 2019. Disponible en <https://1drv.ms/f/s!AjQM47SxsdRJhLdctu0ZlxWxOAc9Eg>
10. Orozco Ramírez, AMA. 2014. Diseño de la investigación para estimación de caudales de la crecida en el valle de la ciudad de Guatemala. Tesis Ing. Civ. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 64 p. Consultado 14 oct. 2018. Disponible en <http://www.repositorio.usac.edu.gt/1098/>
11. Reyes, GE. 2013. Determinación de la variabilidad de los recursos hídricos, relacionados al cambio climático en la cuenca del río Chixoy. Tesis Ing. Civ. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 107 p. Consultado 6 ago. 2018. Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3493_C.pdf
12. Rios, DI. 2014. Investigación de la disipación de energía en el modelo hidráulico del Proyecto Alto Piura. Piura, Perú, Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería.

13. Tarifa, EE. 2007. Teoría de modelos y simulación. Argentina, Universidad Nacional de Jujuy. 17 p. Consultado 20 set. 2018. Disponible en https://www.econ.unicen.edu.ar/attachments/1051_TecnicasII Simulacion.pdf
14. UDEP (Universidad de Piura, Perú). 2006. Modelación hidráulica. Perú. 16 p. Consultado 17 mar. 2019. Disponible en http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_123_183_81_1150.pdf
15. US Army Corps of Engineers. 2016. HEC-RAS river analysis system, 5.0:960. USA. Consultado 18 abr. 2019. Disponible en <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Users%20Manual.pdf>
16. Zamora, EP. 2008. Evaluación de un sistema de alerta temprana para inundaciones en la parte baja de la cuenca del río Achiguate. Tesis Ing. Civ. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 129 p. Consultado 20 set. 2018. Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0475_MT.pdf

3.9 ANEXOS

Cuadro 42A. Valores de Y_N y S_N , en función de N para dist. Gumbel.

N	Y_N	S_N	N	Y_N	S_N
8	0.4843	0.9043	49	0.5481	1.159
9	0.4902	0.9288	50	0.54854	1.16066
10	0.4952	0.9497	51	0.5489	1.1623
11	0.4996	0.9676	52	0.5493	1.1638
12	0.5035	0.9833	53	0.5497	1.1653
13	0.507	0.9972	54	0.5501	1.1667
14	0.51	1.0095	55	0.5504	1.1681
15	0.5128	1.02057	56	0.5508	1.1696
16	0.5157	1.0316	57	0.5511	1.1708
17	0.5181	1.0411	58	0.5515	1.1721
18	0.5202	1.0493	59	0.5518	1.1734
19	0.522	1.0566	60	0.55208	1.17467
20	0.52355	1.06283	62	0.5527	1.177
21	0.5252	1.0696	64	0.5533	1.1793
22	0.5268	1.0754	66	0.5538	1.1814
23	0.4183	1.0811	68	0.5543	1.1834
24	0.5296	1.0864	70	0.55477	1.18536
25	0.53086	1.09145	72	0.5552	1.1873
26	0.532	1.0961	74	0.5557	1.189
27	0.5332	1.1004	76	0.5561	1.1906
28	0.5343	1.1047	78	0.5565	1.1923
29	0.5353	1.1086	80	0.55688	1.19382
30	0.53622	1.11238	82	0.5572	1.1953
31	0.5371	1.1159	84	0.5576	1.1967
32	0.538	1.1193	86	0.558	1.198
33	0.5388	1.1226	88	0.5583	1.1994
34	0.5396	1.1255	90	0.5586	1.20073
35	0.54034	1.12847	92	0.5589	1.202
36	0.541	1.1313	94	0.5592	1.2032
37	0.5418	1.1339	96	0.5595	1.2044
38	0.5424	1.1363	98	0.5598	1.2055
39	0.543	1.1388	100	0.56002	1.20649
40	0.54362	1.14132	150	0.56461	1.22534
41	0.5442	1.1436	200	0.56715	1.23598
42	0.5448	1.1458	250	0.56878	1.24292
43	0.5453	1.148	300	0.56993	1.24786
44	0.5458	1.1499	400	0.57144	1.2545
45	0.5463	1.15185	500	0.5724	1.2588
46	0.5468	1.1538	750	0.57377	1.26506
47	0.5473	1.1557	1000	0.5745	1.26851
48	0.5477	1.1574	∞	0.57722	1.28255

Fuente: Orozco (2004).

Cuadro 43A. Valores de Z para distribución Pearson III en función de Cs.

Cs	Período de retorno, Tr (años)										
	1.0101	1.0526	1.25	2	5	10	25	50	100	200	1000
	Probabilidad de excedencia, $p = 1/Tr$ (%)										
	99	95	80	50	20	10	4	2	1	0.5	0.1
	Probabilidad de no excedencia, $q = 1 - p = 1 - 1/Tr$ (%)										
1	5	20	50	80	90	96	98	99	99.5	99.9	
3.0	-0.667	-0.665	-0.636	-0.396	0.420	1.180	2.278	3.152	4.510	4.970	7.152
2.9	-0.690	-0.688	-0.651	-0.390	0.440	1.195	2.277	3.134	4.013	4.909	7.034
2.8	-0.714	-0.711	-0.666	-0.384	0.460	1.210	2.275	3.114	973.000	4.847	6.915
2.7	-0.740	-0.736	-0.681	-0.376	4.790	1.224	2.272	3.093	3.932	4.783	6.794
2.6	-0.769	-0.762	-0.696	-0.368	0.499	1.238	2.267	3.071	3.889	4.718	6.672
2.5	-0.799	-0.790	-0.711	-0.360	0.518	1.250	2.262	3.048	3.845	4.652	6.548
2.4	-0.832	-0.819	-0.725	-0.351	0.537	1.262	2.256	3.023	3.800	4.584	6.423
2.3	-0.867	-0.850	-0.739	-0.341	0.555	1.274	2.248	2.997	3.753	4.515	6.296
2.2	-0.905	-0.882	-0.752	-0.330	0.574	1.284	2.240	2.970	3.705	4.444	6.168
2.1	-0.946	-0.914	-0.765	-0.319	0.592	1.294	2.230	2.942	3.656	4.372	6.039
2.0	-0.990	-0.949	-0.777	-0.307	0.609	1.302	2.219	2.912	3.605	4.298	5.908
1.9	-1.037	-0.984	-0.788	-0.294	0.627	1.310	1.207	2.881	3.553	4.223	5.775
1.8	-1.087	-1.020	-0.799	-0.282	0.643	1.318	2.193	2.848	3.499	4.147	5.642
1.7	-1.140	-1.056	-0.808	-0.268	0.660	1.324	2.179	2.815	3.444	4.069	5.507
1.6	-1.197	-1.096	-0.817	-0.254	0.675	1.329	2.163	2.780	3.388	3.990	5.371
1.5	-1.256	-1.131	-0.825	-0.240	0.690	1.333	2.146	2.743	3.330	3.910	5.234
1.4	-1.318	-1.168	-0.832	-0.225	0.705	1.337	2.128	2.706	3.271	3.828	5.095
1.3	-1.383	-1.206	-0.838	-0.210	0.719	1.339	2.108	2.666	3.211	0.745	4.955
1.2	-1.449	-1.243	-0.844	-0.195	0.732	1.340	2.087	2.626	3.149	3.661	4.815
1.1	-1.518	-1.280	-0.848	-0.180	0.745	1.341	2.066	2.585	3.087	3.575	4.673
1.0	-1.588	-1.317	-0.852	-0.164	0.758	1.340	2.043	2.542	3.022	3.489	4.531
0.9	-1.660	-1.353	-0.854	-0.148	0.769	1.339	2.018	2.498	2.957	3.401	4.388
0.8	-1.733	-1.388	-0.856	-0.132	0.780	1.336	1.993	2.453	2.891	3.312	4.244
0.7	-1.806	-1.423	-0.857	-0.116	0.790	1.333	1.967	2.407	2.824	3.223	4.100
0.6	-1.880	-1.458	-0.857	-0.099	0.800	1.328	1.939	2.359	2.755	3.132	3.956
0.5	-1.955	1.491	-0.856	-0.083	0.808	1.323	1.910	2.311	2.686	3.041	3.811
0.4	-2.029	-1.524	-0.855	-0.066	0.816	1.317	1.880	2.261	2.615	2.949	3.666
0.3	-2.104	-1.555	-0.853	-0.050	0.824	1.309	1.849	2.211	2.544	2.856	3.521
0.2	-2.178	-1.586	-0.850	-0.033	0.830	1.301	1.818	2.159	2.472	2.763	3.377
0.1	-2.252	-1.616	-0.846	-0.017	0.836	1.292	1.785	2.107	2.400	2.670	3.233
0.0	-2.326	-1.645	-0.842	0.000	0.842	1.282	1.751	2.054	2.326	2.576	3.090

Fuente: Orozco (2004).

Cuadro 44A. Factores de ajuste para n de Manning.

Channel conditions	Manning's <i>n</i> adjustment	Example
Degree of irregularity		
Smooth	0.000	Smoothest channel attainable in a given bed material.
Minor	.001–.005	Channels with slightly scoured or eroded side slopes.
Moderate	.006–.010	Channels with moderately sloughed or eroded side slopes.
Severe	.011–.020	Channels with badly sloughed banks; unshaped, jagged, and irregular surfaces of channels in rock.
Variation in channel cross section		
Gradual	.000	Size and shape of channel cross sections change gradually.
Alternating occasionally	.001–.005	Large and small cross sections alternate occasionally, or the main flow occasionally shifts from side to side owing to changes in cross-section shape.
Alternating frequently	.010–.015	Large and small cross sections alternate frequently, or the main flow frequently shifts from side to side owing to changes in cross-section shape.
Effect of obstructions		
Negligible	.000–.004	A few scattered obstructions, which include debris deposits, stumps, exposed roots, logs, piers, or isolated boulders, which occupy less than 5 percent of the channel.
Minor	.005–.015	Obstructions occupy from 5 to 15 percent of the cross-section area and spacing between obstructions is such that the sphere of influence around one obstruction does not extend to the sphere of influence around another obstruction. Smaller adjustments are used for curved, smooth-surfaced objects than are used for sharp-edged, angular objects.
Appreciable	.020–.030	Obstructions occupy from 15 to 50 percent of the cross-section area, or the space between obstructions is small enough to cause the effects of severe obstructions to be additive, thereby blocking an equivalent part of a cross section.
Severe	.040–.060	Obstructions occupy more than 50 percent of the cross-section area, or the space between obstructions is small enough to cause turbulence across most of the cross section.
Amount of vegetation		
Negligible	.000–.002	Grass, shrubs, or weeds were permanently laid over during flow.
Small	.002–.010	Dense growths of flexible turf grass, such as Bermuda, or weeds growing where the average depth of flow is at least two times the height of the vegetation where the vegetation is not laid over. Trees, such as willow, cottonwood, or saltcedar, growing where the average depth of flow is at least three times the height of the vegetation. Flow depth is about two times the tree height, and the trees are laid over.
Medium	.010–.025	Moderately dense grass, weeds, or tree seedlings growing where the average depth of flow is from two to three times the height of vegetation; brushy, moderately dense vegetation, similar to 1- to 2-year-old willow trees growing along the banks. A few 8 to 10-year old willow, cottonwood, mesquite, or palo verde, which blocks flow by approximately 1 to 10 percent, and spheres of influence or turbulence do not overlap.
Large	.025–.050	8- to 10-year-old willow, cottonwood, mesquite or palo verde trees (block flow by approximately 10 to 30 percent where the sphere's of influence overlap) intergrown with some weeds and brush where the hydraulic radius exceeds 2 feet.
Very large	.050–.100	Bushy willow trees about 1-year old intergrown with weeds alongside slopes or dense cattails growing along the channel bottom; trees intergrown with weeds and brush. Moderately dense (blocks flow by approximately 30 to 50 percent and the sphere's of influence overlap) 8- to 10-year old trees spaced randomly throughout channel where depth of flow approximates height of vegetation.
Extremely large	.100–.200	Mature (greater than 10 years old) willow trees and tamarisk intergrown with brush and blocking flow by more than 70 percent of the flow area, causing turbulence across most of the section. Depth of flow is less than average height of the vegetation. Dense stands of palo verde or mesquite that block flow by 70 percent or more and hydraulic radius is about equal to or greater than average height of vegetation.
Degree of meandering		
Minor	1.00	Ratio of the channel length to valley length is 1.0 to 1.2.
Appreciable	1.15	Ratio of the channel length to valley length is 1.2 to 1.5.
Severe	1.30	Ratio of the channel length to valley length is greater than 1.5.

Fuente: Tomado de Phillips y Tadayon (2006).



CAPÍTULO III: SERVICIOS REALIZADOS EN ALTA VERAPAZ, GUATEMALA, C. A.

4.1 Introducción

Como parte del programa integrado del Ejercicio Profesional Supervisado de Agronomía (EPSA) es necesario presentar servicios que generen beneficios ya sea a comunidades, empresas u organizaciones relacionadas al agro, en este caso, a través de Heifer International se llevarán a cabo actividades que generen beneficios desde el punto de vista principalmente ambiental y socioeconómico.

Para ello, se seleccionó Alta Verapaz ya que es un departamento que requiere especial atención debido a un gran número de problemas que han afectado a los pobladores, entre ellos está la disminución de productividad de la tierra, la desnutrición, el cambio climático, la deforestación, etc., por esto es necesario involucrarse, proponer y fomentar desarrollo, y colaborar con las que ya existen dentro del municipio.

Existen diversas entidades que se encargan de velar por el bienestar social de las comunidades de los municipios de Alta Verapaz, entre ellas están las municipalidades; La Pastoral Social Caritas; Heifer International Guatemala; el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA); entre otras, algunas de ellas expresaron interés en generar mapas temáticos con diversos fines y/o para registros de terrenos en incentivos forestales, por esto se fortaleció el conocimiento en Sistemas de Información Geográfica – SIG- del personal de las entidades interesadas a través de capacitaciones, lo que permitirá a los beneficiados ser más competitivos en el campo laboral y aportar mejores resultados a las instituciones.

Además de las capacitaciones, un aspecto importante es la cultura con relación a los desechos sólidos, es decir, los pobladores no poseen ningún tipo de conocimiento acerca del manejo de desechos sólidos y no existe ningún tipo de proyecto para fomentar la protección del ambiente, los recursos naturales y el reciclaje; por tanto, para mejorar esto, se trabajó con los pobladores más propensos a adoptar nuevas culturas, los jóvenes. Se seleccionó a los estudiantes del colegio CONALFA de Chisec, se llevó a cabo la elaboración de una barrera flotante de botellas recicladas y lazos (biobardas) que soporten la basura

flotante que se traslada a través del río Chixoy, previamente se llevó a cabo una presentación acerca del reciclaje, los desechos sólidos y biobardas. Esto sirve como incentivo para motivar a los jóvenes y niños a formar parte de campañas de protección del ambiente y enseñará la importancia de cuidar nuestros recursos ya que ahora ellos son capaces de ver toda la basura colectada por estas biobardas.

4.2 Objetivo General

- A. Apoyar a Heifer International Guatemala en el ámbito de Gestión de Riesgo, Planificación y Ambiente en su proyecto Rise Up II, que se lleva a cabo en el departamento de Alta Verapaz.

4.3 Objetivos Específicos

- A. Fortalecer los conocimientos generales de SIG del personal de Heifer International Guatemala y entidades asociadas a través de capacitaciones presenciales.
- B. Fomentar la cultura de reciclaje en estudiantes del colegio CONALFA de Chisec, Alta Verapaz a través de la implementación de Biobardas en el río Chixoy.

4.4 Servicio 1: Capacitación SIG a técnicos de entidades de desarrollo social

4.4.1 Presentación

Heifer Guatemala posee proyectos los cuales consisten en apoyar a beneficiarios de sus proyectos a incluir sus terrenos en el programa de incentivos forestales del INAB, el apoyo consiste en asistencia técnica, asesoría y el pago del regente forestal que autorizará la documentación, para esto se deben entregar planos estilo croquis de las propiedades, este trabajo lo realizan los técnicos de Heifer a mano, y una forma de facilitar esto es a través de

sistemas de información geográfica. Además de esta finalidad tanto Heifer International como otras entidades podrán sacar provecho a estos conocimientos para poder mapear los puntos que abarcan sus proyectos y llevar un mejor control de estos.

4.4.2 Objetivos

Capacitar en el tema de SIG a personal de entidades enfocadas en desarrollo social y ambiental, que posean proyectos en Alta Verapaz.

4.4.3 Metas

Capacitación de al menos 10 personas que laboren dentro de las entidades enfocadas al beneficio social y ambiental.

4.4.4 Metodología

La metodología implementada está basada en las teorías de andragogía y dinámica de grupo, los grupos de trabajo estarán conformados de 5-10 personas, cada sesión tuvo una duración de 8 horas durante un día en las cuales se hicieron intermedios para almuerzo y refacciones, cada uno de los participantes llevó su computadora personal con su propia versión y licencia del software ArcMap. La metodología principal se llevó a cabo a través de los pasos siguientes:

A. Bienvenida y descripción de la metodología

En este paso se presentaron a los participantes y se dio una breve introducción acerca del tema, se explicaron las reglas y metodologías que se llevarían a cabo durante la capacitación.

B. Presentación de conceptos básicos sobre el tema

En este caso el tema principal fueron los Sistemas de Información Geográfica (SIG). para poder empezar a trabajar con el software seleccionado para la capacitación (ArcGIS) primero se debieron presentar y describir los conceptos principales relacionados a la geografía, cartografía y SIG, esto debido a que muchos de los participantes no poseían ningún conocimiento acerca del tema. Este paso se llevó a cabo describiendo los siguientes puntos principales:

- a. ¿Qué es un sistema de información geográfica?
- b. ¿Qué tipos de datos se manejan en SIG?
- c. Diferencia entre raster y vector.
- d. Definición de pixel.
- e. ¿Qué es un Datum?
- f. ¿Cuál es la forma de la tierra?
- g. ¿Qué es una proyección y que tipos de proyecciones existen?
- h. ¿Qué es un sistema de coordenadas?
- i. ¿Cuáles son los sistemas de coordenadas más importantes?
- j. ¿Qué sistema de coordenadas se utiliza en Guatemala?
- k. ¿Qué es ArcGIS y qué tipo de archivos maneja?

Para presentar y describir estos conceptos se utilizó una cañonera, una computadora, el software Power Point, marcadores y pizarrón.

- a. **Descripción del paquete de software de ArcGIS y herramientas principales de ArcMap:** El paquete de software principal de ArcGIS posee 3 software principales ArcCatalog, ArcScene y ArcMap, cada uno fue descrito junto a sus herramientas principales y funciones.
- b. **Elaboración de un mapa a través de ArcMap:** Este paso se llevó a cabo en conjunto, durante este paso se describieron cada uno de los procesos a llevar a cabo para la elaboración de un mapa con el contenido que ellos generalmente utilizarán en su trabajo de día a día, el resultado fue un mapa estilo croquis de una de las familias beneficiarias del proyecto.

- c. Resolución de dudas y análisis de lo aprendido:** Durante este paso se crearon preguntas generadoras de ideas para discutir lo aprendido y se resolvieron todo tipo de dudas existentes.
- d. Despedida y lista de asistencia:** Al finalizar la capacitación se procedió a agradecer a los participantes y se les solicitó una firma en una lista de asistencia para dar validez a la capacitación.

Al finalizar cada uno de los pasos se hizo una retroalimentación de lo aprendido a partir de preguntas, ejemplos y didácticas de aprendizaje.

4.4.5 Material y equipo

Los materiales utilizados fueron: cañonera, marcadores, borrador de pizarrón, computadora, software Power Point y ArcGIS, lista de asistencia y cuaderno de notas.

4.4.6 Resultados

El 28 de abril se llevó a cabo la primera capacitación, se capacitó un total de 3 personas, entre ellos el director de la Unidad de Gestión Ambiental Municipal (UGAM) y 2 técnicos de campo de la misma división. Entre los resultados más destacados fue que los participantes eran capaces de realizar sus propios mapas para la amplia diversidad de proyectos que posee esta unidad y uno de los participantes decidió realizar su tesis utilizando como herramienta principal ArcGIS, los conocimientos adquiridos beneficiarán a la unidad y a las comunidades beneficiadas por los proyectos que esta unidad posee.

El 1 de agosto se llevó a cabo la segunda capacitación en la cual se capacitó a 7 técnicos de Heifer International Guatemala, durante las siguientes semanas los técnicos continuaron practicando los ejercicios de croquis en ArcGIS realizados en la capacitación, y durante el siguiente mes los técnicos expresaron ser capaces de generar sus propios croquis y tener conocimientos generales del software.

4.4.7 Apéndices

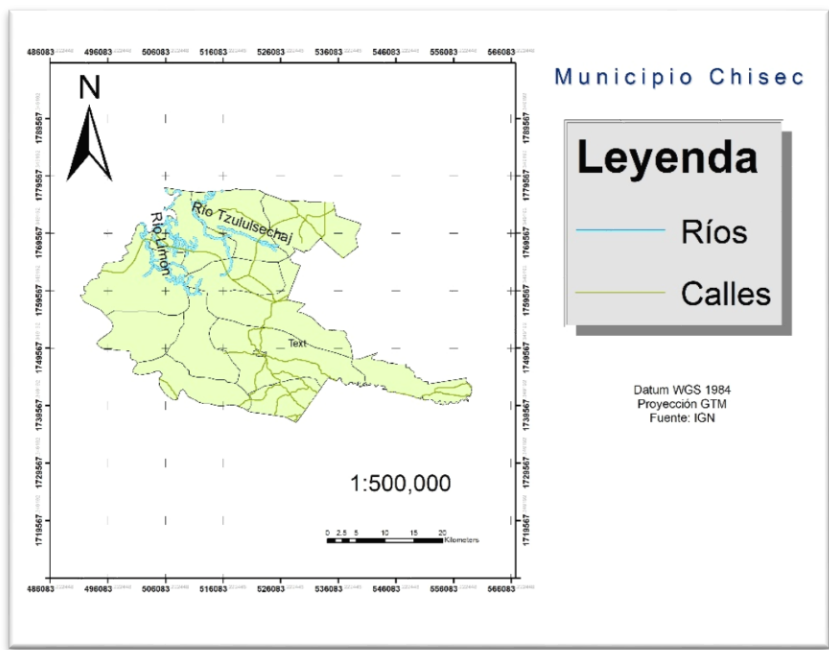


Figura 43A. Mapa realizado durante primera capacitación SIG.

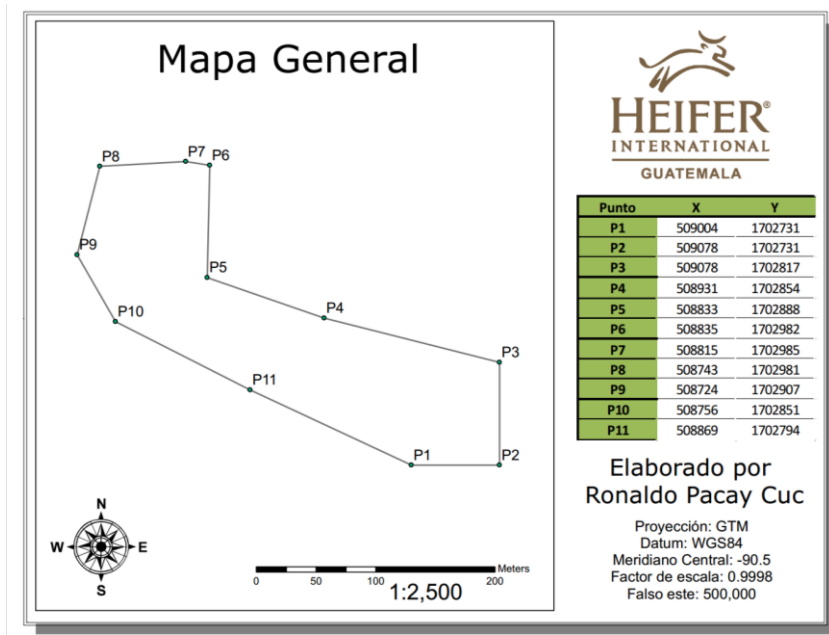


Figura 44A. Croquis realizado por participantes de 2da. capacitación SIG



Figura 45A. Segunda capacitación SIG.

4.5 Servicio 2: Implementación de Bio-bardas en el río Chixoy.

4.5.1 Presentación

El río Chixoy es de gran importancia ecológica y ambiental para la región. Se han mostrado evidencias de una gran cantidad de desechos sólidos que se conducen a través del cauce de este río, por esto fue indispensable implementar alguna medida de reducción de estos desechos en el río. Las bio-bardas como se conocen popularmente, son estructuras que se colocan en la rasante del río y que evitan que los desechos sólidos flotantes circulen a través del cauce, estos desechos son captados por una red de botellas de plástico recicladas unidas entre sí por una red de lazos. La basura atrapada es recolectada y reciclada.

4.5.2 Objetivo

Implementación de dos bio-bardas en el río Chixoy en el tramo de la comunidad Las Mercedes, Chisec, Alta Verapaz.

4.5.3 Metas

Establecer una bio-barda en la comunidad Las Mercedes 2 para recolectar desechos flotantes que viajan a través del río Chixoy y hacerlo con estudiantes de Chisec para crear conciencia ambiental y fomentar el cuidado de los recursos naturales.

4.5.4 Metodología

La metodología se llevó a cabo en forma de taller en el cuál se incluirán a estudiantes por madurez del colegio CONALFA, ellos llevaron a cabo la elaboración de la bio-barda y se contaron con el apoyo técnico de un ingeniero ambiental del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) y técnicos o empleados municipales.

La metodología se llevó a cabo de la siguiente manera:

A. Presentación y descripción de la metodología

En el salón municipal se reunieron a todos los estudiantes, maestros y personas involucradas, se procedió a presentarse individualmente cada uno de ellos y el ingeniero del MARN llevó a cabo una descripción de la metodología a utilizar

B. Elaboración de bio-bardas con integrantes de colegios o escuelas de Chisec

En el área verde del edificio empresarial de Chisec se reunieron a los involucrados y se les explico la metodología para la elaboración de la red que une a las bio-bardas. La metodología consistió en:

- a. hacer la red entrelazando y haciendo nudos
- b. dentro de esta red se colocaron los envases reciclados de 3 litros de agua gaseosa.
- c. Se distribuirá a los estudiantes en grupos para realizar las biobardas en secciones, como el río mide aproximadamente 300 metros de ancho se colocarán 2 biobardas de 100 metros, dejando espacio en medio para que puedan circular lanchas y barcos.

C. Implementación de las bio-bardas

una vez elaboradas las bio-bardas se trasladaron a la comunidad Las Mercedes 2, en este lugar se amarraron a un ancla y con el apoyo de una lancha fueron colocadas en su ubicación definitiva.

D. Recolección de desechos capturados por las bio-bardas

La municipalidad se comprometió a recolectar los desechos capturados periódicamente a partir de la fecha de implementación de la bio-barda, se considera que se obtendrá suficiente basura para poder reciclarse y más adelante hacer una nueva bio-barda.

4.5.5 Material y equipo

- Lazo
- Botellas de plástico vacías
- Navaja
- Ancla (Roca grande)
- Cañonera
- Power point

4.5.6 Apéndices



Figura 46A. Presentación de bio-bardas a estudiantes del colegio CONALFA.



Figura 47A. Elaboración de red de bio-bardas.



Figura 48A. Bio-barda finalizada.

4.6 Servicio 3: Infraestructura del paisaje.

4.6.1 Presentación

Como su nombre lo indica, la infraestructura del paisaje busca proveer estructura al paisaje a través de la utilización de material vegetal vivo, suelo, rocas y materiales que se puedan obtener dentro de la misma región, todo esto para evitar alterar el paisaje natural del entorno y al mismo tiempo protegerlo de algún riesgo potencial. Esta herramienta se torna útil y eficiente en el área de la comunidad San Jorge, Tucurú, Alta Verapaz, en esta comunidad existe una escuela que se encuentra a orillas de un acantilado y que existe riesgo de deslizamientos, esto sería una tragedia ya que la mayor parte del tiempo esta escuela se encuentra completamente ocupada por niños y maestros. Por tanto, se decidió emplear infraestructura del paisaje para evitar el riesgo del deslizamiento sin alterar el entorno natural de la comunidad.

4.6.2 Objetivo

Implementación de 1 proyecto de infraestructura del paisaje para reducción de riesgo a deslizamientos en la comunidad San Jorge, Tucurú, Alta Verapaz.

4.6.3 Metas

- Establecimiento de terrazas para reducir la erosión de los cimientos de la escuela en la comunidad San Jorge, Tucurú, Alta Verapaz.
- Establecimiento de barreras vivas para reducción de escorrentía en cimientos y alrededores de la escuela en la comunidad San Jorge, Tucurú, Alta Verapaz.
- Proporcionar sostén, estabilización, a la estructura del suelo.

4.6.4 Materiales:

- 150 postes de madera de 4" de diámetro y 2.5 m de alto
- 1 rótulo con leyenda para identificar el proyecto
- Alimentación para la comunidad
- Canales de recolección de agua para una longitud de 40m
- 40 ganchos para canales de recolección de agua
- 6 tubos PVC de 4"
- 1 conector de PVC para el canal
- codos 90° de 4"
- Pegamento para tubos PVC

4.6.5 Metodología

Esta obra consiste en la combinación de un "Emparrillado Vivo" revegetado con plantas de Palo de Agua (*Dracaena fragrans*), Carrizo (*Phragmites australis*) y Grama Común (*Cynodon dactylon*) + un "Entramado de Madera Vivo a Doble Pared", para estabilizar el talud de relleno, en la base de la intervención. Con segmentos de 1.5mts x 1.5 mts. Estos deberán ser revegetados con especies como Madre Cacao (*Gliricidia sepium*), Aliso (*Alnus jorullensis*), Escobillo (*Malvastrum coromandelianum*), Carrizo (*Phragmites australis*) y Grama Común (*Cynodon dactylon*). En el talud superior sobre el "Emparrillado Vivo" se pueden utilizar especies vegetales ornamentales adaptadas a la zona.

La implementación de la infraestructura del paisaje se llevó a cabo de la siguiente manera:

- Visitas de campo periódicas a la comunidad para planificación y firma de actas de compromiso con beneficiarios durante los meses de mayo, junio y julio del 2017.
- Solicitud de fondos para compra de insumos y materiales durante julio del 2017.

- Ejecución del proyecto el miércoles 9 de agosto del 2017.

4.6.6 Materiales

- 150 postes de madera de 4" de diámetro y 2.5 m de alto
- 1 rótulo con leyenda para identificar el proyecto
- Alimentación para la comunidad
- Canales de recolección de agua para una longitud de 40m
- 40 ganchos para canales de recolección de agua
- 6 tubos pvc de 4"
- 1 conector de pvc para el canal
- codos 90° de 4"
- Pegamento para tubos PVC

4.6.7 Apéndices



Figura 49A. Visita de campo para infraestructura del paisaje.



Figura 50A. Implementación de infraestructura del paisaje.