

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS Y AMBIENTALES –IIA-



TRABAJO DE GRADUACIÓN

DETERMINACIÓN DE ZONAS SUSCEPTIBLES A INUNDACIONES EN LA PARTE BAJA
DE LA CUENCA DEL RÍO NAHUALATE

FRANCISCO GUILLERMO PELLECCER AGUIRRE

GUATEMALA, MAYO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS Y AMBIENTALES –IIA-

DETERMINACIÓN DE ZONAS SUSCEPTIBLES A INUNDACIONES EN LA PARTE BAJA
DE LA CUENCA DEL RÍO NAHUALATE

TRABAJO DE GRADUACIÓN

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

POR

FRANCISCO GUILLERMO PELLECCER AGUIRRE

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERO AGRÓNOMO

EN

RECURSOS NATURALES RENOVABLES

EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO

GUATEMALA, MAYO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

RECTOR

Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Ing. Agr. Mario Antonio Godínez López
VOCAL PRIMERO	Dr. Tomás Antonio Padilla Cámara
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. M.A. César Linneo García Contreras
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. M.Sc. Erberto Raúl Alfaro Ortiz
VOCAL CUARTO	P. Agr. Walfer Yasmany Godoy Santos
VOCAL QUINTO	P. Agr. Cristian Alexander Méndez López
SECRETARIO	Ing. Agr. Juan Alberto Herrera Ardón

GUATEMALA, MAYO DE 2017

Guatemala, mayo de 2017

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

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de Graduación DETERMINACIÓN DE ZONAS SUSCEPTIBLES A INUNDACIONES EN LA PARTE BAJA DE LA CUENCA DEL RÍO NAHUALATE.

Como requisito previo a optar el 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”

Francisco Guillermo Pellecer Aguirre

ACTO QUE DEDICO:

- A DIOS** Por haberme permitido alcanzar esta meta, por poner los sueños en mi corazón y darme las herramientas para poder alcanzarlos, por su infinita bondad y amor.
- A MI PADRES** Francisco Pellecer Jurado y Dalila Aguirre Castillo por su amor, trabajo y sacrificio, los ejemplos de perseverancia y constancia que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante.
- A MI FAMILIA** A mis hermanos, tíos, primos y demás familia y especialmente a mis abuelitas: Carmen Jurado (QEPD) y Marta Castillo (QEPD), por ser parte fundamental en los logros alcanzados en cada etapa de mi vida.
- A MI NOVIA** Keily Juliana Per Santizo, por regalarme esa hermosa sonrisa desde el día en el que la conocí, gracias por brindarme tan bella amistad, amor, cariño y apoyo incondicional.
- A LOS AMIGOS** Que son la familia que uno escoge, para todas aquellas personas que han dejado gran huella a lo largo de la vida.
- A LOS COMPANEROS** De los salones de clases del colegio, universidad, de equipos y de los grupos Amor y fe y Aprendiendo a vivir, este éxito es gracias y para cada uno de ustedes.
- A MIS MAESTROS** Y a todas aquellas personas que han sido parte fundamental de mi formación personal, y han sido un ejemplo de superación.

A LA ANTIGUA GUATEMALA Patrimonio cultural de la humanidad.

A JOCOTENANGO Hermoso pueblo que me ha visto crecer.

A GUATEMALA El país más hermoso del mundo.

AGRADECIMIENTOS

AGRADEZCO AL INSTITUTO PRIVADO DE INVESTIGACIÓN SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO –ICC

Por brindarme la oportunidad de desarrollar la última etapa de mi formación académica, e infundirme los más altos estándares.

A LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

Por brindarme una excelente formación académica y profesional con valores, por enseñarme a amar las raíces de mi país.

A LA ASOCIACIÓN DE AMIGOS CUAQUEROS

Por el apoyo y ayuda recibida a lo largo de mi formación universitaria.

AL LICENCIADO SERGIO GIL VILLALBA

Por la amistad y por el compañerismo, mostrado a lo largo de esta etapa de formación, por la invaluable contribución y enseñanza en la elaboración de este trabajo.

Al Dr. Héctor Guinea Barrientos, Ing. Agr. Estuardo Lira Prera, Ing. Víctor Toledo Reyes, Ing. Agr. M. Sc. David Juárez Quim, Ing. Agr. Daniel Dubón López por su valiosa contribución y asesoría en la elaboración de este documento.

Al Ing. Agr. M. Sc. Boris Augusto Méndez Paiz por la supervisión y acompañamiento en la etapa del ejercicio profesional supervisado.

A todas aquellas personas que siempre me brindaron su apoyo en la elaboración y corrección del presente trabajo de graduación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Página

CAPÍTULO I: DIAGNÓSTICO SOBRE EL PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN EN CLIMA E HIDROLOGIA DEL INSTITUTO PRIVADO DE INVESTIGACIÓN SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO..... 1

1.	INTRODUCCIÓN	3
2.	MARCO REFERENCIAL	4
3.	OBJETIVOS	5
3.1	OBJETIVO GENERAL.....	5
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
4.	METODOLOGÍA.....	6
4.1	FASE INICIAL DE GABINETE	6
4.2	FASE DE CAMPO	6
4.3	CLASIFICACIÓN DE ACTIVIDADES	7
5.	RESULTADOS	8
5.1	PLAN ESTRATÉGICO DE ICC	8
5.1.1	VISIÓN	8
5.1.2	MISIÓN.....	8
5.1.3	OBJETIVO GENERAL	8
5.1.4	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
5.1.5	LÍNEAS DE TRABAJO	9
5.2	ESTRUCTURA ORGANIZATIVA.....	10
5.3	PROGRAMAS DEL INSTITUTO PRIVADO DE INVESTIGACIÓN SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO	11
5.3.1	INVESTIGACIÓN EN CLIMA E HIDROLOGÍA.....	11
5.3.2	SOSTENIBILIDAD DE SISTEMAS PRODUCTIVOS.....	11
5.3.3	MANEJO INTEGRADO DE CUENCAS	11
5.3.4	GESTIÓN DE RIESGO	11
5.3.5	PROGRAMA DE DESARROLLO DE CAPACIDADES Y DIVULGACIÓN.....	12
5.4	PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN EN CLIMA E HIDROLOGÍA	12
5.4.1	CLIMATOLOGÍA.....	12
5.4.2	HIDROLOGÍA SUPERFICIAL.....	13
5.4.3	HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA	13
5.5	LISTADO DE LOS ESTUDIOS REALIZADOS EN EL PROGRAMA DE CLIMA E HIDROLOGÍA HASTA EL 2014	17
5.6	ANÁLISIS FODA DEL PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN EN CLIMA E HIDROLOGÍA.....	21

6.	CONCLUSIONES	22
7.	BIBLIOGRAFÍA	23

CAPÍTULO II: DETERMINACIÓN DE ZONAS SUSCEPTIBLES A INUNDACIÓN EN LA PARTE BAJA DE LA CUENCA DEL RÍO NAHUALATE..... **25**

1.	INTRODUCCIÓN	27
2.	MARCO TEÓRICO	29
2.1	MARCO CONCEPTUAL	29
2.1.1	GENERALIDADES	29
2.1.2	CARACTERÍSTICAS BIOFÍSICAS Y TOPOGRÁFICAS DE LA CUENCA	29
2.1.3	MODELADO HIDROLÓGICO	30
2.1.4	ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN	31
2.1.5	MODELADO HIDRÁULICO	36
2.2	MARCO REFERENCIAL.....	38
2.2.1	CUENCA DEL RÍO NAHUALATE	38
2.2.2	DESCRIPCIÓN DE LAS ÁREAS SUSCEPTIBLES A INUNDACIONES	45
3.	OBJETIVOS	46
3.1	OBJETIVO GENERAL	46
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	46
4.	METODOLOGÍA	47
4.1	ESTUDIO DE PRECIPITACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO NAHUALATE	47
4.2	NÚMERO DE CURVA.....	58
4.2.1	TIPO DEL SUELO	58
4.2.2	USO DE LA TIERRA	60
4.3	OBTENCIÓN DE CAUDALES POR EL MÉTODO LLUVIA-ESCORRENTÍA.....	63
4.3.1	TIEMPO DE RETARDO	64
4.3.2	PROPAGACIÓN DE LA CRECIDA	67
4.3.3	OBTENCIÓN DE CAUDALES POR EL MÉTODO DE ESTIMACIÓN DE CRECIDAS	68
4.4	ESTUDIO HIDRÁULICO	70
4.5	DETERMINACIÓN DE ZONAS INUNDABLES	73
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	74
5.1	ANÁLISIS DE LA INTENSIDAD DE PRECIPITACIONES.....	74
5.2	DISEÑO DE HIETOGRAMAS	75
5.3	ESTUDIO HIDROLÓGICO.....	78
5.4	ESTUDIO HIDRÁULICO	81

	Página
5.5	DETERMINACIÓN DE ZONAS DE INUNDACIÓN.....87
5.5.1	ZONAS INUNDABLES POR EVENTOS DE PRECIPITACIÓN CONVECTIVOS (PERIODO DE RETORNO 2 AÑOS)88
5.5.2	ZONAS INUNDABLES POR EVENTOS DE PRECIPITACIÓN OCASIONADOS POR EVENTOS DE PRECIPITACIÓN ASOCIADOS A FENÓMENOS EXTREMOS (PERIODO DE RETORNO 50 AÑOS)90
5.6	LIMITACIONES DEL ESTUDIO93
6.	CONCLUSIONES 94
7.	RECOMENDACIONES 96
8.	BIBLIOGRAFÍA 98
9.	ÁNEXOS100

CAPÍTULO III: SERVICIOS..... 117

1.	INTRODUCCIÓN119
2.	SERVICIO I: MANUAL DE DOCUMENTACIÓN DEL SISTEMA METEOROLÓGICO DEL INSTITUTO PRIVADO DE INVESTIGACIÓN SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO.....121
2.1	OBJETIVOS..... 121
2.1.1	OBJETIVO GENERAL 121
2.1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS 121
2.2	METODOLOGÍA 122
2.3	RESULTADOS..... 123
2.3.1	TIPOS DE ESTACIONES..... 123
2.3.2	COMPONENTES DE TRANSMISIÓN DE DATOS..... 127
2.3.3	SENSORES 131
2.3.4	MANTENIMIENTO DE LOS COMPONENTES DE LAS ESTACIONES..... 135
2.3.5	MANUAL DE SOLUCIÓN DE PROBLEMAS..... 143
2.4	CONCLUSIONES 146
2.5	BIBLIOGRAFÍA 147
2.6	ANEXOS..... 148
3.	SERVICIO II: CARACTERIZACIÓN DE LAS BOCABARRAS DE LA VERTIENTE DEL PACÍFICO DE GUATEMALA.....149
3.1	OBJETIVOS..... 149
3.1.1	OBJETIVO GENERAL 149
3.1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS 149
3.2	METODOLOGÍA 150
3.2.1	INVENTARIO PARA CONOCER EL NÚMERO BOCABARRAS DE LA VERTIENTE DEL PACÍFICO... 150

	Página
3.2.2	DESCRIPCIÓN DE LAS BOCABARRAS QUE SE ENCUENTRAN DENTRO DE LA VERTIENTE DEL PACIFICO150
3.2.3	DETERMINACIÓN DE LAS VARIACIONES DE LA MORFOLOGÍA Y DESPLAZAMIENTO DURANTE EL PERIODO DE 1,999 Y EL 2,015 151
3.3	RESULTADOS152
3.3.1	CUENCA RÍO SUCHIATE153
3.3.2	CUENCA RÍO NARANJO153
3.3.3	CUENCA RÍO OCOSITO154
3.3.4	CUENCA RÍO SAMALÁ155
3.3.5	CUENCA DEL RÍO SIS-ICÁN156
3.3.6	CUENCA RÍO NAHUALATE157
3.3.7	CUENCA RÍO MADRE VIEJA157
3.3.8	CUENCA RÍO COYOLATE158
3.3.9	CUENCA RÍO ACOMÉ159
3.3.10	CUENCA RÍO ACHÍGUATE160
3.3.11	CUENCA RÍO MARÍA LINDA161
3.3.12	CUENCA RÍO LOS ESCLAVOS162
3.3.13	CUENCA RÍO PAZ163
3.3.14	LIMITACIONES DEL ESTUDIO168
3.4	CONCLUSIONES169
3.5	RECOMENDACIONES170
3.6	BIBLIOGRAFÍA171
3.7	ANEXOS172

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
CUADRO 1. PORCENTAJE DE TRABAJO CORRESPONDIENTE AL PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN EN CLIMA E HIDROLOGÍA	16
CUADRO 2. MATRIZ DE DIAGRAMA FODA	21
CUADRO 3. PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE LA CUENCA NAHUALATE OBTENIDOS A PARTIR DEL MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL.....	39
CUADRO 4. DIVISIÓN ADMINISTRATIVA DE LA CUENCA DEL RÍO NAHUALATE.....	41
CUADRO 5. USO DE LA TIERRA CUENCA RÍO NAHUALATE	42
CUADRO 6. ESTACIONES CON REGISTRO DE INTENSIDAD DE PRECIPITACIONES DISPONIBLES EN LA ZONA DE ESTUDIO.....	47
CUADRO 7. VALORES DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA PARA DIFERENTES DURACIONES DE LOS EVENTOS SELECCIONADOS PARA EL AÑO 2010. ESTACIÓN: LABOR OVALLE.....	48
CUADRO 8. VALORES DE LA RELACIÓN PD/P24 PARA LOS EVENTOS DEL AÑO 2010, CON DURACIÓN MAYOR A 6 H.	49
CUADRO 9. VALORES DE LA RELACIÓN PD/P24 PARA DIFERENTES DURACIONES. ESTACIÓN: LABOR OVALLE.....	50
CUADRO 10. VALORES DE LA FRECUENCIA DE NO EXCEDENCIA "F(X≤X) Y PERIODOS DE RETORNO "TDIARIAS. ESTACIÓN: LABOR OVALLE.....	51
CUADRO 11. VALORES DE LA RELACIÓN PD/P24 PARA LAS DIFERENTES DURACIONES Y PERIODOS DE RETORNO ESCOGIDOS. ESTACIÓN: LABOR OVALLE.....	52
CUADRO 12. VALORES DE LA RELACIÓN PD/P24 ORDENADOS EN FORMA CRECIENTE PARA CADA LAS DIFERENTES DURACIONES. ESTACIÓN: LABOR OVALLE.....	52
CUADRO 13. VALORES DE LOS COEFICIENTES A Y B PARA LOS DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO "T". ESTACIÓN: LABOR OVALLE.....	54
CUADRO 14. SERIES DE SUELO DENTRO DE LA CUENCA DEL RÍO NAHUALATE	59
CUADRO 15. CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN DEL TIPO DE SUELO SEGÚN EL NRCS.....	60
CUADRO 16. CLASIFICACIÓN DE LOS USOS DE LA TIERRA SEGÚN LOS CRITERIOS DEL NRCS Y SWAT	61
CUADRO 17. EJEMPLO DE OBTENCIÓN DE NÚMERO DE CURVA (LAS COLUMNAS DE LOS GRUPOS A, B, C Y D, SE EXPRESAN EN PORCENTAJE).....	62
CUADRO 18. DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE RETARDO MEDIANTE EL PROMEDIO DE TRES MÉTODOS.	66
CUADRO 19. EJEMPLO DE LOS PARÁMETROS CALCULADOS PARA LOS TRAMOS SEGÚN PARA LA METODOLOGÍA MUSKINGUM-CUNGE.....	67
CUADRO 20. ECUACIONES GENERADAS A PARTIR DE LA METODOLOGÍA PD/P24 PROPUESTA POR MENDOZA	74
CUADRO 21. EJEMPLO DEL CÁLCULO DE HIETOGRAMA DE DISEÑO DE LA ESTACIÓN CHOJOJÁ POR MÉTODO DE BLOQUES ALTERNOS PARA UN PERÍODO DE RETORNO DE 5 AÑOS.....	76
CUADRO 22. CAUDALES MÁXIMOS ESTIMADOS (EN M3/S) PARA LOS PERÍODOS DE RETORNO DE 2, 5, 10, 25 Y 50 AÑOS.....	79
CUADRO 23. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL MÉTODO REGIONAL CON EL MODELO LLUVIA-ESCORRENTÍA. TODOS LOS VALORES DEL MÉTODO REGIONAL CORRESPONDEN AL MÉTODO DE CURVA DE FRECUENCIA ENVOLVENTE.....	80
CUADRO 24. CENTRO POBLADOS AFECTADOS POR INUNDACIONES PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 2 AÑOS.....	89
CUADRO 25. CENTRO POBLADOS AFECTADOS POR INUNDACIONES PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS.....	91
CUADRO 26A. DIGITALIZACIÓN DE LOS REGISTROS PLUVIOGRAFICOS DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA LABOR OVALLE.....	100
CUADRO 27A. DIGITALIZACIÓN DE LOS REGISTROS PLUVIOGRÁFICOS DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA EL ASINTAL RETAHULEU.....	102
CUADRO 28A. DIGITALIZACIÓN DE LOS REGISTROS PLUVIOGRÁFICOS DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA CAMANTULUL.....	107
CUADRO 29A. DIGITALIZACIÓN DE LOS REGISTROS PLUVIOGRÁFICOS DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA PUERTO SAN JOSÉ.....	109
CUADRO 30. UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS DEL ICC.....	125
CUADRO 31. ÍNDICES DE SINUOSIDAD.....	150
CUADRO 32. DINÁMICA DEL DESPLAZAMIENTO DE LAS BOCABARRAS.....	164

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1. MAPA DE UBICACIÓN OFICINAS ICC.	4
FIGURA 2. LÍNEAS DE ABAJO ICC.	9
FIGURA 3. ORGANIGRAMA ICC.	10
FIGURA 4. TEMÁTICAS DE INVESTIGACIÓN DEL PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN EN CLIMA E HIDROLOGÍA.	14
FIGURA 5. ORGANIGRAMA DEL PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN EN CLIMA E HIDROLOGÍA.	14
FIGURA 6. LÍNEAS DE TRABAJO PLAN OPERATIVO ANUAL 2011.	15
FIGURA 7. ESQUEMATIZACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO LLUVIA-ESCORRENTÍA.	31
FIGURA 8. IMAGEN CORRESPONDIENTE A UN PLUVIÓGRAFO. NÓTESE COMO LA PLUMA REGISTRA EL INCREMENTO DE LA PRECIPITACIÓN A LO LARGO DEL TIEMPO (INTENSIDAD DE LLUVIA).	32
FIGURA 9. UBICACIÓN DE LA CUENCA DEL RIO NAHUALATE.	38
FIGURA 10. PERFIL LONGITUDINAL DEL CAUCE DEL RÍO NAHUALATE.	40
FIGURA 11. MAPA DEL USO DEL SUELO.	43
FIGURA 12. RED HÍDRICA DENTRO DE LA CUENCA RÍO NAHUALATE.	44
FIGURA 13. CARTOGRAFÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO, PARTE BAJA CUENCA RÍO NAHUALATE.	45
FIGURA 14. GRÁFICA DE LOS VALORES OBSERVADOS Y CALCULADOS MEDIANTE LA ECUACIÓN ADOPTADA PARA EL PERIODO DE RETORNO DE 136 AÑOS.	53
FIGURA 15. GRÁFICA DE LOS VALORES OBSERVADOS Y CALCULADOS MEDIANTE LA ECUACIÓN ADOPTADA.	55
FIGURA 16. ÁREA DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES LABOR OVALLE. CHOJOJÁ. SANTIAGO ATITLÁN. PEÑA PLATA. TIQUISATE. SAN ANTONIO EL VALLE, A PARTIR DE POLÍGONOS DE THIESSEN.	57
FIGURA 17. SERIES DE SUELO PRESENTES EN LA CUENCA DEL RÍO NAHUALATE.	58
FIGURA 18. DISTRIBUCIÓN DEL PARÁMETRO DE NÚMERO DE CURVA, EN LA CUENCA DEL RÍO NAHUALATE.	63
FIGURA 19. DIVISIÓN DE LA CUENCA NAHUALATE EN SUBCUENCAS PARA LA GENERACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO.	64
FIGURA 20. REGIONES HIDROLÓGICAS PARA LA ESTIMACIÓN DE CRECIDAS EN GUATEMALA.	69
FIGURA 21. SECCIONES GENERADAS A PARTIR DEL MODELO DE ELEVACIONES DEL TERRENO.	70
FIGURA 22. VISTA DE LA GEOMETRÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO, EN EL PROGRAMA HEC-RAS.	71
FIGURA 23. VISTA DE PERFIL DE UNA SECCIÓN DE LA GEOMETRÍA DEL RÍO NAHUALATE.	72
FIGURA 24. TOPOGRAFÍA DEL TERRENO OBTENIDA A PARTIR DEL MED, PARA LA DELIMITACIÓN DE ZONAS INUNDABLES.	73
FIGURA 25. HIETOGRAMA DE DISEÑO PARA UN PERIODO DE 5 AÑOS PARA LA ESTACIÓN DE CHOJOJÁ.	77
FIGURA 26. HIDROGRAMA GENERADO EN EL MODELO HIDROLÓGICO PARA EL PUNTO DE ENTRADA DE LA ZONA DE ESTUDIO, CORRESPONDIENTE A UN PERIODO DE RETORNO DE 2 AÑOS. NÓTESE QUE ESTE HIDROGRAMA ES LA SUMA DE TODOS LOS HIDROGRAMAS PROCEDENTES DE LAS SUBCUENCAS.	78
FIGURA 27. HIDROGRAMA GENERADO EN EL MODELO HIDROLÓGICO PARA EL PUNTO DE ENTRADA DE LA ZONA DE ESTUDIO, CORRESPONDIENTE A UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS.	79
FIGURA 28. VISTA DE PLANTA DE SIMULACIÓN HIDRÁULICA DEL RÍO NAHUALATE DENTRO DE LA ZONA DE ESTUDIO (T: 2 AÑOS).	81
FIGURA 29. PERFIL DE UNA SECCIÓN DEL RÍO (T: 2 AÑOS).	82
FIGURA 30. VISTA DE PLANTA DE SIMULACIÓN HIDRÁULICA DEL RÍO NAHUALATE DENTRO DE LA ZONA DE ESTUDIO (T: 5 AÑOS).	82
FIGURA 31. PERFIL DE UNA SECCIÓN DEL RÍO (T: 5 AÑOS).	83
FIGURA 32. VISTA DE PLANTA DE SIMULACIÓN HIDRÁULICA DEL RÍO NAHUALATE EN LA ZONA DE ESTUDIO (T: 10 AÑOS).	83
FIGURA 33. PERFIL DE UNA SECCIÓN DEL RÍO (T: 10 AÑOS).	84
FIGURA 34. VISTA DE PLANTA DE SIMULACIÓN HIDRÁULICA DEL RÍO NAHUALATE EN LA ZONA DE ESTUDIO (T: 25 AÑOS).	84
FIGURA 35. PERFIL DE UNA SECCIÓN DEL RÍO (T: 25 AÑOS).	85
FIGURA 36. VISTA DE PLANTA DE SIMULACIÓN HIDRÁULICA DEL RÍO NAHUALATE EN LA ZONA DE ESTUDIO (T: 50 AÑOS).	85
FIGURA 37. PERFIL DE UNA SECCIÓN DEL RÍO (T: 50 AÑOS).	86

FIGURA 38. CENTROS POBLADOS Y SUPERFICIE INUNDABLE PARA EL PERIODO DE RETORNO DE 2 AÑOS.	88
FIGURA 39. CENTROS POBLADOS Y SUPERFICIE INUNDABLE PARA EL PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS	90
FIGURA 40. ZONAS SUSCEPTIBLES A INUNDACIONES EN LA PARTE BAJA DE LA CUENCA DEL RÍO NAHUALATE	92
FIGURA 41A. HIETOGRAMAS DE DISEÑO PARA CADA UNA DE LAS ESTACIONES PARA EL PERIODO DE RETORNO DE 2 AÑOS GENERADOS A PARTIR DE LAS ECUACIONES GENERADAS POR EL MÉTODO DE MENDOZA.	111
FIGURA 42A. HIETOGRAMAS DE DISEÑO PARA CADA UNA DE LAS ESTACIONES PARA EL PERIODO DE RETORNO DE 5 AÑOS GENERADOS A PARTIR DE LAS ECUACIONES GENERADAS POR EL MÉTODO DE MENDOZA.	111
FIGURA 43A. HIETOGRAMAS DE DISEÑO PARA CADA UNA DE LAS ESTACIONES PARA EL PERIODO DE RETORNO DE 10 AÑOS GENERADOS A PARTIR DE LAS ECUACIONES GENERADAS POR EL MÉTODO DE MENDOZA.....	112
FIGURA 44A. HIETOGRAMAS DE DISEÑO PARA CADA UNA DE LAS ESTACIONES PARA EL PERIODO DE RETORNO DE 25 AÑOS GENERADOS A PARTIR DE LAS ECUACIONES GENERADAS POR EL MÉTODO DE MENDOZA.....	113
FIGURA 45A. HIETOGRAMAS DE DISEÑO PARA CADA UNA DE LAS ESTACIONES PARA EL PERIODO DE RETORNO DE AÑOS GENERADOS A PARTIR DE LAS ECUACIONES GENERADAS POR EL MÉTODO DE MENDOZA.	113
FIGURA 46A. HIDROGRAMA GENERADO EN EL MODELO HIDROLÓGICO PARA EL PUNTO DE ENTRADA DE LA ZONA DE ESTUDIO, CORRESPONDIENTE A UN PERIODO DE RETORNO DE 2 AÑOS.	113
FIGURA 47A. HIDROGRAMA GENERADO EN EL MODELO HIDROLÓGICO PARA EL PUNTO DE ENTRADA DE LA ZONA DE ESTUDIO, CORRESPONDIENTE A UN PERIODO DE RETORNO DE 5 AÑOS.	114
FIGURA 48A. HIDROGRAMA GENERADO EN EL MODELO HIDROLÓGICO PARA EL PUNTO DE ENTRADA DE LA ZONA DE ESTUDIO, CORRESPONDIENTE A UN PERIODO DE RETORNO DE 10 AÑOS	114
FIGURA 49A. HIDROGRAMA GENERADO EN EL MODELO HIDROLÓGICO PARA EL PUNTO DE ENTRADA DE LA ZONA DE ESTUDIO, CORRESPONDIENTE A UN PERIODO DE RETORNO DE 25 AÑOS.....	115
FIGURA 50A. HIDROGRAMA GENERADO EN EL MODELO HIDROLÓGICO PARA EL PUNTO DE ENTRADA DE LA ZONA DE ESTUDIO, CORRESPONDIENTE A UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS	115
FIGURA 51. DIAGRAMA DE TRANSMISIÓN DE DATOS EN LAS ESTACIONES UHF Y GSM/GPRS.....	124
FIGURA 52. MAPA LOCALIZACIÓN DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS.	126
FIGURA 53. A850 TELEMETRY GATEWAY	127
FIGURA 54. A440 WIRELESS MODEM.....	128
FIGURA 55. A751 ADDRRELAY UHF	129
FIGURA 56. A753 GSM7GPRS	130
FIGURA 57. ANEMÓMETRO	131
FIGURA 58. HUMECTÓMETRO	132
FIGURA 59. PIRÁNOMETRO	132
FIGURA 60. PLUVIÓMETRO	133
FIGURA 61. A) ESCUDO PROTECTOR, B) SENSORES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD	134
FIGURA 62. VELETA.....	135
FIGURA 63. A) ANTENA DEL RTU, B) PRESENCIA DE CORROSIÓN EN LA CUBIERTA DEL RTU C) ROSCA CONECTORA DE LA ANTENA.....	136
FIGURA 64. PARTE DE LOS CONECTORES	137
FIGURA 65. CABLE CORTADO POR ANIMAL	138
FIGURA 66. PROCEDIMIENTO PARA RETIRAR EL EMBUDO	138
FIGURA 67. PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA DEL EMBUDO	139
FIGURA 68. A) INTERIOR DE PLUVIÓMETRO CON RESIDUOS DE ARENA, B) LIMPIEZA DEL INTERIOR DEL PLUVIÓMETRO	139
FIGURA 69. LIMPIEZA DEL HUMECTÓMETRO.....	140

	Página
FIGURA 70. LIMPIEZA DEL ESCUDO PROTECTOR	141
FIGURA 71. A) UBICACIÓN DE TORNILLO, B) PROCESO PARA RETIRAR EL SENSOR TR1	141
FIGURA 72. PROCEDIMIENTO PARA LIMPIAR EL CRISTAL DEL PIRANÓMETRO	142
FIGURA 73. PROCEDIMIENTO PARA CAMBIAR LA HORA DEL A850 TELEMETRY GATEWAY	144
FIGURA 74. INTERFAZ PARA EL CAMBIO DE LA HORA	144
FIGURA 75. INTERFAZ PARA LA ASIGNACIÓN DE UN PUERTO DE ENTRADA DE DATOS DEL SERVIDOR DE CENGICAÑA	145
FIGURA 76. EJEMPLO DE OBSTÁCULOS QUE INTERFIEREN LAS SEÑALES UHF	145
FIGURA 77. FORMULARIO PARA LA INSPECCIÓN DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS	148
FIGURA 78. LOCALIZACIÓN DE LAS BOCABARRAS DE LA VERTIENTE DEL PACÍFICO	152
FIGURA 79. DESPLAZAMIENTO DE LAS BOCABARRAS DE LA VERTIENTE DEL PACIFICO	167
FIGURA 80A. BOCABARRA RÍO SUCHIATE	173
FIGURA 81A. BOCABARRA RÍO NARANJO	173
FIGURA 82A. BOCABARRA ESTUARIO EL BEBEDERO	174
FIGURA 83A. BOCABARRA RÍO JESÚS	174
FIGURA 84A. BOCABARRA ESTUARIO ACAPÁN	175
FIGURA 85A. BOCABARRA BRAZO DERECHO RÍO SAMALÁ	175
FIGURA 86A. BOCABARRA BRAZO IZQUIERDO RÍO SAMALÁ	176
FIGURA 87A. BOCABARRA ESTUARIO DE MATEO	176
FIGURA 88A. BOCABARRA ESTUARIO TULATE	177
FIGURA 89A. BOCABARRA RÍO ICÁN	177
FIGURA 90A. BOCABARRA RÍO NAHUALATE	178
FIGURA 91A. BOCABARRA ZANJÓN EL MICO Y RÍO DANTO	178
FIGURA 92A. BOCABARRA RÍO MADRE VIEJA	179
FIGURA 93A. BOCABARRA LAGUNETA LAS PESCAS	179
FIGURA 94A. BOCABARRA RÍO COYOLATE	180
FIGURA 95A. BOCABARRA RÍO ACOMÉ	180
FIGURA 96A. BOCABARRA RÍO ACHÍGUATE	181
FIGURA 97A. BOCABARRA CANALES ALEDAÑOS AL PUERTO SAN JOSÉ	181
FIGURA 98A. BOCABARRA CANAL DE CHIQUIMULILLA-RÍO MARÍA LINDA	182
FIGURA 99A. BOCABARRA RÍO MARÍA LINDA	182
FIGURA 100A. BOCABARRA RÍO LOS ESCLAVOS (EL DORMIDO)	183
FIGURA 101A. BOCABARRA RÍO LOS ESCLAVOS (EL CHAPETÓN)	183
FIGURA 102A. BOCABARRA RÍO NUEVO	184
FIGURA 103A. BARRA LA GABINA	184

RESUMEN GENERAL

DETERMINACIÓN DE ZONAS SUSCEPTIBLES A INUNDACIONES EN LA PARTE BAJA DE LA CUENCA DEL RÍO NAHUALATE

El siguiente trabajo de graduación se realizó como parte del Ejercicio Profesional Supervisado de Agronomía –EPSA- en el Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático –ICC-, ubicado en Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala, C.A.

El Capítulo I se enfoca en la realización del análisis de la creación y la estructura organizativa del Instituto de Investigación sobre Cambio Climático, asimismo detalla la estructura del programa de Investigación de Clima e Hidrología, para determinar sus objetivos dentro de la institución e identificar vacíos de información en los cuales se requiera un seguimiento y se puedan trabajar propuestas de investigación y servicios.

En el Capítulo II se presenta la investigación realizada a un nivel de reconocimiento para determinar las zonas de inundación de la cuenca del río Nahualate, con el fin de generar información que pueda ser un insumo para prever el efecto de las inundaciones provocadas por las lluvias de la región y las lluvias asociadas a fenómenos meteorológicos.

Para la realización de este estudio se recopilaron registros de las precipitaciones más intensas de la región, los cuales fueron utilizados como insumos para el diseño de un modelo hidrológico, el cual permitió estimar crecidas originadas por tormentas de diseño asociadas a los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25 y 50 años, y mediante la modelación hidráulica, conocer la respuesta ante estos eventos en el tramo final del río.

Los resultados de esta investigación, indican que los eventos de precipitación convectivos, las cuales presentan intensidades elevadas y periodos de duración cortos, característicos de la época lluviosa del país, no desencadenan inundaciones por el desborde del río Nahualate en la parte baja de la cuenca. Los eventos asociados a fenómenos extremos como ciclones, tormentas y depresiones tropicales, los cuales tienen intensidades de

precipitaciones bajas pero que se extienden a lo largo de muchas horas o incluso días, provocan el desborde del río Nahualate y zonas inundables.

En el Capítulo III, se da a conocer los resultados de los servicios prestados en el programa, los cuales buscaban enriquecer y mejorar los procesos de la información meteorológica y de los recursos hídricos.



CAPÍTULO I

DIAGNÓSTICO SOBRE EL PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN EN CLIMA E
HIDROLOGIA DEL INSTITUTO PRIVADO DE INVESTIGACIÓN SOBRE CAMBIO
CLIMÁTICO

1. INTRODUCCIÓN

El Programa de Ejercicio Profesional Supervisado de la Facultad de Agronomía –EPSA-, es la última etapa de formación profesional del estudiante y consiste en conjunto de actividades académicas en el campo de la docencia, la investigación, la extensión y el servicio (EPSA, 2005).

El diagnóstico es la primera fase, en la cual se busca recopilar y analizar información de fuentes primarias y secundarias, para describir el entorno y los procesos de la institución, por lo que constituye una herramienta para la adaptación del estudiante dentro de la institución y para realizar planes de investigación y de servicios que sean acordes a los requerimientos de la misma.

El Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático –ICC-, es una institución fundada con el objetivo de que contribuya con acciones que desarrollen procesos adecuados de mitigación y adaptación al cambio climático, en las comunidades, procesos productivos e infraestructura de la región. El ICC se encuentra conformado por cinco diferentes programas: Investigación en Clima e hidrología, Sostenibilidad de Sistemas Productivos, Gestión de Riesgo de Desastres, Desarrollo de Capacidades y Divulgación y Manejo Integrado de Cuencas.

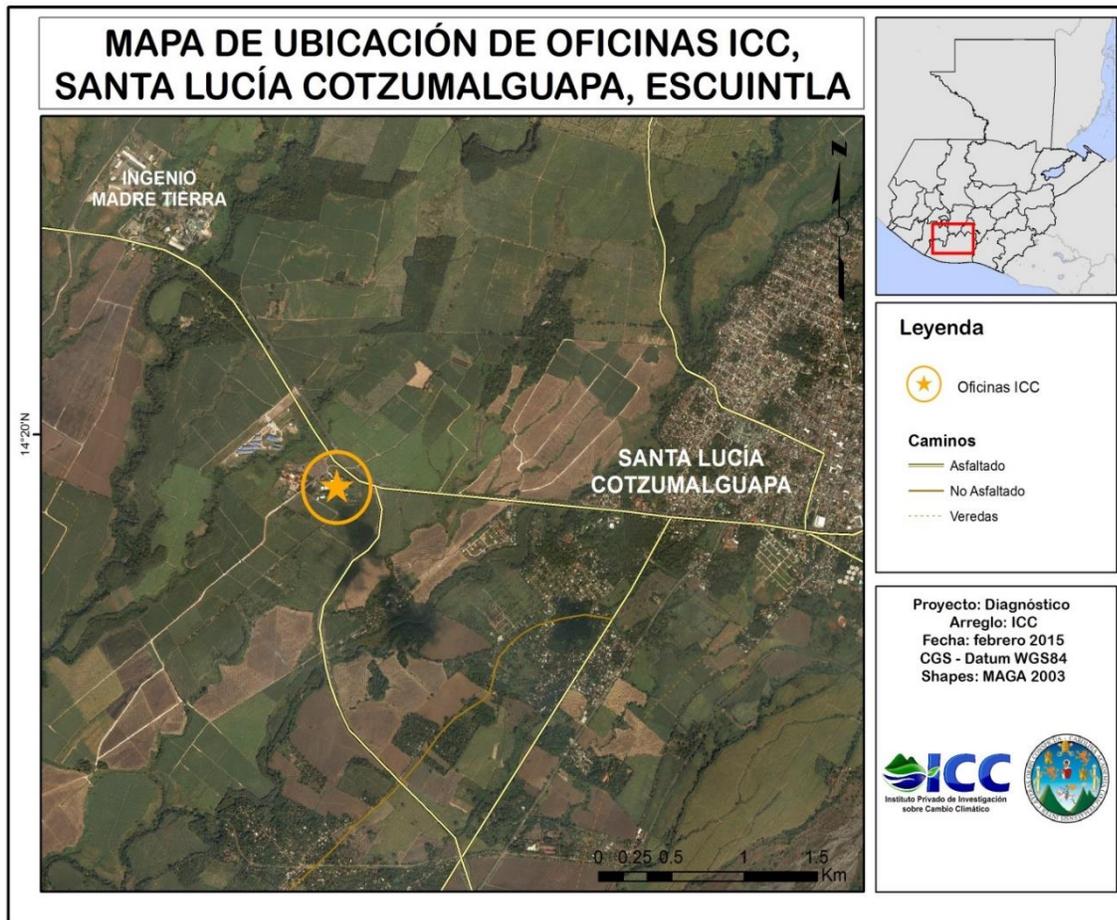
El programa de investigación en Clima e Hidrología fue creado con la finalidad de generar y analizar información para ser utilizada como apoyo en la toma de decisiones relacionadas a los retos presentes y futuros del cambio climático.

El propósito de este documento es el de realizar un análisis de los inicios y estructura de institución, y sobre las líneas de investigación del programa de Investigación de Clima e Hidrología, para determinar sus objetivos dentro de la institución y determinar vacíos de información en los cuales se requiera un seguimiento y se puedan trabajar propuestas de investigación y servicios.

2. MARCO REFERENCIAL

El Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático se encuentra ubicado en la finca Camantulul, kilómetro 92.5 carretera a Mazatenango, Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla como se muestra en la figura 1.

El municipio de Santa Cotzumalguapa tiene una extensión territorial de 432 km² y una elevación media: 356 m sobre el nivel del mar. La distancia a la cabecera departamental es 34 km., y a la ciudad capital es 90 km. Latitud: 14° 18' N Longitud: 91° 1' O.



Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 1. Mapa de ubicación oficinas ICC.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Conocer la situación actual del Programa de Investigación en Clima e Hidrología -CeH- del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático -ICC-, identificando sus principales fortalezas y debilidades.

3.2 Objetivos específicos

1. Conocer la estructura organizativa del ICC y del Programa de Investigación en Clima e Hidrología.
2. Describir el proceso de asignación de actividades del Programa de Investigación en Clima e Hidrología.
3. Realizar un análisis FODA del programa de Clima e Hidrología para identificar y priorizar áreas en donde existan vacíos de información para los que se puedan generar planes y proyectos.

4. METODOLOGÍA

4.1 Fase inicial de Gabinete

Se recopiló toda la información secundaria del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, a través de:

- Consultas en sitios web de la Asociación de azucareros de Guatemala, Instituto Privado de Investigación sobre Cambio climático, y artículos publicados en línea relacionados con actividades realizadas por la institución.
- Consultas de las publicaciones realizadas por la institución, almacenadas en su base de datos.
- Documentos internos como Planes operativos anuales, estatutos y acuerdos institucionales.
- Se recopiló la información primaria a cerca de la institución a través de entrevistas y consultas directas al Director de ICC, coordinadores, técnicos, investigadores y asistentes del Instituto.

4.2 Fase de campo

Se realizaron visitas de campo para hacer un reconocimiento de las estaciones meteorológicas, realizar monitoreo de ríos, cuencas y comunidades en donde tiene influencia el trabajo del ICC y específicamente del programa de investigación en Clima e Hidrología.

4.3 Clasificación de actividades

Se elaboró una clasificación de actividades del Plan Operativo Anual, en una matriz en la que se muestra el porcentaje de responsabilidad que le correspondía al Programa de Investigación en Clima e Hidrología ejecutar por línea de acción en el 2014.

Además se realizó una matriz en la cual se clasificaron las actividades realizadas por el Programa de Investigación en CeH en el 2014, tomando en cuenta las líneas de investigación del programa.

Se elaboraron entrevistas a los integrantes del Programa así como a compañeros que han realizado su EPS en el programa de investigación en Clima e Hidrología, para realizar la matriz FODA para cumplir con el objetivo.

5. RESULTADOS

El Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático –ICC- fue creado en el año 2010 con el objetivo de desarrollar investigación y promover acciones que contribuyan con la reducción de la vulnerabilidad, la mitigación y la adaptación al cambio climático en las comunidades, los sistemas productivos y la infraestructura de la vertiente del pacifico en donde tienen inferencia sus miembros.

El ICC es una entidad no lucrativa, apolítica y no religiosa, dedicada a utilizar la ciencia para orientar acciones que ayuden a enfrentar el cambio climático a nivel local.

5.1 Plan estratégico de ICC

5.1.1 Visión

La visión del ICC es ser una institución privada líder en investigación y desarrollo de proyectos para la mitigación y la adaptación al Cambio Climático en las comunidades, los procesos productivos y la infraestructura de la región.

5.1.2 Misión

Crear y promover acciones y procesos que faciliten la mitigación y la adaptación al cambio climático en la región con base en lineamientos técnico-científicos.

5.1.3 Objetivo General

Desarrollar programas de investigación y promover proyectos que contribuyan con la reducción de la vulnerabilidad, la mitigación y la adaptación al cambio climático en los poblados, los sistemas productivos y la infraestructura de la región de influencia de sus miembros.

5.1.4 Objetivos Específicos

1. Aportar a la disminución del impacto de eventos climáticos sobre poblados, sistemas de producción e infraestructura.
2. Contribuir a la reducción de gases de efecto invernadero.
3. Facilitar la adaptación de las comunidades, sistemas de producción e infraestructura al clima futuro.

5.1.5 Líneas de trabajo

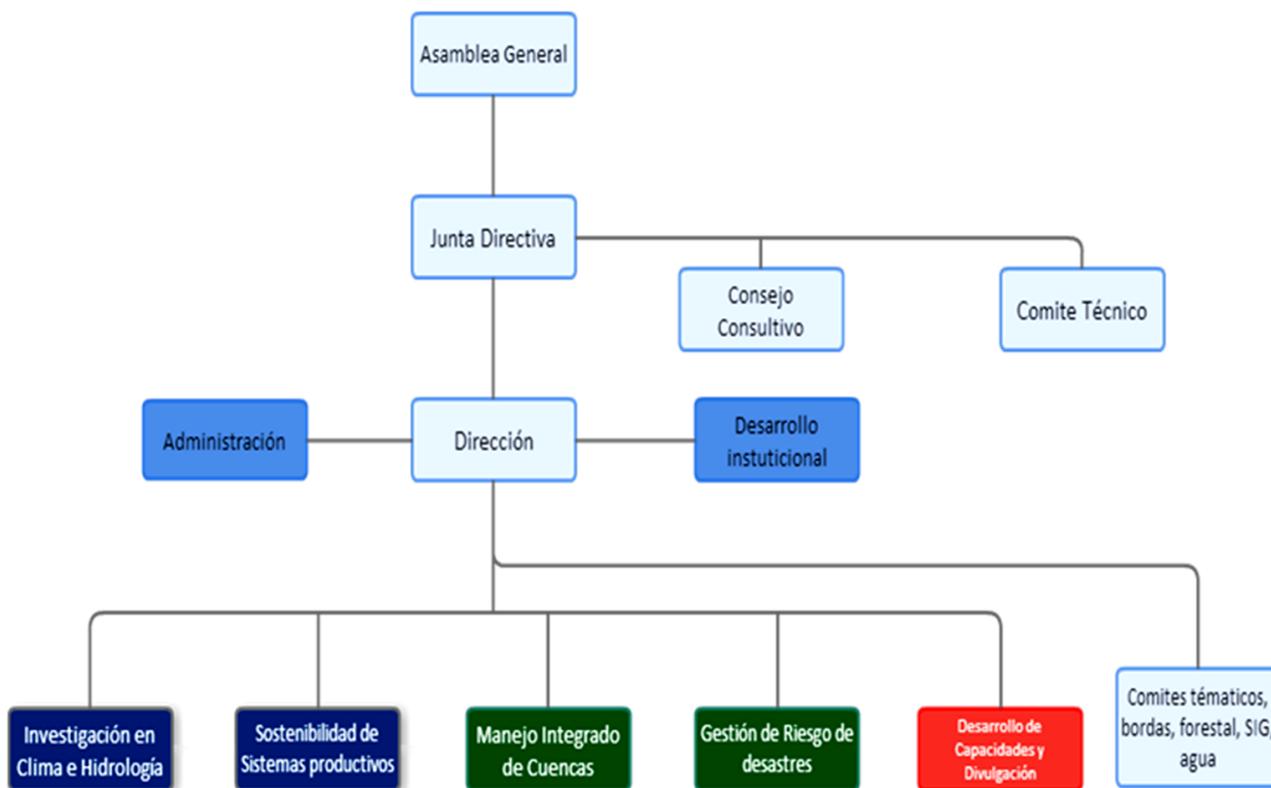
1. Generación y análisis de información meteorológica
2. Investigación y gestión de riesgo de inundaciones
3. Inventario de gases de efecto invernadero AIA
4. Adaptación en sistemas productivos
5. Conservación, manejo y restauración de ecosistemas (bosques y suelos)
6. Manejo integral del agua
7. Desarrollo de capacidades
8. Divulgación del ICC



Fuente: elaboración propia, en base a la información del ICC, 2015.

Figura 2. Líneas de trabajo ICC.

5.2 Estructura Organizativa



Fuente: elaboración propia, en base a información de ICC, 2015.

Figura 3. Organigrama ICC.

5.3 Programas del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático

En la actualidad, el instituto cuenta con 5 diferentes programas que tienen como finalidad lo siguiente:

5.3.1 Investigación en Clima e Hidrología

La función de este programa es la generación de información y análisis sobre el clima y los recursos hídricos de la región. Esta información es de suma importancia ya que se emplea como insumo para la toma de decisiones relacionadas a los retos presentes y futuros del cambio climático.

5.3.2 Sostenibilidad de Sistemas Productivos

Su objetivo es el de generar y validar los conocimientos que permitan contribuir a la sostenibilidad de los sistemas productivos prioritarios del ICC, dentro de sus funciones están las de definir normas y recomendaciones a través de la gestión ambiental.

5.3.3 Manejo Integrado de Cuencas

Este programa persigue impulsar e implementar acciones para mantener la integridad de los recursos naturales en las cuencas tomando en cuenta su contexto social. Entre sus funciones más recurrentes se encuentra coordinar las campañas de reforestación y el mantenimiento de viveros forestales en distintos municipios.

5.3.4 Gestión de Riesgo

Este programa persigue influir en la reducción de riesgo a desastres por medio de acciones, con base en el análisis de factores naturales y sociales.

Busca identificar las principales amenazas climáticas, realizar aportes para su comprensión y vigilancia a través del tiempo y priorizar acciones que reduzcan y den respuestas a los riesgos.

5.3.5 Programa de desarrollo de Capacidades y Divulgación

Su objetivo es difundir información y conocimientos, que aumenten la capacidad de las instituciones públicas y privadas así como de la población en general de implementar acciones de mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático.

5.4 Programa de Investigación en Clima e Hidrología

Desde la creación del ICC, el programa de investigación sobre Clima e hidrología fue formulado para que trabajara basándose en tres líneas de investigación: Climatología, Hidrología Superficial e Hidrología Subterránea.

5.4.1 Climatología

Esta área de trabajo del programa, se planteó como línea principal de investigación, la modelación de los escenarios climáticos futuros de la Costa del Pacífico de Guatemala; contribuyendo al planteamiento de recomendaciones, para la mitigación y adaptación al cambio climático, de los sistemas productivos y comunidades dentro del área de acción del ICC.

Además, es de suma importancia mencionar que esta línea de investigación también trabaja en el análisis del comportamiento de los sistemas climáticos globales y regionales; además de considerar la posible generación de 27 índices definidos internacionalmente, para lograr monitorear el cambio climático en Guatemala.

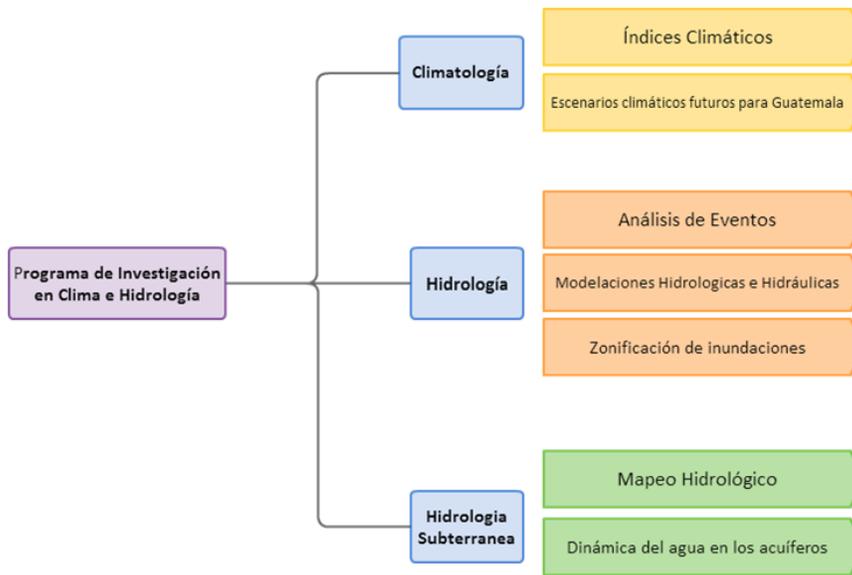
5.4.2 Hidrología Superficial

Esta área de trabajo tiene por objetivo principalmente el de generar información, que sea útil para la mitigación y reducción de la vulnerabilidad, tanto de sistemas productivos, como comunidades ante el cambio climático. La información generada, es un insumo de suma importancia para complementar el área de acción del programa de Gestión de Riesgos de Desastres. Es importante mencionar, que ésta área de trabajo está constituida por tres líneas de investigación: la primera está dirigida a realizar análisis de eventos extremos en las cuencas prioritarias para el ICC. La segunda pretende generar modelos hidrológicos e hidráulicos en los cauces principales, de las cuencas prioritarias; y por último se enfoca en mapear las zonas con fuerte amenaza a inundaciones, la cual incluye un análisis de dichos eventos en el pasado, como la modelación a partir de escenarios de eventos extremos.

5.4.3 Hidrología Subterránea

Ésta línea de investigación es de mucha importancia para el ICC, debido a que se desconoce las consecuencias, de la constante explotación actual de los manto acuíferos de la costa sur. Es por esto que el área de hidrología subterránea tiene como fin analizar el comportamiento de dichos mantos y la dinámica que esto puedan estar teniendo dentro de las cuencas hidrológicas.

Además se contempla que se realicen actividades, como un mapeo hidrogeológico de las cuencas prioritarias de la costa sur, un análisis de la dinámica de los mantos acuíferos y estudios de la cantidad y calidad del agua disponible en estos mantos.



Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 4. Temáticas de investigación del Programa de Investigación en Clima e Hidrología

La estructura organizativa del programa está constituida por el coordinador del programa que se encarga de la generación de bases técnicas y científicas que sirven de insumo para acciones de mitigación y adaptación al cambio climático, un técnico encargado de la generación y análisis de información climática y un investigador en Hidrología, especialista en modelaciones hidrológicas e hidráulicas.



Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 5. Organigrama del Programa de investigación en Clima e Hidrología.

Las actividades del Programa se realizan con base en un Plan Operativo Anual (POA) en el cual se les asignan actividades a realizarse dentro de los objetivos y líneas de trabajo anuales.

En la figura 6. se muestran las líneas de trabajo y los objetivos con los que se trabajó el POA 2014.



Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 6. Líneas de trabajo Plan Operativo Anual 2011

Dentro del plan operativo 2014, el programa de investigación de Clima e Hidrología tuvo a su cargo un porcentaje de actividades para contribuir a lograr estos objetivos. En el cuadro 1 se muestra el porcentaje de actividades que le fue atribuida al programa dentro de estos objetivos.

Este porcentaje fue elaborado, determinando el número de actividades de cada línea de acción del POA, y determinando el número de actividades en la cual el programa de investigación de Clima e Hidrología como programa responsable o programa de apoyo de las actividades. Un porcentaje del 100 % significa que el programa fue designado para cumplir todas las actividades de la línea de trabajo, un 0 % significa que el programa no fue designado como responsable, ni como programa de apoyo para cumplir con actividades de la línea de trabajo.

Cuadro 1. Porcentaje de trabajo correspondiente al programa de investigación en Clima e Hidrología

No.	Línea de trabajo	% de trabajo total delegado al Programa de Clima e hidrología
1	Generación, procesamiento y divulgación de información meteorológica	92
2	Investigación y gestión de riesgo de inundaciones	25
3	Manejo y recuperación de ecosistemas para la reducción de la vulnerabilidad	---
4	Emisiones de GEI de la agroindustria azucarera	---
5	Mitigación de cambio climático a través de recursos forestales	---
6	Adaptación al cambio climático en sistemas productivos	62.5
7	Apoyo al Manejo Integral del agua	10
8	Desarrollo de capacidades de actores clave para la mitigación y adaptación al cambio climático	12.2

Fuente: elaboración propia, 2015.

Como puede observarse en el cuadro 1, el programa de Investigación en Clima e Hidrología, fue el programa responsable de llevar a cabo actividades y de ser apoyo en 5 líneas de trabajo.

De las líneas de trabajo de las cuales tuvo a su cargo responsabilidades en el 2014, la línea de trabajo en la cual tuvo mayor responsabilidad, fue la línea de trabajo de generación, procesamiento y divulgación de información meteorológica, la segunda con mayor responsabilidad fue la de adaptación al cambio climático en sistemas productivos, y la siguiente la de investigación y gestión de inundaciones.

5.5 Listado de los estudios realizados en el programa de clima e hidrología hasta el 2014

- Índices ENOS y la producción de caña de azúcar: estudio en el cual se investiga la existencia de relaciones entre las variaciones en la producción de caña de azúcar promedio con las variaciones en el comportamiento del fenómeno de El Niño – Oscilación del Sur (ENOS).
- Análisis climáticos de vientos y recomendaciones para el manejo de quemas: Realización de un análisis climático de vientos, mediante el análisis sinóptico a partir de información de las estaciones meteorológicas automáticas de la red administrada por el ICC, a partir del cual realizó un estudio de recomendaciones para el manejo de quemas para la zona cañera.
- Diagnóstico de la información disponible para el buen manejo del agua y recomendaciones para la gestión del recurso hídrico en el sector azucarero: El objetivo de este estudio fue el de colaborar en la generación de las líneas de investigación en la parte de hidrología subterránea, y definir la base general del manejo de los recursos hídricos en el sector azucarero.

- Modelación de caudales por medio del uso del software HEC-RAS: se generó el análisis de la información disponible para la elaboración de modelaciones hidrológicas e hidráulicas con ayuda del software HEC-RAS.
- Análisis climático-sinóptico del viento y elaboración de una tabla de recomendaciones para el manejo de quemas: Estudio iniciado en el año 2011, a partir del cual se elaboraron tablas de recomendaciones de horarios más adecuados para realizar quemas en caña de azúcar durante la zafra.
- Estado del arte de la investigación hidroclimática de las cuencas Coyolate, Acomé y Achíguate: Estudio que se basó en la identificación de vacíos en investigación hidroclimática en las cuencas de los ríos Coyolate, Acomé y Achíguate, en base a los modelos de balance hidrológico (entradas y salidas) y con enfoque de cambio climático.
- Estudio de intensidades de precipitación de las cuencas prioritarias del ICC: El objetivo del estudio fue determinar las intensidades horarias de precipitación a partir de información de registros diarios de estaciones de las cuencas: Coyolate, Acomé, Achíguate, María Linda y Los Esclavos.
- Predicción de caudales de la modelación hidrológica de las cuencas de los ríos Achíguate, María Linda y Los Esclavos: Estudios que se basan en la modelación de caudales a partir de diferentes eventos de precipitación.
- Almacenamiento de agua: Revisión de literatura sobre tecnologías de almacenamiento de agua y cosecha de agua de lluvia.
- Índices locales de variabilidad climática y su relación con sistemas regionales: El objetivo de este estudio fue el de definir regiones con comportamiento climático similar a partir del análisis de las variaciones tanto en espacio como en tiempo de las variables de temperatura y precipitación en la vertiente del pacífico.

- Índices de cambio climático: Se elaboraron 27 índices que son recomendados por el Equipo de Expertos en Detección del Cambio Climático (ETCCDI, por sus siglas en inglés) para representar los aspectos más extremos del clima.
- Análisis climático-sinóptico del viento con fines de manejo de quemas: Análisis del comportamiento de la velocidad del viento por hora para cada uno de los meses de la zafra.
- Validación de estudios hidrológicos de las cuencas de los ríos Coyolate, Achíguate, María Linda y Los Esclavos: En el año 2012 se generaron estudios hidrológicos a partir de modelos numéricos, para las cuencas de los ríos Coyolate, Achíguate, María linda y Los Esclavos. Debido a la complejidad de los procesos incluidos en el modelo, se requirió la calibración y validación de sus resultados comparando los datos de salida del modelo con datos registrados en eventos reales.
- Estudio hidráulico de las cuencas de los ríos María linda, Coyolate y Los Esclavos: Se realizó la modelación hidráulica a partir de caudales de alerta teóricos y secciones transversales del cauce del río, para el funcionamiento de los sistemas de alerta temprana en los ríos María Linda, Los Esclavos y Coyolate.
- Determinación de zonas susceptibles a inundación en el río Coyolate: Se elaboró un mapa de zonas susceptibles a inundaciones por desbordes del río Coyolate para los últimos 35 km de su cauce antes de su desembocadura en el Océano Pacífico.
- Estimación de caudales de ríos: Se realizó el registro de las corrientes principales de las cuencas Coyolate, Acomé y Achíguate.
- Estudio hidráulico de la cuenca Río Coyolate, María Linda y Los Esclavos para los sistemas de alerta temprana ante inundaciones: En el año 2013 se determinaron los niveles de alerta temprana ante inundaciones en las cuencas de los ríos Coyolate, María Linda, y Los Esclavos, debido a que el lecho de los ríos cambia de forma

significativa por la cantidad de sedimento y por las modificaciones realizadas por la acción humana, como el dragado de material, y la construcción de diques longitudinales, se realizó un nuevo levantamiento topográfico.

- Validación de escenarios de cambio climático para Guatemala: Validación de los escenarios para clima futuro de la vertiente del pacífico, generados a partir del modelo climático regional WRF (Weather Reserch Forecasting).
- Actualización de las tablas de vientos para planificación de quemas controladas de la caña de azúcar: Elaboración de tablas con estadísticas del viento para cada estación y su área de influencia, que incluyen la dirección del viento más probable en función de la hora y el mes.
- Análisis de la influencia del comportamiento del viento sobre la dispersión de la ceniza de caña de azúcar bajo las condiciones climáticas de la costa sur de Guatemala: Estudio que se realizó para determinar el desplazamiento de los tamaños de la pavesa en función de la velocidad del viento.

5.6 Análisis FODA del Programa de Investigación en Clima e Hidrología

Objetivo: Generar información y análisis sobre el clima y sobre recursos hídricos que contribuyan al bienestar de la población y a la sostenibilidad de los sistemas productivos.

Cuadro 2. Matriz de diagrama FODA

Fortalezas	Oportunidades
<p>Cuenta con una red de 21 estaciones meteorológicas automatizadas que están equipadas con instrumentos de alta calidad para el registro de la precipitación, temperatura, humedad relativa, radiación solar, humedad de la hoja, velocidad y dirección del viento.</p> <p>Cuenta con una base de registros históricos meteorológicos.</p> <p>Posee instrumentos y personal capacitado para el monitoreo de los recursos hídricos.</p> <p>Cuenta con profesionales especializados y con mucha experiencia en el área de clima e hidrología.</p> <p>Posee recursos que permiten la generación y el análisis del clima e hidrología.</p> <p>Cuenta con especialistas para el asesoramiento de la investigación.</p>	<p>Interés por parte de productores de banano y de Palma africana.</p> <p>Interés por parte de instituciones de gobierno y comunidad internacional.</p> <p>Intercambio con universidades otros países.</p> <p>Espacios para realizar publicaciones científicas.</p> <p>Extensión del trabajo a otras áreas del país y Centroamérica.</p>
Debilidades	Amenazas
<p>Existen cuencas de la vertiente de Pacífico en la cual no se ha generado suficiente información.</p> <p>Existe poco personal capacitado para la generación y el manejo de la información hidro-meteorológica generada.</p> <p>Se ha generado muy poca información respecto a la línea de acción de hidrología subterránea.</p>	<p>Daño de los equipos por demasiada humedad y polvo.</p> <p>Eventos meteorológicos que puedan dañar los instrumentos.</p> <p>Robos de los instrumentos de las estaciones meteorológicas e hidrológicas.</p>

Fuente: elaboración propia, 2015.

6. CONCLUSIONES

1. La estructura organizacional del Instituto Privado de Investigación Sobre Cambio Climático está conformada por la asamblea general, junta directiva, consejo consultivo, comité técnico, dirección, administración, desarrollo institucional, comités temáticos y programas.
2. El Programa de investigación en Clima e Hidrología está conformado por un Coordinador, un técnico en climatología y un Investigador en Hidrología.
3. El proceso mediante el cual son asignadas las actividades al programa de Investigación en Clima e hidrología, se basa en la designación de cumplimiento de actividades que se encuentran el Plan Operativo Anual, que cumplen con las líneas de trabajo y los objetivos del ICC.
4. El análisis FODA permitió identificar que existen cuencas de la vertiente del Pacífico en los cuales existen vacíos de información sobre las líneas de investigación de hidrología superficial y subterránea.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. AZASGUA (Asociación de Azucareros de Guatemala, GT) 2012. Organizaciones de apoyo (en línea). Guatemala. Consultado 3 feb. 2015. Disponible en <http://www.azucar.com.gt/>
2. Gil, S. 2015. Preguntas para diagnóstico (entrevista). Santa Lucia Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala, ICC.
3. ICC (Instituto Privado de Investigación Sobre Cambio Climático, GT) 2012a. Informe de labores 2011. Guatemala, Serviprensa. 44 p.
4. _____.2012b. Quienes somos (en línea). Guatemala. Consultado 3 feb. 2015. Disponible en: <http://www.icc.org.gt/?PAGE=2>
5. _____. 2013. Informe de labores 2012. Guatemala, Serviprensa. 65 p.
6. _____. 2014. Informe de labores 2013. Guatemala, Serviprensa. 60 p.
7. _____. 2015. Informe de labores 2014. Guatemala, Serviprensa. 72 p.



CAPITULO II

DETERMINACIÓN DE ZONAS SUSCEPTIBLES A INUNDACIÓN EN LA PARTE BAJA
DE LA CUENCA DEL RÍO NAHUALATE

DETERMINATION OF AREAS THAT ARE SUSCEPTIBLE TO FLOODING IN THE
LOWER NAHUALATE WATERCATCHMENT

1. INTRODUCCIÓN

Guatemala es uno de los países del mundo más susceptibles de verse afectado por desastres naturales. En el territorio se conjugan factores biofísicos y socioeconómicos que propician la ocurrencia de desastres, por su ubicación geográfica en el país inciden sistemas meteorológicos tanto del Océano Pacífico como del Atlántico. La región central del país se caracteriza por tener una orografía que provoca fuertes precipitaciones de lluvia, con pendientes inclinadas y suelos muy permeables (Peters, 2013) Por otro lado, existe un crecimiento poblacional acelerado, con un nulo ordenamiento territorial, por lo que cada vez más la población se asienta en zonas de alto riesgo a deslaves e inundaciones. (IARNA, 2003). Si a esto se suma los efectos del cambio climático y la deforestación, en los últimos años el país se ha visto frecuentemente afectado por inundaciones y deslizamientos de tierra que han provocado cuantiosas pérdidas de vidas humanas y graves pérdidas económicas. (ONU, 2009)

Por esta razón la delimitación cuantitativa de áreas susceptibles a inundaciones, para diferentes tiempos de recurrencia o periodos de retorno, es de gran utilidad para llevar a cabo medidas encaminadas a reducir los efectos de las inundaciones.

En Guatemala se han realizado estudios cuantitativos de delimitación de áreas susceptibles a inundaciones, desde hace varias décadas. El Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) elaboró en el año 1980 un mapa de inundaciones a gran escala del país. La Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED) desde el año 1995 ha realizado estudios para establecer sistemas de alerta temprana en varios ríos.

Recientemente el Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático –ICC, como parte de los aportes para la disminución del impacto de eventos climáticos sobre comunidades, los sistemas de producción e infraestructura, de la Vertiente del Pacífico del país, ha realizado estudios hidrológicos de las cuencas Achíguate, Coyolate, María Linda,

Los Esclavos y a determinado zonas susceptibles de inundación en la cuenca del río Coyolate. (Gil, 2012)

Dentro de las líneas de trabajo de investigación y gestión de riesgo de inundaciones del ICC se realizó el siguiente estudio a un nivel de reconocimiento para determinar las zonas de inundación de la cuenca del río Nahualate, con el fin de generar y divulgar información que pueda ser un insumo para prever el efecto de las inundaciones provocadas por las lluvias características de la región y por las lluvias asociadas a fenómenos meteorológicos, las cuales aumentarían en intensidad por el efecto del cambio climático (SGCCC, 2015).

Para la realización de este estudio se recopilaron registros de las precipitaciones más intensas de la región, los cuales fueron utilizados como insumos para el diseño de un modelo hidrológico, el cual permitió estimar crecidas originadas por tormentas de diseño asociadas a los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25 y 50 años y mediante la modelación hidráulica, conocer la respuesta ante estos eventos en el tramo final del río.

Este estudio es a nivel de reconocimiento, ya que la información de las secciones transversales del río utilizadas para simular el comportamiento del río fueron obtenidas a partir del modelo de elevación digital el cual tiene una resolución de 15 metros (MAGA, 2006).

La metodología utilizada para obtener los resultados de este estudio, se resume principalmente en cinco partes; el análisis de las características biofísicas y topográficas de la cuenca, un análisis de lluvia de la región, la utilización de software para la modelación hidrológica e hidráulica y la delimitación de las zonas de inundación.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Marco conceptual

2.1.1 Generalidades

La delimitación cuantitativa de áreas de inundación se ha visto fortalecida y simplificada por el desarrollo de los sistemas de información geográfica y sus interfaces para exportar datos y resultados a programas clásicos de modelado hidrológico e hidráulico, utilizados ampliamente desde hace varias décadas, como lo son los programas del Centro de ingeniería hidrológica del ejército de los Estados Unidos (HEC-HMS y HEC-RAS), los cuales se actualizan constantemente y son de uso libre.

Dichos programas basan su funcionamiento en teorías y métodos numéricos clásicos de la hidrología e hidráulica, como es la teoría de sistemas para el caso del proceso de lluvia escorrentía o en la solución de las ecuaciones de Continuidad y de Cantidad de Movimiento en el caso del flujo hidráulico en canales y ríos (USACE, 1998; USACE, 2000).

A continuación se describe de manera resumida la teoría de las cinco partes de que consta el procedimiento seguido para obtener los resultados de este trabajo.

2.1.2 Características biofísicas y topográficas de la cuenca

2.1.2.1 Definición de cuenca hidrográfica

Una cuenca hidrográfica es una región en la cual, por sus características topográficas, toda el agua que se precipita sobre la misma tiende a llegar a un mismo punto (Linsley, et al., 1975). Dicho punto es el de altitud topográfica más baja de la región, y se denomina punto de salida de la cuenca. Este punto de salida puede ser el mar o un lago, u otro río.

Aplicando la definición anterior a cada afluente del río principal, las cuencas se pueden subdividir en subcuencas, y éstas en microcuencas. Cada cuenca tiene un sistema o patrón de drenaje determinado, lo que conforma la hidrografía de la misma. En las cuencas se verifican todos los procesos del ciclo hidrológico, siendo estos: precipitación, retención, infiltración, evapotranspiración y escorrentía. Todos estos se ven afectados y tienen una estrecha relación con la cobertura forestal y el uso del suelo (Linsley, et al., 1975).

2.1.2.2 Partes de las cuencas según la topografía

Una cuenca se puede subdividir, por la altitud sobre el nivel de la mar de su territorio, en parte alta, media y baja. En la vertiente del Pacífico de Guatemala, las pendientes medias son mayores en la parte alta, y decrecen en la parte media y baja de la cuenca (INSIVUMEH, 2015)

2.1.3 Modelado hidrológico

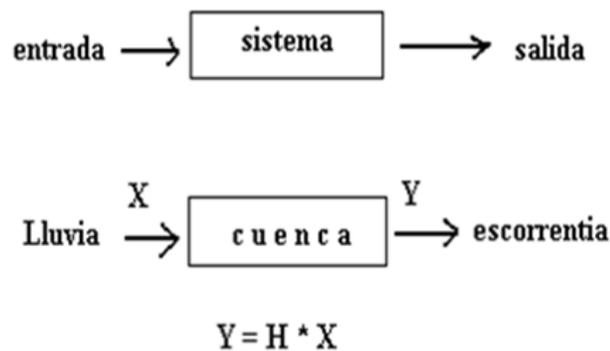
2.1.3.1 Características del modelado hidrológico

Los modelos hidrológicos se aplican usualmente en la parte alta y media de las cuencas, y son principalmente los modelos de lluvia escorrentía y el de tránsito de hidrogramas. El principal objetivo es simular la respuesta, el caudal de salida, producido por la precipitación pluvial en un conjunto interconectado de microcuencas. Esto es, los modelos hidrológicos determinan los caudales que se utilizarán como caudales de entrada, en la simulación que realizan los modelos hidráulicos (USACE, 2000).

2.1.3.2 Simulación del proceso de lluvia escorrentía

La simulación del proceso de lluvia escorrentía mediante la convolución de un hietograma con un hidrograma unitario, es un método clásico en hidrología. Fue propuesto en los años 30 del siglo pasado, y ha sido utilizado ampliamente desde entonces. El método se basa en la teoría de sistemas (figura 7) y para su aplicación en una cuenca requiere de la obtención

del hidrograma unitario, el cual es la respuesta de la misma o hidrograma producido por una lluvia efectiva unitaria para un determinado lapso de tiempo (Linsley, et al., 1975; Chow, et al, 1993). Existen muchos métodos numéricos para obtener dicha respuesta, implementados en programas de cómputo, los cuales requieren de datos de lluvia y de caudales de la cuenca. Uno de los programas más conocidos es el Hydrologic Modeling System (HMS) del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos. Este programa también permite realizar la simulación del proceso, utilizando hidrogramas unitarios modelos inferidos en base a las características físicas de las cuencas.



Fuente: Toledo, V, 2015.

Figura 7. Esquematización del modelo hidrológico lluvia-escorrentía

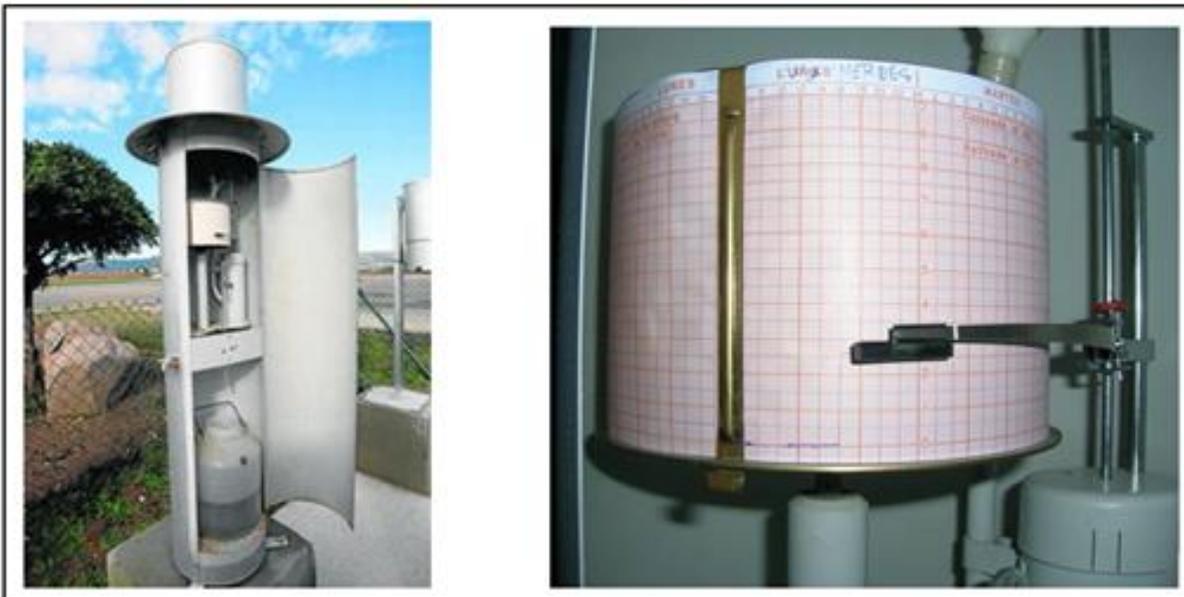
2.1.4 Análisis de la precipitación

Las inundaciones con origen en eventos meteorológicos están fuertemente condicionadas a las características de la precipitación, por tanto es necesario conocer las propiedades de la lluvia en la región para poder estimar la respuesta de la cuenca a ésta.

A diferencia de los registros de caudal, muy escasos en la región, existe un número considerable de estaciones meteorológicas en la región, instaladas por instituciones que estudian la materia o la utilizan de manera práctica como INSIVUMEH, ICC, fincas particulares, etc. Sin embargo los registros de lluvia disponibles con una cantidad de años

suficiente para realizar análisis estadísticos, en el mejor de los casos suelen corresponder a valores diarios. Esto representa una limitación para determinar la respuesta de la cuenca a un evento de lluvia de pocas horas de duración. En el caso de un evento de precipitación diario con una precipitación acumulada de 120mm, el efecto en el caudal del río será completamente diferente si éste volumen de lluvia se originó en 5 h o la precipitación fue uniforme a lo largo de las 24 h. Sin embargo en los registros de datos diarios no se observará diferencia alguna, puesto que la resolución temporal de la información no es suficiente.

Para un análisis más preciso se requieren datos de intensidad de lluvia, es decir, cómo se originó la lluvia a lo largo del día. Aunque hoy en día la automatización de las estaciones meteorológicas permite disponer de volúmenes de lluvia en periodos cortos (10 o 15 min), tradicionalmente esta información se ha obtenido por medio de pluviógrafos (figura 8), dispositivos que registran la intensidad lluvia a lo largo del día, en una hoja de papel milimetrado con un método que recuerda al de un sismógrafo pero donde se registra en incremento del acumulado de lluvia a lo largo del tiempo (cada mm representa 10 min en el eje horizontal y 0.1 l/m^2 en el eje vertical),



Fuente: Asociación meteorológica del sureste, 2009

Figura 8. Imagen correspondiente a un pluviógrafo. Nótese como la pluma registra el incremento de la precipitación a lo largo del tiempo (intensidad de lluvia).

Debido al reducido número de estaciones con pluviógrafo en la vertiente del Pacífico, se propone la elaboración de un estudio de distribución de precipitaciones extremas en la zona de estudio.

Este estudio se llevó a cabo mediante un estudio estadístico de los registros disponibles que permita la elaboración de curvas que relacionen el volumen de lluvia diaria con la intensidad de lluvia en un periodo de tiempo determinado (Pd/P24). La metodología que se utilizó fue propuesta en un estudio de la misma naturaleza realizado en La Paz, Bolivia por Mendoza (1994). Esta metodología fue previamente utilizada en Guatemala en el estudio de intensidad precipitación en las cuencas de los ríos Coyolate, Achíguate, María Linda, Los Esclavos (ICC, 2012).

El objetivo general del estudio de intensidad de precipitación fue el de desagregar los acumulados de lluvia diarios para poder predecir con mayor exactitud las inundaciones asociadas a eventos de lluvia determinados.

Para cumplir dicho objetivo, se analizaron los registros de eventos de precipitación extremos en pluviógrafos con registros disponibles en la zona de estudio:

- Se clasificaron y sistematizaron los máximos diarios por año en cada una de las estaciones meteorológicas en el estudio.
- Se calculó, a partir del método de Gumbel, el acumulado diario de lluvia máxima para para diferentes periodos de retorno en cada una de las estaciones.
- En las estaciones que contaban con registro pluviográfico:
- Se establecieron las propiedades para evaluar qué eventos de lluvia se pueden considerar extremos, mediante un umbral de precipitación para cada una de las estaciones en función de los acumulados encontrados, para seleccionar entre 3 y 5 eventos anuales.

- Se analizó la información diaria y se realizarán las ecuaciones de distribución de lluvia según la metodología de Mendoza (1994).
- Se establecieron zonas de influencia para cada uno de los pluviómetros, según el estrato altitudinal donde se encuentren.
- Se utilizaron las ecuaciones generadas para desagregar los valores de lluvia máxima diaria de las estaciones con pluviómetro.
- A través del método de bloques alternos (ACA, 2003), se establecieron pluviogramas de diseño para cada una de las estaciones meteorológicas incluidas en el estudio, los cuales fueron el insumo principal del modelo hidrológico. Debido a la meteorología propia de la región se dividió el estudio de los eventos de lluvia según se especifica a continuación:
 - Eventos de lluvia convectivos: Fenómenos con duración inferior a 6 h, generalmente con intensidades muy elevadas y una distribución espacial muy heterogénea.
 - Eventos de lluvia ciclónica: Fenómenos con duración superior a 6 h, generalmente con intensidades inferiores a los anteriores, pero con una duración superior y una distribución espacial homogénea.

Esta clasificación es fundamental para no asociar intensidades de lluvia de eventos convectivos a volúmenes de lluvia acumulada de fenómenos sinópticos como Stan o Agatha (ICC, 2012).

En conclusión, mediante la implementación de la metodología de Mendoza, se pretende obtener una función matemática que involucre la relación P_d/P_{24} , la duración del evento en horas y el periodo de retorno en años. Mediante dicha función se podrán desagregar los datos en las estaciones que no consten de información de intensidad de precipitación.

2.1.4.1 Determinación de hietogramas

El objetivo del análisis de lluvias es estimar hietogramas correspondientes a episodios de lluvia de diferentes magnitudes, que servirán de entrada al modelo de lluvia escurrimiento que se utilice. Los hietogramas muestran la distribución de la lluvia acumulada por unidad de tiempo. Esto se logra por diferentes métodos con base a las curvas IDF (Intensidad, duración y frecuencia de lluvia) y las curvas Pd/P24 que relacionan la precipitación acumulada para un determinado tiempo con la precipitación diaria.

2.1.4.2 Determinación de la infiltración en la cuenca

Para el cálculo de hidrogramas es necesario obtener un hietograma de lluvia efectiva, es decir determinar la cantidad de lluvia que se convierte en escurrimiento, para lo cual es necesario determinar la lluvia que se infiltra y la que es retenida por la vegetación.

Esto último depende de las pendientes del suelo, del tipo y uso del mismo y de la cobertura forestal. El programa HEC-HMS, utiliza el número de curva de acuerdo a las características anteriores, el cual utiliza como parámetro para determinar la lluvia efectiva o lluvia que se convierte en escurrimiento. USACE, 2000.

2.1.4.3 Obtención del hidrograma de respuesta de una microcuenca

La respuesta de una microcuenca a un determinado hietograma de lluvia efectiva se hace mediante de la operación matemática de la convolución, como se expuso con anterioridad, lo que involucra un hidrograma unitario. En este trabajo dicho hidrograma se obtiene tomando en cuenta las características físicas de la cuenca como es su área, su pendiente promedio y el tiempo de retardo.

2.1.4.4 Transito hidrológico

El tránsito hidrológico se realiza por diferentes métodos, uno de los más usados es el método de Muskingum. Su objetivo es estimar los efectos en la propagación de un hidrograma conocido (Linsley, et al., 1975; Chow, et al, 1993). Esto se hace, cuando el flujo de respuesta de una microcuenca, recibe el aporte de otra microcuenca en un tramo alejado aguas arriba, por lo que respuesta total es la suma del hidrograma de entrada transitado de la primera más el hidrograma resultante de la precipitación en la segunda microcuenca.

2.1.4.5 Composición de hidrogramas

El hidrograma total de salida de la parte alta y media se obtiene de la suma de la respuesta de varias microcuencas y del tránsito de dichas respuestas en donde es requerido. Cada suma y tránsito se especifica en un esquema, el cual muestra como el flujo se concentra en la parte de altitud más baja del conjunto de microcuencas (USACE, 2000).

2.1.5 Modelado hidráulico

2.1.5.1 Características del modelado hidráulico

El modelado hidráulico se realiza usualmente en la parte más baja de la cuenca. El tramo en el que se realiza tiene únicamente entradas o aportes de agua en su parte superior, provenientes de la parte alta y media de la cuenca. Se considera que las áreas aledañas al cauce del río no aportan entradas de agua al cauce, debido a que por sus pendientes bajas el agua se encharca.

2.1.5.2 Definición del tramo de modelado hidráulico

El tramo donde se realiza el modelado hidráulico se puede definir a partir del punto donde confluyen los principales afluentes, que es el punto de salida de la red de microcuencas de

la parte alta y media. A partir de este punto se extiende la parte más baja de la cuenca, a la cual se denomina planicie de inundación natural, que generalmente llega hasta el mar.

2.1.5.3 Secciones transversales del río

El modelado hidráulico requiere de secciones transversales del cauce del río y de sus partes aledañas. Las secciones transversales del río pueden ser determinadas mediante levantamientos topográficos o mediante modelos digitales de altitud de terreno.

2.1.5.4 Simulación hidráulica

La simulación hidráulica se hace proporcionando al programa HEC-RAS las secciones del río y los caudales de entrada en la parte alta del tramo. La simulación para flujo permanente da como resultado la velocidad del flujo en cada sección y la altura que alcanza el nivel del agua en cada sección (USACE, 1998).

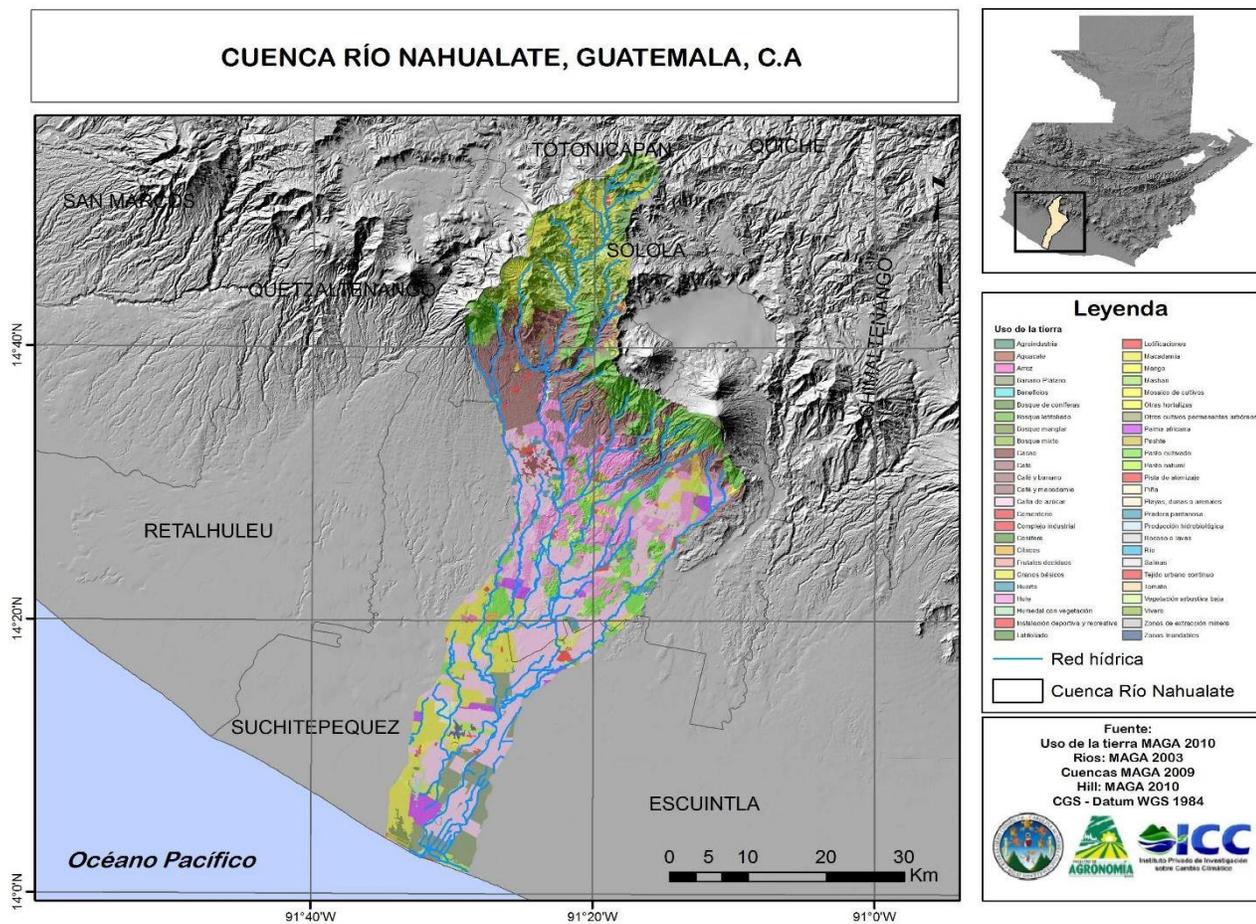
2.1.5.5 Delimitación de las zonas de inundación

Como se tiene un caudal de entrada para determinados periodos de retorno, se tienen las alturas correspondientes en cada sección para distintos periodos, en base a lo cual se obtienen las áreas de inundación. Este proceso se expone de manera detallada en la metodología.

2.2 Marco referencial

2.2.1 Cuenca del río Nahualate

La cuenca del río Nahualate se encuentra entre los paralelos 14°00'32" y 14°54'26" latitud norte y los meridianos 91°09'20" y 91°38'05" longitud Oeste. Como puede observarse en la figura 9, limita al norte con la Cuenca del río Motagua, al este la del río Madre Vieja, al oeste las Cuencas del río Samalá y Sis-Icán, y al sur el Océano Pacífico, (Oliva. E, 1,981).



Fuente: elaboración propia, 2015.
 Figura 9. Ubicación de la Cuenca del río Nahualate

2.2.1.1 Morfología

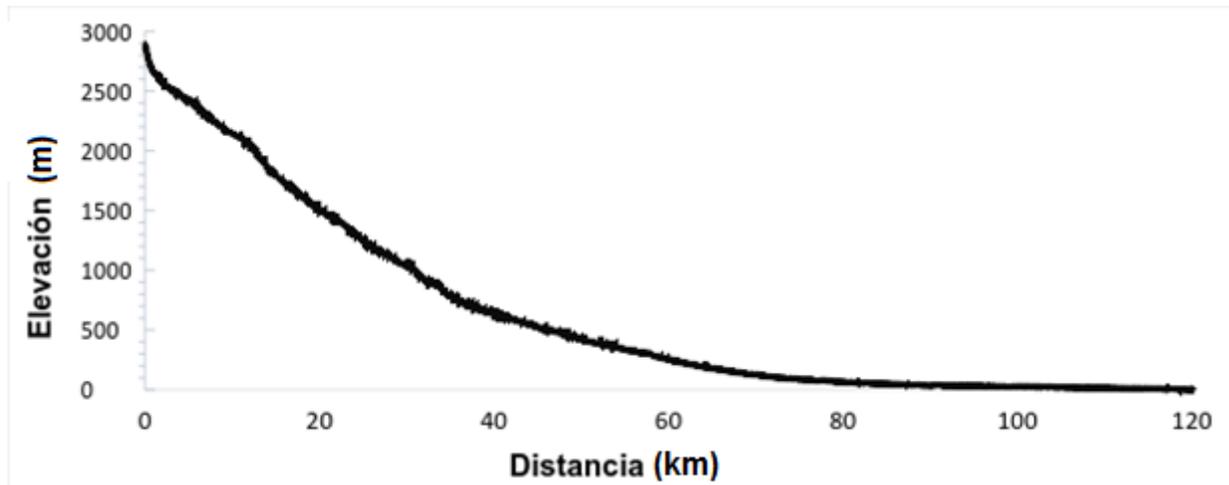
La cuenca del río Nahualate tiene un perímetro de 268.90 km y un área de 1,710.54 km², el cauce principal tiene una longitud de 132.15 km, de forma alargada (factor de forma 0.097). La elevación máxima es de 3,537 m s.n.m. y la elevación mínima es de -3 m s.n.m.. La pendiente media de la cuenca es de 16.84 %. Estos valores fueron obtenidos mediante el procesamiento del modelo de elevaciones digital –MED por medio de sistemas de información geográfica, (cuadro 3).

Cuadro 3. Parámetros morfométricos de la Cuenca Nahualate obtenidos a partir del modelo de elevación digital.

Parámetro	Valor
Área de la cuenca	1,710.54 km ²
Perímetro de la cuenca	268.90 km
Longitud del cauce principal	132.15km
Elevación máxima	3,537 m s.n.m.
Elevación mínima	-3 m s.n.m.
Pendiente media de la cuenca	16.84
Factor de forma Horton	0.097

Fuente: elaboración propia, 2015.

En el perfil longitudinal del cauce del río Nahualate que se presenta en la figura 10 se observan inclinaciones pronunciadas del lecho hasta llegar a la planicie del Pacífico, que presenta un relieve más suave hasta la desembocadura del río.



Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 10. Perfil longitudinal del cauce del río Nahualate

2.2.1.2 División Administrativa

En su recorrido inicial hasta su desembocadura al Océano Pacífico, son cinco municipios, los que están dentro de los límites de la cuenca: Totonicapán (donde nace el río Nahualate), Quetzaltenango, Sololá, Suchitepéquez y Escuintla. Suchitepéquez presenta el mayor número de municipios dentro de la cuenca (cuadro 4).

Cuadro 4. División administrativa de la cuenca del río Nahualate.

Departamento	Municipios dentro de la cuenca	Municipio
Totonicapán	1	Totonicapán
Quetzaltenango	2	Zunil Cantel
Sololá	8	Santiago Atitlán San Pedro La Laguna San Juan La Laguna Santa Clara La Laguna Santa Lucía Uatlán Santa María Visitación Santa Catarina Ixtahuacán Nahualá
Suchitepéquez	14	San Lorenzo Santo Domingo Suchitepéquez San José El Ídolo Chicacao Rio Bravo San Antonio Suchitepéquez San Pablo Jocopilas Santo Tomás La Unión Santa Bárbara San Miguel Panam Patutul San Juan Bautista San Bernardino Samayac
Escuintla	1	Tiquisate

Fuente: elaboración propia, 2015.

2.2.1.3 Uso de la tierra

Dentro de la cuenca del río Nahualate existen diferentes actividades productivas. Según el mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra (figura 11) , el uso de la tierra predominante, dentro de la cuenca es el de territorios agrícolas (74.30 %), seguido por la categoría de bosques y medios seminaturales (23.08 %), como se muestra en el cuadro 5.

Cuadro 5. Uso de la tierra Cuenca río Nahualate

Tipo de uso	Porcentaje
1. Terrenos artificializados	1.38 %
2. Territorios agrícolas	74.30 %
3. Bosques y medios seminaturales	23.08 %
4. Zonas húmedas	8.46 %
5. Cuerpos de agua	0.73 %
Total	100

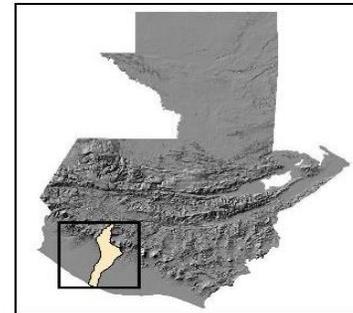
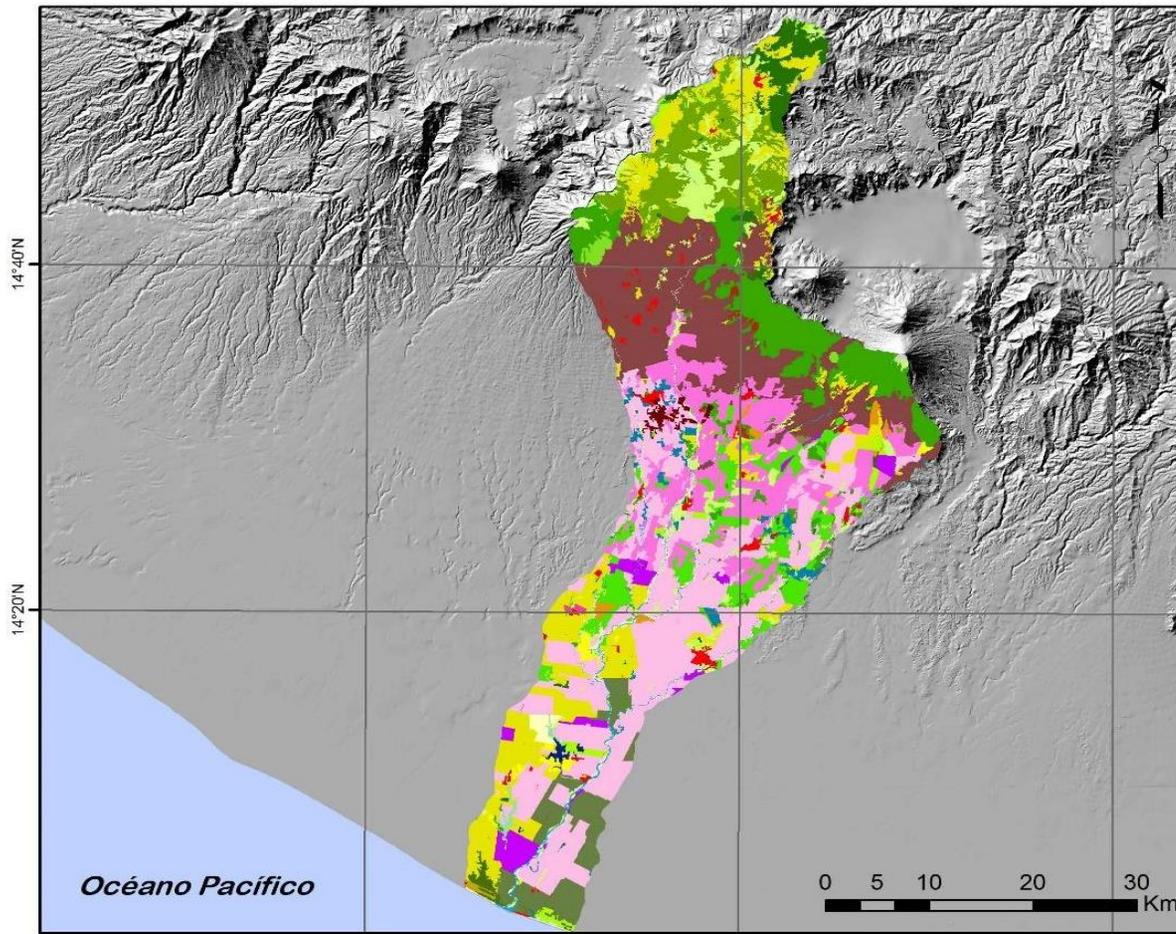
Fuente: elaboración propia, 2015.

La parte alta de la cuenca presenta usos de la tierra predominantemente forestal (68.10 %) en los que predominan los bosques mixtos (26.36 %), latifoliados (20.19 %), vegetación arbustiva baja (11.38 %), y coníferas (9.67 %). Los cultivos que se presentan en la parte alta son: granos básicos (18.85 %) y café (8.80 %).

En la parte media la cobertura forestal representa solamente el 13.22 %, los cultivos como el café (57.21 %), el hule (11.54 %), y sistemas agroforestales (4.41 %) entre otros, constituyen el 82.45 % de la superficie.

Los sistemas productivos agrícolas corresponden al 90.84 % de la parte baja de la superficie de la cuenca, en donde predominan el cultivo de caña de azúcar (36.41 %), granos básicos (12.13 %), banano-plátano (7.26 %), hule (6.81 %) y palma africana (3 %). En litoral destaca la presencia de bosque de mangle (584 ha.).

USO DE LA TIERRA 2010, CUENCA RÍO NAHUALATE GUATEMALA, C.A



Legenda

Uso de la tierra

Agropecuaria	Urbanización
Agave/lele	Urbanización
Arroz	Monte
Arroz/Alfalfa	Montes
Beneficios	Mosaico de cultivos
Bosque de coníferas	Otros hortícolas
Bosque deciduifoliado	Otros cultivos permanentes arbóreos
Bosque manglar	Palma africana
Bosque mixto	Pastba
Cacao	Pasto cultivado
Café	Pasto natural
Café y banano	Pista de aterrizaje
Casa y manzanas	Playa
Caña de azúcar	Playas, dunas o arenales
Camoteano	Prodena pantanosa
Complejo industrial	Producción hidrobiológica
Conifera	Rocosa o lavas
Citricos	Río
Estates florícolas	Sabanas
Granos básicos	Tecido urbano continuo
Huerte	Tomate
Huila	Vegetación arbustiva baja
Humedad con vegetación	Vivero
Instalación deportiva y recreativa	Zonas de extracción minera
Labilidat	Zonas inundables

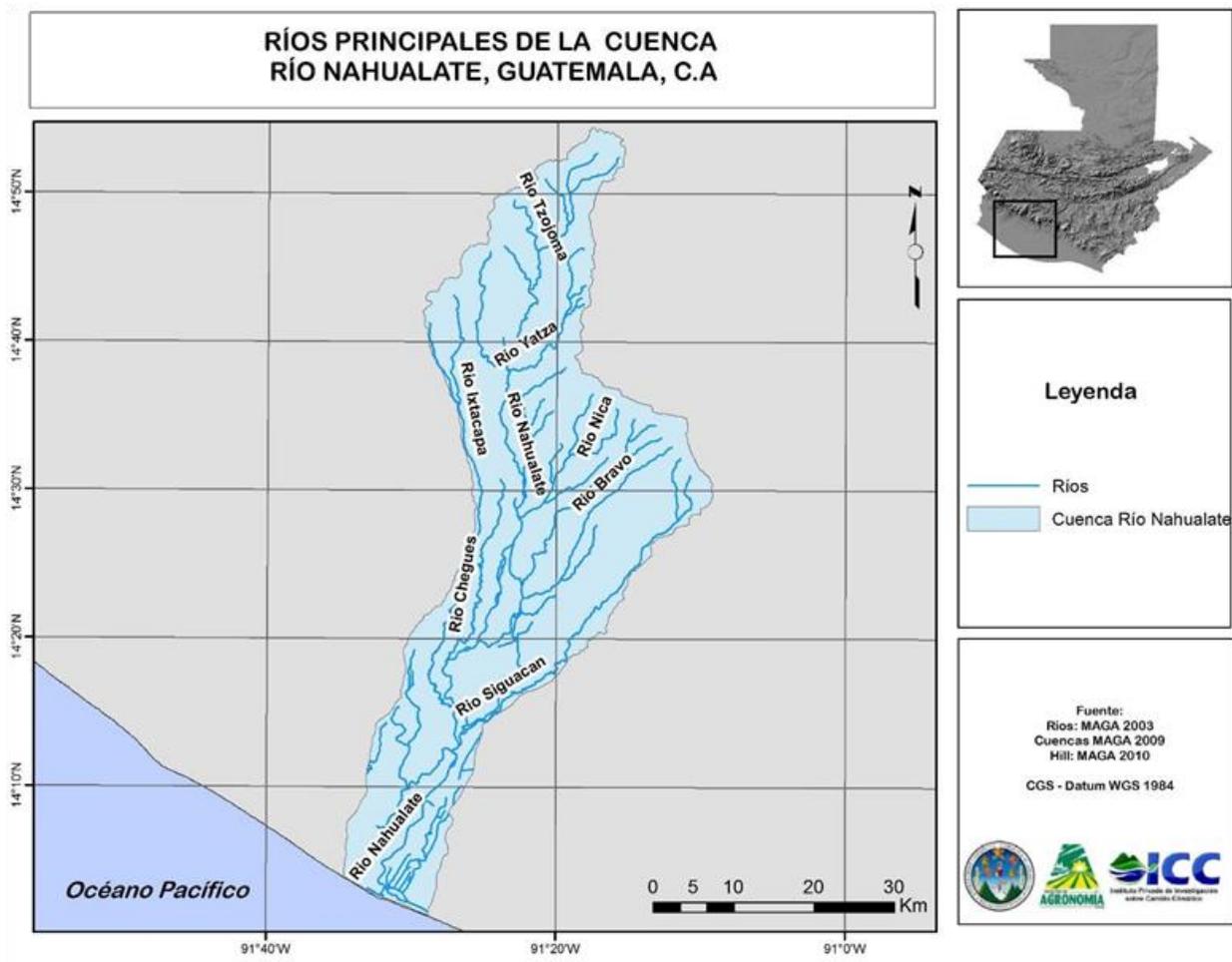
□ Cuenca Río Nahualate

Fuente:
Uso de la tierra MAGA 2010
Ríos: MAGA 2003
Cuencas MAGA 2009
Hill: MAGA 2010
CGS - Datum WGS 1984

Fuente: elaboración propia, 2015.
 Figura 11. Mapa del uso del suelo

2.2.1.4 Hidrografía

El nacimiento de la corriente principal del río Nahualate se remonta en el Paraje Empuxel a una elevación de 3,300 m s.n.m. en el municipio de Totonicapán, Totonicapán. Los principales ríos que tributan al río Nahualate son los siguientes: Tzozoná, Uguualco, Masá, Yatzá, Nicá, Cutzán, Tarro, Bravo, San Francisco, Chegüez, Ixtacapa, Siguacán y Mico. (Oliva. E, 1,981). Los cuales se muestran en la figura 12.



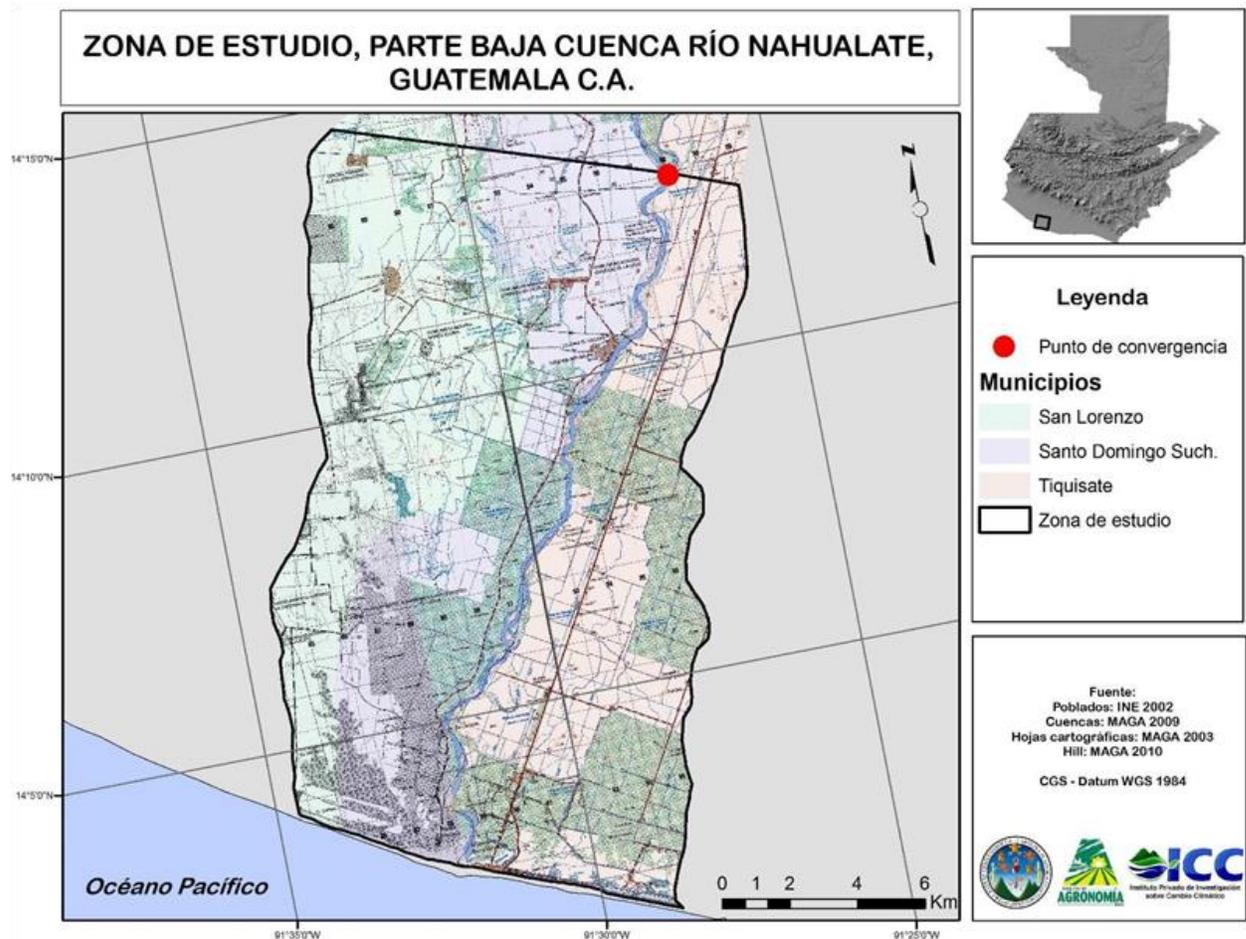
Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 12. Red hídrica dentro de la Cuenca Río Nahualate

2.2.2 Descripción de las áreas susceptibles a inundaciones

La delimitación y cuantificación de áreas susceptibles a inundación se realizó en los últimos 24.5 km del río Nahualate, debido a que este es el punto donde se une el último río tributario principal (río Siguacán) (Coordenadas X: -91.444455, Y: 14.214959) y hasta la desembocadura del cauce principal en el Océano Pacífico.

Ubicada en una planicie aluvial en la parte baja de la cuenca, en donde se encuentran los municipios de Tiquisate, Escuintla, y Santo Domingo Suchitepéquez, Suchitepéquez, como se observa en la figura 13.



Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 13. Cartografía de la zona de estudio, parte baja cuenca río Nahualate

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Determinar las zonas de inundación por el desborde del cauce principal, en la parte baja de la cuenca del río Nahualate.

3.2 Objetivos específicos

1. Realizar un análisis de la intensidad de precipitación para determinar la frecuencia de eventos que puedan desencadenar inundaciones.
2. Elaborar un estudio hidrológico e hidráulico para estimar la respuesta de la cuenca en diferentes eventos de precipitación.
3. Delimitar y cuantificar áreas de la parte baja de la cuenca, bajo amenaza de inundación por el desborde del río Nahualate.

4. METODOLOGÍA

4.1 Estudio de precipitación de la Cuenca del Río Nahualate

Paso 1

Se seleccionaron eventos de precipitación registrados por el pluviógrafo, para un periodo de 24 h computables desde las 8h00' de un determinado día, hasta las 8h00' del día siguiente; para lo cual se debe determinar previamente un umbral de precipitación. El valor de dicho umbral depende de las características pluviométricas de la zona donde se encuentra el pluviómetro (cuadro 6). Por ejemplo para el pluviómetro de Labor Ovalle (Quetzaltenango), donde se tiene una precipitación promedio anual de 887 mm, se eligió un umbral igual a 35 (mm); tomándose en cuenta todas las precipitaciones acumuladas en 24 h mayores a este umbral, obteniendo un registro de entre 3 y 7 eventos anuales.

Cuadro 6. Estaciones con registro de intensidad de precipitaciones disponibles en la zona de estudio.

Estación	Ubicación en relación a la cuenca	Umbral considerado (mm)	Época de registros	Número de episodios estudiados
Labor Ovalle	Parte alta	35	1980-2014	71
El Asintal	Parte Media	80	1980-2014	136
Camantulul	Parte media	100	1970-2014	30
Puerto San José	Parte Baja	60	1985-2014	51

Fuente: elaboración propia, 2015.

Paso 2

Para cada evento seleccionado se calcularon los valores de las precipitaciones máximas para diferentes duraciones menores a 24 h. En el presente estudio se emplearon las duraciones de 10, 20, 30, 60, 120, 180, 360, 720 y 1440 min. El cuadro 7 muestra los valores calculados para los eventos de larga duración seleccionados correspondientes al año 2010, en este año se registraron cinco eventos con precipitación acumulada en 24 h mayores a 35 mm con duración mayor a 6 h.

Cuadro 7. Valores de precipitación máxima para diferentes duraciones de los eventos seleccionados para el año 2010. Estación: Labor Ovalle. Se muestra en negrita y subrayado los valores máximos de precipitación para las diferentes duraciones en el año 2010.

Fecha			Duración de la lluvia en min y h								
Año	Mes	Día	10 min	20 min	30 min	1 h	2 h	3 h	6 h	12 h	24 h
2010	05	25	<u>5.3</u>	6.3	8.4	13.5	26.8	30.2	30.3	35.7	44.3
2010	05	28	2.9	4.8	6.2	11.2	18.2	27.6	49.4	82.1	104.8
2010	05	29	5.2	<u>8.0</u>	<u>10.9</u>	<u>17.0</u>	<u>27.5</u>	<u>41.9</u>	<u>60.0</u>	<u>98.3</u>	<u>114.0</u>
2010	06	27	2.8	4.1	4.8	7.6	11.4	14.7	15.8	26.5	26.5
2010	09	03	1.9	3.6	4.9	8.1	14.3	18.9	34.9	61.8	92.2

Fuente: elaboración propia, 2015.

Paso 3

Se calcularon las relaciones P_d/P_{24} para cada duración y cada evento, dividiendo el valor de la precipitación correspondiente a cada duración entre el valor de la precipitación para la duración de 24 h del mismo evento. Por ejemplo, para hallar el valor de la relación P_d/P_{24} correspondiente a la duración de 3 h para el año 2010 (cuadro 7), se dividió el valor de 41.9, que es la precipitación máxima del año 2010 correspondiente a la duración de 3 h, entre el valor 114.0 que es la precipitación total del evento de fecha 29/05/2010, obteniendo el valor de 0.37. El cuadro 8, muestra los valores de la relación P_d/P_{24} para el año 2010.

Cuadro 8. Valores de la relación Pd/P24 para los eventos del año 2010, con duración mayor a 6 h.

Fecha			Duración de la lluvia en min y h								
Año	Mes	Día	10 min	20 min	30 min	1 h	2 h	3 h	6 h	12 h	24 h
2010	05	25	0.12	0.14	0.19	0.31	0.61	0.68	0.68	0.81	44.3
2010	05	28	0.03	0.05	0.06	0.11	0.17	0.26	0.47	0.78	104.8
2010	05	29	0.05	0.07	0.10	0.15	0.24	0.37	0.53	0.86	114.0
2010	06	27	0.11	0.15	0.18	0.29	0.43	0.55	0.60	1.00	26.5
2010	09	03	0.02	0.04	0.05	0.09	0.15	0.21	0.38	0.67	92.2

Fuente: elaboración propia, 2015.

Este proceso se llevó a cabo para cada uno de los años donde existen registros disponibles para realizar el análisis.

Paso 4

Como la relación Pd/P24 va a ser función de la duración "d" y del período de retorno "T", para la determinación de este último y por tratarse de precipitaciones máximas diarias, se realizó un análisis de inferencia estadística con la serie de precipitaciones máximas diarias anuales medidas en cada estación. Para cada una de las estaciones incluidas en el presente estudio, la serie de precipitaciones diarias máximas anuales fue ajustada mediante la Ley de Gumbel; a través de la misma se determinaron las frecuencias de no excedencia y los períodos de retorno de las precipitaciones correspondientes a la duración de 24 h del cuadro 9. El cuadro 10 muestra los resultados para Labor Ovalle.

Cuadro 9. Valores de la relación Pd/P24 para diferentes duraciones. Estación: Labor Ovalle.

Duración de la lluvia en min y h									
Fecha evento	10 min	20 min	30 min	1 h	2 h	3 h	6 h	12 h	24 h
01/11/1998	0.04	0.07	0.09	0.13	0.24	0.29	0.47	0.83	47.02
14/6/2003	0.13	0.26	0.28	0.47	0.62	0.76	0.78	1.00	33.03
06/03/2004	0.18	0.31	0.39	0.69	0.81	0.88	0.92	0.94	38.09
18/7/2005	0.27	0.35	0.36	0.39	0.39	0.45	0.89	1.00	22.19
03/10/2005	0.09	0.13	0.19	0.32	0.44	0.46	0.49	0.73	10.82
04/10/2005	0.05	0.05	0.08	0.12	0.12	0.18	0.40	0.55	146.03
05/10/2005	0.03	0.05	0.07	0.13	0.24	0.32	0.47	0.74	65.29
21/10/2007	0.05	0.09	0.11	0.17	0.24	0.31	0.52	0.92	38.83
18/5/2008	0.18	0.37	0.50	0.59	0.67	0.72	0.74	0.96	39.27
06/02/2008	0.05	0.08	0.10	0.13	0.21	0.27	0.40	0.72	48.37
20/12/2009	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05	0.07	10.83
25/05/2010	0.12	0.14	0.19	0.31	0.61	0.68	0.68	0.81	44.26
27/06/2010	0.11	0.15	0.18	0.29	0.43	0.55	0.60	1.00	26.48
09/03/2010	0.02	0.04	0.05	0.09	0.15	0.21	0.38	0.67	92.19
28/05/2010	0.03	0.05	0.06	0.11	0.17	0.26	0.47	0.78	104.77
29/05/2010	0.05	0.07	0.10	0.15	0.24	0.37	0.53	0.86	113.96
11/10/2011	0.06	0.09	0.13	0.21	0.32	0.4	0.57	0.88	124.80
28/08/2013	0.09	0.18	0.24	0.36	0.54	0.63	0.75	0.99	25.42

Fuente: elaboración propia, 2015.

Cuadro 10. Valores de la frecuencia de no excedencia “ $F(X \leq x)$ ” y periodos de retorno “ T ” diarias. Estación: Labor Ovalle.

Año	Pd máx.	$F(X \leq x)$	T	Año	Pd máx.	$F(X \leq x)$	T
1980	36	0.028	1	1998	60.7	0.833	6
1981	36.9	0.222	1.3	1999	29.3	0.083	1.1
1982	51.2	0.75	4	2000	35.5	0.194	1.2
1983	48	0.667	3	2001	29	0.056	1.1
1984	40.4	0.389	1.6	2002	35	0.167	1.2
1985	34.1	0.139	1.2	2003	73	0.861	7.2
1986	38	0.278	1.4	2004	39.5	0.333	1.5
1987	39	0.306	1.4	2005	140.6	0.972	36
1988	45	0.611	2.6	2006	42.9	0.5	2
1989	54.2	0.806	5.1	2007	40.5	0.417	1.7
1990	40	0.361	1.6	2008	53.8	0.778	4.5
1991	48.9	0.722	3.6	2009	44.2	0.556	2.3
1992	33.2	0.111	1.1	2010	130.5	0.944	18
1993	37	0.25	1.3	2011	88.3	0.917	12
1994	46.2	0.639	2.8	2012	44.1	0.528	2.1
1995	44.6	0.583	2.4	2013	41.8	0.444	1.8
1996	48.7	0.694	3.3	2014	85.8	0.889	9
1997	42	0.472	1.9				

Fuente: elaboración propia, 2015.

Paso 5

Se escogieron los eventos correspondientes a períodos de retorno significativos para el estudio de inundaciones; para este estudio se trabajaron eventos con periodos de retorno de 4.9, 14.8, 24.9, 36.4, 56.8 y 136.3 años. El cuadro 11 muestra la referida información ordenada según el período de retorno “ T ”.

Cuadro 11. Valores de la relación Pd/P24 para las diferentes duraciones y periodos de retorno escogidos. Estación: Labor Ovalle.

Duración de la lluvia en min y h										
Fecha evento	10 min	20 min	30 min	1h	2h	3h	6h	12h	24h	T
05/10/2005	0.03	0.05	0.07	0.13	0.24	0.32	0.47	0.74	65.30	4.90
09/03/2010	0.02	0.04	0.05	0.09	0.15	0.21	0.38	0.67	92.19	14.83
28/05/2010	0.03	0.05	0.06	0.11	0.17	0.26	0.47	0.78	104.77	24.90
29/05/2010	0.05	0.07	0.10	0.15	0.24	0.37	0.53	0.86	113.96	36.37
11/10/2011	0.06	0.09	0.13	0.21	0.32	0.40	0.57	0.88	124.80	56.84
04/10/2005	0.05	0.05	0.08	0.12	0.12	0.18	0.40	0.55	146.03	136.32

Fuente: elaboración propia, 2015.

Paso 6

Se ordenaron los valores de la relación Pd/P24 en forma creciente para cada duración, obteniendo los valores que muestra en el cuadro 12.

Cuadro 12. Valores de la relación Pd/P24 ordenados en forma creciente para cada las diferentes duraciones. Estación: Labor Ovalle.

Duración de la lluvia en min y h									
T	10 min	20 min	30 min	1 h	2 h	3 h	6 h	12 h	24 h
5	0.02	0.04	0.05	0.09	0.12	0.18	0.38	0.55	1.00
15	0.03	0.05	0.06	0.11	0.15	0.21	0.40	0.67	1.00
25	0.03	0.05	0.07	0.12	0.17	0.26	0.47	0.74	1.00
36	0.05	0.05	0.08	0.13	0.24	0.32	0.47	0.78	1.00
57	0.05	0.07	0.10	0.15	0.24	0.37	0.53	0.86	1.00
136	0.06	0.09	0.13	0.21	0.32	0.40	0.57	0.88	1.00

Fuente: elaboración propia, 2015.

Paso 7

Con la información del cuadro 12 se busca una función que se ajuste a los pares de valores compuestos por la relación P_d/P_{24} y la duración "d" para cada período de retorno "T"; probando varias funciones se adoptó la que dio el coeficiente de correlación "r" más alto.

La función adoptada tiene la siguiente expresión general (1):

$$Y = \frac{X}{a + bX}$$

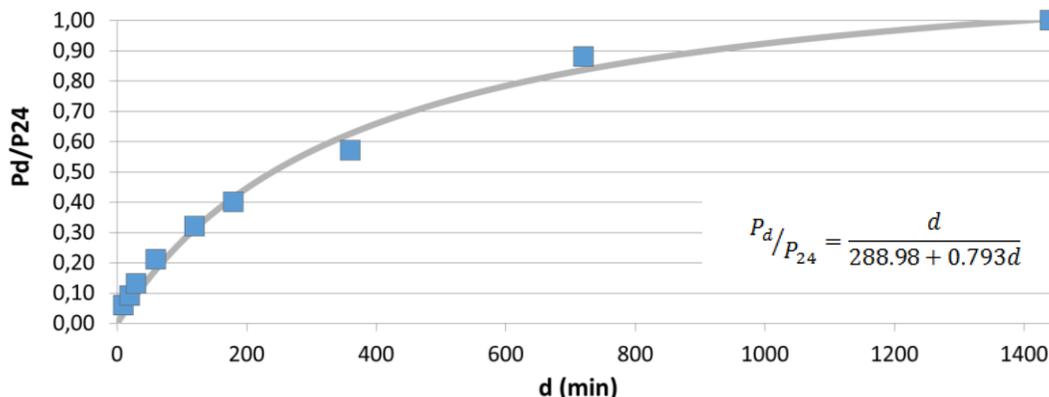
Dónde:

Y: es la variable dependiente

X: es la variable independiente

a y b: son coeficientes a determinar

Mediante un análisis de correlación no lineal se ajusta la función anterior a cada serie de puntos correspondientes a los períodos de retorno "T" escogidos; los resultados del ajuste correspondiente al periodo de retorno de 2 años se muestra en la figura 14; en la misma se tienen graficados los valores observados y los valores calculados mediante la ecuación ajustada. Se tiene también la expresión de la ecuación y el valor del coeficiente de correlación "r". Todos estos análisis se llevaron a cabo mediante el uso del software CurveExpert.



Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 14. Gráfica de los valores observados y calculados mediante la ecuación adoptada para el periodo de retorno de 136 años.

De esta manera se obtuvieron seis funciones para igual número de períodos de retorno. Las cuales tienen la expresión general siguiente (2):

$$P_d/P_{24} = \frac{d}{a + b * d}$$

Dónde:

Pd/P24: es la relación de precipitaciones

D: es la duración en min

a y b: son constantes a determinar

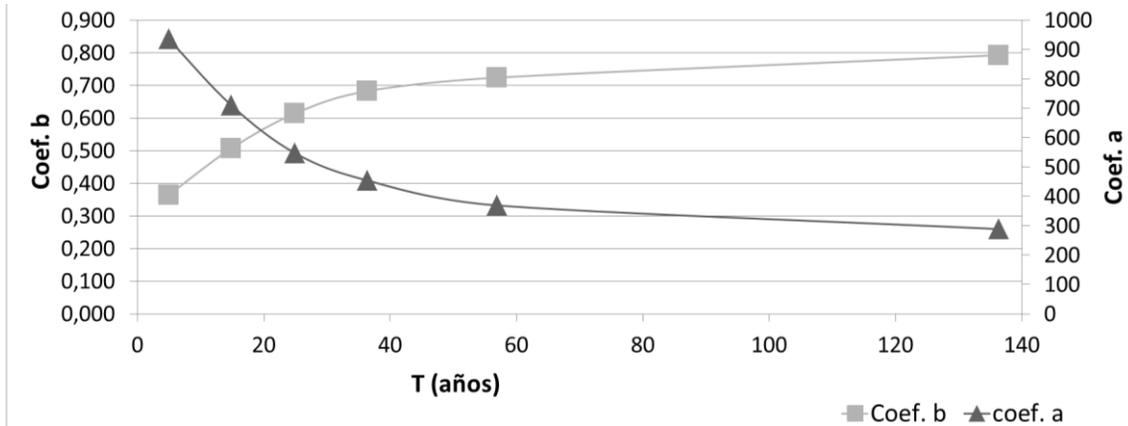
Cuadro 13. Valores de los coeficientes a y b para los diferentes periodos de retorno "T".
Estación: Labor Ovalle.

T	5	15	25	36	57	136
a	936.54	711.02	548.15	454.64	369.74	288.98
b	0.364	0.507	0.614	0.683	0.724	0.793

Fuente: elaboración propia, 2015.

Paso 8

Se analizó el comportamiento de los coeficientes a y b en relación al periodo de retorno "T". El coeficiente a tiene una variación inversamente proporcional al período de retorno "T". Mientras que el coeficiente b no tiene una variación significativa. Manteniéndose casi constante; esto se puede apreciar en la figura 15. La cual tiene en abscisas los valores del período de retorno "T" y en ordenadas los valores correspondientes a los coeficientes a y b.



Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 15. Gráfica de los valores observados y calculados mediante la ecuación adoptada

Paso 9

Se buscó una función que relacione el coeficiente “a” con el período de retorno “T”. la función encontrada (Mendoza. 1994) tiene la siguiente expresión (3):

$$a = 1710.570T^{-0.36}$$

Donde:

T: período de retorno

a: coeficiente

El coeficiente b se mantiene casi constante y su dependencia del período de retorno “T” no es muy significativa; como valor representativo del mismo se tomó la media aritmética de los seis valores que se muestran en el cuadro 13. Obteniéndose el siguiente valor:

$$b = 0.61$$

Paso 10

La expresión final que permite la desagregación de precipitaciones de 24 h en duraciones menores. Se obtiene reemplazando las ecuaciones (3) y (4) en la ecuación (2) obteniendo la siguiente expresión (5):

$$P_d/P_{24} = \frac{d}{1710.570T^{-0.36} + 0.61d}$$

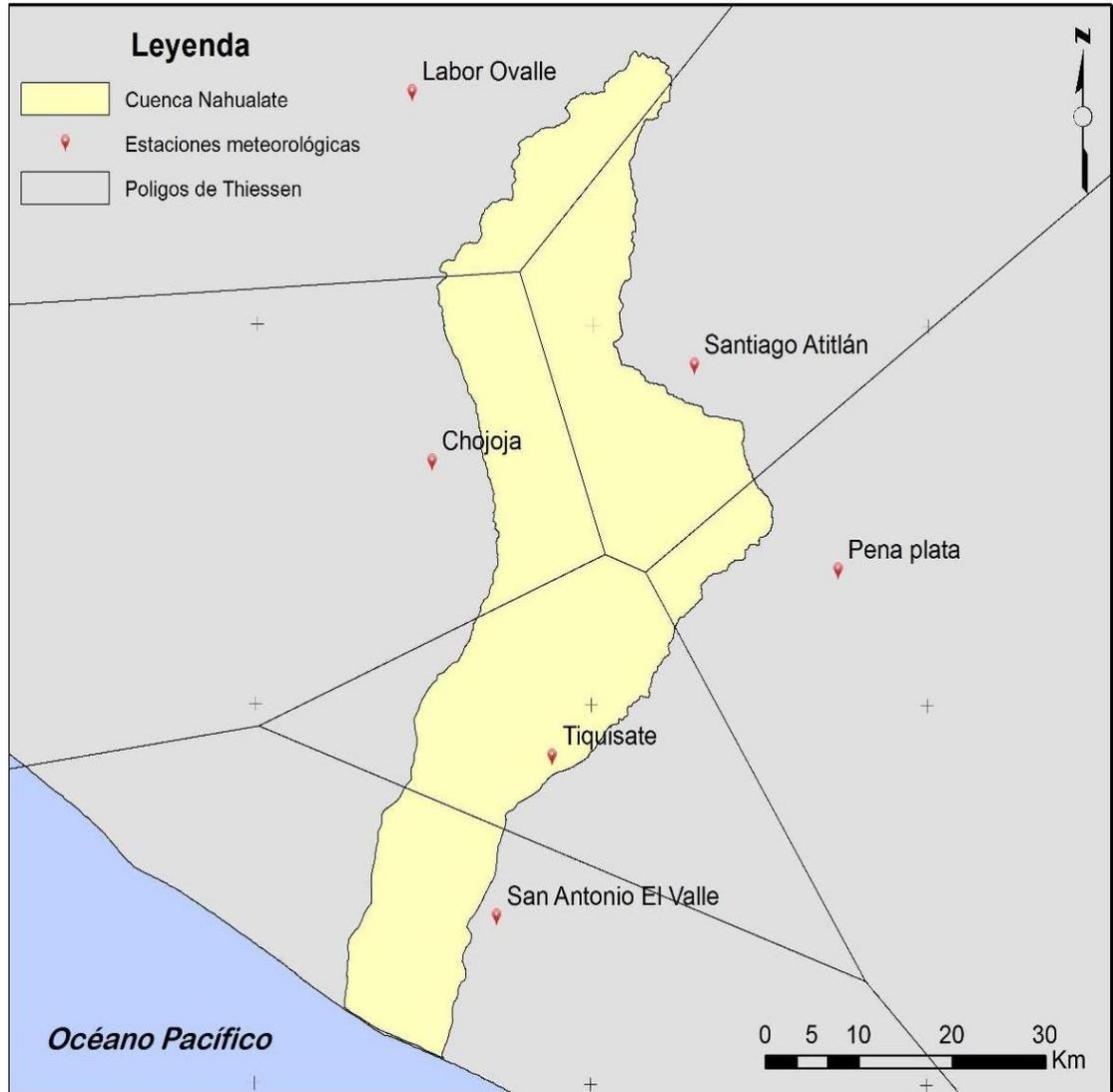
Dónde:

P_d/P_{24} : índice de desagregación horaria

d : duración en min

T : período de retorno en años

A partir de esta metodología se crearon ecuaciones para estimar las intensidades de la precipitación de las estaciones Santiago Atitlan. Chojó. Peña Plata. Tiquisate y San Antonio El Valle, las cuales se encontraban dentro o en los alrededores de la cuenca (figura 16).



Fuente: elaboración propia, 2015.

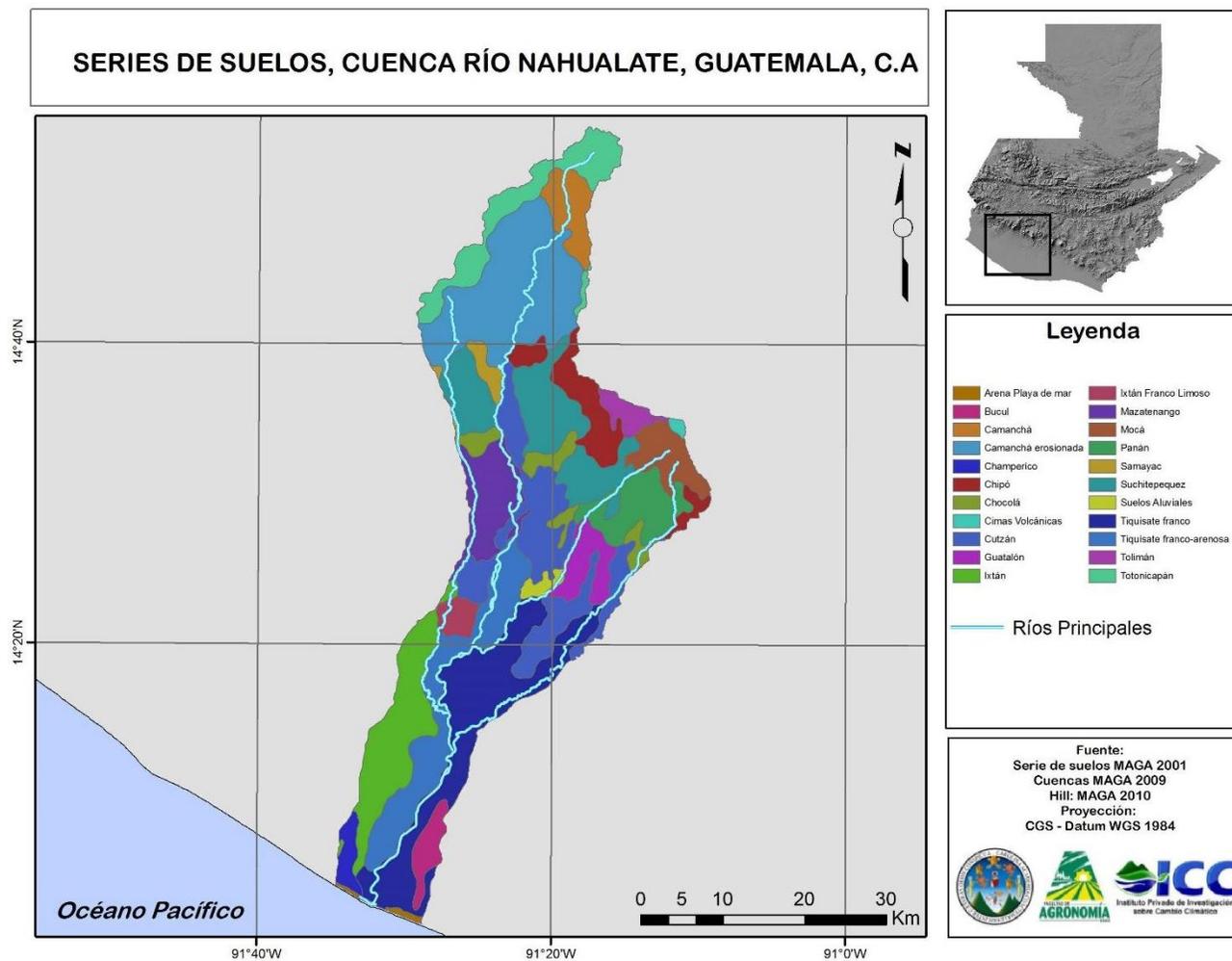
Figura 16. Área de influencia de las estaciones Labor Ovalle. Chojaja. Santiago Atitlán. Peña Plata. Tiquisate. San Antonio El Valle, a partir de polígonos de Thiessen

A través del método de bloques alternos (ACA. 2003). Se establecieron pluviogramas de diseño para cada una de las estaciones meteorológicas incluidas en el estudio los cuales son el insumo principal del modelo hidrológico.

4.2 Número de curva

4.2.1 Tipo del suelo

Se extrajeron las características de drenaje y textura a partir de la capa de series de suelos de la república de Guatemala (MAGA, 2001), las 22 series de suelo que se encuentran presente en la cuenca del río Nahualate se muestran en la figura 17.



Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 17. Series de suelo presentes en la cuenca del río Nahualate

La información respecto a la clasificación del drenaje y la textura superficial de las series de suelos presentes en la cuenca del río Nahualate, así como la extensión de las mismas se agruparon en el cuadro 14.

Cuadro 14. Series de suelo dentro de la cuenca del río Nahualate

No.	Serie	Símbolo	Clasificación del drenaje	Textura superficial	Área (km ²)
1	Totonicapán	Tp	Buen Drenaje	Franco-Turbosa	97.23
2	Camanchá	Cm	Buen Drenaje	Franca	46.38
3	Camanchá erosionada	Cme	Buen Drenaje	Franca	232.41
4	Tolimán	Tn	Buen Drenaje	Franco-Arenosa	21.48
5	Suchitepéquez	Sx	Buen Drenaje	Franco-Limosa	166.04
6	Chipó	Chi	Drenaje Excesivo	Franca	76.75
7	Cutzán	Cz	Buen Drenaje	Franco-Arenosa Fina	183.72
8	Cimas Volcánicas	CV	No disponible	No disponible	3.48
9	Samayac	Sm	Buen Drenaje	Franco-Limosa	17.86
10	Mazatenango	Mz	Buen Drenaje	Franco-Limosa	81.00
11	Mocá	Mo	Buen Drenaje	Franco-Arenosa a Franca	48.54
12	Chocolá	Cho	Buen Drenaje	Franco-Limosa o Arcillosa	45.29
13	Panán	Pn	Buen Drenaje	Franco-Arenosa	70.82
14	Guatalón	Gn	Drenaje Excesivo	Franco-Arenosa	44.00
15	Tiquisate franco-arenosa	Ti	Buen Drenaje	Franco-Arenosa Fina	140.97
16	Suelos Aluviales	SA	No disponible	No disponible	10.46
17	Tiquisate franco	Ts	Buen Drenaje	Franca	221.78
18	Ixtán Franco Limoso	It	No disponible	No disponible	19.84
19	Bucul	Bu	Drenaje muy Pobre	Franco-Arcillosa	27.04
20	Champerico	Chm	Drenaje muy Pobre	Arcilla	18.72
21	Ixtán	Ix	Drenaje Moderado	Arcilla	131.53
22	Arena Playa de mar	AM	Drenaje Excesivo	Arena	5.03

Fuente: elaboración propia, 2015.

Las series de suelo se clasificaron en función de su capacidad de infiltración, en cuatro categorías, las cuales se muestran en el cuadro 15.

Cuadro 15. Criterios de clasificación del tipo de suelo según el NRCS.

Grupo	A	B	C	D
Tasa de infiltración	0.80-1.10 cm/h	0.40-0.80 cm/h	0.10-0.40 cm/h	0.010 cm/h
Permeabilidad	Infiltración rápida incluso con humedad elevada	Infiltración moderada con humedad elevada	Infiltración lenta si presentan humedad	Infiltración muy lenta cuando están húmedos
Textura	Arenas, arenas y limos	Franco-arenosas, franco-arcillo-arenosas, o franco-limosas	Franco-argilosas, franco-arcillo-limosas o limosas o arcillo-arenosas	Arcillosos o niveles freáticos permanentemente cercanos a la superficie.

Fuente: elaboración propia, 2015.

4.2.2 Uso de la tierra

El uso de la tierra de la cuenca Nahualate fue reclasificado en función de los usos de la tierra establecidos por el Natural Resources Conservation Service (NRCS) y por las tablas del Soil and Water Analysis Tool (SWAT, USDA). Esto permitió la agrupación de las categorías de uso de la tierra (MAGA, 2010), en categorías de uso de la tierra de los cuales se tiene el coeficiente para realizar el cálculo del número de curva, como se muestra en el cuadro 16.

Cuadro 16. Clasificación de los usos de la tierra según los criterios del NRCS y SWAT

Código	Clasificación NCRS y ARCSWAT
1	Zona urbana, 65 % Impermeable
2	Zona industrial, 72 % impermeables
3	Espacios abiertos , condiciones hidrológicas buenas
4	Ranchos, construcciones, vías de comunicación y parcelas circundantes
5	Maíz
6	Arroz
7	Pastos cultivados
8	Pasto Natural
9	Cultivos agrícolas en fila
10	Cultivos en línea, condiciones hidrológicas pobres
11	Tomate
12	Banano
13	Piña
14	Cultivos en línea, con cobertura vegetal condiciones hidrológicas buenas
15	Café
16	Terreno con árboles frutales
17	Hule
18	Arboles de Naranja
19	Caña de azúcar
20	Arbustos condiciones hidrológicas medias
21	Aceite de Palma
22	Finca de árboles, condiciones hidrológicas medias
23	Bosque deciduo
24	Bosque siempre verde
25	Bosque Mixto
26	Pantanos mixtos
27	Suelo desnudo
28	Agua
29	Áreas impermeables

Fuente: elaboración propia, 2015.

Esta metodología permitió obtener el valor del número de curva para la cuenca como se muestra en el cuadro 17, donde un coeficiente de número de curva alto (igual a 100) indica

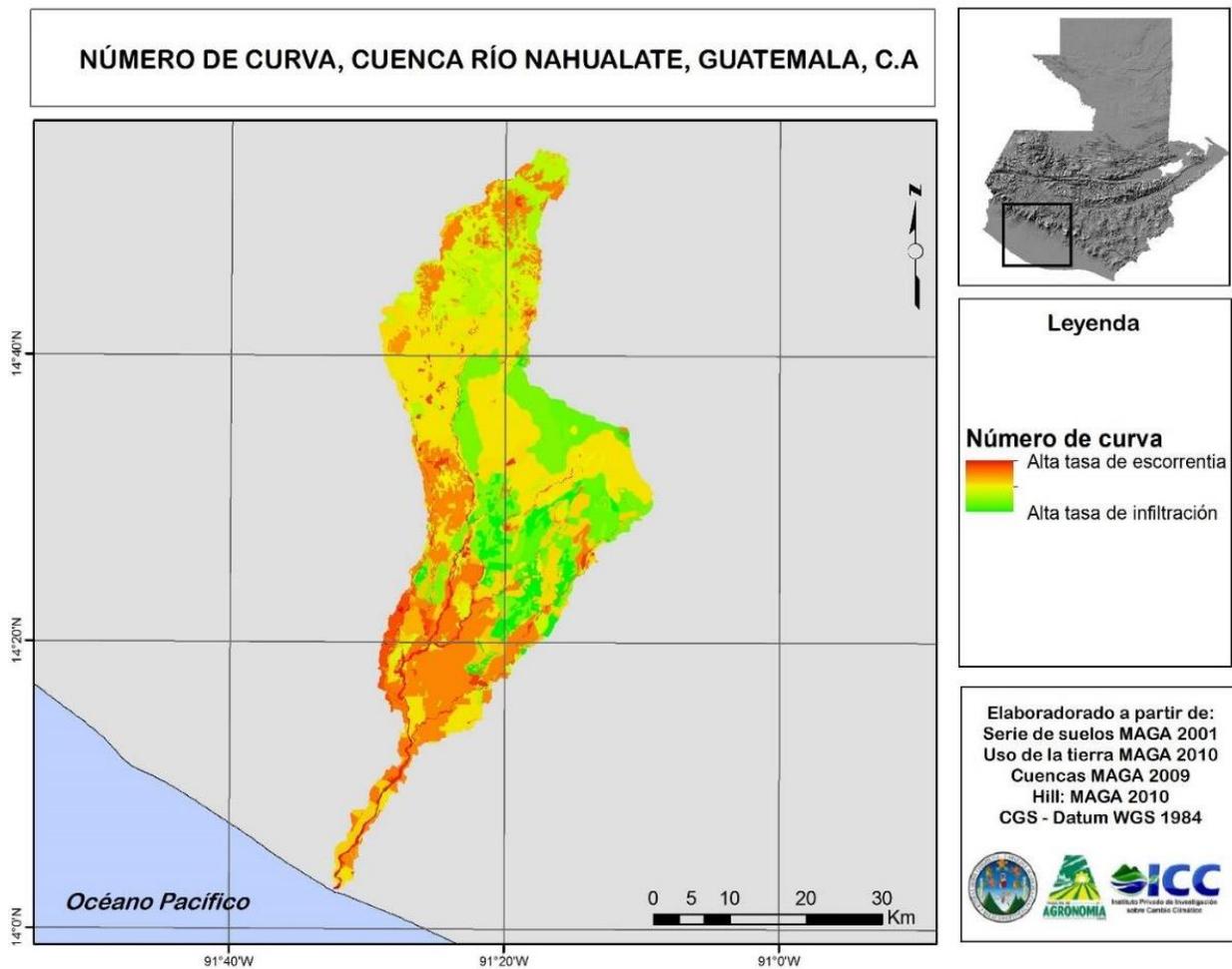
que todo lo que llueve se convierte en escorrentía y coeficientes de curva bajos indicaran aseguran altas tasas de infiltración, baja escorrentía superficial y escasa erosión hídrica.

Cuadro 17. Ejemplo de obtención de número de curva (las columnas de los grupos a, b, c y d, se expresan en porcentaje).

Uso de la tierra	Serie de suelo	Grupo A	Grupo B	Grupo C	Grupo D	Número de curva
Maíz	Camanchá erosionada	0	100	0	0	77
Pastos naturales	Totonicapán	0	90	10	0	70
Café	Samayác	0	100	0	0	66
Bosque siempre verde	Totonicapán	0	90	10	0	56.5
Bosque Mixto	Camanchá	0	100	0	0	60

Fuente: elaboración propia, 2015.

A partir del geo procesamiento de la información de la capacidad de infiltración de las series de suelos y el uso de la tierra, se genera una capa la cual contiene la distribución del valor del número de curva de la cuenca, el cual como se observa en la figura 18 muestra regiones con altas tasa de infiltración (zonas de color verde), las cuales están ubicadas en la partes altas de la cuenca, y regiones (de color rojo) las cuales tienen tasas elevadas de escorrentía (nótese el cauce del río).



Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 18. Distribución del parámetro de número de curva, en la cuenca del río Nahualate.

4.3 Obtención de caudales por el método lluvia-escorrentía

Para la obtención de caudales de diseño por el método de lluvia-escorrentía del NCRS, la cuenca del Nahualate se dividió en 33 subcuencas como se muestra en la figura 19.

Como cada en cada subcuenca el modelo HMS computa el balance hídrico del evento, a mayor número de cuenca mejor representación de la heterogeneidad de variables topografía, tipo de suelo y uso de la tierra y, por tanto, mayor precisión de los resultados.

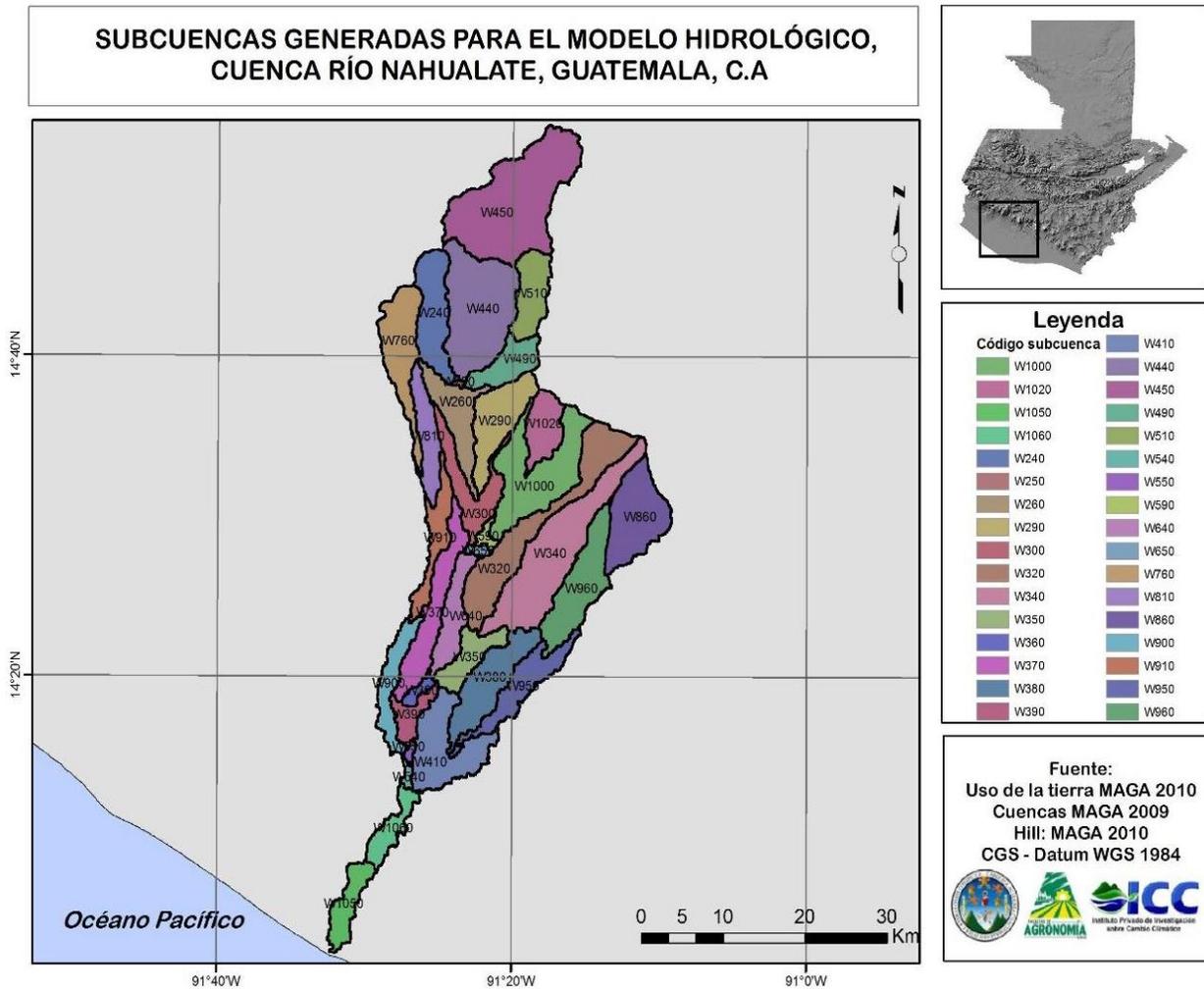


Figura 19. División de la cuenca Nahualate en subcuencas para la generación del modelo hidrológico.

4.3.1 Tiempo de retardo

Este valor indica el tiempo que transcurre entre el momento de máxima precipitación en la cuenca y el momento de caudal máximo en el punto de drenaje. Al no contar con los registros de lluvia y de caudal, el tiempo de retardo fue estimado mediante como el 60 % del tiempo de concentración. (Ponce, 1989).

El tiempo de concentración se estimó a partir de métodos teóricos que se basan en parámetros morfométricos de la cuenca. Los valores utilizados fueron los obtenidos mediante la extensión HEC-GEOHMS, el método de la fórmula de Kirpich y la fórmula de Giandotti.

El tiempo de concentración que se ha utilizado en la modelación es el promedio de los resultados de los tres métodos.

Cuadro 18. Determinación del tiempo de retardo mediante el promedio de tres métodos.

No	Sub cuenca	Área Km ²	Método HEC-GEOHMS	Formula Kirpich	Formula Giandotti	Tiempo de retardo
1	W240	51.01	2.62	0.96	0.59	1.39
2	W250	0.90	0.59	0.96	0.34	0.63
3	W260	43.27	4.49	0.18	2.17	2.28
4	W290	51.65	3.8	1.38	0.95	2.04
5	W300	41.50	5.24	0.96	1.97	2.72
6	W320	92.12	7.46	1.45	2.53	3.81
7	W340	115.14	9.9	1.78	2.28	4.65
8	W350	28.53	3.97	1.65	5.8	3.81
9	W360	6.28	2.86	2.08	3.72	2.88
10	W370	54.53	8.74	1.29	2.73	4.26
11	W380	57.34	6.49	4.05	4	4.84
12	W390	17.09	4.25	3.01	4.53	3.93
13	W410	64.25	7.54	2.08	7.22	5.62
14	W440	104.46	3.14	3.16	1.86	2.72
15	W450	146.03	3.06	1.14	1.61	1.94
16	W490	30.05	2.85	1.28	0.97	1.7
17	W510	36.41	2.37	0.76	0.97	1.37
18	W540	3.42	2.85	1.07	2.83	2.25
19	W550	2.37	2.35	1.24	2.83	2.14
20	W590	5.11	1.87	0.97	1.55	1.46
21	W640	34.17	4.69	0.58	5.74	3.67
22	W650	3.39	1.04	1.99	1.02	1.35
23	W760	55.63	3.62	0.26	0.94	1.61
24	W810	33.45	5.2	1.2	1.24	2.54
25	W860	63.83	4.74	1.25	1.37	2.45
26	W900	31.37	6.11	0.89	8.86	5.29
27	W910	31.98	7.61	3.7	3.17	4.83
28	W950	42.79	7.97	2.43	6.54	5.65
29	W960	62.51	7.67	3.55	2.3	4.51
30	W1000	88.45	5.2	1.7	2.1	3
31	W1020	31.32	3.13	1.23	0.71	1.69
32	W1050	26.09	8.73	0.57	12.54	7.28
33	W1060	22.19	6.33	4.47	8.6	6.47

Fuente: elaboración propia, 2015.

4.3.2 Propagación de la crecida

El tiempo de propagación de una crecida es el tiempo que tarda la crecida en circular a través del cauce principal en una subcuenca situada aguas abajo, Esta circulación produce dos efectos en el flujo, a) retardo en el caudal máximo del hidrograma debido al tiempo que tarda el río en atravesar el tramo de río de la nueva subcuenca, b) atenuación del caudal máximo causado por procesos de dispersión y almacenamiento del flujo que tienen lugar en el canal (Gil, 2012)

Para el cálculo de la propagación de la crecida se utilizó el método Muskingum-Cunge, el cual se basa en parámetros físicos de la cuenca. Esta metodología substituye el uso hidrogramas reales, pudiendo aplicar el método en cuencas sin estaciones de aforo.

Para la obtención de la propagación de la crecida en los tramos donde se propagan las crecidas del río Nahualate, se utilizaron los siguientes parámetros:

- Longitud del tramo por donde se propaga la crecida (m)
- Pendiente del cauce por donde se propaga la crecida (m/m)
- Coeficiente de rugosidad de Manning promedio del cauce (adimensional)
- Forma del lecho del río (en este estudio se han simplificado los cauces a formas rectangulares).
- Ancho del cauce (m)

Cuadro 19. Ejemplo de los parámetros calculados para los tramos según para la metodología Muskingum-Cunge.

Tramo	Forma	Longitud	Inclinación	Ancho Promedio	Manning promedio
R30	Rectangular	1283	0.02	428.15	0.45
R970	Rectangular	14969	0.01	23.25	0.4
R20	Rectangular	21325	0.05	27.75	0.5
R820	Rectangular	4399	0.03	23.42	0.45

Fuente: elaboración propia, 2015.

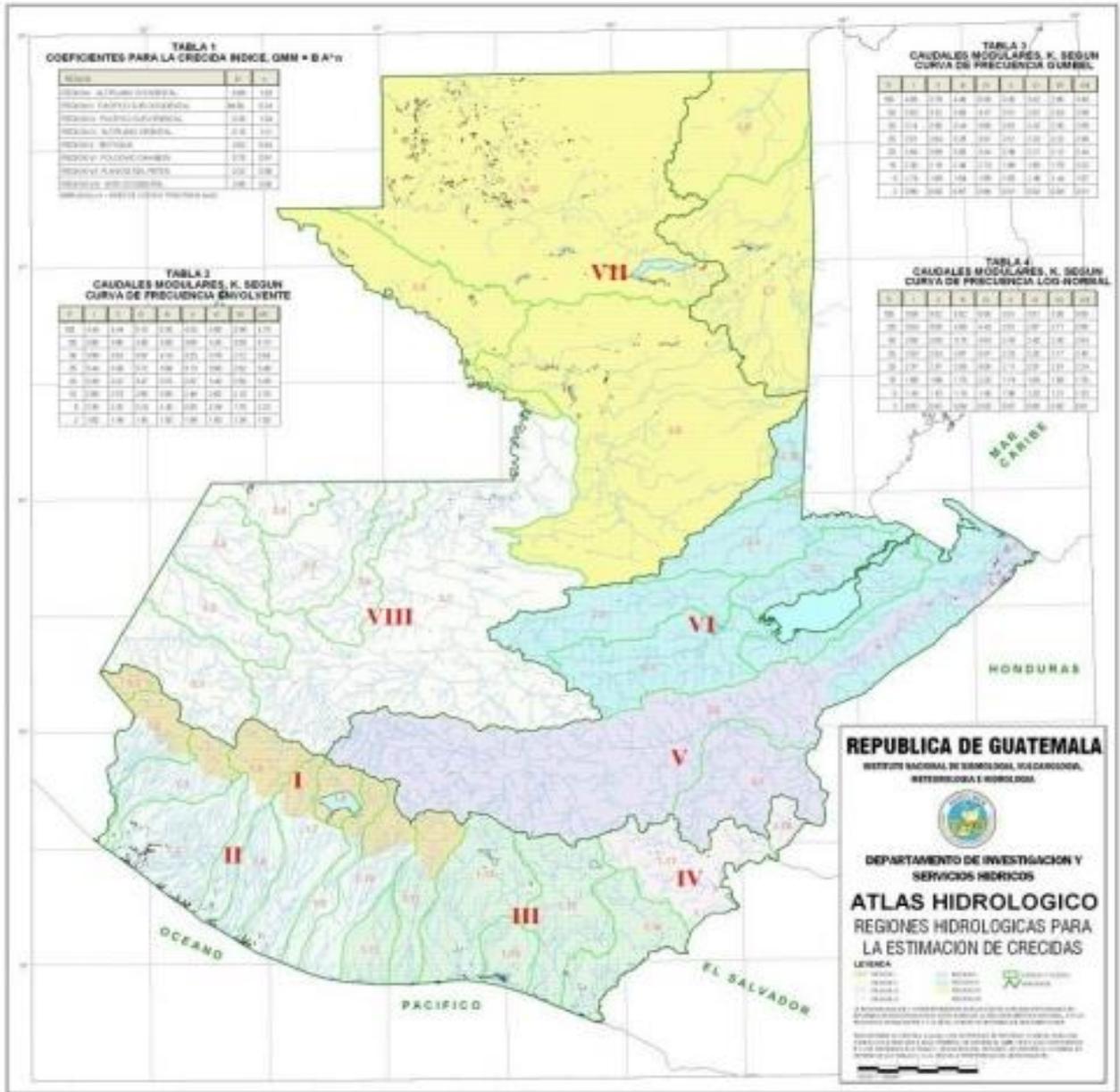
4.3.3 Obtención de caudales por el método de estimación de crecidas

Se utilizó otra metodología para la obtención de caudales máximos, para poder comparar y validar los resultados obtenidos a partir del estudio hidrológico generado en el software HEC-HMS utilizando los resultados obtenidos con el estudio de precipitación.

Para realizar esta comparación, se utilizó el método de la crecida índice elaborado por el INSIVUMEH (2004), el cual está basado en la información registrada en 86 estaciones de la red hidrométrica nacional, cuyos registros varían entre 8 y 39 años para establecer relaciones entre la crecida índice y el área tributaria de la cuenca.

Este método distingue ocho regiones hidrológicas en el territorio nacional, a partir de características morfológicas, climáticas y de uso de la tierra (INSIVUMEH 2004).

Para la obtención de caudales se utilizaron las regiones hidrológicas I y II (Altiplano occidental y Pacífico sur-occidental), donde se encuentra la cuenca del río Nahualate (figura 20), y se establecieron los coeficientes para la crecida índice, por región hidrológica, y luego se utilizó la curva de frecuencia envolvente para obtener la estimación de los caudales máximos para los períodos de retorno de 2, 5, 10, 25 y 50 años

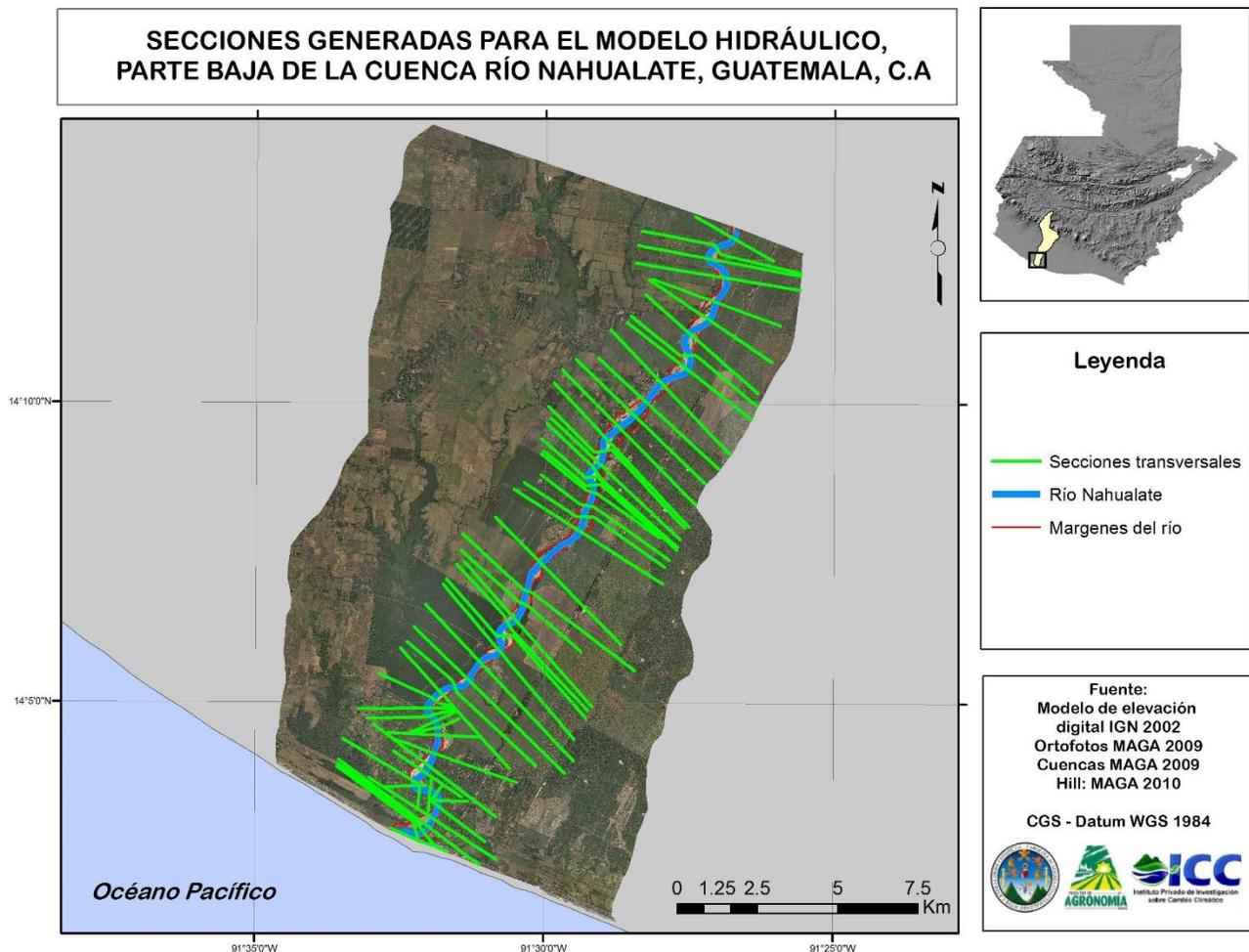


Fuente: INSIVUMEH, 2004

Figura 20. Regiones hidrológicas para la estimación de crecidas en Guatemala

4.4 Estudio hidráulico

El primer paso para realizar el estudio hidráulico fue extraer los parámetros topográficos del cauce del modelo de elevación digital de Guatemala (IGN 2006), este procedimiento se realizó mediante la extensión HEC-GEORAS (figura 21).



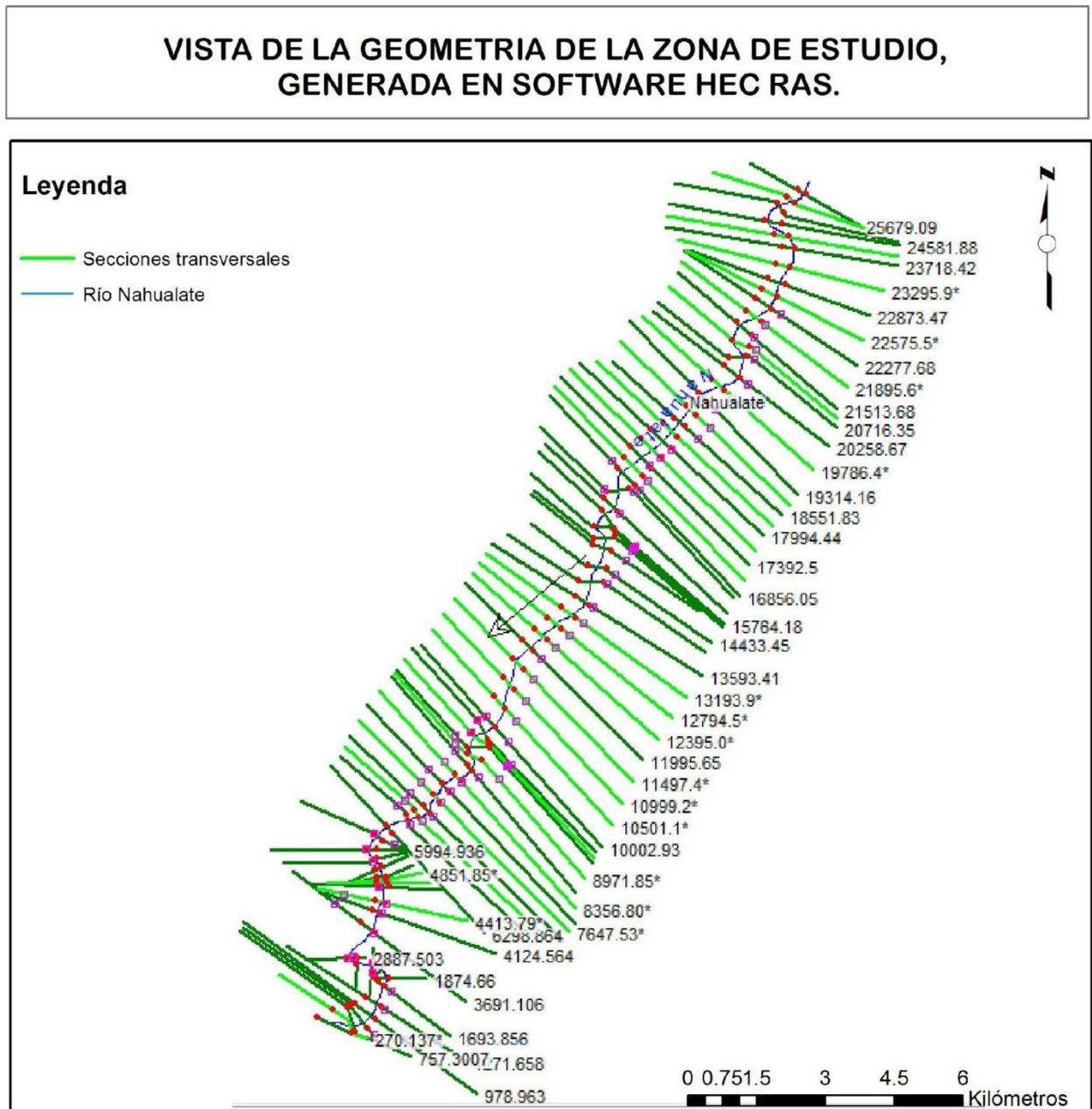
Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 21. Secciones generadas a partir del modelo de elevaciones del terreno.

Se realizaron secciones transversales cada 500 m lo largo del cauce principal de la zona de estudio, las cuales fueron trazadas perpendicularmente a la corriente del río; las secciones

transversales fueron extendidas a lo largo del terreno continuo al cauce, para representar las superficies adyacentes al río en donde se podrían producir inundaciones.

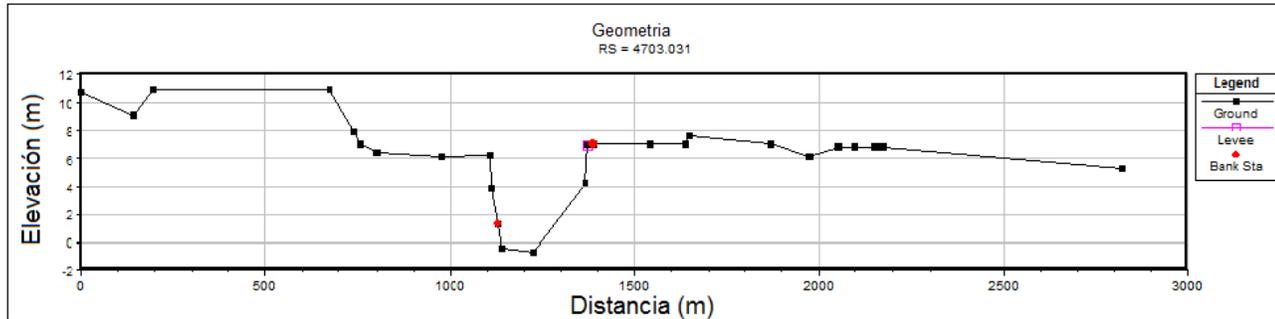
Después de extraer las características de la topografía y geometría de la zona de estudio, se importaron los valores a la interfaz del software HEC-RAS como se muestra en la figuras 22 y 23.



Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 22. Vista de la geometría de la zona de estudio, en el programa HEC-RAS

PERFIL DE UNA SECCIÓN DEL RÍO NAHUALATE



Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 23. Vista de perfil de una sección de la geometría del río Nahualate.

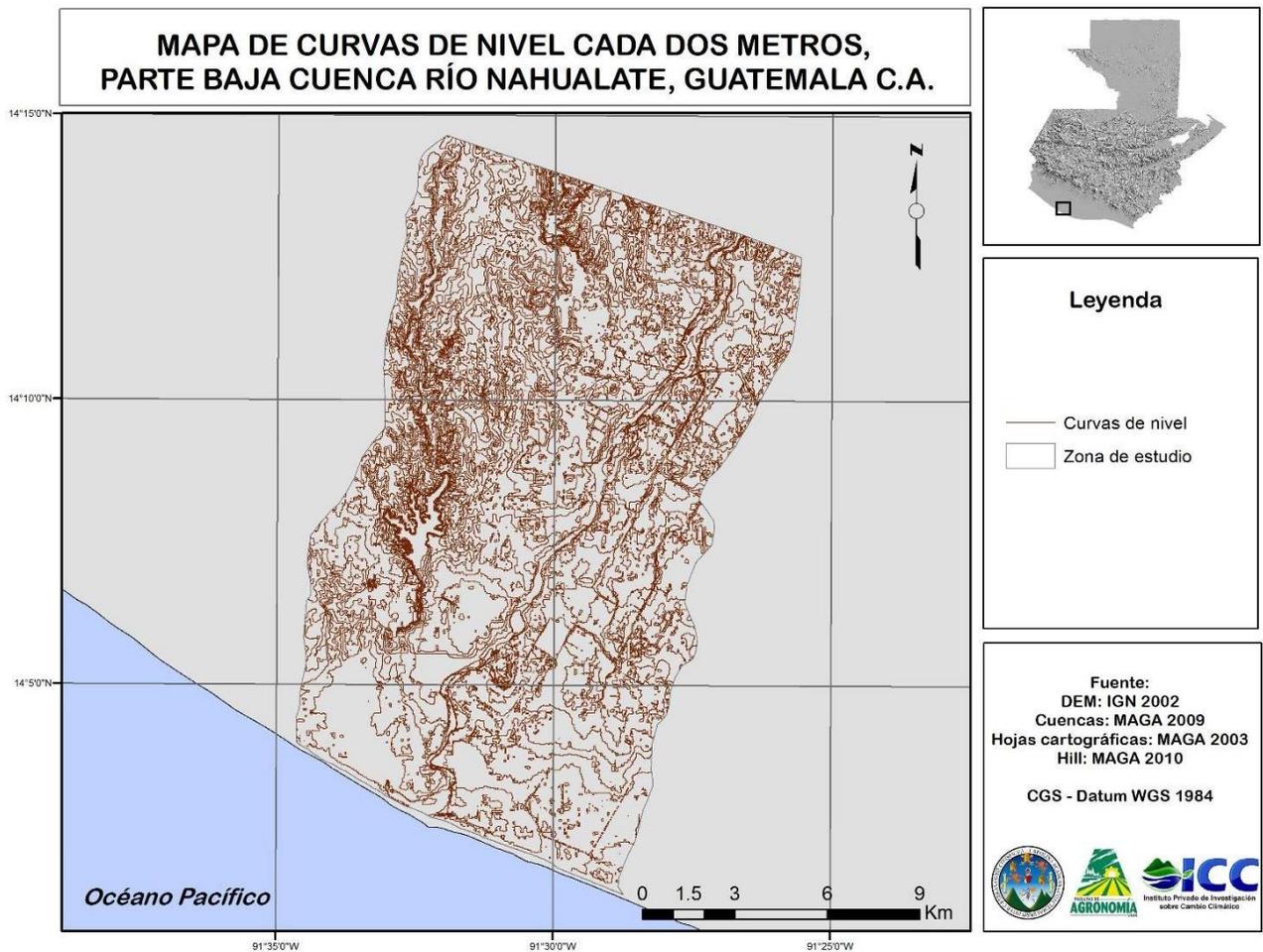
En este software se procesó la información de la geometría y se procedió a establecer los valores de coeficiente de rugosidad de Manning para cauces naturales, los cuales fueron de 0.03 para el lecho y 0.05 para los márgenes. (Arcement and Schneider, 1989)

Se definieron los parámetros hidráulicos correspondientes, las condiciones de contorno y valores de caudal correspondiente a los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25 y 50 años.

El tipo de flujo en el río, fue establecido como flujo mixto, para que el software determine el tipo de flujo en cada una de las secciones.

4.5 Determinación de zonas inundables

Luego de haber realizado las simulaciones hidráulicas para los periodos de retorno evaluados, los resultados fueron exportados al software ArcGIS, en el cual, se utilizó un mapa con curvas de nivel (figura 24) con un intervalo de dos metros para conocer el alcance de una inundación en función de la topografía de la zona de estudio.



Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 24. Topografía del terreno obtenida a partir del MED, para la delimitación de zonas inundables

Finalmente se sobrepuso la capa de poblados según el Censo 2002 del INE (INE, 2003), sobre las áreas amenazadas por inundaciones, para determinar los poblados y la cantidad de personas que serían afectados en por inundaciones en los diferentes periodos de retorno.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Análisis de la intensidad de precipitaciones

A partir del análisis la información pluviográfica de las estaciones meteorológicas (ver anexos) se obtuvieron las ecuaciones Pd/P24 de las estaciones: Labor Ovalle, El Asintal, Camantulul, Puerto San José las cuales se muestran en el cuadro 20.

Cuadro 20. Ecuaciones generadas a partir de la metodología Pd/P24 propuesta por Mendoza

Estación	Labor Ovalle	El Asintal	Camantulul	Puerto San José
Eventos corta duración	$\frac{d}{6.74 \cdot T^{1.53} + 0.96 \cdot d}$	$\frac{d}{23.45 \cdot T^{-0.69} + 0.92 \cdot d}$	$\frac{d}{45.93 \cdot T^{0.29} + 0.89 \cdot d}$	$\frac{d}{17.42 \cdot T^{0.7} + 0.93 \cdot d}$
Eventos larga duración	$\frac{d}{135.22 \cdot T^{0.4} + 0.61 \cdot d}$	$\frac{d}{113.24 \cdot T^{-0.49} + 0.78 \cdot d}$	$\frac{d}{12.83 \cdot T^{1.08} + 0.82 \cdot d}$	$\frac{d}{49.04 \cdot T^{1.2} + 0.85 \cdot d}$

Fuente: elaboración propia, 2015.

Dónde

Pd / P24 = Índice de desagregación horaria

d = Duración en min

T = Período de retorno en años

Las ecuaciones generadas fueron utilizadas para estimar las máximas precipitaciones para duraciones menores a la de 24 h, a partir de los datos diarios de precipitación de las estaciones que se encontraron más cercanas a la cuenca.

5.2 Diseño de hietogramas

El diseño de los hietogramas de las estaciones Labor Ovalle, Santiago Atitlán, Chojojá, Peña Plata, Tiquisate, y San Antonio el Valle, para los periodos de retorno evaluados, fue realizado mediante las ecuaciones Pd/P24 obtenidas:

$$Pd/P24 = \frac{d}{23.45 \cdot T^{-0.69} + 0.92 \cdot d}$$

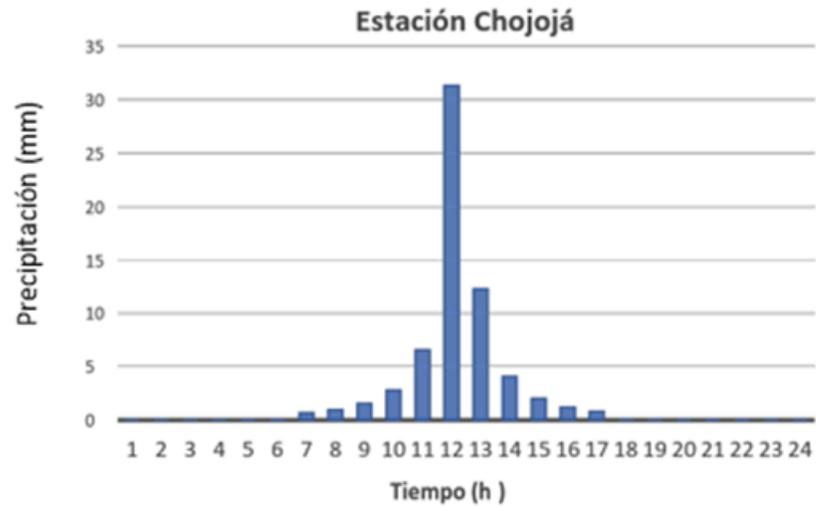
El método utilizado para la elaboración de los hietogramas de diseño fue el método de bloques alternos, el cual se muestra en el cuadro 21.

Cuadro 21. Ejemplo del cálculo de hietograma de diseño de la estación Chojó por método de bloques alternos para un período de retorno de 5 años.

D	T (años)	P_d/P_{24}	Lluvia máxima mm (Pr= 5 años)	P_d (mm)	Precipitación neta (mm)	Precipitación ordenada (mm)
60	5	0.47	66	31.33	31.33	0.00
120	5	0.66	66	43.61	12.28	0.00
180	5	0.76	66	50.17	6.56	0.00
240	5	0.82	66	54.25	4.08	0.00
300	5	0.86	66	57.03	2.78	0.00
360	5	0.89	66	59.05	2.02	0.00
420	5	0.92	66	60.58	1.53	0.67
480	5	0.94	66	61.78	1.20	0.97
540	5	0.95	66	62.75	0.97	1.53
600	5	0.96	66	63.54	0.80	2.78
660	5	0.97	66	64.21	0.67	6.56
720	5	0.98	66	64.78	0.57	31.33
780	5	0.99	66	65.26	0.49	12.28
840	5	1.00	66	65.69	0.42	4.08
900	5	1	66	66.00	0.31	2.02
960	5	1	66	66.00	0.00	1.20
1020	5	1	66	66.00	0.00	0.80
1080	5	1	66	66.00	0.00	0.00
1140	5	1	66	66.00	0.00	0.00
1200	5	1	66	66.00	0.00	0.00
1260	5	1	66	66.00	0.00	0.00
1320	5	1	66	66.00	0.00	0.00
1380	5	1	66	66.00	0.00	0.00
1440	5	1	66	66.00	0.00	0.00

Fuente: elaboración propia, 2015.

En la figura 25 se presenta el hietograma elaborado para la estación Chojaja para el periodo de retorno de 5 años, los hietogramas de las demás estaciones pueden consultarse en los apéndices del documento.



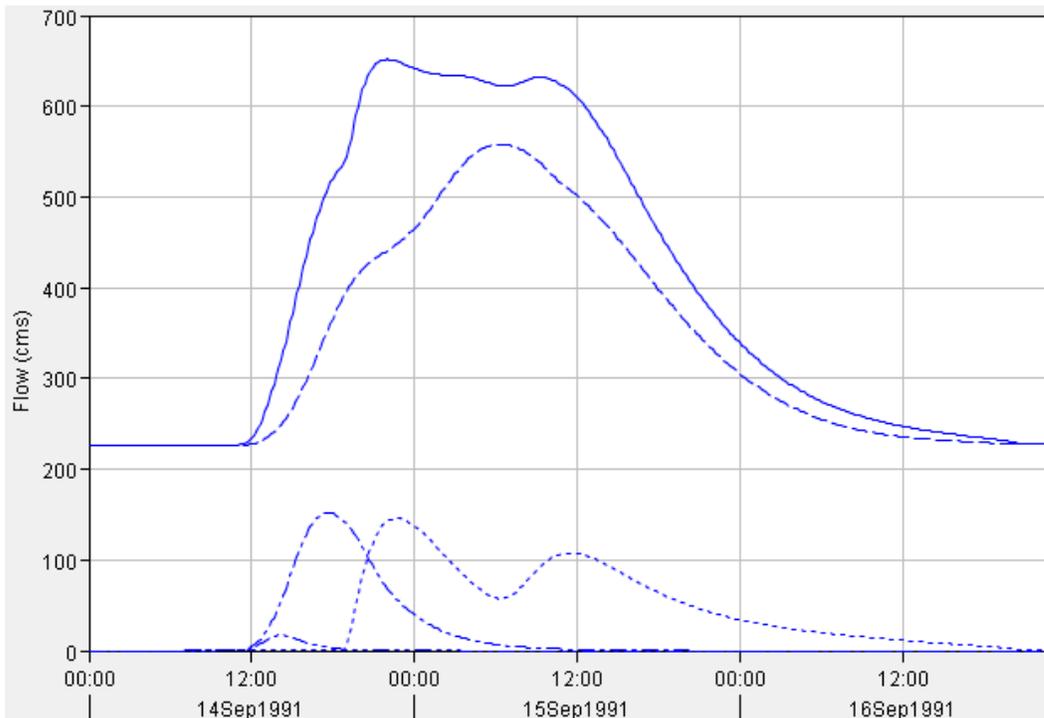
Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 25. Hietograma de diseño para un periodo de 5 años para la estación de Chojaja.

5.3 Estudio Hidrológico

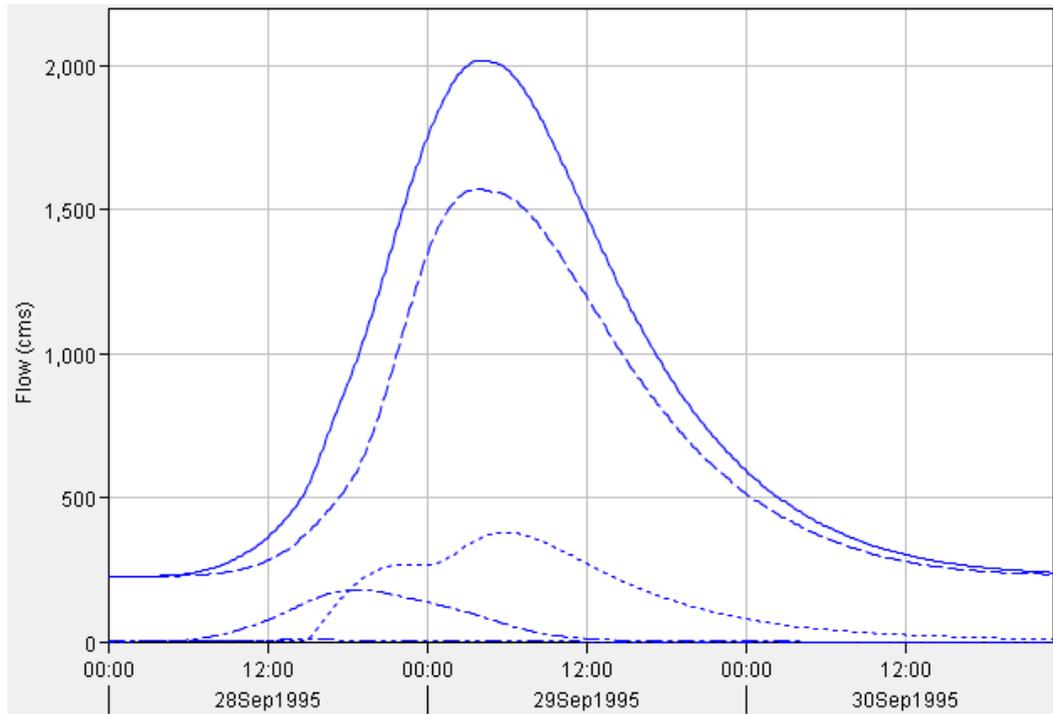
Los resultados de crecidas máximas en el punto de entrada al área de estudio, fueron generados con el software HEC-HMS, a partir de los datos de caudal. Los valores de caudal fueron calculados en base a los hietogramas de diseño generados en el estudio de precipitaciones para los periodos de 2, 5, 10, 25 y 50 años. Los hietogramas de diseño fueron introducidos al modelo junto con los siguientes parámetros hidrológicos de la cuenca: número de curva, superficie, longitud del cauce, tiempo de concentración y de propagación de la crecida.

Se generaron hidrogramas (figuras 26 y 27) para el punto de entrada a la zona de estudio y se han determinado los caudales máximos para los períodos de retorno de 2, 5 10, 25 y 50 años que se muestran en el cuadro 22.



Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 26. Hidrograma generado en el modelo hidrológico para el punto de entrada de la zona de estudio, correspondiente a un periodo de retorno de 2 años. Nótese que este hidrograma es la suma de todos los hidrogramas procedentes de las subcuencas.



Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 27. Hidrograma generado en el modelo hidrológico para el punto de entrada de la zona de estudio, correspondiente a un periodo de retorno de 50 años.

Cuadro 22. Caudales máximos estimados (en m³/s) para los períodos de retorno de 2, 5, 10, 25 y 50 años.

Periodo de retomo	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años
Caudal	651.7	1071.8	1667.9	1926.7	1999.3

Fuente: elaboración propia, 2015.

Los valores de caudales obtenidos mediante el método de lluvia-escorrentía se han comparado con los valores obtenidos con el método de estimación de crecidas por regiones hidrológicas (INSIVUMEH, 2004)

En el cuadro 23 se observa que existen variaciones de entre el 4 y el 22 % entre ambos métodos evaluados para la obtención de caudales máximos para los periodos de retorno evaluados.

Cuadro 23. Comparación de los resultados del método regional con el modelo lluvia-escorrentía. Todos los valores del método regional corresponden al método de curva de frecuencia envolvente.

Método \ Periodo de retorno	Periodo de retorno				
	2 años	5 años	10 años	25 años	50 años
Método regional estimación de crecidas	776.29	1115.92	1358.51	1669.03	1916.47
Método Lluvia-escorrentía	651.7	1071.8	1667.9	1926.7	1999.3
Variación	16.04%	4%	22%	15%	4.32%

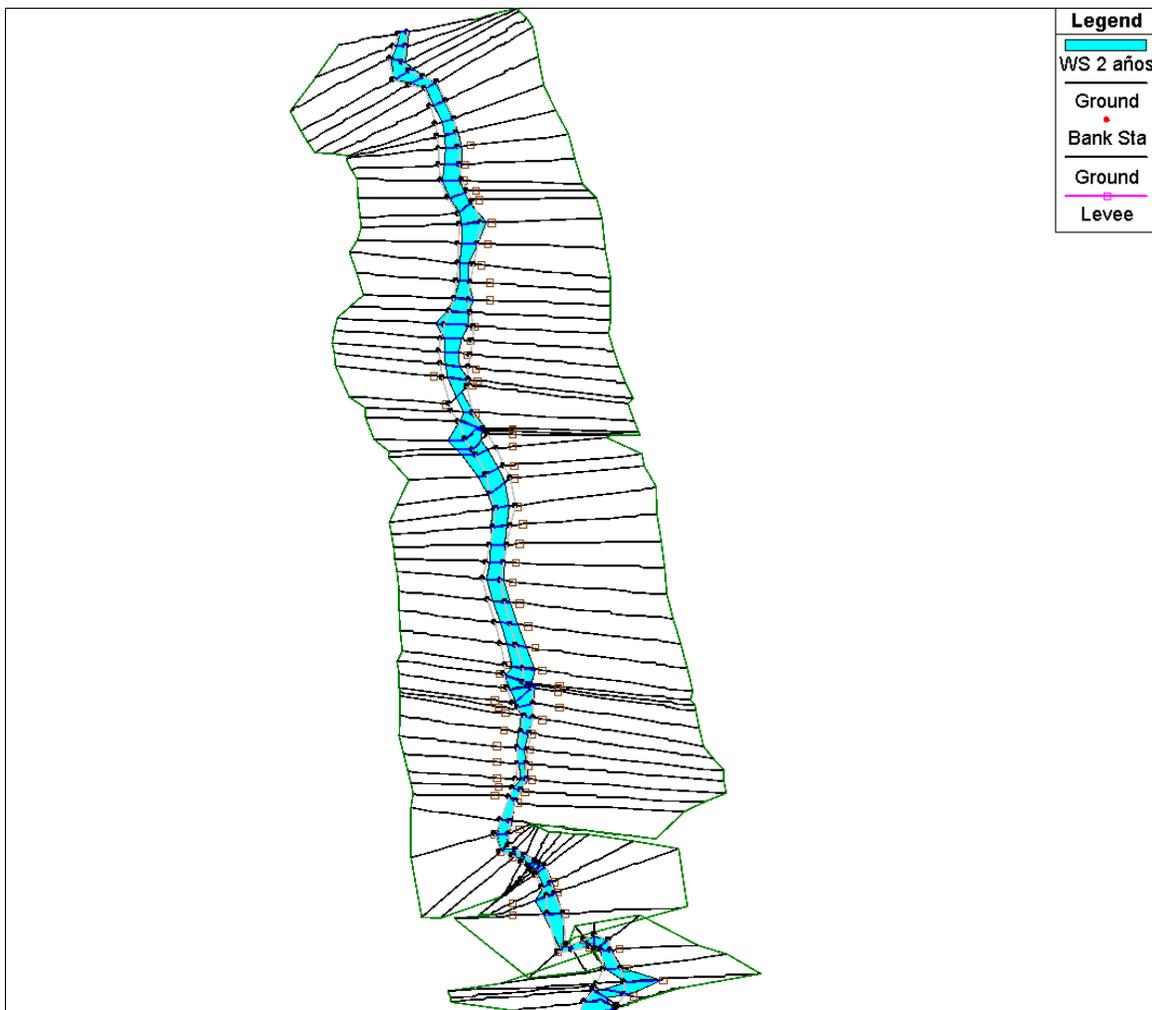
Fuente: elaboración propia, 2015.

5.4 Estudio Hidráulico

La simulación hidráulica se generó con el software HEC-RAS. A partir de las características del lecho del río y de los datos de caudal obtenidos mediante el modelo de lluvia-escorrentía.

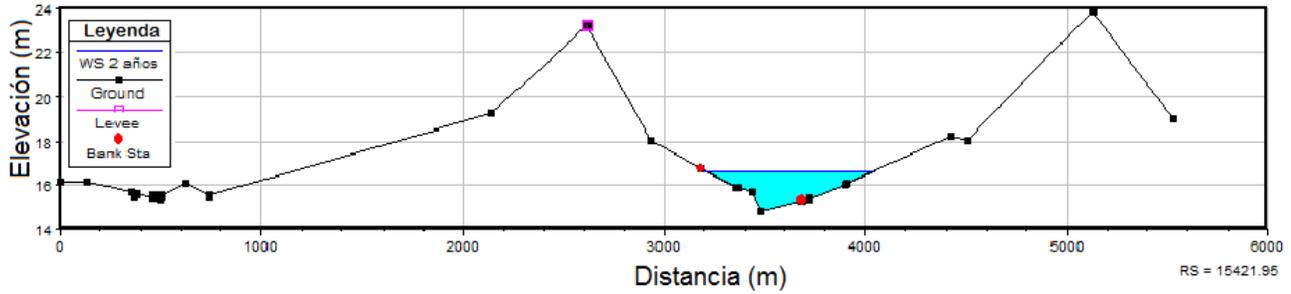
A continuación se presentan los planos de la simulación hidráulica a partir de los datos de caudales máximos para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25 y 50 años.

En las figuras 28 y 29 pueden observarse la simulación hidráulica del río Nahualate para el periodo de retorno de 2 años.



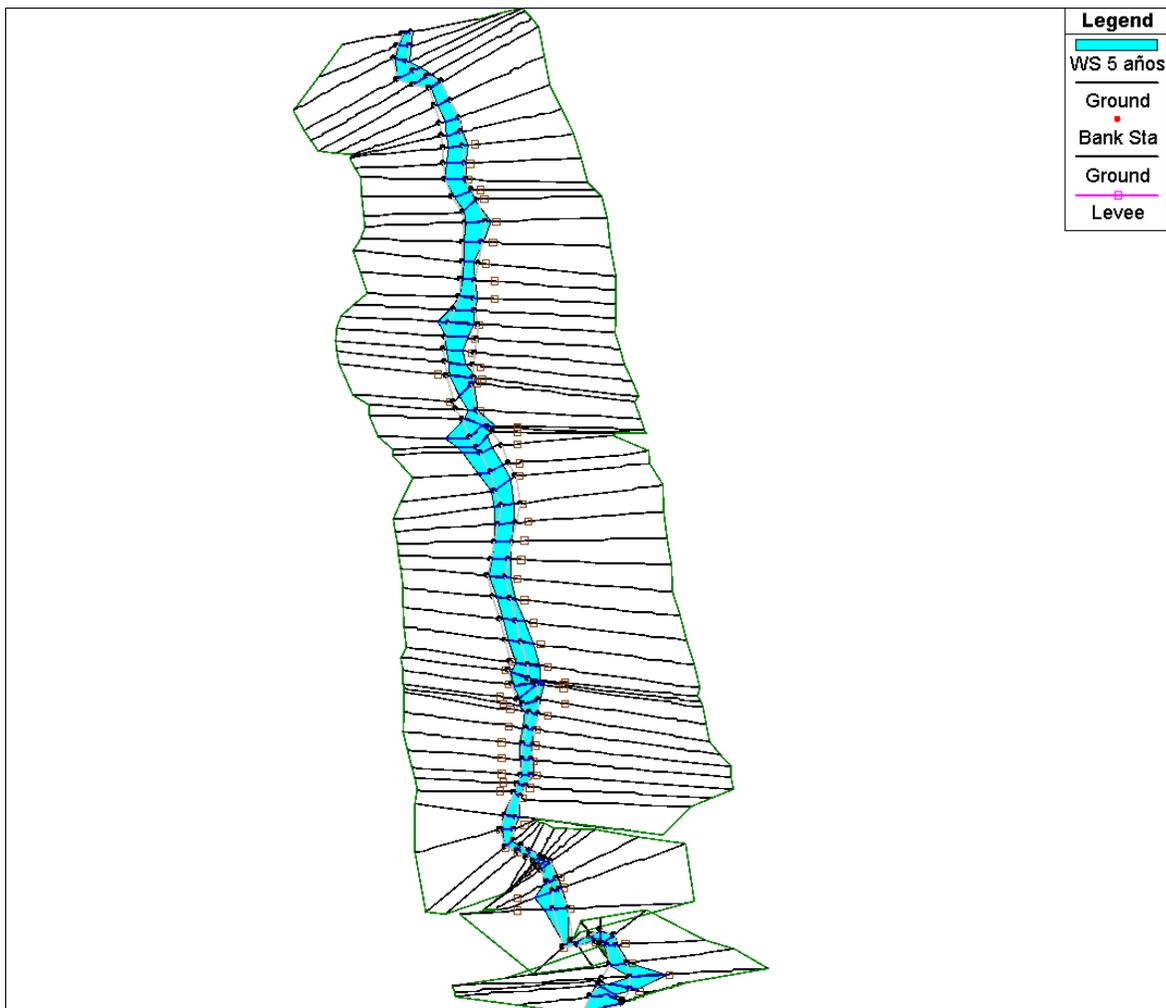
Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 28. Vista de planta de simulación hidráulica del río Nahualate dentro de la zona de estudio (T: 2 años).



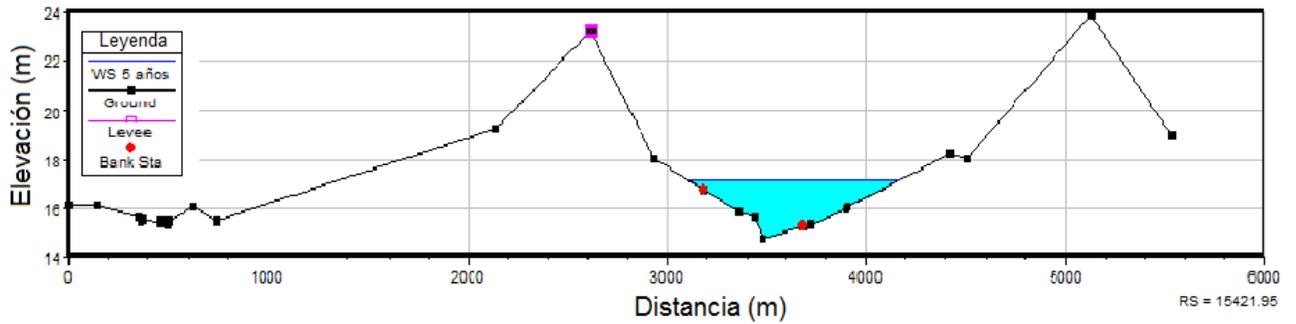
Fuente: elaboración propia, 2015.
 Figura 29. Perfil de una sección del río (T: 2 años)

En las figuras 30 y 31 pueden observarse la simulación hidráulica del río Nahualate, para el periodo de retorno de 5 años.



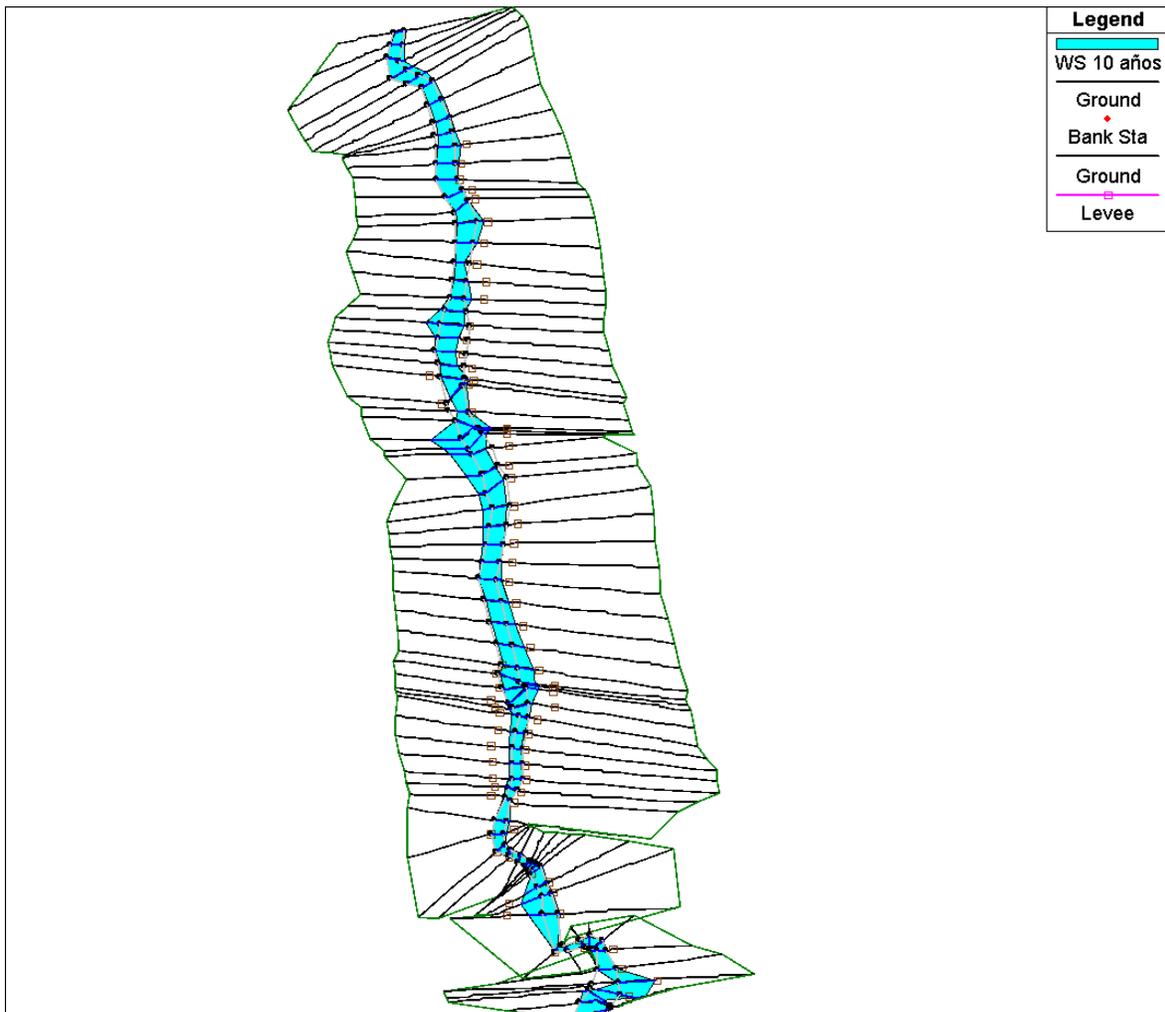
Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 30. Vista de planta de simulación hidráulica del río Nahualate dentro de la zona de estudio (T: 5 años).



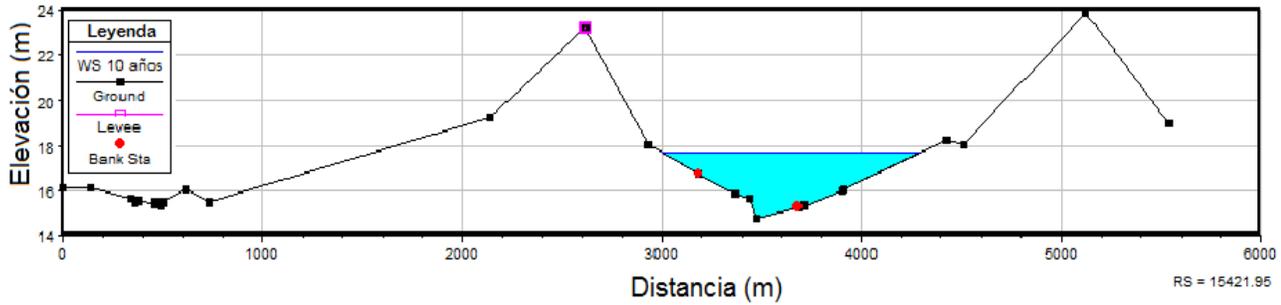
Fuente: elaboración propia, 2015.
 Figura 31. Perfil de una sección del río (T: 5 años)

En las figuras 32 y 33 pueden observarse la simulación hidráulica del río Nahualate para el periodo de retorno de 10 años.



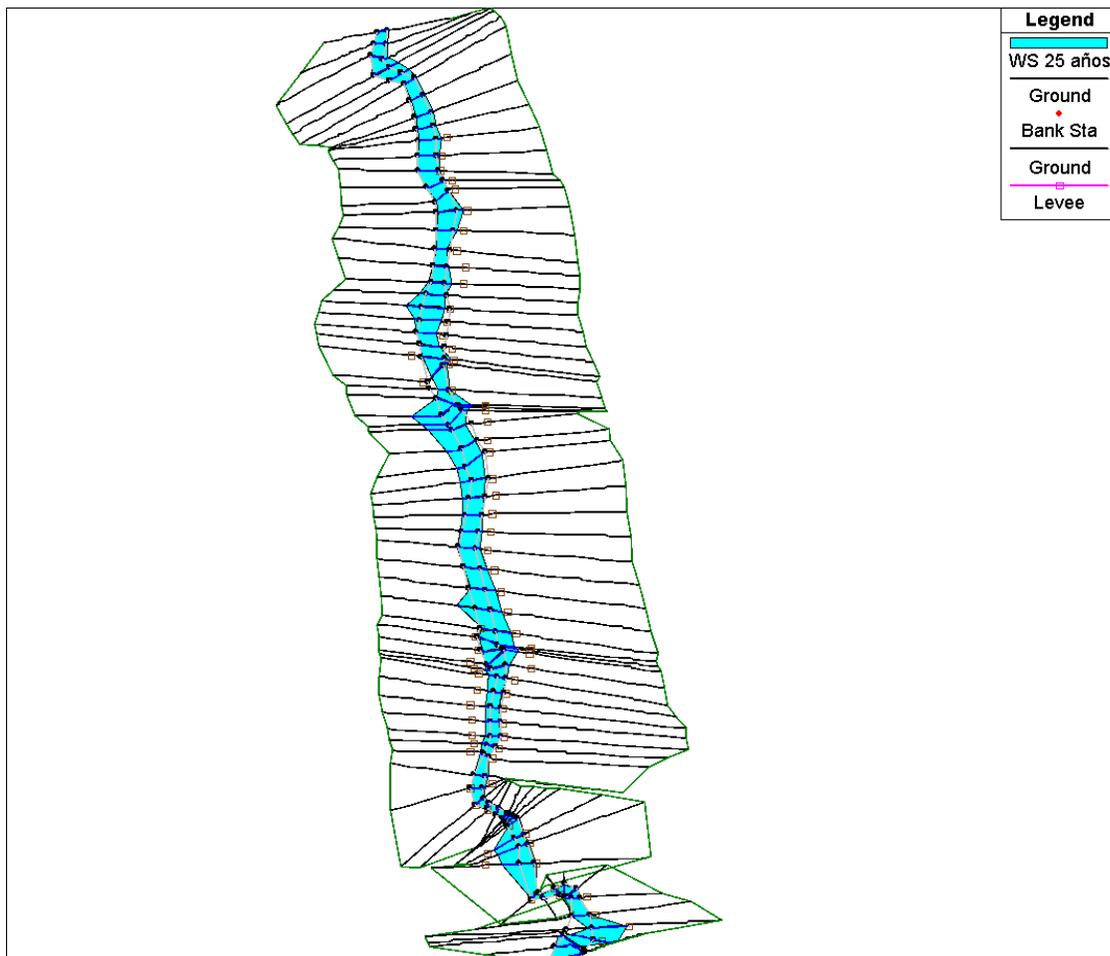
Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 32. Vista de planta de simulación hidráulica del río Nahualate en la zona de estudio (T: 10 años).

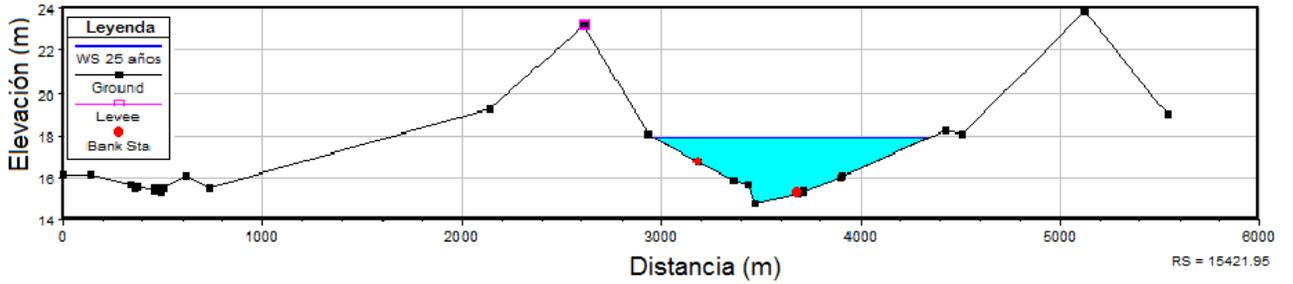


Fuente: elaboración propia, 2015.
 Figura 33. Perfil de una sección del río (T: 10 años)

En las figuras 34 y 35 pueden observarse la simulación hidráulica del río Nahualate para el periodo de retorno de 25 años.



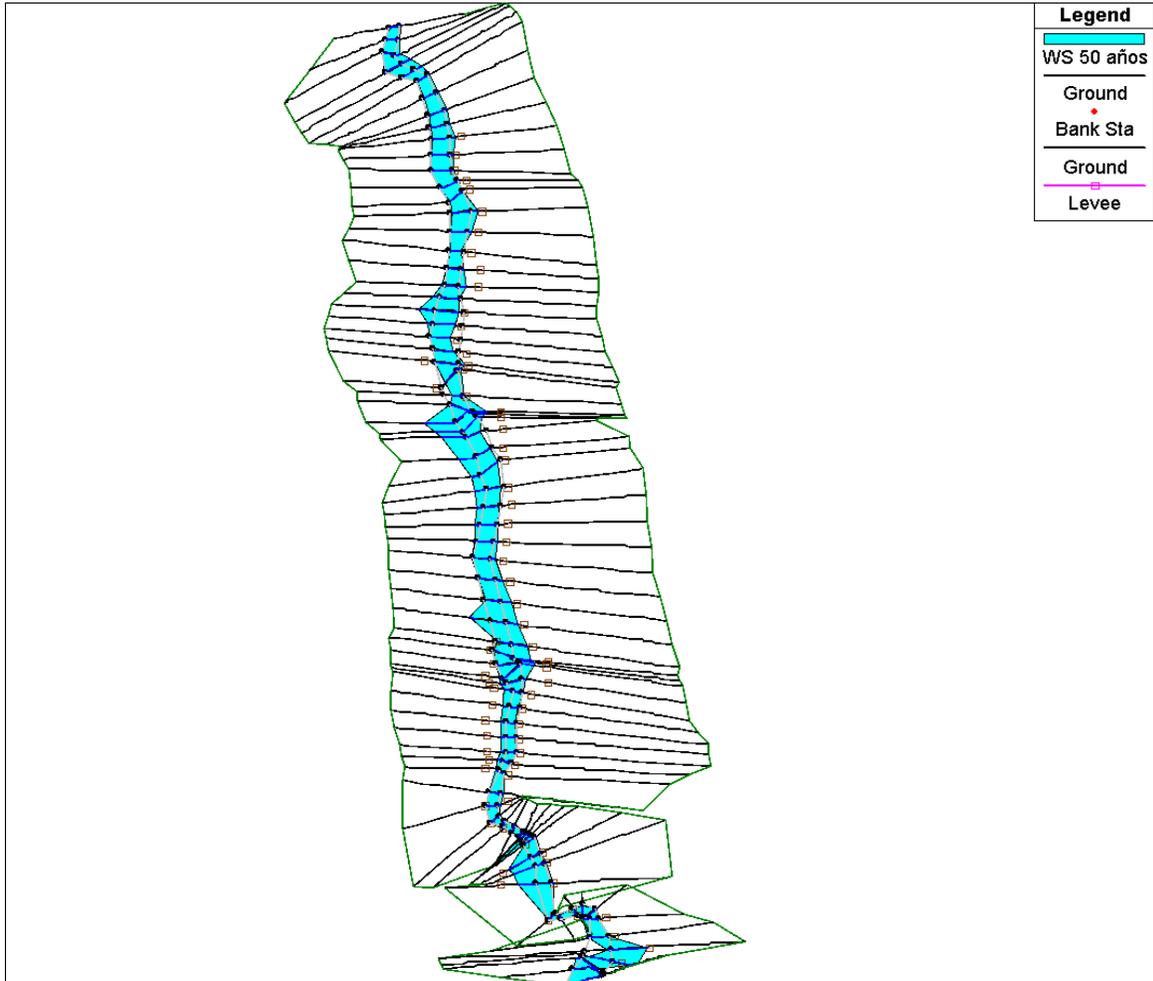
Fuente: elaboración propia, 2015.
 Figura 34. Vista de planta de simulación hidráulica del río Nahualate en la zona de estudio (T: 25 años).



Fuente: elaboración propia, 2015.

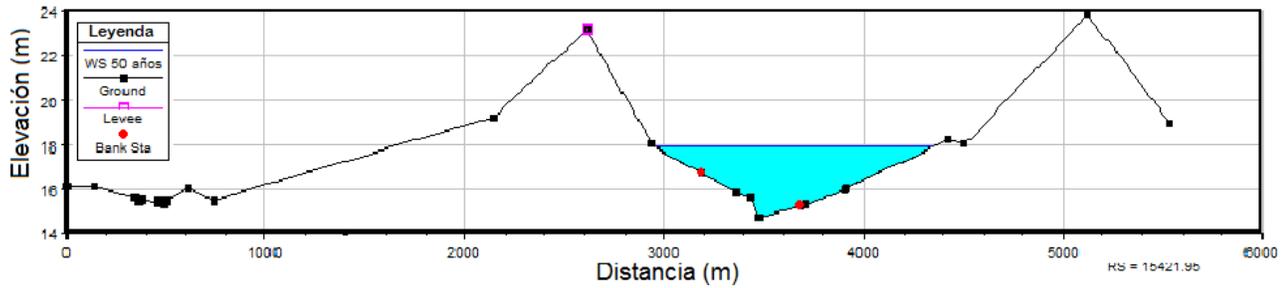
Figura 35. Perfil de una sección del río (T: 25 años)

En las figuras 36 y 37 pueden observarse la simulación hidráulica del río Nahualate para el periodo de retorno de 50 años.



Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 36. Vista de planta de simulación hidráulica del río Nahualate en la zona de estudio (T: 50 años).



Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 37. Perfil de una sección del río (T: 50 años)

Como puede observarse en las figuras de los planos de planta de la simulación hidráulica del río Nahualate para los periodos de retorno evaluados, el río no se desborda de manera significativa en ninguna de las secciones del tramo evaluado.

Se observa que en los periodos de retorno evaluados el cauce del río tiene la capacidad de transportar las crecidas, en los planos de perfil de las secciones del río se observa que en los periodos de retorno, en los cuales el caudal sobrepasa los márgenes del río, las condiciones del terreno aledañas al cauce del río no permite la formación de zonas de inundación.

La información de los puntos donde se observa el desborde el río Nahualate, para los periodos de retorno evaluados, fue validada mediante la comparación de las ortofotos de la zona de estudio, tomadas un año después del huracán Stan (2005).

5.5 Determinación de zonas de inundación

Con los resultados de la modelación hidráulica, y el análisis de la topografía de la zona de estudio, así como también la validación con actores locales, se determinaron zonas de inundación en eventos de crecida.

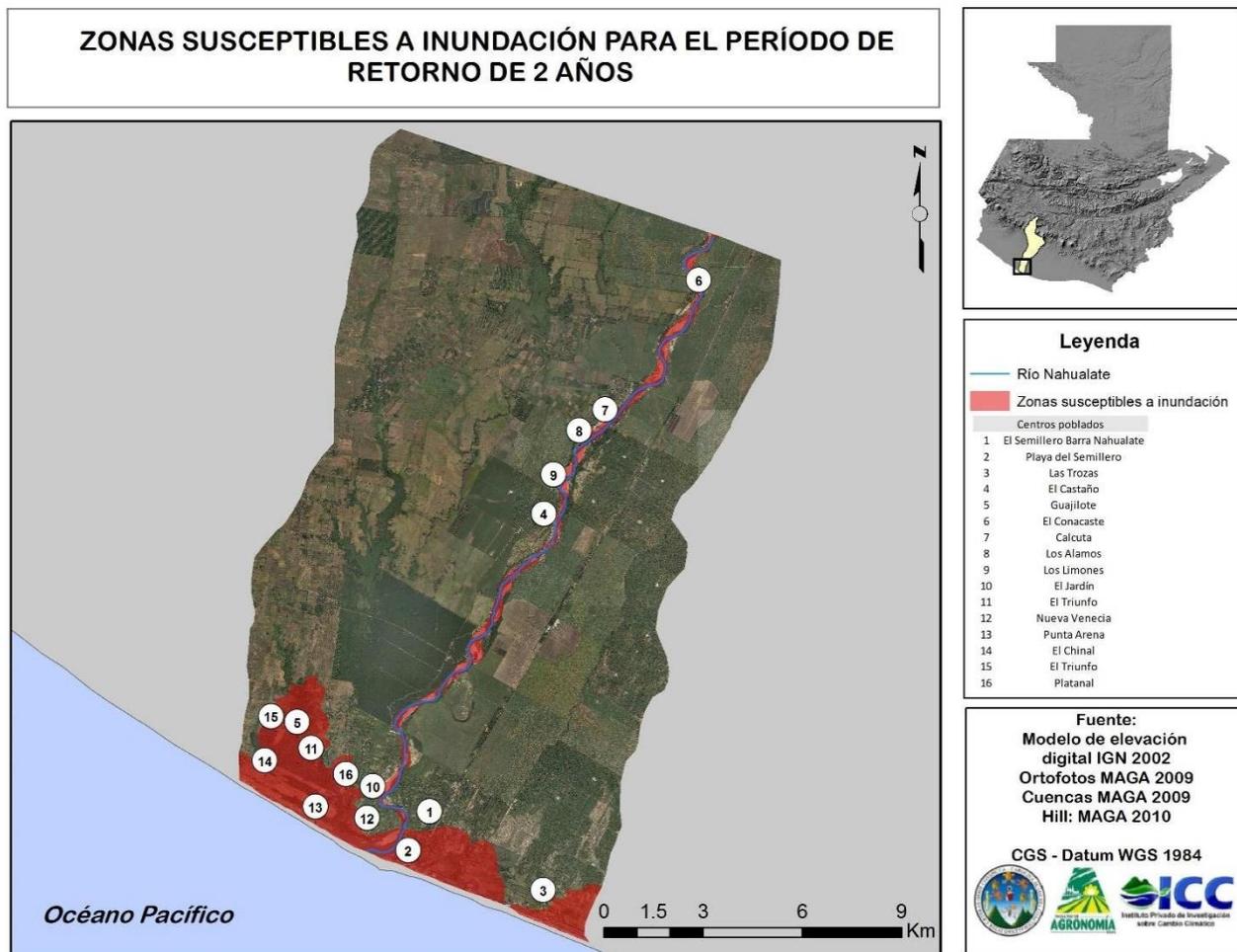
Debido a que los resultados de la simulación hidráulica de los periodos de retorno evaluados, no presentaron grandes variaciones con respecto a las zonas inundadas, se procedió a realizar el análisis entre las zonas que podrían ser afectadas por eventos de precipitación convectivos que son más recurrentes (Pr: 2 años), y eventos de precipitación que son ocasionados por eventos como huracanes, tormentas tropicales (Pr: 50 años).

Cabe destacar que para ambos análisis se consideró como zona de amenaza de inundación por el río Nahualate a la franja que se encuentra colindante a la costa del pacífico, ya que cuando la marea sube, el río pierde capacidad de drenaje, provocando inundaciones en la franja de la costa.

Para el periodo de retorno de 2 años se determinó la franja del terreno que se encontraba por debajo de los 2 m s.n.m., y para el periodo de retorno de 50 años, la franja del terreno bajo de los 4 m s.n.m..

5.5.1 Zonas inundables por eventos de precipitación convectivos (Periodo de retorno 2 años)

En la figura 38 se muestra el mapa de zonas susceptibles a inundación para el periodo de retorno de 2 años. El porcentaje total del área de estudio que es afectada por inundaciones por eventos de lluvias convectivas es el 8.9 %, los centros poblados (IGN, 2002) que son afectados se enumeran en el cuadro 24.



Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 38. Centros poblados y superficie inundable para el periodo de retorno de 2 años.

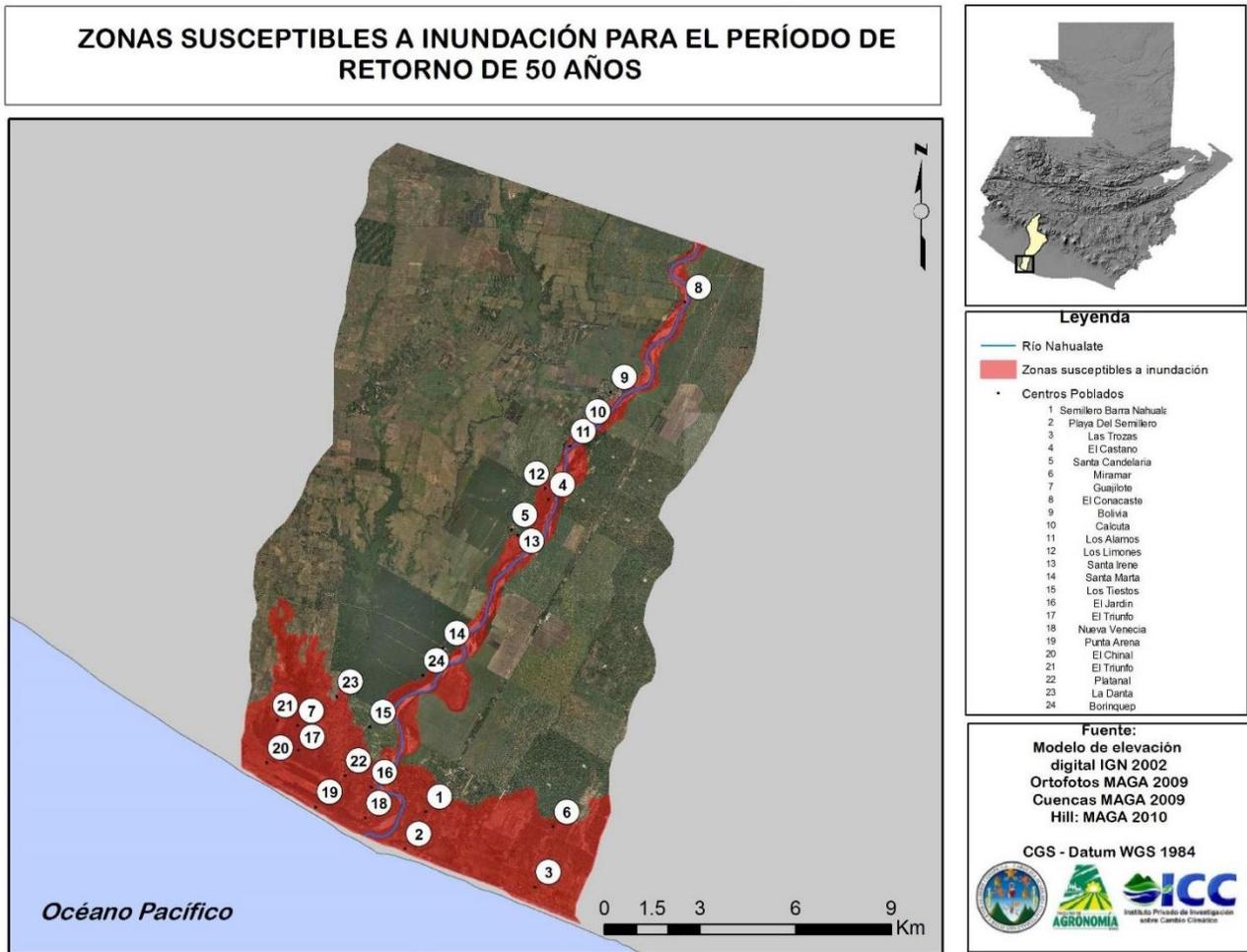
Cuadro 24. Centro poblados afectados por inundaciones para un periodo de retorno de 2 años.

No.	Departamento	Municipio	Lugar Poblado	Categoría
1	Escuintla	Tiquisate	El Semillero Barra Nahualate	Aldea
2	Escuintla	Tiquisate	Playa Del Semillero	Caserío
3	Escuintla	Tiquisate	Las Trozas	Caserío
4	Escuintla	Tiquisate	El Castaño	Finca
5	Suchitepéquez	Santo Domingo S.	Guajilote	Caserío
6	Suchitepéquez	Santo Domingo S.	El Conacaste	Finca
7	Suchitepéquez	Santo Domingo S.	Calcuta	Finca
8	Suchitepéquez	Santo Domingo S.	Los Álamos	Finca
9	Suchitepéquez	Santo Domingo S.	Los Limones	Finca
10	Suchitepéquez	Santo Domingo S.	El Jardín	Caserío
11	Suchitepéquez	Santo Domingo S.	El Triunfo	Caserío
12	Suchitepéquez	Santo Domingo S.	Nueva Venecia	Aldea
13	Suchitepéquez	Santo Domingo S.	Punta Arena	Caserío
14	Suchitepéquez	San Lorenzo	El Chinal	Otra
15	Suchitepéquez	San Lorenzo	El Triunfo	Parcelamiento
16	Suchitepéquez	Santo Domingo S.	Platanal	Otra

Fuente: elaboración propia, 2015.

5.5.2 Zonas inundables por eventos de precipitación ocasionados por eventos de precipitación asociados a fenómenos extremos (Periodo de retorno 50 años)

En la figura 39, se muestra el mapa con el porcentaje total del área de estudio que es afectado en eventos de precipitación asociado a fenómenos extremos (Periodo de retorno 50 años) el cual es el 18.8 % del área de estudio, los lugares poblados que son afectados se enumeran en el cuadro 25.



Fuente: elaboración propia, 2015.

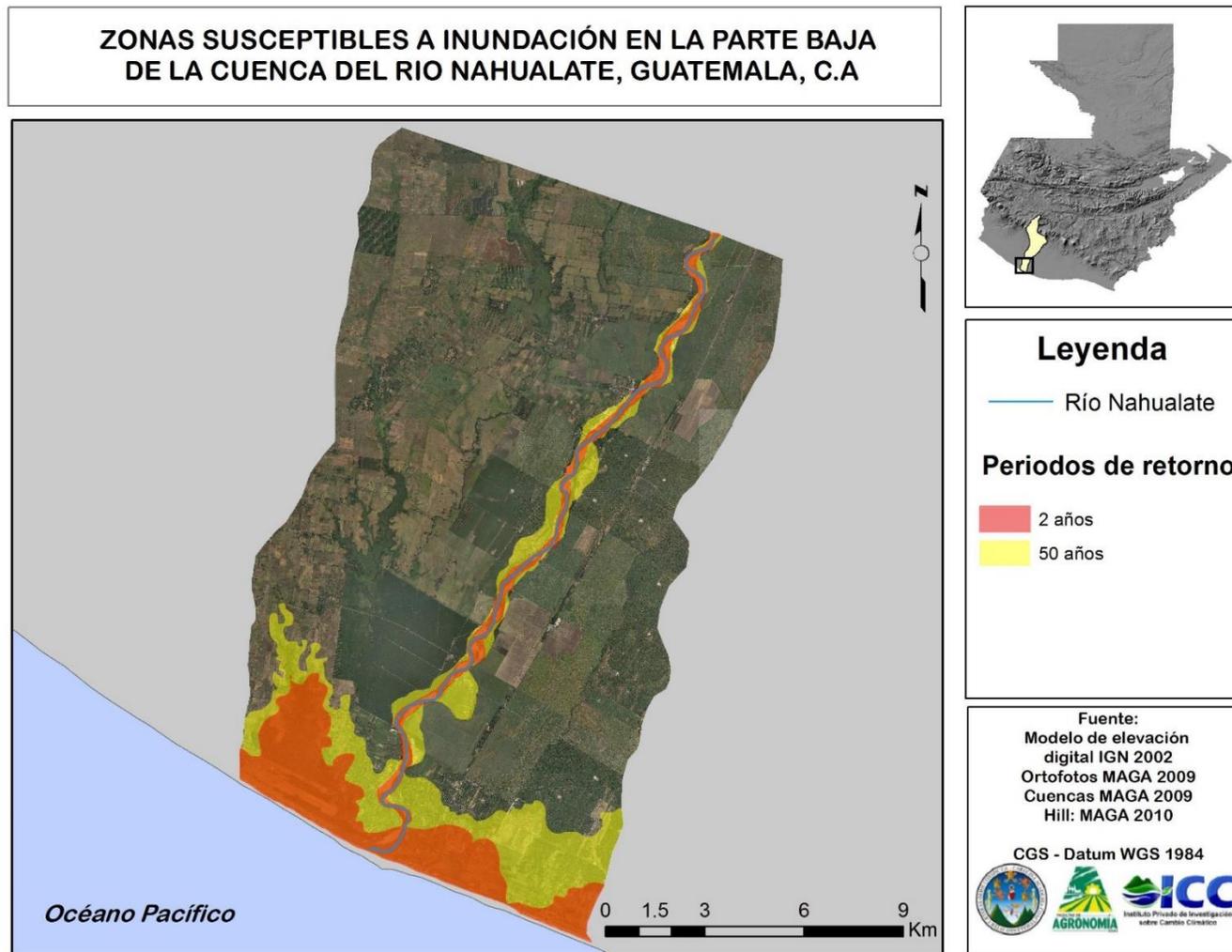
Figura 39. Centros poblados y superficie inundable para el periodo de retorno de 50 años

Cuadro 25. Centro poblados afectados por inundaciones para un periodo de retorno de 50 años.

No.	Departamento	Municipio	Lugar Poblado	Categoría
1	Escuintla	Tiquisate	El Semillero Barra Nahualate	Aldea
2	Escuintla	Tiquisate	Playa Del Semillero	Caserío
3	Escuintla	Tiquisate	Las Trozas	Caserío
4	Escuintla	Tiquisate	El Castaño	Finca
5	Escuintla	Tiquisate	Santa Candelaria	Finca
6	Escuintla	Tiquisate	Miramar	Finca
7	Suchitepéquez	Santo Domingo S.	Guajilote	Caserío
8	Suchitepéquez	Santo Domingo S.	El Conacaste	Finca
9	Suchitepéquez	Santo Domingo S.	Bolivia	Aldea
10	Suchitepéquez	Santo Domingo S.	Calcuta	Finca
11	Suchitepéquez	Santo Domingo S.	Los Álamos	Finca
12	Suchitepéquez	Santo Domingo S.	Los Limones	Finca
13	Suchitepéquez	Santo Domingo S.	Santa Irene	Finca
14	Suchitepéquez	Santo Domingo S.	Santa Marta	Finca
15	Suchitepéquez	Santo Domingo S.	Los Tiestos	Caserío
16	Suchitepéquez	Santo Domingo S.	El Jardín	Caserío
17	Suchitepéquez	Santo Domingo S.	El Triunfo	Caserío
18	Suchitepéquez	Santo Domingo S.	Nueva Venecia	Aldea
19	Suchitepéquez	Santo Domingo S.	Punta Arena	Caserío
20	Suchitepéquez	San Lorenzo	El Chinal	Otra
21	Suchitepéquez	San Lorenzo	El Triunfo	Parcelamiento
22	Suchitepéquez	Santo Domingo S.	Platanal	Otra
23	Suchitepéquez	Santo Domingo S.	La Danta	Finca
24	Suchitepéquez	Santo Domingo S.	Borinquen	Finca

Fuente: elaboración propia, 2015.

En la figura 40, se presenta el mapa con las zonas susceptibles a inundaciones en la parte baja de la cuenca del río Nahualate para los periodos de retorno de 2 y 50 años.



Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 40. Zonas susceptibles a inundaciones en la parte baja de la cuenca del río Nahualate

5.6 Limitaciones del estudio

Para la elaboración del estudio de precipitación, no fue posible utilizar todos los registros que superaban el umbral de precipitación determinado, por la ausencia del pluviograma del día del evento, o por la imposibilidad de apreciar el trazo del pluviógrafo. La falta de disponibilidad y la calidad de la información de precipitación constituyen el principal limitante a la hora de generar un modelo hidrológico.

Se encontraron muy pocas estaciones meteorológicas dentro del área de la cuenca con registros amplios y continuos de valores de precipitación.

La información utilizada del terreno utilizada para la simulación hidráulica del río Nahualate fue obtenida a partir del modelo de elevación digital elaborado en el año 2006, por lo que información como el trazo del río está desactualizada.

En la elaboración del estudio hidráulico no fueron considerados las obras civiles como los puentes y las bordas. Asimismo no se tuvo en cuenta la estabilidad de los taludes ni la socavación generada por el flujo de agua en episodios de crecida.

Para la delimitación de zonas inundables, no fueron tomados en cuenta desbordes de los canales y quíneles que pudieran causar inundaciones, ni las inundaciones regionales asociadas a eventos de intensidad de lluvia superior a la tasa de infiltración de los suelos de la región. El estudio se limita a las inundaciones directamente vinculadas a desbordes del cauce principal en el tramo de estudio.

6. CONCLUSIONES

1. Los resultados del análisis de la intensidad de la precipitación de la cuenca del río Nahualate, indican que los eventos de precipitación convectivos, los cuales presentan intensidades elevadas y periodos de duración cortos, característicos de la época lluviosa del país, no desencadenan inundaciones por el desborde del río Nahualate en la parte baja de la cuenca. Los eventos de precipitación asociados a fenómenos extremos como ciclones, tormentas y depresiones tropicales, los cuales tienen intensidades de precipitación bajas pero que se extienden a lo largo de muchas horas o incluso días, provocan el desborde del río Nahualate, provocando zonas inundables.
2. Los valores de caudales del estudio hidrológico de la cuenca del río Nahualate, demuestran ser confiables ya que estos resultados fueron comparados con los valores de caudales del método regional de la crecida índice del INSIVUMEH, encontrándose una variación máxima del 20 % en el caudal generado para el periodo de retorno de 10 años, por lo que se puede determinar que la metodología utilizada se ajusta bastante bien a la región de estudio.
3. El río Nahualate presenta dos magnitudes diferentes de inundación, una asociada a lluvias convectivas, que afecta el 8.9 % del área de estudio y 17 centros poblados y una asociada a eventos extremos, que afecta el 18.8 % del área de estudio, afectando 25 centros poblados. Sin embargo en ningún caso se presentan desbordes significativos del caudal del río Nahualate que provoquen que el río circule por un cauce diferente, fenómeno que sí es común en otras cuencas de la vertiente.
4. El origen principal de las inundaciones en la cuenca del Nahualate es provocado por la falta de capacidad de drenaje en la parte baja de la cuenca. Estas inundaciones que se dan en la zona litoral son características del litoral de toda la vertiente y son

debidas a la topografía de la región, con relieves suaves que dificultan la evacuación de caudal al Océano Pacífico.

7. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la calibración y validación de los resultados de los caudales obtenidos en el modelo de lluvia-escorrentía, mediante la comparación de los registros de las estaciones de aforo: San Miguel Mocá y Montecristo que se encuentran dentro de la cuenca.
2. Se recomienda comparar los tiempos de traslados de crecidas del modelo hidrológico mediante el monitoreo de la relación del aumento del nivel de los ríos, en eventos de precipitación.
3. Con los tiempos de traslados de crecidas calibradas, se recomienda establecer tiempos para la elaboración de sistemas de alertas a los centros poblados que se encuentran bajo la amenaza de inundación.
4. Realizar diagnósticos participativos comunitarios con representantes de los centros poblados que se encuentran bajo amenaza de inundación, para validar la información generada en el estudio.
5. Esta primera aproximación de las zonas inundables en la parte baja de la Cuenca del río Nahualate, debe ser utilizada como insumo para la elaboración de planes de ordenamiento territorial.
6. Para obtener un mayor detalle, de las zonas inundables, se recomienda utilizar secciones transversales de la zona de estudio, mediante un levantamiento topográfico o un nuevo modelo digital de elevaciones mediante fotogrametría o, preferiblemente LIDAR pero que, en cualquier caso, tenga una resolución igual o superior a 5 m.

7. Se recomienda complementar este estudio mediante el análisis de la vulnerabilidad ante inundaciones de centros poblados que se encuentran en la parte baja de la cuenca del río Nahualate.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Bardales Espinoza, WA. 2015. Estimación de los caudales generados por el evento de lluvia suscitado entre el 5 y 6 de agosto del 2015, en las cuencas Sumaché, Río Túnico y El Sauce. Guatemala, INSIVUMEH. 14 p.
2. Gil Villalba, S. 2012. Estudio de intensidad de precipitación en las cuencas de los ríos Coyolate, Achíguate, Acomé, María Linda, Los Esclavos y Paso Hondo. Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala, Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático. s.p.
3. _____. 2013a. Estudio hidrológico del río Coyolate para la determinación de zonas susceptibles a inundación. Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala, Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático. 46 p.
4. _____. 2013b. Introducción a la modelación hidrológica (diapositivas). Barcelona, España, Universidad Autónoma de Barcelona. 46 diapositivas.
5. Herrera, I. 1995. Manual de hidrología. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 223 p.
6. ICC (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, GT). s.f. Mapeo de zonas críticas de inundaciones en la cuenca del río Nahualate. Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala. 34 p.
7. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1974. Estudio morfométrico de la cuenca del río Nahualate. Guatemala, Ministerio de Comunicaciones y Obras Públicas, Departamento de Agua Superficial. 19 p.
8. INSIVUMEH (Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, GT). 2004. Estudio de intensidades de precipitación en la república de Guatemala. Guatemala. s.p.
9. _____. 2004. Estudio regional de crecidas de la república de Guatemala. Guatemala, s.p.
10. _____. 2015. Ríos de Guatemala (en línea): División hidrológica de Guatemala (en línea). Guatemala. Consultado 1 mar 2015. Disponible en <http://www.insivumeh.gob.gt/riosdeguatemala.html>

11. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2006a. Modelo de elevación digital de la república de Guatemala. Guatemala. Pixel 15x15 m. 1 CD.
12. _____. 2006b. Modelo de elevación digital de la república de Guatemala. Guatemala. Pixel 15x15 m. 1 CD
13. _____. s.f. Uso de la tierra de la república de Guatemala. Guatemala. Pixel 25x25 m. 1 CD.
14. Mendoza, JC. 1994. Determinación de las relaciones temporales entre precipitación de 24 horas y precipitaciones horarias. La Paz, Bolivia, Universidad Mayor de San Andrés. 12 p.
15. Peters Guarin, G. 2003. Flood risk assessment for the town of San Sebastian in Guatemala. Tesis MSc. Amsterdam, Holanda, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede. 101 p.
16. Pérez Sierra, D. 2012. Simulación hidrológica e hidráulica del río San Francisco, Panajachel para la determinación de áreas en riesgo por inundación. Tesis Ing. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 93 p.
17. Oliva, E. 1982. Estimación de los parámetros hidrológicos de la cuenca del río Nahualate hasta la estación San Mauricio. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 91 p.
18. SGCCC (Sistema Guatemalteco de Ciencias del Cambio Climático).2015. Cambio Climático: Riesgo de Sequía e Inseguridad Alimentaria. Guatemala. Consultado 10 sep. 2015. Disponible en: <http://www.marn.gob.gt/multimedios/914.pdf>
19. Toledo, V. 2008. Estudio hidráulico e hidrológico y diseño de un sistema de alerta temprana para el río Naranjo. Guatemala, Acción Contra el Hambre (ACF-E). 31 p.
20. USACE (Army Corps of Engineers, US). 1998. HEC-RAS river analysis system user's manual. Davies, CA, US, Hydrologic Engineering Center. 790 p.
19. _____. 2000. HEC-HMS hydrologic modeling system user's manual. Davies, CA, US, Hydrologic Engineering Center. 149 p.
21. Villón Béjar, M. 2002. Hidrología. Cartago, Costa Rica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 430 p.

9. ANEXOS

Cuadro 26A. Digitalización de los registros pluviograficos de la estación meteorológica
Labor Ovalle

HIETOGRAMAS DISCRETIZADOS LABOR OVALLE												
Año	Mes	Día	Hora inicio	10 min	20 min	30 min	1h	2h	3h	6h	12h	24h
1959	10	14	13:15	11.70	14.20	17.40	19.9	19.9	19.9	19.9	19.9	19.9
1961	6	11	12:50	20.70	20.70	20.70	20.7	20.7	20.7	20.7	20.7	20.7
1963	5	17	14:45	11.90	13.80	15.10	16.9	16.9	16.9	16.9	16.9	16.9
1963	7	8	16:20	19.80	22.80	25.10	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1	25.1
1965	8	21	16:35	9.50	13.00	13.80	15.4	18.1	18.1	18.1	18.1	18.1
1978	4	21	17:05	17.40	29.10	39.80	49.4	52.5	54.1	54.1	54.1	54.1
1979	8	4	15:45	6.80	9.00	12.10	15.1	16.4	16.4	16.4	16.4	16.4
1979	8	12	15:35	7.20	14.20	19.10	27.1	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4
1980	8	17	12:30	14.80	6.60	7.50	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2	27.2
1980	9	2	17:40	12.10	23.70	25.00	25.7	25.7	25.7	25.7	25.7	25.7
1981	4	18	13:35	6.00	9.00	14.90	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0
1984	7	9	12:55	4.50	8.40	11.40	16.6	20.3	20.3	20.3	20.3	20.3
1986	5	3	13:50	16.30	24.70	25.40	31.2	31.2	31.2	31.2	31.2	31.2
1986	5	19	17:15	9.50	13.80	20.40	28.4	32.9	33.1	33.1	33.1	33.1
1986	6	6	16:25	13.50	17.90	22.30	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3	22.3
1987	5	24	18:45	8.60	15.00	21.10	26.8	28.7	28.7	28.7	28.7	28.7
1988	4	16	14:20	10.90	12.30	12.80	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5
1988	6	17	13:00	3.40	6.50	8.70	13.3	20.1	23.4	25.5	25.5	25.5
1988	6	26	14:25	3.10	4.80	6.40	8.2	11.7	17.2	20.9	20.9	20.9
1989	4	17	16:40	20.20	31.00	34.90	40.4	44.0	49.5	53.2	53.2	53.2
1989	4	27	18:09	9.10	11.80	13.90	26.0	31.1	31.1	31.1	31.1	31.1
1989	5	11	11:40	10.00	17.50	23.90	28.6	31.8	31.9	31.9	31.9	31.9
1989	9	21	11:35	4.10	7.90	11.50	18.7	19.0	20.6	21.0	21.0	21.0
1990	3	18	13:50	10.70	21.10	26.60	29.5	31.8	35.3	35.3	35.3	35.3
1990	3	9	12:53	16.20	21.20	23.50	26.5	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2

1990	10	7	14:40	6.30	6.30	18.30	21.1	21.3	21.3	21.3	21.3	21.3
1990	6	19	13:42	17.50	24.20	25.81	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8	25.8
1990	9	2	16:10	15.70	24.30	25.80	28.1	29.4	29.4	29.4	29.4	29.4
1990	9	25	12:43	15.10	19.50	22.80	25.4	25.9	25.9	25.9	25.9	25.9
1998	9	13	12:17	12.20	18.10	19.80	22.0	24.0	29.4	31.3	31.3	31.3
1998	10	15	20:50	1.20	2.40	3.10	6.0	8.7	14.0	19.7	21.2	21.2
1998	10	30	13:10	2.20	4.10	5.60	8.4	10.0	12.4	12.4	12.4	12.4
1998	11	1	1:10	1.80	3.40	4.30	5.9	7.7	12.6	15.4	15.4	15.4
1998	11	1	17:00	2.40	3.80	5.00	8.5	13.8	17.1	24.6	25.9	25.9
1998	11	1	12:30	1.00	2.00	2.80	5.0	7.1	7.7	7.7	7.7	7.7
1998	11	2	7:50	2.10	3.70	4.90	7.6	12.1	16.9	21.8	21.8	21.8
1999	4	28	17:20	8.00	14.30	18.30	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1
1999	6	12	19:00	2.90	4.20	5.50	9.2	15.7	20.5	23.1	23.1	23.1
1999	6	12	19:00	6.20	10.70	12.90	14.6	20.1	20.5	20.5	20.5	20.5
2000	5	1	13:39	10.30	13.10	17.10	23.0	24.8	26.0	26.0	26.0	26.0
2000	5	30	12:00	5.10	9.70	12.50	16.4	20.5	21.4	21.4	21.4	21.4
2000	7	17	17:35	10.70	20.40	23.80	26.4	30.2	31.3	31.3	31.3	31.3
2002	5	25	17:00	6.10	11.50	15.00	22.3	23.7	23.7	23.7	23.7	23.7
2002	6	8	7:50	9.50	10.30	17.00	20.4	29.7	36.5	36.5	36.5	36.5
2003	4	1	15:20	12.60	21.84	27.18	32.0	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4
2003	6	14	12:50	4.23	8.46	9.35	15.4	20.3	25.0	25.9	33.0	33.0
2003	6	18	13:50	7.33	8.60	11.16	17.1	30.2	34.0	36.0	36.5	36.5
2004	6	3	13:50	6.90	11.94	15.04	26.4	30.9	33.3	34.9	35.7	38.1
2004	8	1	14:40	9.11	13.02	16.52	20.0	20.3	29.8	30.0	30.0	30.0
2004	9	12	12:40	6.46	11.22	13.59	17.7	18.2	18.2	33.4	33.4	33.4
2005	5	8	16:20	5.20	7.59	10.40	13.6	19.7	22.3	32.7	32.7	32.7
2005	7	18	13:45	6.05	7.71	8.06	8.7	8.7	10.0	19.8	22.2	22.2
2005	10	3	14:40	1.00	1.39	2.06	3.5	4.8	5.0	5.4	7.9	10.8
2005	10	4	7:40	6.60	7.96	11.75	17.4	17.4	25.7	58.1	79.7	146.0
2005	10	5	7:10	1.78	3.27	4.87	8.2	15.9	21.0	30.6	48.4	65.3

2006	6	10	12:12	5.77	11.18	12.33	13.4	17.5	19.0	33.9	35.2	35.2
2007	4	3	17:20	13.38	25.63	31.90	43.4	47.6	49.2	49.2	49.2	49.2
2007	9	8	12:15	8.48	16.07	18.24	22.0	24.5	24.5	28.4	30.6	30.6
2007	10	10	15:20	2.08	3.39	4.39	6.5	9.4	12.1	20.2	35.6	38.8
2008	5	18	13:00	7.09	14.40	19.75	23.4	26.5	28.1	28.9	37.7	39.3
2008	6	2	8:00	2.40	3.87	4.96	6.3	10.3	13.0	19.5	34.9	48.4
2008	8	23	18:30	2.58	5.03	6.82	11.8	18.3	23.3	36.8	38.2	38.2
2008	10	3	12:45	8.77	13.32	19.05	29.7	33.2	35.4	35.6	36.2	36.2
2009	5	18	14:00	5.71	8.89	11.00	14.4	19.6	24.3	39.6	41.0	41.0
2009	8	2	15:30	5.88	9.01	11.63	16.8	20.2	20.5	28.3	28.3	28.3
2009	12	20	7:00	2.25	3.70	5.10	8.7	15.1	18.1	27.8	40.2	49.2
2010	5	25	14:40	5.30	6.30	8.39	13.5	26.8	30.2	30.3	35.7	44.3
2010	5	28	10:50	2.88	4.75	6.19	11.2	18.2	27.6	49.4	82.1	104.8
2010	5	29	7:00	5.18	8.00	10.95	17.0	27.5	41.9	60.0	98.3	114.0
2010	6	27	7:00	2.82	4.07	4.83	7.6	11.4	14.7	15.8	26.5	26.5
2010	9	3	8:30	1.93	3.61	4.88	8.1	14.3	18.9	34.9	61.8	92.2
2011	10	11	---	6.90	11.80	15.80	26.1	39.7	49.8	70.9	110.3	124.8
2013	6	21	12:47	6.75	12.36	16.82	25.8	35.7	36.9	36.9	36.9	36.9
2013	8	13	13:10	9.47	15.49	21.12	32.9	34.8	41.2	32.9	48.0	48.0
2013	8	28	13:10	2.31	4.53	5.99	9.2	13.7	16.1	19.2	25.1	25.4

Fuente: elaboración propia, 2015.

Cuadro 27A. Digitalización de los registros pluviográficos de la estación meteorológica El Asintal Retahuleu

HIETOGRAMAS DISCRETIZADOS EL ASINTAL RETAHULEU												
Año	Mes	Día	Hora inicio	10 min	20 min	30 min	1h	2h	3h	6h	12h	24h
1986	5	30	-	15.3	24.5	31.3	37.3	63.5	86.2	113.6	113.6	113.6
1986	9	2	15:15	10.2	15.7	19.6	20.9	24.0	27.7	27.7	27.7	27.7
1986	9	12	15:40	14.5	20.7	26.7	42.8	63.4	65.4	68.2	68.2	68.2

1986	9	17	16:05	9.2	17.4	23.1	32.3	50.1	53.3	53.4	53.4	53.4
1987	5	21	13:55	15.5	26.5	33.6	56.0	98.9	104.4	104.4	104.4	104.4
1987	6	15	16:35	16.2	30.6	45.9	56.5	57.3	57.3	57.3	57.3	57.3
1987	7	13	15:45	18.5	36.9	41.9	53.2	55.4	55.4	55.4	55.4	55.4
1987	9	24	14:20	15.0	27.7	32.0	47.6	61.5	61.5	61.5	61.5	61.5
1988	6	5	15:45	18.6	26.9	36.8	56.4	62.1	62.5	62.5	62.5	62.5
1990	5	29	14:58	17.2	30.1	45.0	59.0	65.0	65.0	65.0	65.0	65.0
1990	6	23	16:50	9.8	19.2	28.7	50.8	86.5	98.9	102.1	102.1	102.1
1990	7	16	16:20	21.5	36.5	47.3	74.3	92.6	93.4	95.0	95.0	95.0
1993	1	1	-	19.6	29.2	36.3	44.5	44.5	44.5	44.5	44.5	44.5
1993	1	1	-	16.8	32.7	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0	34.0
1994	1	1	-	9.2	14.5	18.5	26.1	38.3	40.0	40.2	40.2	40.2
1995	6	3	14:50	16.5	20.2	33.4	46.5	46.7	46.7	46.7	46.7	46.7
1995	6	22	19:45	0.8	1.2	1.5	2.3	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
1995	7	8	14:49	11.5	19.3	23.0	29.1	32.5	57.4	62.1	62.1	62.1
1995	7	19	13:23	15.2	30.2	39.5	55.0	58.3	61.3	63.2	63.2	63.2
1995	8	13	15:05	10.3	20.5	28.7	48.2	57.4	60.6	61.6	61.6	61.6
1995	9	9	-	21.8	32.3	37.7	66.9	99.5	123.5	123.5	123.5	123.5
1995	9	11	14:15	23.5	38.8	42.0	59.4	62.3	62.3	62.3	62.3	62.3
1995	9	12	15:39	21.0	28.1	29.1	35.0	49.3	49.3	49.3	49.3	49.3
1995	9	17	14:40	21.5	37.2	50.9	58.1	60.2	60.2	60.2	60.2	60.2
1995	9	29	13:10	18.4	30.9	34.4	41.3	45.8	49.3	51.8	51.8	51.8
1995	10	3	11:30	1.6	2.9	4.0	7.8	11.1	15.0	30.1	38.4	44.6
1995	11	9	14:00	18.4	27.7	39.9	61.8	93.1	127.3	178.5	178.7	178.7
1996	6	12	14:20	9.1	18.3	27.3	48.2	55.4	55.8	55.8	55.8	55.8
1996	6	26	17:12	9.7	14.1	23.3	40.9	49.3	49.3	49.3	49.3	49.3
1996	7	11	14:15	20.8	22.8	25.8	51.0	55.0	55.0	55.0	55.0	55.0
1996	9	9	14:22	27.4	43.2	55.6	92.2	117.7	121.1	121.2	121.2	121.2
1996	9	17	16:15	18.2	34.1	44.6	57.4	58.3	58.3	58.3	58.3	58.3
1996	10	3	17:10	9.4	18.6	27.1	44.9	58.8	60.2	60.2	60.2	60.2

1996	10	8	13:50	27.2	37.4	47.4	64.2	66.6	66.6	66.6	66.6	66.6
1996	10	23	14:25	20.2	36.8	49.9	96.1	113.3	113.3	113.3	113.3	113.3
1997	5	9	21:40	10.0	15.5	20.9	38.9	45.9	45.9	45.9	45.9	45.9
1997	7	22	14:35	15.6	26.9	36.9	69.7	80.0	82.1	82.1	82.1	82.1
1997	11	9	16:20	9.0	16.8	23.8	44.5	57.7	63.4	68.1	68.1	68.1
1998	6	7	16:45	10.2	19.7	26.0	35.9	45.8	45.8	45.8	45.8	45.8
1998	6	14	15:10	18.5	31.4	36.2	46.3	56.2	60.1	61.4	61.4	61.4
1998	7	2	16:50	18.2	27.5	36.6	57.4	58.2	58.2	58.2	58.2	58.2
1998	7	25	14:00	12.8	23.0	31.1	51.1	63.5	63.5	63.5	63.5	63.5
1998	8	20	16:02	25.6	32.1	36.8	45.8	51.9	51.9	51.9	51.9	51.9
1998	8	23	15:55	1.0	2.0	2.9	4.4	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8
1998	8	24	16:55	20.6	32.3	39.0	64.5	64.9	64.9	64.9	64.9	64.9
1999	5	11	15:20	17.8	24.3	30.1	41.1	44.2	44.2	44.2	44.2	44.2
1999	6	21	18:45	13.2	24.4	30.5	34.5	41.7	53.8	59.5	59.5	59.5
1999	6	22	21:30	2.8	3.7	4.4	6.1	12.0	16.3	24.5	24.5	24.5
1999	7	9	11:55	17.4	32.5	39.0	43.3	47.2	49.7	49.7	49.7	49.7
1999	9	5	18:20	17.2	26.1	34.5	83.3	85.3	85.3	85.3	85.3	85.3
1999	9	22	14:55	10.6	17.6	26.4	42.7	55.9	59.9	76.2	76.2	76.2
1999	10	2	18:20	5.7	11.2	12.5	16.9	25.9	31.3	31.9	31.9	31.9
1999	10	12	14:20	15.8	17.8	22.5	40.9	43.7	43.7	43.7	43.7	43.7
1999	10	19	13:58	28.5	44.0	57.5	76.5	87.3	93.0	96.2	96.2	96.2
2000	2	20	15:52	9.4	17.9	27.0	46.2	56.6	61.8	66.6	66.6	66.6
2000	5	12	14:34	10.1	16.8	19.8	257.0	28.3	34.4	34.4	34.4	34.4
2000	5	16	13:32	20.6	30.2	41.2	47.1	47.1	47.1	47.1	47.1	47.1
2000	5	21	20:02	9.0	14.9	16.8	26.5	38.4	42.5	42.5	42.5	42.5
2000	5	23	14:28	27.9	37.2	44.5	72.9	115.7	118.4	118.4	118.4	118.4
2000	7	22	18:47	18.0	31.7	44.8	57.1	68.8	68.8	68.8	68.8	68.8
2000	7	29	14:50	11.0	21.1	30.6	39.9	46.4	48.4	50.2	50.2	50.2
2000	8	29	15:45	20.3	39.2	44.2	48.7	50.3	50.3	50.3	50.3	50.3
2000	9	5	20:10	15.9	25.7	34.9	46.2	51.3	55.1	55.1	55.1	55.1

2000	9	6	14:08	18.9	33.3	35.9	42.0	43.2	43.2	43.2	43.2	43.2
2000	9	26	15:05	20.6	39.0	51.9	54.8	60.0	60.0	60.0	60.0	60.0
2000	9	27	19:01	2.5	4.1	6.4	10.6	14.4	14.5	14.5	14.5	14.5
2000	9	29	13:52	9.5	19.0	28.1	45.2	55.7	61.8	70.6	80.0	80.0
2000	9	29	17:20	13.6	27.2	33.9	42.3	49.4	52.8	52.8	52.8	52.8
2000	10	2	15:00	9.4	17.3	21.8	32.4	41.0	49.8	51.8	51.8	51.8
2000	11	8	20:10	9.5	13.6	17.2	21.8	36.2	49.4	79.3	80.3	80.3
2000	11	8	21:55	9.5	17.9	20.9	24.1	47.8	47.8	47.8	47.8	47.8
2001	3	23	16:20	15.6	25.9	34.3	40.8	42.3	42.3	42.3	42.3	42.3
2001	5	9	22:25	16.6	19.3	21.2	35.2	66.2	69.4	69.4	69.4	69.4
2001	5	18	2:10	7.8	15.2	20.1	29.5	31.1	31.1	31.1	31.1	31.1
2001	5	28	16:35	19.5	34.0	40.6	53.2	57.0	58.6	58.6	58.6	58.6
2001	5	31	14:30	17.8	28.7	34.9	43.8	70.4	88.3	88.3	88.3	88.3
2001	7	8	14:40	15.0	24.4	245.0	40.6	41.4	41.4	41.4	41.4	41.4
2001	7	29	15:20	19.3	33.4	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2	34.2
2001	8	21	15:35	9.1	16.3	19.1	21.5	38.4	40.9	40.9	40.9	40.9
2001	8	27	14:50	21.9	41.7	60.1	82.1	86.6	86.6	86.6	86.6	86.6
2001	9	16	15:10	19.7	35.2	48.1	56.2	59.9	60.7	60.7	60.7	60.7
2001	10	21	15:20	25.9	42.3	53.4	57.4	57.8	57.8	57.8	57.8	57.8
2001	10	25	16:05	4.7	5.0	5.1	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2
2002	5	14	15:25	12.8	20.6	23.8	26.2	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0
2002	5	28	17:40	5.6	8.1	10.1	18.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0
2002	5	28	15:15	14.5	28.4	37.2	50.6	52.6	52.6	52.6	52.6	52.6
2002	6	11	15:50	14.5	28.4	37.1	50.5	52.5	52.5	52.5	52.5	52.5
2002	9	22	13:10	18.6	29.2	38.3	57.9	89.3	110.6	119.3	141.2	156.7
2002	9	25	13:12	19.1	38.2	51.9	71.1	81.1	90.4	92.7	92.7	92.7
2002	10	2	13:48	14.2	21.8	30.0	51.7	59.5	60.5	60.7	61.1	61.1
2003	5	14	15:00	8.9	17.7	26.5	52.1	55.5	56.1	57.3	57.4	57.4
2003	6	7	16:21	18.2	28.1	37.8	59.1	68.4	68.4	69.7	69.7	69.7
2003	6	8	15:20	14.7	18.7	27.5	44.3	68.6	76.7	87.7	87.7	87.7

2003	6	18	14:18	9.3	18.3	21.2	39.0	73.1	80.6	86.6	87.7	87.7
2003	7	3	14:20	21.5	27.7	36.5	54.4	58.9	58.9	58.9	58.9	58.9
2003	9	22	15:20	8.3	15.9	22.2	22.4	32.7	39.3	39.3	39.3	39.3
2004	4	29	19:05	10.2	19.2	20.7	21.9	34.3	53.6	55.3	76.5	76.5
2004	5	7	18:10	11.2	22.0	26.7	31.6	32.4	32.9	61.4	61.4	61.4
2004	5	22	14:10	19.0	35.6	43.2	66.9	94.1	94.5	98.2	110.3	116.9
2004	7	5	17:35	19.3	29.3	38.7	58.1	65.7	70.4	70.4	70.4	70.4
2005	5	30	15:48	33.4	42.8	53.3	65.2	65.7	65.7	65.7	65.7	65.7
2005	6	6	15:10	16.8	33.3	37.4	44.4	49.9	75.1	112.4	114.1	114.1
2005	6	23	17:22	9.1	17.4	25.8	37.1	71.7	98.3	105.2	105.2	105.2
2005	9	29	13:52	9.9	19.4	28.9	45.0	67.2	67.4	67.4	67.4	67.4
2005	10	1	15:30	10.6	18.4	23.8	39.7	51.2	55.8	62.1	62.1	62.1
2005	10	3	9:35	2.7	4.9	6.0	9.0	14.6	19.7	30.9	37.1	44.8
2005	10	4	7:00	10.1	15.5	20.2	30.9	50.8	62.8	109.9	184.8	294.6
2005	10	5	7:50	6.7	11.7	16.3	20.4	31.9	40.4	62.5	108.5	149.2
2005	10	6	7:30	7.6	9.9	11.1	17.1	21.3	31.4	53.3	78.6	83.1
2006	5	17	16:40	9.8	13.7	17.5	24.5	39.0	50.7	79.5	101.1	101.1
2006	5	24	11:30	18.3	28.8	38.0	55.8	60.5	61.8	62.1	62.1	62.1
2006	6	5	17:00	15.8	26.9	35.1	51.9	75.5	93.1	102.5	121.1	121.1
2006	6	14	14:50	21.0	31.6	40.0	57.9	63.5	83.3	90.8	92.6	92.6
2006	7	17	16:15	19.2	27.5	30.0	37.3	45.7	57.1	66.6	68.0	69.0
2006	7	30	14:53	9.9	19.8	29.7	49.1	71.8	80.4	89.6	89.6	89.6
2006	8	13	15:35	9.9	19.5	29.6	58.3	96.7	109.7	111.4	114.1	114.1
2006	10	8	15:00	19.9	38.4	44.1	54.1	92.2	95.5	98.6	98.6	98.6
2006	10	8	15:00	19.9	38.4	44.1	54.1	92.2	95.5	98.6	98.6	98.6
2006	10	17	13:18	9.7	19.4	24.4	39.0	68.0	79.4	94.7	99.0	99.0
2006	10	18	17:10	10.1	20.2	30.2	55.0	64.9	70.6	73.2	74.4	74.4
2006	11	10	16:00	7.1	10.0	16.5	29.1	56.2	72.6	93.3	99.5	99.5
2007	8	12	14:30	10.0	19.9	29.6	57.6	66.7	66.3	66.9	70.8	70.8
2007	9	11	15:30	17.3	27.2	37.3	57.0	77.8	96.9	99.2	99.2	99.2

2007	9	11	15:30	17.3	27.2	37.3	57.0	77.8	96.9	99.2	99.2	99.2
2007	9	14	16:50	19.8	39.5	59.1	74.5	76.5	76.5	76.5	76.5	76.5
2007	10	10	15:00	5.1	7.0	8.6	16.2	21.7	28.2	53.1	81.8	89.7
2008	7	30	14:12	19.9	29.8	49.7	72.4	77.6	78.7	111.6	112.6	112.6
2008	9	5	10:40	6.4	10.1	12.7	20.4	34.5	45.0	78.4	137.8	171.1
2008	9	17	16:18	10.9	21.5	30.1	58.8	98.5	115.3	124.4	124.4	124.4
2008	9	29	14:57	10.6	20.8	30.5	47.9	79.5	85.1	142.4	168.1	168.1
2009	5	13	19:30	8.8	12.6	16.4	21.7	33.1	38.6	44.6	45.8	45.8
2009	6	16	13:35	16.1	26.1	30.7	37.0	63.5	78.1	85.6	85.6	85.6
2009	7	31	15:30	19.0	31.9	41.4	62.3	37.0	37.0	69.2	69.2	69.2
2009	8	30	17:59	11.9	21.6	31.5	44.4	46.3	46.3	46.3	46.3	46.3
2009	10	9	16:40	20.0	34.8	47.9	77.9	84.6	84.7	88.9	88.5	88.5
2009	10	29	14:40	18.0	34.9	49.3	60.2	63.5	64.1	64.2	64.2	64.2
2011	5	21	17:19	10.1	18.9	25.0	41.1	70.3	101.4	113.1	113.1	113.1
2011	6	18	14:37	11.7	18.8	26.7	51.4	70.0	76.2	76.2	76.2	76.2
2011	7	4	17:00	9.0	17.9	24.8	41.2	61.3	66.3	91.3	118.6	147.9
2011	8	14	14:00	18.8	34.8	45.4	71.5	106.5	109.3	120.9	121.5	121.5
2011	8	16	15:08	23.6	37.8	45.6	69.4	80.9	82.5	82.5	82.5	82.5
2011	10	3	12:40	9.5	17.6	22.3	43.6	47.7	47.9	80.7	88.0	88.0
2011	10	11	15:30	8.6	16.5	17.6	23.1	30.8	36.9	75.3	103.1	130.4
2011	10	12	7:50	9.7	19.3	25.5	32.3	38.1	46.5	54.7	56.6	66.2
2011	10	18	10:18	6.6	9.2	11.8	15.5	25.9	29.1	49.9	63.8	76.1
2012	6	27	16:28	16.4	28.3	38.4	51.7	62.2	62.8	64.4	64.4	64.4

Fuente: elaboración propia, 2015.

Cuadro 28A. Digitalización de los registros pluviográficos de la estación meteorológica Camantulul

HIETOGRAMAS DISCRETIZADOS CAMANTULUL											
Año	Mes	día	10 min	20 min	30 min	1h	2h	3h	6h	12h	24h
1996	8	10	20.0	37.0	50.0	100.0	124.8	127.0	133.0	134.0	134.0

1996	9	27	27.0	51.0	64.0	67.0	73.5	75.0	78.3	96.0	99.8
1996	7	8	18.0	33.0	40.0	50.0	85.0	97.2	130.0	140.0	140.0
1997	12	4	20.0	38.0	50.0	71.7	123.0	137.3	196.5	210.3	210.3
1997	9	29	10.0	15.3	17.3	21.4	27.5	39.0	58.9	88.0	99.0
2003	8	16	9.6	19.1	23.5	38.3	58.7	59.3	93.7	96.4	106.2
2003	2	10	21.3	45.0	56.9	75.3	96.1	125.5	134.2	134.2	134.2
2004	6	6	16.5	28.6	39.7	71.0	106.9	114.1	115.7	117.4	117.4
2004	9	18	23.4	40.9	51.3	84.4	106.1	116.3	116.5	116.5	116.5
2004	10	23	12.0	22.1	32.2	58.9	63.1	73.4	100.4	131.9	131.9
2005	6	4	11.2	32.0	44.7	63.5	88.6	100.7	105.5	110.9	110.9
2005	6	9	14.4	30.0	41.8	78.8	87.8	93.9	98.3	99.1	108.4
2005	7	17	10.3	19.2	26.2	41.0	65.7	96.6	115.3	116.1	116.1
2005	9	29	11.6	17.9	23.3	36.0	48.4	69.9	103.8	139.6	139.6
2005	10	5	6.0	9.3	15.3	21.4	32.2	48.6	88.4	144.1	204.6
2006	6	26	13.3	22.7	32.8	46.8	75.3	84.8	107.6	114.6	119.2
2006	7	31	19.1	32.3	41.9	68.4	115.9	150.9	165.4	180.3	180.5
2006	9	10	15.6	27.4	39.2	62.3	98.0	140.0	143.7	143.7	150.4
2006	10	12	14.9	27.7	35.5	64.4	96.4	101.6	109.6	109.8	109.8
2006	11	11	16.8	27.2	37.6	68.8	99.7	106.4	123.9	165.6	165.6
2006	11	18	16.3	28.2	38.6	50.0	57.9	61.5	66.6	66.8	66.8
2007	4	4	20.8	36.0	48.3	30.7	64.4	64.4	105.3	108.1	108.1
2007	8	29	23.8	50.3	60.5	79.6	91.0	94.3	101.6	105.3	105.3
2007	10	21	9.8	13.9	19.7	39.3	61.3	77.6	110.5	110.6	110.6
2007	11	10	15.3	28.1	40.2	62.3	102.0	103.0	103.0	103.0	103.0
2008	10	15	22.2	42.5	49.4	62.4	108.4	154.9	157.8	157.8	157.8
2009	5	20	19.4	37.3	52.2	73.5	101.6	102.3	103.4	103.4	103.4
2010	5	30	6.1	11.9	18.0	31.3	47.0	85.7	77.2	152.5	185.1
2010	6	27	23.9	38.8	56.3	87.3	115.2	116.9	119.5	119.5	147.0
2010	9	4	9.7	12.4	16.7	29.0	50.3	74.9	116.0	161.6	217.7

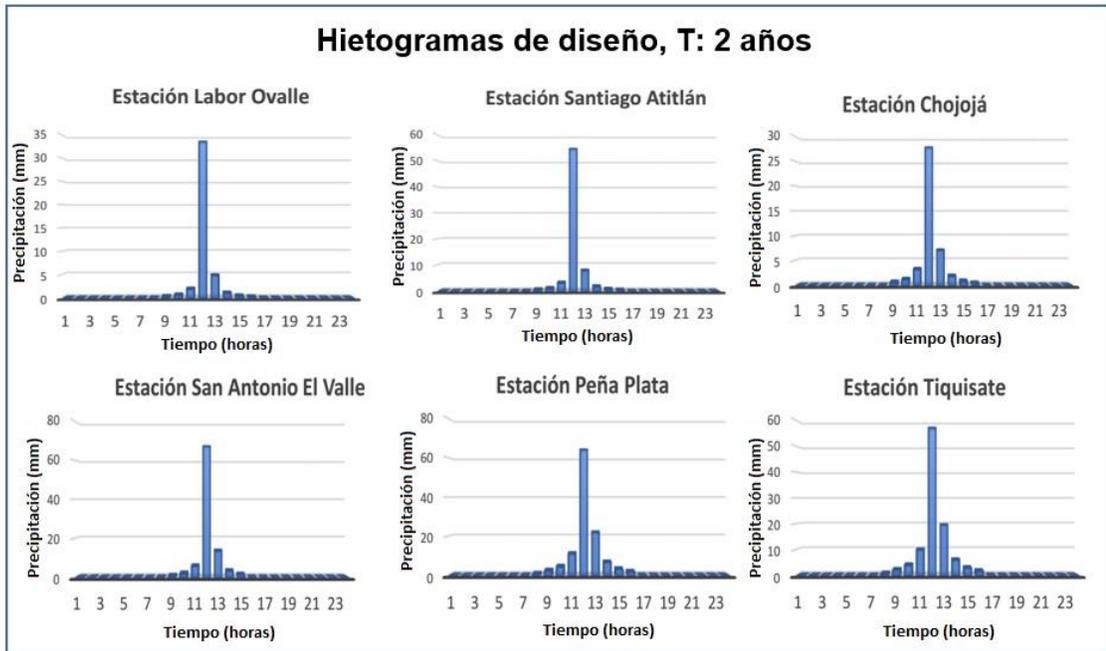
Fuente: elaboración propia, 2015.

Cuadro 29A. Digitalización de los registros pluviográficos de la estación meteorológica
Puerto San José

HIETOGRAMAS DISCRETIZADOS PUERTO SAN JOSÉ											
Año	Mes	día	10 min	20 min	30 min	1h	2h	3h	6h	12h	24h
1985	11	1	14	23	27.6	38.3	44.7	49.6	53.7	95.7	124
1985	7	19	18.6	37.2	44.7	63.5	64.1	64.1	65	65.5	65.5
1986	10	16	14.6	27.1	33.8	50.6	54.4	55.4	70.3	70.3	70.3
1987	5	24	14.9	23	31.9	44.2	45.4	45.4	45.4	45.4	45.4
1987	7	19	16.4	25.4	33.4	51.5	59	64.3	65.8	65.8	65.8
1988	6	20	17	32	39.5	48.5	59.2	68.2	95.2	100.7	100.7
1988	8	13	17.1	35.2	41.1	60	87.1	93.1	101	104.9	104.9
1988	8	14	10.1	19.6	29.2	55	79	88.4	91.9	104.5	114.4
1989	9	24	16.5	25.5	32.9	54.2	62	104.3	119.8	146.7	154.9
1989	9	23	9.8	15.8	22.4	43.5	50	74.3	88.8	157.5	158.9
1989	7	27	19	28.5	31.4	43.5	70.5	81	127.9	154.2	154.2
2000	10	2	13.3	22.8	31	61.3	77.3	82.6	101.5	113.3	114
2000	9	7	13.2	22.2	24.5	37	53.7	59.5	70.9	73.4	73.4
2000	9	29	17.2	27.3	37.8	57.2	72.9	74.7	74.7	83.7	83.7
2000	5	29	20.6	41.1	58.7	91.5	101.1	107.1	108.5	108.5	108.5
2001	6	2	1.8	3	4.1	6.7	13.2	18.9	36.2	40.7	43.2
2002	9	20	11.8	19.9	21	27	36.1	52.4	68.7	74.8	89.7
2002	5	28	22.3	41.2	48.6	57.9	66.3	81.6	82	82	82
2002	5	30	13.4	21	30.2	47.3	57.6	71.2	81.9	85.3	88.7
2003	10	24	16	28.5	37.8	62.5	66.3	68.8	72.6	72.6	72.6
2003	6	15	4.5	7.3	9.5	15	19.3	28.8	51.2	56.4	56.4
2003	6	19	6.5	7.9	8.5	14	24.4	32.4	41.3	51.8	52
2004	10	22	16	23.5	28.2	34.5	42.2	54.7	68.7	87.7	87.7
2004	9	17	16.2	28.1	37.5	65.2	75.2	76.9	84.4	84.6	84.6
2004	10	3	15.7	28.5	38.7	54.6	61.3	61.3	61.3	93.2	93.2
2004	10	30	9.5	16	18.5	28.5	39.7	43.5	73	78.1	78.1

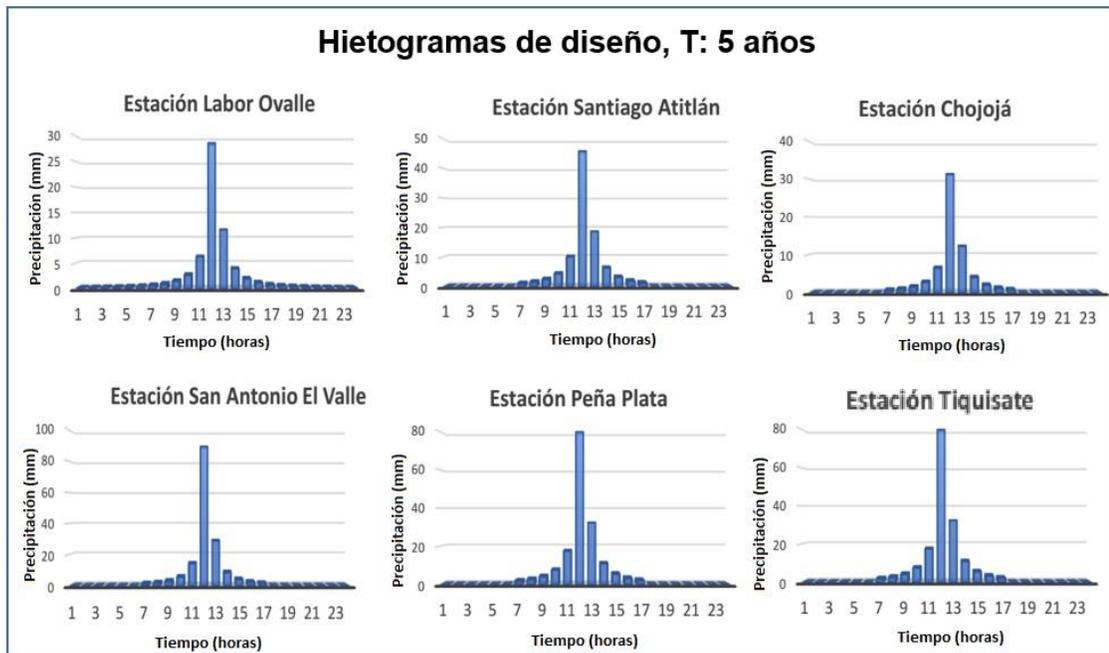
2005	10	2	9.8	17.4	22.4	38.1	45.4	50.9	65.3	85.6	155.2
2005	10	4	10.4	19.4	27.3	39.8	52	58.3	80.54	110.14	191.8
2005	11	6	7.3	10.4	17.9	19.2	20.1	23.7	45.2	62.2	64.4
2005	10	10	19.2	36.6	46.1	56.6	62.6	73.7	87.9	90.5	90.5
2005	7	20	20.1	29.8	44	49.1	60.5	63.1	92.3	92.3	92.3
2005	6	5	15.8	22.7	29	56.2	89.7	121.5	132.5	132.5	132.5
2006	11	11	5.5	10.1	14.2	17.8	18.8	18.8	27.2	57.1	63.4
2008	9	27	12.9	19.3	22.1	35.9	40.1	42.2	42.7	72.1	76.9
2008	8	26	27.2	46.4	65.6	97	133.9	139	147.2	147.2	147.2
2008	5	17	21.6	27.6	33.6	47	47.2	47.5	47.5	47.5	89.9
2009	11	6	9.6	19.2	28.8	35.8	39.3	42	72.9	73.9	78.9
2009	11	4	9.5	15.1	18.5	28.9	34.6	46.7	56.6	69.8	69.8
2009	9	6	9.6	13.8	15.2	19.8	30.8	39.1	55.8	101.9	151.5
2010	9	2	9.7	19.4	25.7	32.1	42.4	49.4	65.5	65.9	74.9
2010	9	3	8.4	11.8	16.6	19.4	32.7	38.7	54.9	87.6	104.1
2010	9	24	22.4	38.8	48.9	66.8	74.5	75.4	79.6	83.6	83.6
2010	9	28	9.7	19.4	29.1	40	54.3	56.1	59.5	69.7	90.8
2010	9	29	9.2	14.5	18.9	26.5	39.2	52.9	79.8	113.7	161.2
2010	8	18	10.4	20.7	28.2	36.8	41.3	57.9	98.3	180.7	185.2
2010	8	20	10.8	19.9	24.4	35	53.5	70.4	95.8	103.9	140.8
2010	6	16	7.5	12.2	13.3	22.8	33.8	46.1	60.1	61	61
2010	5	28	22	34.3	40.1	62.4	84.5	103	134.1	159.2	170.5
2011	10	11	9.5	13.5	19	28.5	47.5	66.5	116.8	199	251.1
2011	10	18	9.6	11.2	13.6	23.4	38.4	41.2	77.6	94.7	101.4
2011	9	17	19.6	29.5	39.1	58.5	82.8	104.7	105.7	105.7	105.7

Fuente: elaboración propia, 2015.



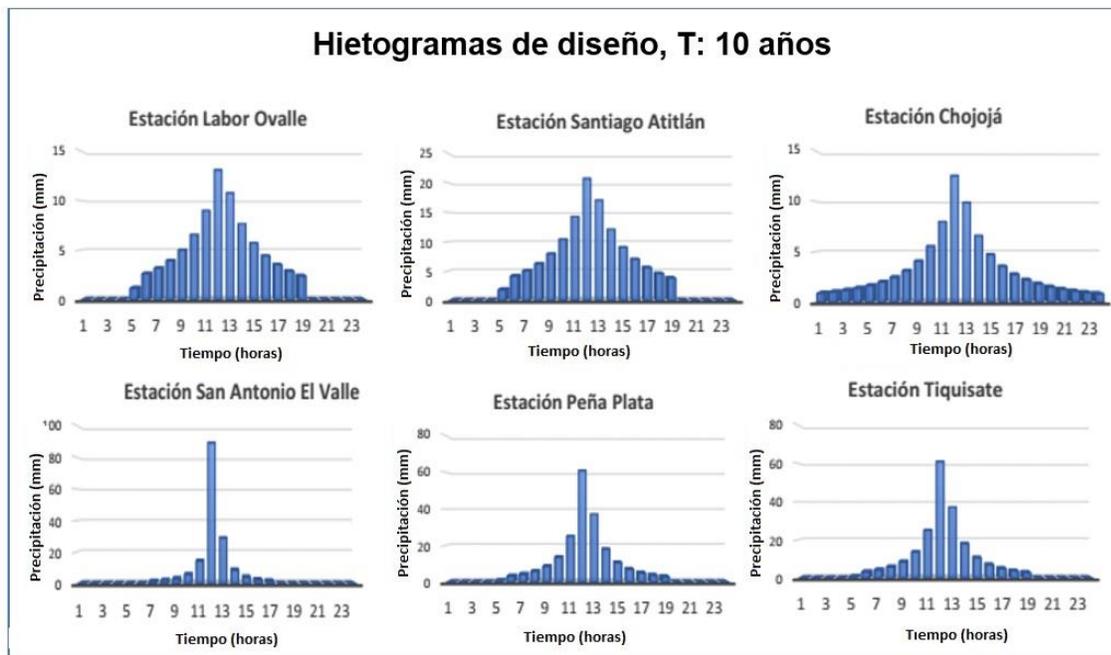
Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 41A. Hietogramas de diseño para cada una de las estaciones para el periodo de retorno de 2 años generados a partir de las ecuaciones generadas por el método de Mendoza.



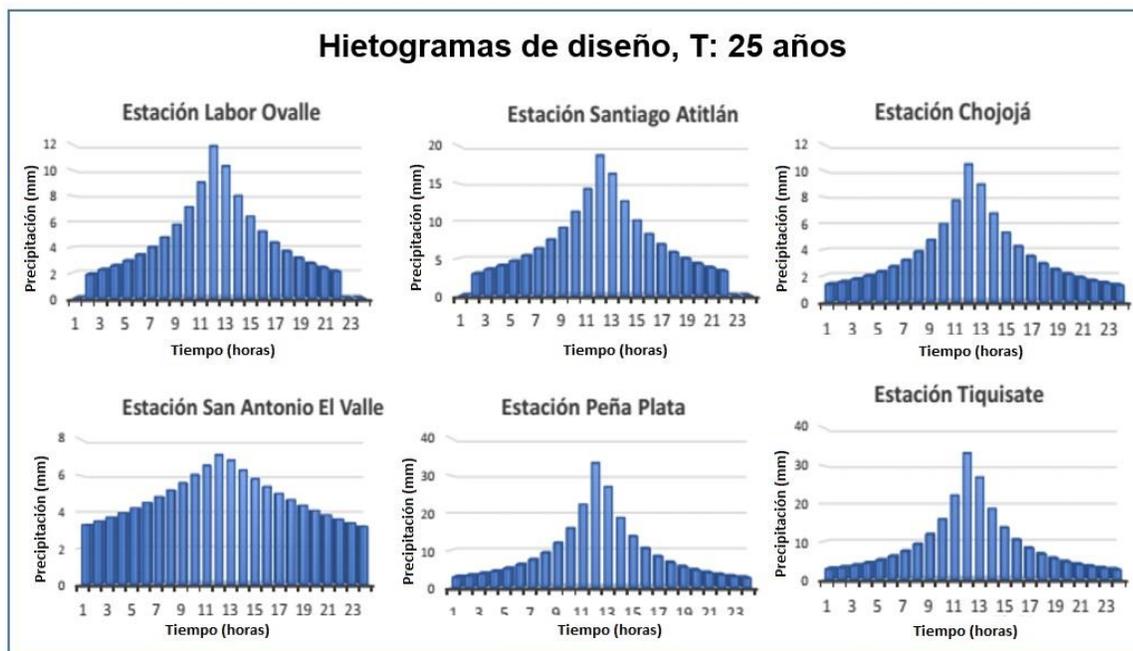
Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 42A. Hietogramas de diseño para cada una de las estaciones para el periodo de retorno de 5 años generados a partir de las ecuaciones generadas por el método de Mendoza.



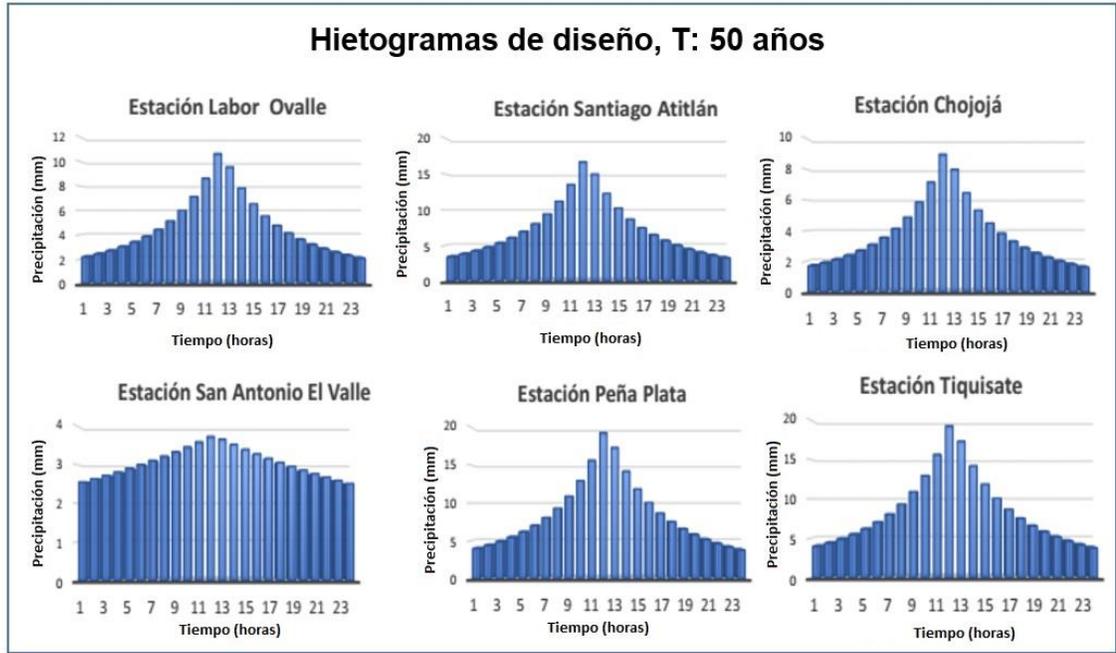
Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 43A. Hietogramas de diseño para cada una de las estaciones para el periodo de retorno de 10 años generados a partir de las ecuaciones generadas por el método de Mendoza.



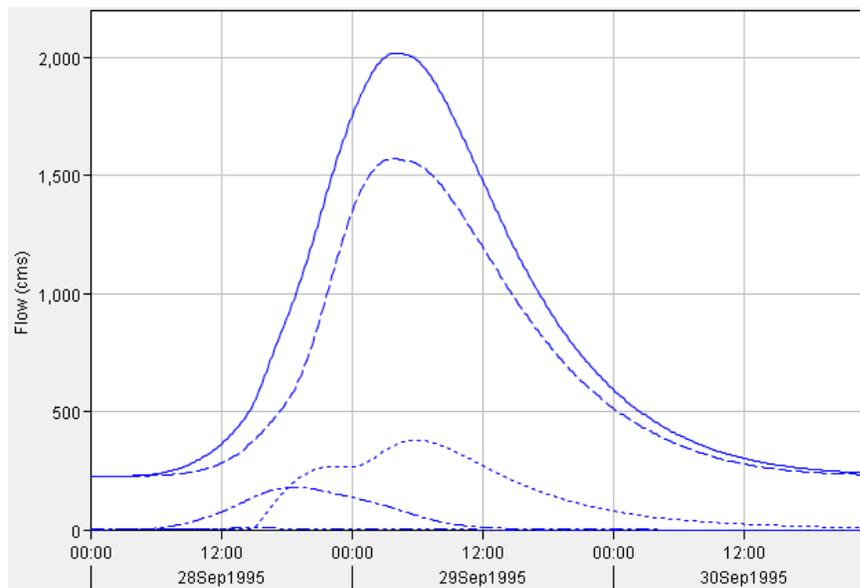
Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 44A. Hietogramas de diseño para cada una de las estaciones para el periodo de retorno de 25 años generados a partir de las ecuaciones generadas por el método de Mendoza.



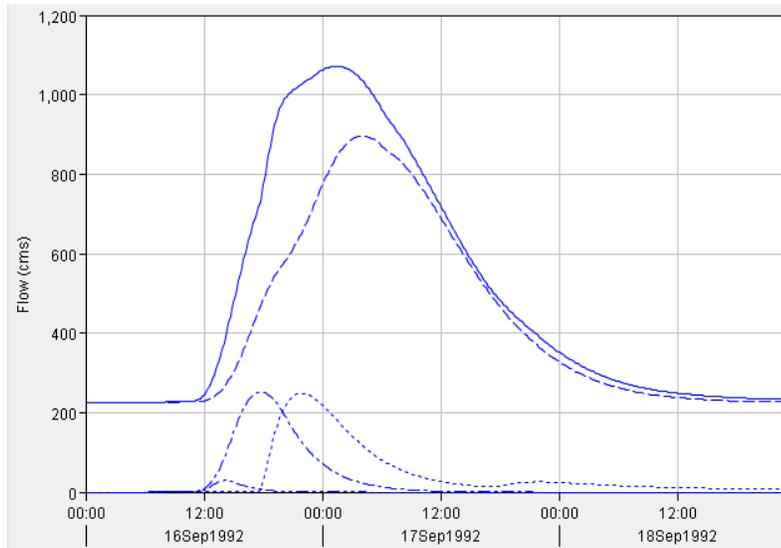
Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 45A. Hietogramas de diseño para cada una de las estaciones para el periodo de retorno de años generados a partir de las ecuaciones generadas por el método de Mendoza.



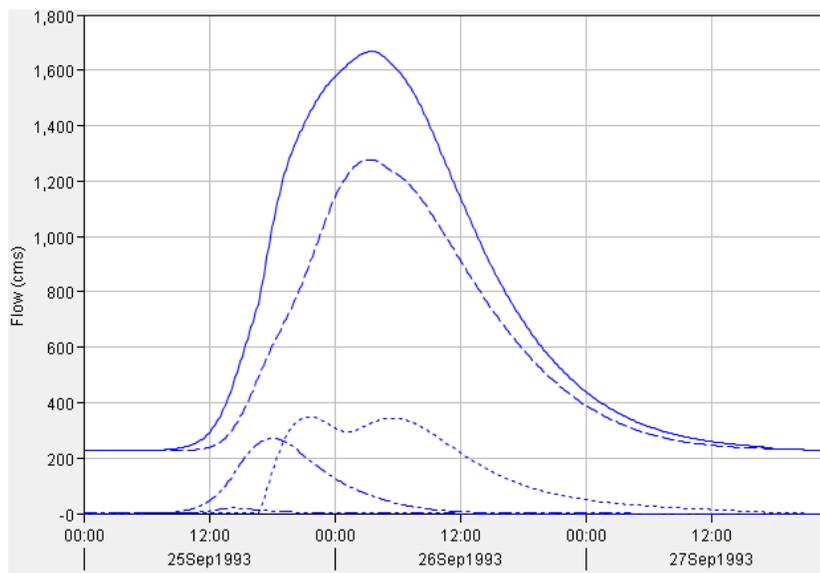
Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 46A. Hidrograma generado en el modelo hidrológico para el punto de entrada de la zona de estudio, correspondiente a un periodo de retorno de 2 años.



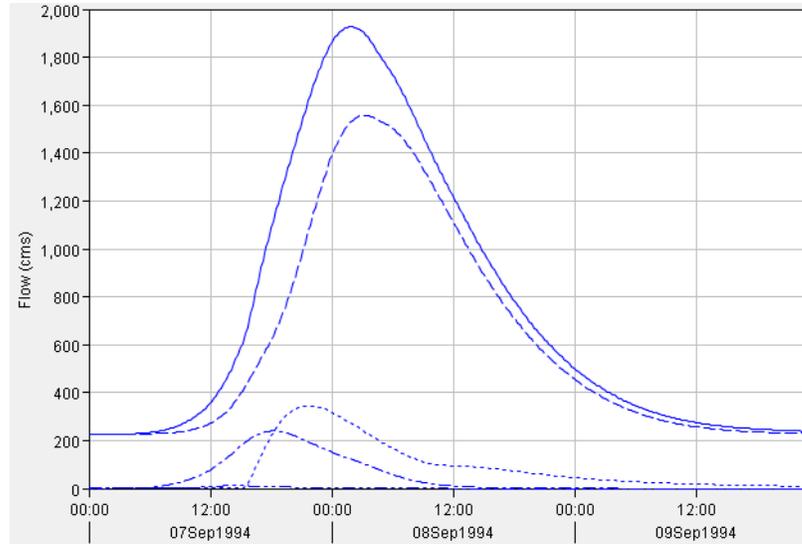
Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 47A. Hidrograma generado en el modelo hidrológico para el punto de entrada de la zona de estudio, correspondiente a un periodo de retorno de 5 años.



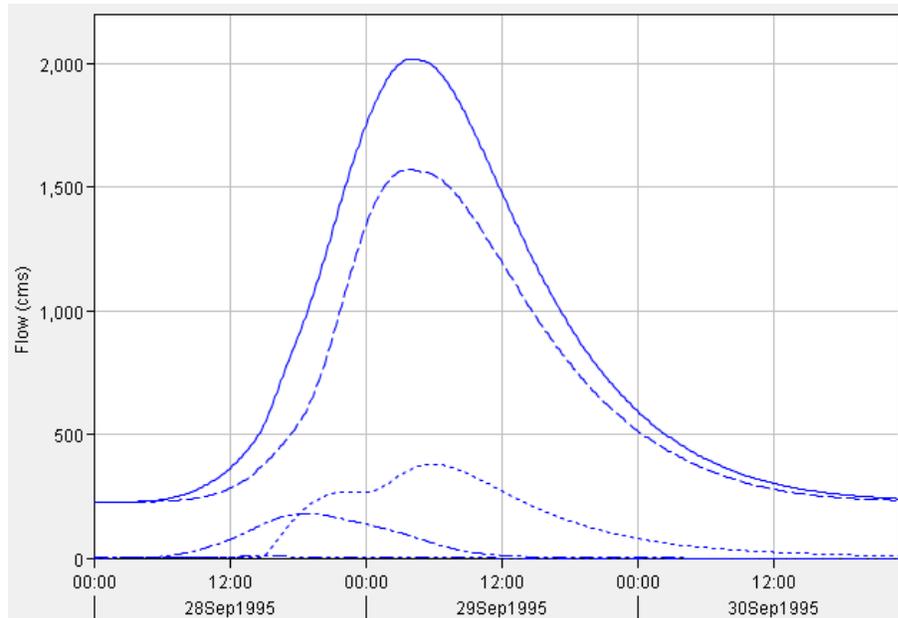
Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 48A. Hidrograma generado en el modelo hidrológico para el punto de entrada de la zona de estudio, correspondiente a un periodo de retorno de 10 años



Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 49A. Hidrograma generado en el modelo hidrológico para el punto de entrada de la zona de estudio, correspondiente a un periodo de retorno de 25 años.



Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 50A. Hidrograma generado en el modelo hidrológico para el punto de entrada de la zona de estudio, correspondiente a un periodo de retorno de 50 años



CAPÍTULO III

SERVICIOS

1. INTRODUCCIÓN

El programa de Investigación en Clima e Hidrología del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, tiene como función generar información para la mitigación y reducción de la vulnerabilidad, tanto de sistemas productivos, como comunidades, ante el cambio climático, su fin es que la población y los sistemas productivos no se vean afectados por eventos extremos y por los cambios que se puedan dar a futuro.

Como parte de este trabajo, el programa de Investigación en Clima e Hidrología, del ICC, tiene a su cargo el mantenimiento y análisis de información de una red de 21 estaciones meteorológicas automáticas, así como también la generación de información sobre los recursos hídricos, que pueden ser utilizada para complementar las acciones de los demás programas del Instituto.

El mantenimiento de las 21 estaciones meteorológicas automáticas de la vertiente del Pacífico, se encuentra a cargo del técnico del Programa, que es la única persona con los conocimientos para dar respuesta a inconvenientes que se puedan presentar en la transmisión de datos, y el funcionamiento en general de la red de estaciones.

Estas estaciones, se encuentran ubicadas a kilómetros de distancia entre ellas, y registran datos automáticamente cada 15 minutos, por lo que cuando se presentan inconvenientes en la transmisión de datos, el técnico encargado tiene que recorrer estas distancias para solucionar los problemas, período en cual se pierde la transmisión de estos datos.

La generación de información sobre los recursos hídricos, es otra de las actividades prioritarias para el programa de Clima e Hidrología, ya que esta información se utiliza para complementar las acciones de los programas como por ejemplo el Manejo Integrado de Cuencas y el de Gestión de Riesgos de Desastres.

Por esta razón, se realizaron dos servicios los cuales buscaban enriquecer los procesos de generación de la información meteorológica y de los recursos hídricos.

El primero fue la creación de un manual con la documentación de los instrumentos y el mantenimiento de las estaciones meteorológicas para que más personas puedan capacitarse y dar respuesta a inconvenientes en las estaciones meteorológicas del ICC.

Y el segundo la caracterización de las bocabarras de las cuencas de la vertiente del Pacífico, para conocer la dinámica de las mismas a través del tiempo, con lo cual se logró conocer el estado de las bocabarras y tener un documento para que otras personas puedan utilizarlo de insumo para realizar planes de ordenamiento territorial, gestiones integradas de los recursos hídricos, entre otros.

2. SERVICIO I: MANUAL DE DOCUMENTACIÓN DEL SISTEMA METEOROLÓGICO DEL INSTITUTO PRIVADO DE INVESTIGACIÓN SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo general

Documentar los procesos de registro y transmisión de información de las estaciones meteorológicas.

2.1.2 Objetivos específicos

- 1 Detallar los componentes que registran y transmiten la información meteorológica.
- 2 Describir los principales problemas que se presentan en el registro y transmisión de información.
- 3 Realizar una recopilación del mantenimiento y solución de problemas del registro y transmisión de información de las estaciones meteorológicas.

2.2 Metodología

- Se realizó la recopilación de información bibliográfica sobre los instrumentos de transmisión de información y sobre los sensores, mediante entrevistas y visitas a la página web de los fabricantes y distribuidores de los componentes de recepción y transmisión de información de las estaciones meteorológicas.
- Se realizaron visitas de mantenimiento preventivo a las estaciones meteorológicas, para registrar los procedimientos que se realiza para el funcionamiento de la transmisión y recopilación de información meteorológica.
- Se realizaron entrevistas al técnico encargado del mantenimiento de las estaciones y al técnico del departamento de informática de CENGICAÑA, para conocer los principales problemas que se han presentado en la recepción y transmisión de información de las estaciones y cuál es el procedimiento que debe realizarse para darle solución a estos.
- La información recopilada fue sistematizada en un documento, el cual da a conocer los procesos del sistema meteorológico del ICC.

2.3 Resultados

2.3.1 Tipos de estaciones

Actualmente (Julio, 2015), la red de estaciones meteorológicas del Instituto Privado de Investigación Sobre Cambio Climático –ICC-, cuenta con 21 estaciones automáticas localizadas en la Vertiente del Pacífico. Dichas estaciones recopilan información de variables meteorológicas tales como: precipitación, temperatura, humedad relativa, radiación solar, humedad de la hoja, velocidad y dirección del viento. Esta información se actualiza a cada 15 min en el portal del sistema (<http://redmet.icc.org.gt/>).

La red meteorológica tiene a su disposición dos tipos de estaciones: las que utilizan ondas de radio UHF y las que utilizan tecnología celular GSM/GPRS para transmitir datos hacia la estación base ubicada en el Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación sobre la Caña de Azúcar - CENGICANÑA en Santa Lucía Cotzumalguapa, departamento de Escuintla.

2.3.1.1 Estaciones UHF

Las estaciones de radiofrecuencia UHF, transmiten datos mediante ondas de radio UHF, las ondas UHF, son enviadas desde las unidades terminales remotas (RTU, por sus siglas en ingles), hacia la estación base.

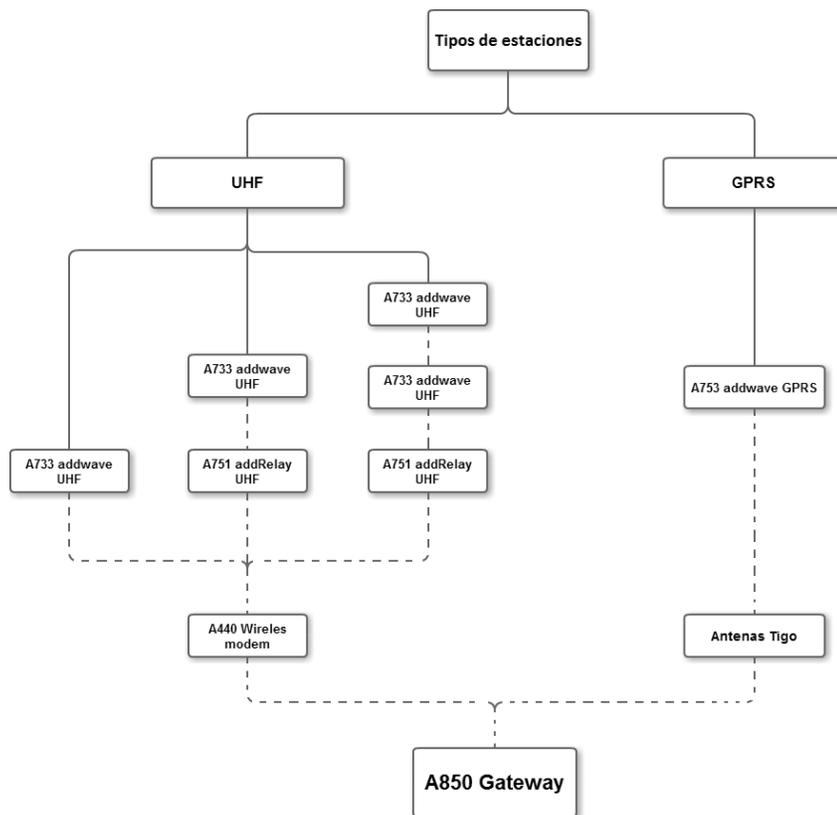
La transmisión de los datos desde las estaciones meteorológicas hacia la estación base ocurre mediante tres mecanismos como se muestra en la figura 51, según la distancia entre el RTU y la estación base.

Si el RTU se encuentra a una distancia no mayor a 20 km de la estación base, la información se transmite directamente; cuando la distancia entre la estación y la estación base es mayor de 20 km, la información es enviada desde la estación meteorológica hacia un RTU específico para la retransmisión de datos (A751add Relay), que se encarga de transmitir la información hacia la estación base; cuando las estaciones se encuentran a más de 40 km

de la estación base, como es el caso de la mayor parte de la red del ICC, los datos son enviados hacia RTU de estaciones cercanas, que funcionan como repetidoras, hasta que la información es enviada hacia la estación base.

2.3.1.2 Estaciones GSM/GPRS

Las estaciones meteorológicas GSM/GPRS, transmiten datos desde los RTU hacia la estación base mediante la red de telefonía celular, los datos son enviados desde el RTU A753 addwave GPRS hacia las antenas de la red de telefonía TIGO®, como se muestran en la figura 51. Las antenas envían los datos a través de banda ancha hacia el servidor de la estación base.



Fuente: elaboración propia, 2015.

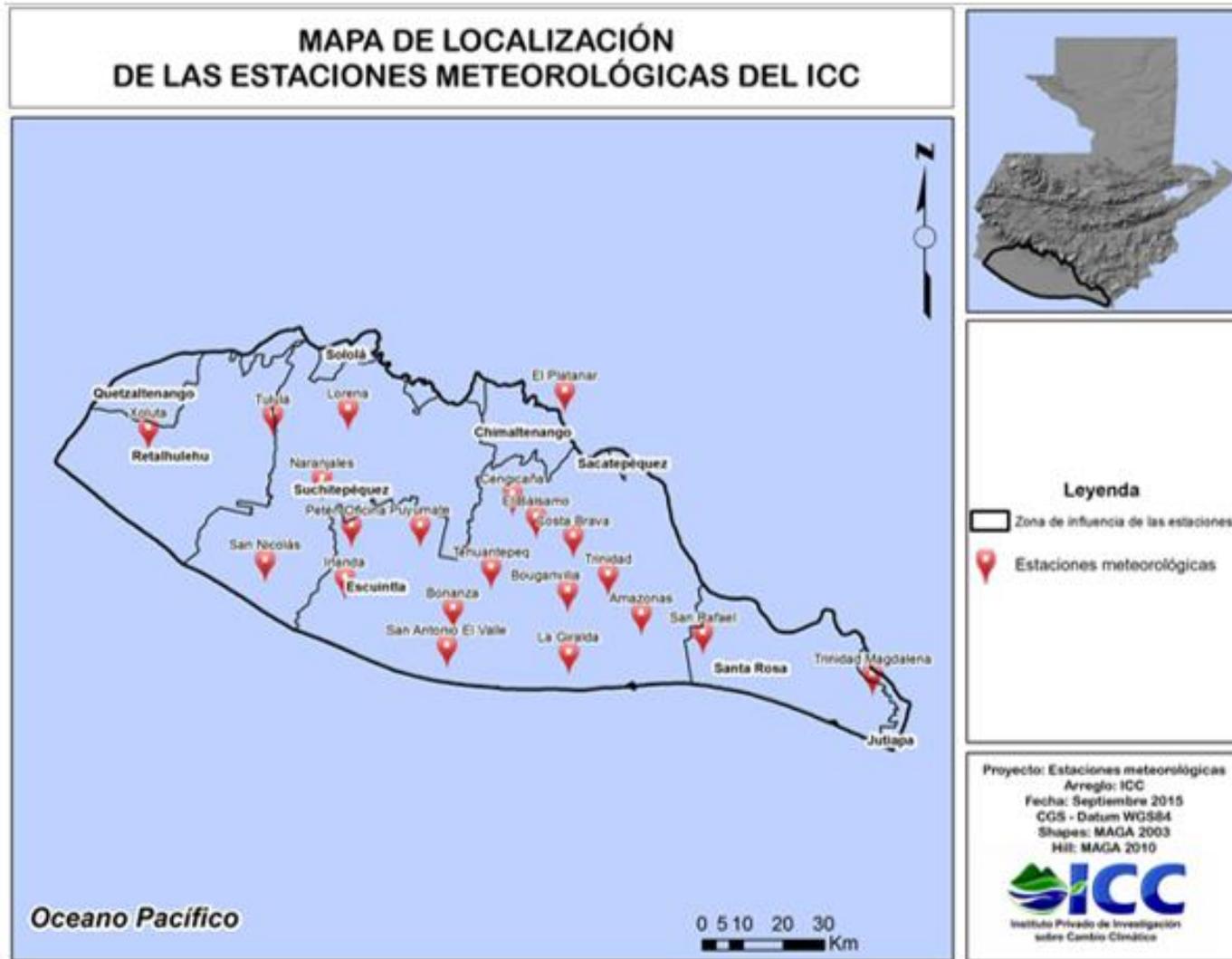
Figura 51. Diagrama de transmisión de datos en las estaciones UHF y GSM/GPRS
Ubicación de las estaciones de la red meteorologica del ICC.

En la figura 52 se muestra el mapa de ubicación de las estaciones, en el cuadro 30, se describe el municipio y departamento dentro del cual se encuentran ubicadas las estaciones meteorológicas, así como también el tipo de transmisión de datos.

Cuadro 30. Ubicación de las estaciones meteorológicas del ICC.

No.	Estación	Ubicación	Tipo de transmisión de datos
1	Amazonas	Masagua, Escuintla	Automática GPRS
2	Bonanza	La Gomera, Escuintla	Automática UHF
3	Bouganvilia	La Democracia, Escuintla	Automática UHF
4	Cengicaña	Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla	Automática UHF
5	Costa Brava	La Democracia, Escuintla	Automática UHF
6	El Bálsamo	Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla	Automática GPRS
7	El Platanar	Alotenango, Chimaltenango	Automática GPRS
8	Irlanda	Tiquisate, Escuintla	Automática GPRS
9	La Giralda	La Democracia, Escuintla	Automática GPRS
10	Lorena	San Antonio Suchitepéquez	Automática UHF
11	Naranjales	Cuyotenango, Suchitepéquez	Automática UHF
12	Petén Oficina	Tiquisate, Escuintla	Automática UHF
13	Puyumate	Nueva Concepción, Escuintla	Automática UHF
14	San Antonio el Valle	La Gomera, Escuintla	Automática GPRS
15	San Nicolás	San Lorenzo, Suchitepéquez	Automática GPRS
16	San Rafael	Guanagazapa, Escuintla	Automática GPRS
17	Tehuantepec	La Gomera, Escuintla	Automática GPRS
18	Trinidad	Masagua, Escuintla	Automática GPRS
19	Trinidad Magdalena	Pasaco, Jutiapa	Automática GPRS
20	Tululá	San Andrés Villa Seca, Retalhuleu	Automática GPRS
21	Xoluta	Champerico, Retalhuleu	Automática GPRS

Fuente: elaboración propia, 2015.



Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 52. Mapa localización de estaciones meteorológicas.

2.3.2 Componentes de transmisión de datos

2.3.2.1 Núcleo de recepción central

El A850 Telemetry Gateway es el núcleo de una red de monitoreo (figura 53). Este funciona como un dispositivo de almacenamiento a medio plazo para los datos recogidos de los RTU de las estaciones UHF y GPRS.

Este dispositivo se comunica con las RTU UHF a través de un módem inalámbrico (A440 Wireless modem). Y con los RTU GPRS por medio del servicio de datos de banda ancha, a través de proveedores por el puerto Ethernet de la unidad.

El A850 telemetry gateway tiene funcionamiento autónomo y capacidad de memoria de almacenamiento temporal de información que permite transferir los datos entre las unidades, para evitar la pérdida de datos; además posee un UPS integrado, de manera para que si hay un corte de energía de varias h, la unidad se mantendrá en funcionamiento.

Se utiliza una interfaz web para configurarlo y establecer los parámetros para las RTU. Los datos se obtienen, a través de su puerto Ethernet 100Mbit o un módem USB externo.



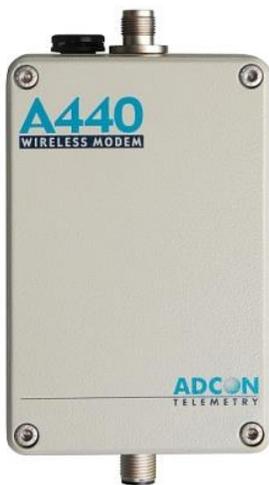
Fuente: tomado de Adcon Telemetry GmbH, 2015.

Figura 53. A850 Telemetry Gateway

2.3.2.2 Módem de Radio

El Modem inalámbrico A440 se encarga de solicitar constantemente datos de los RTU UHF. Está conectado a la A850 Telemetry Gateway a través de un cable RS-485 personalizado, que proporciona un enlace de comunicación y también potencia el modem.

El modem inalámbrico de la red de estaciones del ICC, se encuentra ubicado en el techo del edificio No. 1 de CENGICAÑA, para mejorar aumentar el rango de cobertura de recepción de datos.



Fuente: tomado de Adcon Telemetry GmbH, 2015.

Figura 54. A440 Wireless modem

2.3.2.3 Repetidora

La unidad A751 addRELAY funciona únicamente como repetidor de datos de otras RTU (A733, o incluso otras A751) y se utiliza para mejorar los enlaces de telemetría de radio. Puede enlazar hasta 25 RTU, dependiendo del suministro de energía disponible. Es similar al A733 (figura 55). sólo que no tiene puertos para la conexión de sensores

Los componentes principales (CPU, radio y batería) están integrados en un gabinete de aluminio.

Si se instala en una posición elevada como en una torre o en el techo de un silo, una A751 addRELAY puede alcanzar distancias superiores a 20 km, alcanzando con una topografía favorable (por ejemplo, un cerro) hasta 100 km.



Fuente: tomado de Adcon Telemetry GmbH, 2015.

Figura 55. A751 addRelay UHF

2.3.2.4 Unidad terminal remota (UHF)

El A733 UHF addwave es una unidad de medición que recopila automáticamente y transmite una multitud de parámetros de redes a gran escala. Integra una Radio UHF, una unidad registradora de datos y una batería en un gabinete de aluminio.

La A733 UHF puede ser utilizada simultáneamente como registrador de datos y como estación repetidora para otras RTU. Transmite con una potencia de salida de 500mW, en la banda de frecuencia de 70 cm entre 430 y 470MHz, con lo que puede alcanzar distancias de hasta 20 km.

2.3.2.5 Unidad terminal remota (GSM/GPRS)

El A753 addwave GPRS es una unidad registradora de datos, que recopila y trasmite vía GPRS. Está constituida por un módulo Motorola Quad-Band. Admite hasta 12 sensores analógicos, 4 de pulso y 40 señales de SDI-12.

Dispone mayor capacidad de memoria, capaz de almacenar los datos generados durante varios meses, alimentada por su batería de larga duración.



Fuente: tomado de Adcon Telemetry GmbH, 2015.

Figura 56. A753 GSM7GPRS

2.3.3 Sensores

2.3.3.1 Anemómetro

El anemómetro es un dispositivo que mide la velocidad del viento. Como puede observarse en la figura 57, está conformado por un conjunto de tazas cónicas, el eje del sensor y el cuerpo inferior.

Al soplar el viento las tazas giran con una velocidad proporcional a la del viento. Este movimiento se transmite a un mecanismo que indica esta velocidad sobre una escala graduada. Esta velocidad se mide en km por hora.



Fuente: tomado de Adcon Telemetry GmbH, 2015.

Figura 57. Anemómetro

2.3.3.2 Humectómetro

El sensor de humedad de hoja, determina la presencia y duración de la humedad sobre la superficie foliar.

Trabaja con el principio de la conductividad eléctrica: una red de celdas conductoras, grabadas en una placa de cerámica recubierta de teflón (figura 58), simulan la superficie de una hoja, midiendo diez incrementos desde cuando la superficie del sensor está completamente seca hasta completamente mojada.



Fuente: tomado de Adcon Telemetry GmbH, 2015.

Figura 58. Humectómetro

2.3.3.3 Piránometro

Sensor que mide la radiación solar incidente sobre la superficie de la Tierra, está diseñado para medir la densidad del flujo de radiación solar (kilovatios por metro cuadrado) en un campo de 180 grados.

La radiación incide sobre un fotodiodo que diferencia el espectro solar por la frecuencia de la onda electromagnética, permitiendo conocer los datos de radiación mediante la lectura de voltaje.



Fuente: tomado de Adcon Telemetry GmbH, 2015.

Figura 59. Piránometro

2.3.3.4 Pluviómetro

El pluviómetro RG1 es un sensor que está diseñado para medir la cantidad y la intensidad de las precipitaciones.

El pluviómetro funciona conduciendo el agua colectada por medio del embudo, a un sistema de dos cubetas triangulares basculantes. Las cubetas se invierten cada vez que caen 0,2 mm de lluvia.

Con cada inversión de las básculas envía un pulso eléctrico. La electrónica en el medidor de lluvia por el número de impulsos recibidos calcula la precipitación acumulada y la intensidad de las precipitaciones, calculado cada minuto en mm/h.



Fuente: tomado de Adcon Telemetry GmbH, 2015.

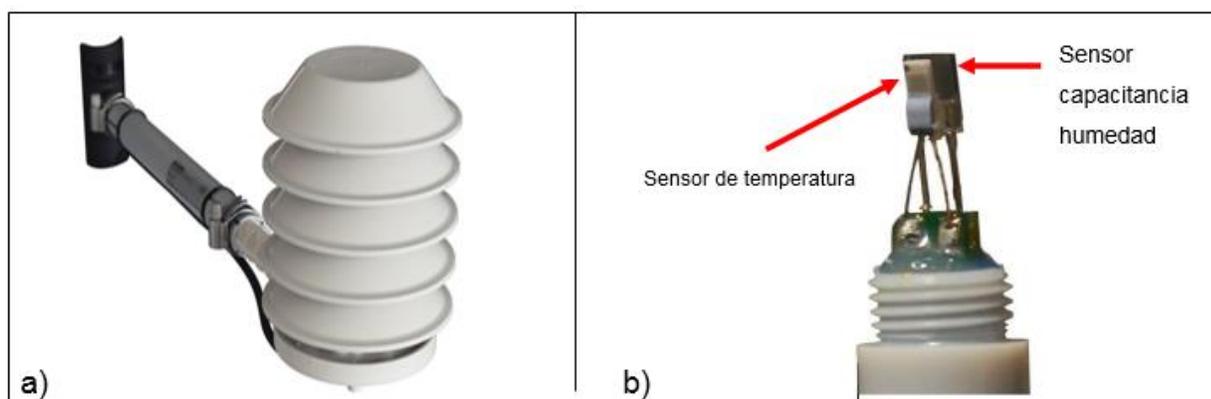
Figura 60. Pluviómetro

2.3.3.5 Termohigrómetro

El termohigrómetro es un sensor completamente electrónico compuesto por un termómetro y por un higrómetro para medir la temperatura y la humedad del aire.

Los dos sensores que componen el termohigrómetro son respectivamente un termómetro y un higrómetro (figura 61), cuya capacidad eléctrica es variable proporcionalmente en relación a la humedad relativa.

Los sensores están resguardados bajo una estructura diseñada para proteger el sensor contra el desgaste provocado por la radiación solar y para proporcionar ventilación, fundamental para que la detección efectuada no se perjudique a causa del calentamiento excesivo de los componentes.

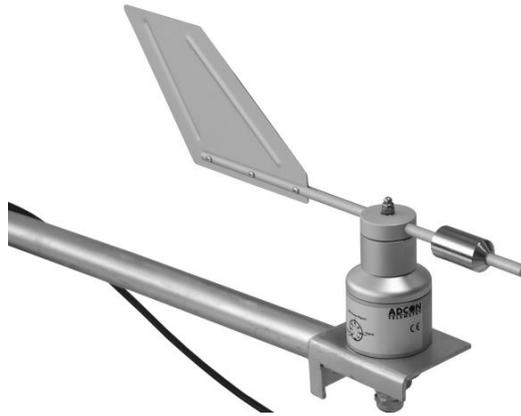


Fuente: tomado de Adcon Telemetry GmbH, 2015.

Figura 61. a) Escudo protector, b) sensores de temperatura y humedad

2.3.3.6 Veleta

Sensor que indica la dirección del viento, está conformado por un contrapeso, el cual apunta la dirección de donde viene el viento; y en el extremo contrario por dos paletas verticales que obligan a situarse al aparato paralelamente a su dirección de forma que la resistencia al flujo del aire sea mínima (figura 62).



Fuente: tomado de Adcon Telemetry GmbH, 2015.

Figura 62. Veleta

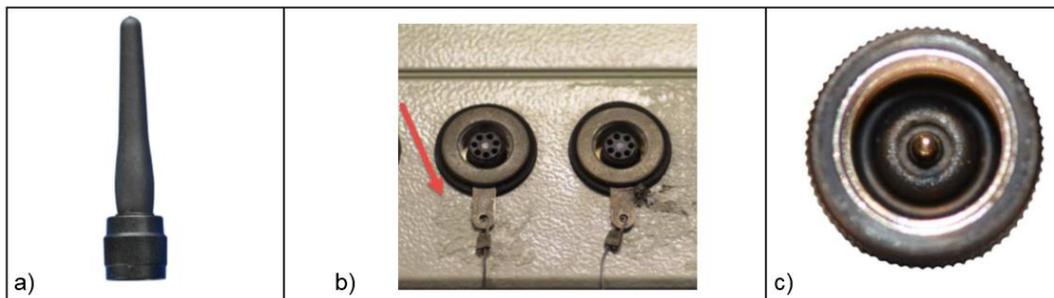
2.3.4 Mantenimiento de los componentes de las estaciones

2.3.4.1 Unidad terminal remota

El RTU debe inspeccionarse de forma visual para detectar daños en la antena, en los conectores y trazas de corrosión en los tornillos y en los puertos para los sensores (ver figura 63).

Si la antena presenta algún tipo de daño, debe ser reemplazada lo más pronto posible, si el interior de las roscas conectoras del RTU presentan signos de suciedad o corrosión debe utilizarse un cepillo para removerla.

Siempre es recomendable rociar una pequeña cantidad de aceite en las roscas conectoras, sin aplicar directamente en los pines.



Fuente: tomado de Pacher B, 2015.

Figura 63. a) Antena del RTU, b) Presencia de corrosión en la cubierta del RTU c) rosca conectora de la antena

2.3.4.2 Panel Solar

Al momento de realizar el mantenimiento del panel solar, debe asegurarse que el conector este bien conectado al panel. Si el conector está flojo, se debe retirar y observar si los pines presentan signos de corrosión.

El panel solar debe limpiarse con un paño húmedo y agua, entre más suciedad y arena estén cubriendo el panel solar, mayor debe ser el agua que se aplique para limpiar el panel, se debe evitar frotar con demasiada fuerza.

Una vez el panel este completamente limpio, se debe revisar para detectar grietas o impactos violentos que pudieran haber dañado las células solares, provocando que los rayos del sol se dispersen y suministren menos energía a la batería.

2.3.4.3 Conectores

Los conectores de los cables son los más propensos a presentar signos de corrosión, por eso se deben revisar siempre que se realice una inspección de mantenimiento.

La corrosión puede presentarse en: (1) el manguito del conector entre el cable y la parte metálica, (2) el cuerpo del conector, (3) las primeras vueltas de la rosca, (4) en la parte interior del conector (pines).



Fuente: tomado de Pacher B, 2015.

Figura 64. Parte de los conectores

Si se detecta la presencia de corrosión en los pines y enchufes, es necesario el remplazo de los mismos, ya que esto es un factor determinante por el cual el sensor no transmite información.

Aplique una ligera cantidad de aceite en la rosca del conector, con la precaución de no aplicar directamente a los pines.

2.3.4.4 Cables

Los cables de la estación meteorológica deben inspeccionarse en busca de daños provocados por mordeduras de animales (figura 66) o por visitantes no deseados.

Los daños a la cubierta exterior del cable permiten la entrada de agua, que, a la larga, producirá cortocircuitos que dañaran la estación. Los cables en mal estado deben ser reemplazados inmediatamente.



Fuente: tomado de Pacher B, 2015.

Figura 65. Cable cortado por animal

2.3.4.5 Pluviómetro

El pluviómetro debe ser revisado visualmente para detectar abolladuras y residuos dentro del sensor que puedan afectar su funcionamiento.

Se debe extraer el filtro y limpiar con un paño húmedo, todos los residuos que puedan encontrarse en las rejillas.

El embudo del pluviómetro debe retirarse, girándolo en contra de las agujas del reloj y luego levantándolo como se muestran en la figura 67.



Fuente: tomado de Pacher B, 2015.

Figura 66. Procedimiento para retirar el embudo

El embudo debe ser inspeccionado para determinar que no se encuentre obstruido por la presencia de hongos y helechos.

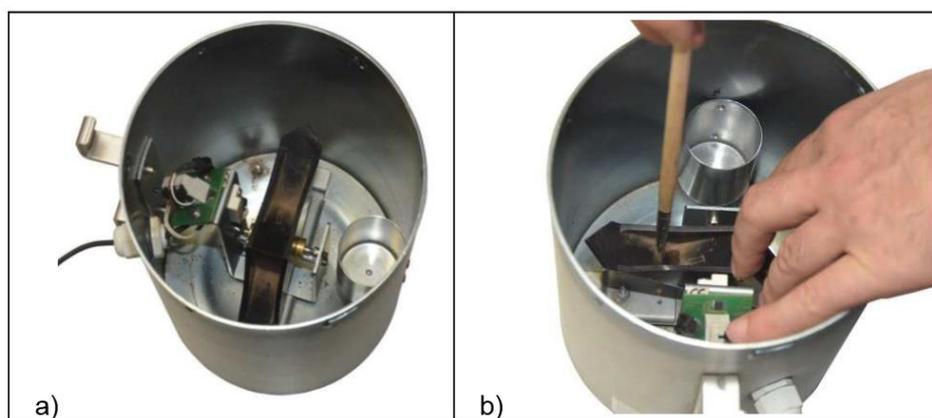
La limpieza del embudo debe realizarse con un cepillo muy delgado y con un paño húmedo, la parte de debajo de la canasta del pluviómetro, donde se encuentran las aberturas donde sale el agua, debe ser limpiada de la misma manera.



Fuente: tomado de Pacher B, 2015.

Figura 67. Procedimiento de limpieza del embudo

Debe realizarse una inspección en el interior del instrumento, si la báscula tiene arena y suciedad acumulada, debe utilizarse un pincel húmedo para retirar la suciedad. Debe asegurarse de no salpicar agua sobre la placa de los circuitos, ya que esto puede provocar la aparición de corrosión.



Fuente: tomado de Pacher B, 2015.

Figura 68. a) Interior de pluviómetro con residuos de arena, b) Limpieza del interior del pluviómetro

2.3.4.6 Humectómetro

La superficie del sensor debe ser limpiada con un paño húmedo, para eliminar residuos que estén cubriendo la superficie.

El sensor de humedad de hoja tiene una superficie muy sensible, no deben utilizarse limpiadores con superficies ásperas, ni utilizar detergentes los cuales pueden dañar la superficie del sensor.



Fuente: tomado de Pacher B, 2015.

Figura 69. Limpieza del Humectómetro

2.3.4.7 Termohigrómetro

Con un paño húmedo se debe realizar la limpieza de la estructura protectora, para eliminar la presencia de polvo, hongos y moho.

Es necesario revisar dentro de las estructura para detectar y eliminar hojas e insectos que podrían tener un impacto negativo en las lecturas del sensor.

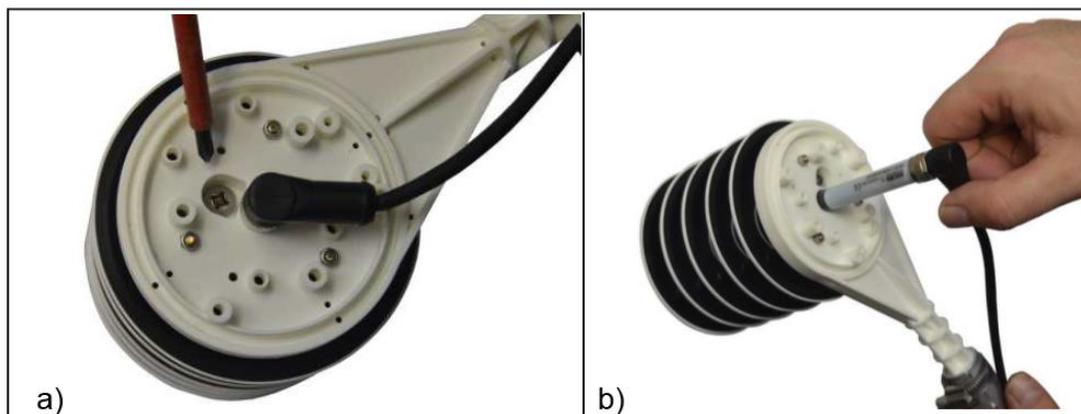


Fuente: tomado de Pacher B, 2015.

Figura 70. Limpieza del escudo protector

El filtro que cubre el sensor puede presentar signos de suciedad por el polvo, la presencia de hongos o estructuras que corresponden a nidos de insectos.

Para limpiar el filtro, se debe retirar el sensor de la estructura protectora, esto se logra aflojando el tornillo que se encuentra en la parte inferior del instrumento.



Fuente: tomado de Pacher B, 2015.

Figura 71. a) Ubicación de tornillo, b) Proceso para retirar el sensor TR1

Si la tapa del filtro está muy sucia es necesario utilizar un cepillo para eliminar la suciedad, en casos en los cuales la suciedad es y la presencia de hongos y nidos de insectos es demasiada, es mejor reemplazar el filtro.

En algunos lugares, partículas de arena fina, entran en el sensor y se acumulan en la base, para eliminar estas partículas se debe utilizar aire presurizado para tratar de eliminarlas.

Si las partículas están adheridas con demasiada firmeza, se deben cepillar los sensores con un cepillo de dientes limpio y seco. No se deben utilizar detergentes, disolventes o similares.

2.3.4.8 Piranómetro

El sensor de radiación solar necesita ser limpiado con frecuencia para eliminar cualquier residuo se haya asentado en el lente.

Limpie el lente del sensor con un paño suave y húmedo. No deben utilizarse limpiadores de superficie áspera, detergentes en polvo, o disolventes, los cuales podrían dañar la superficie del lente.



Fuente: tomado de Pacher B, 2015.

Figura 72. Procedimiento para limpiar el cristal del piranómetro

2.3.4.9 Sensores de dirección y velocidad del viento

El mantenimiento de los sensores de dirección y velocidad consiste en la limpieza con un paño húmedo para eliminar la acumulación de arena, agroquímicos y cualquier otro tipo de sedimentos, que pueden interferir en el correcto funcionamiento de los mismos.

2.3.5 Manual de solución de problemas

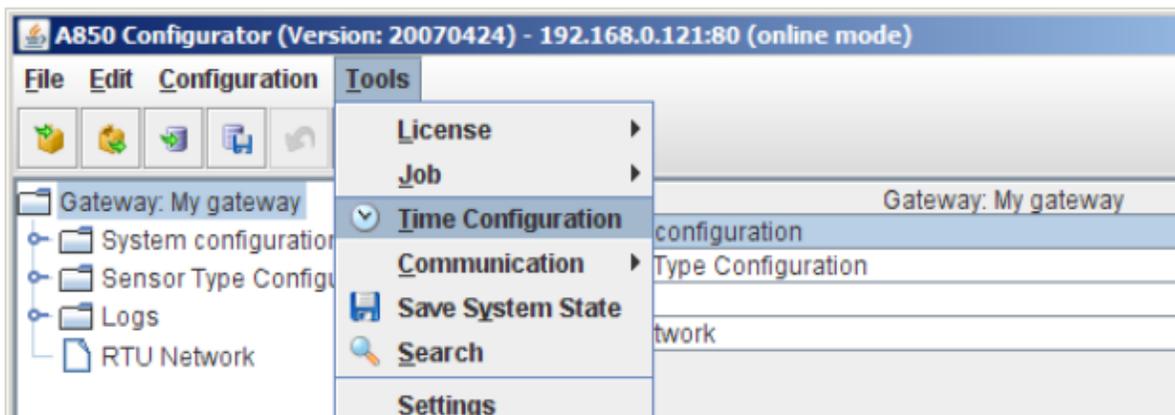
A continuación se describen los problemas más comunes que ocurren en la transmisión de datos desde las estaciones hacia la estación base.

2.3.5.1 Las estaciones no envían datos

La falta de suministro de energía al A850, por apagones prolongados, reinicia el dispositivo a su configuración inicial.

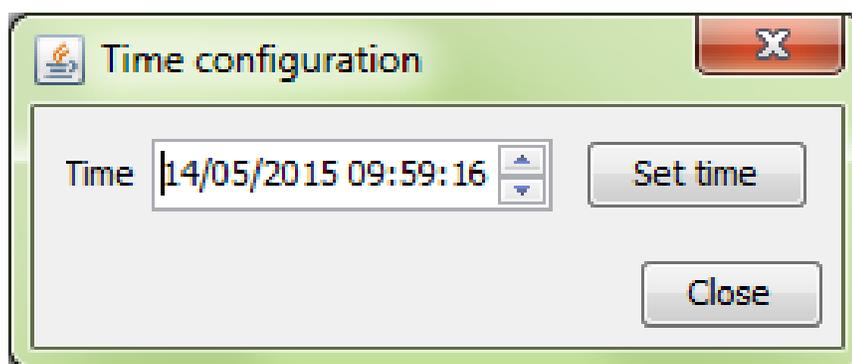
Al reiniciar a la configuración inicial, los valores de fecha y hora no coinciden con los valores de las estaciones, lo que impide la transferencia automática de datos.

Para resolver, este problema se debe configurar la fecha y la hora desde el configurador del A850 como se muestra en las figuras 73 y 74, desde cualquier computadora con conexión a internet.



Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 73. Procedimiento para cambiar la hora del A850 Telemetry Gateway



Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 74. Interfaz para el cambio de la hora

2.3.5.2 Puerto del servidor está cerrado

Cuando el software se actualiza, cambia el puerto que utiliza para enviar los datos al servidor de CENGICAÑA.

Se debe informar al técnico de computación encargado del funcionamiento del servidor, para que se vuelva a asignar un puerto que permita la entrada de datos, en la figura 75 se muestra la interfaz para la asignación de estos valores.

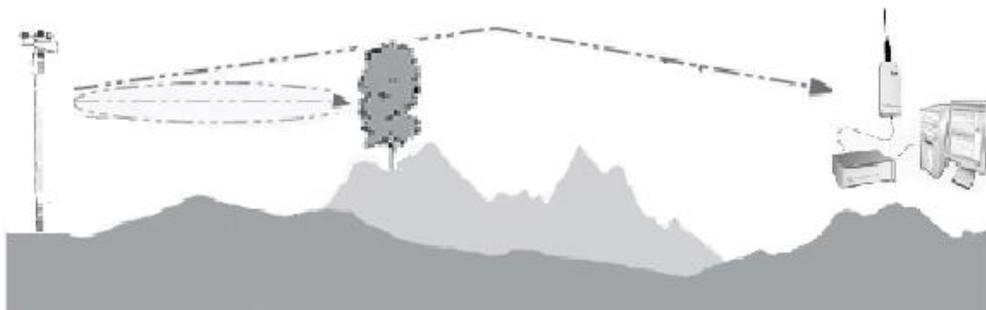
Name	<input type="text" value="Server ICC"/>	
Comments	<input type="text" value="Write a comment..."/>	0/255
Interface	<input type="text" value="wan1"/>	
Type	Static NAT	
<input type="checkbox"/> Source Address Filter		
External IP Address/Range	<input type="text"/> - <input type="text"/>	
Mapped IP Address/Range	<input type="text"/> - <input type="text"/>	
<input checked="" type="checkbox"/> Port Forwarding		
Protocol	<input checked="" type="radio"/> TCP <input type="radio"/> UDP <input type="radio"/> SCTP <input type="radio"/> ICMP	
External Service Port	<input type="text" value="3389"/> - <input type="text" value="3389"/>	
Map to Port	<input type="text" value="3389"/> - <input type="text" value="3389"/>	

Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 75. Interfaz para la asignación de un puerto de entrada de datos del servidor de CENGICAÑA.

2.3.5.3 Estaciones UHF no envían información

Esto se debe a que puede a que existan nuevos obstáculos que limiten las señales UHF de los RTU.



Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 76. Ejemplo de obstáculos que interfieren las señales UHF.

Para solucionar este problema debe considerarse aumentar la altura del RTU o trasladarse a transmisión de datos vía red celular GSM/GPRS.

2.4 Conclusiones

1. Los componentes de las estaciones meteorológicas del ICC, que registran la información de las variables meteorológicas son los siguientes: anemómetro, humectómetro piranómetro, pluviómetro, termohigrómetro, y veleta.
2. Los componentes de las estaciones meteorológicas del ICC, que transmiten los registros de los sensores son: las terminales de transmisión remota (RTU), repetidoras, modem de radio, y núcleo central.
3. Los principales errores en la transmisión de datos están relacionados con la falta de suministro de energía de las estaciones meteorológicas, actualizaciones del software del servidor, y obstáculos que no impiden la transmisión de las señales UHF.

2.5 Bibliografía

1. Adcon Telemetry. 2015. Products: A850 telemetry Gateway (en línea). Klosterneuburg. AT. Consultado 10 abr. 2015. Disponible en http://www.adcon.at/index.php?option=com_hikashop&ctrl=product&task=show&cid=57&name=a850-telemetry-gateway&Itemid=219&lang=en
2. García, K. 2015. Mantenimiento del servidor de estaciones meteorológicas del ICC (entrevista). Santa Lucia Cotzumalguapa, Escuintla Guatemala, CENGICANÁ.
3. Pacher, B. 2015. Adcon Weather Station Field Maintenance Guide: Version 2.3. Klosterneuburg. AT. Adcon Telemetry GMBH. 56 p
4. Tecnología y Ambiente. 2014. Humedad de hoja (en línea). Córdoba, Argentina. Consultado 07 abr. 2015. Disponible en <http://www.tecnologiayambiente.com.ar/sensores-adcon/humedad-de-hoja/>
5. _____. 2014b. Radiación Solar Kipp & Zonen SP-Lite (en línea). Córdoba. Argentina. Consultado 07 abr. 2014. Disponible en <http://www.tecnologiayambiente.com.ar/sensores-adcon/radiacion-solar-kipp-zonen-sp-lite/>
6. _____. 2014c. Temperatura y humedad relativa TR1/TR2. (en línea). Córdoba. Argentina. Consultado 07 abr. 2015. Disponible en <http://www.tecnologiayambiente.com.ar/sensores-adcon/precipitaciones-rg1/>
7. Vikartovska, S. 2015. Formulario de mantenimiento (correo electrónico). Klosterneuburg, Austria. Adcon Telemetry GMBH. (s.vikartovska@adcon.at)

2.6 Anexos

Mantenimiento de estación meteorológica					
Ubicación de la estación: _____			Fecha: _____		
Mantenimiento realizado por: _____					
Tipo de RTU : _____		Numero de Serie: _____			
Firmware actualizado: No <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/>		Version del Firmware : _____			
Revise el RTU para detectar corrosión principalmente en los tornillos:					
Se detectó corrosión: No <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/>		En la rosca de la antena No <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/>			
En la tapa de los tornillos <input type="checkbox"/>		En los conectores de sensores <input type="checkbox"/>		Otro <input type="checkbox"/>	
Si la antena esta suelta, apretarla.				Antena ajustada: <input type="checkbox"/>	
Revise todos los sensores para detectar corrosión. <input type="checkbox"/>					
Revisar los cables para detectar daños		Daños detectados		No <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/>	
Panel solar limpio <input type="checkbox"/>		Daños detectados		No <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/>	
Abra el pluviometro, limpie el embudo y revise los mecanismos, cable y el conector					
Abolladuras detectadas: No <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/>		Nidos de pajaros o insectos detectados: <input type="checkbox"/>			
Corrosión en el conector No <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/>		Otros: <input type="checkbox"/>			
<i>Asegurarse de desconectar el cable del pluviometro antes de limpiar el embudo y de revisar los mecanismos</i>					
Piranometro limpio <input type="checkbox"/>		Daños detectados		No <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/>	
Humectometro limpio <input type="checkbox"/>		Daños detectados		No <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/>	
Revisar la orientación del panel solar y los sensores:					
Panel solar/ Piranómetro orientados al norte <input type="checkbox"/>			Anemómetro y veleta orientados al norte <input type="checkbox"/>		
Revisar el sensor termohigrometro, revisar que el escudo y el filtro del sensor esten limpios					
Escudo protector limpio <input type="checkbox"/>		Daños detectados		No <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/>	
Limpiar el sensor y de ser necesario remplazarlo				Filtro del sensor remplazado <input type="checkbox"/>	
Observaciones: _____					

Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 77. Formulario para la inspección de las estaciones meteorológicas.

3. SERVICIO II: CARACTERIZACIÓN DE LAS BOCABARRAS DE LA VERTIENTE DEL PACÍFICO DE GUATEMALA

3.1 Objetivos

3.1.1 Objetivo General

Realizar una caracterización de las bocabarras de la Vertiente del Pacífico, para contribuir a la generación de información y a la planificación y gestión del territorio.

3.1.2 Objetivos específicos

1. Realizar un inventario para conocer el número y tipo de bocabarras de la Vertiente del Pacífico de Guatemala.
2. Realizar una descripción de las bocabarras que se encuentran dentro de las cuencas de la vertiente del pacífico.
3. Determinar las variaciones de la morfología y desplazamiento las bocabarras de la Vertiente del Pacífico, para conocer su dinámica durante el periodo (1,999-2,015).

3.2 Metodología

3.2.1 Inventario para conocer el número bocabarras de la Vertiente del Pacífico.

Se realizó una recopilación de información sobre la ubicación de las bocabarras abiertas en las imágenes más actualizadas proporcionadas por el software Google Earth.

Mediante el software de sistemas de información geográfica, Arcgis, las bocabarras fueron georreferenciadas, dentro de la cuencas de la Vertiente del Pacífico del país.

3.2.2 Descripción de las bocabarras que se encuentran dentro de la Vertiente del Pacífico.

Mediante la utilización de las hojas cartográficas 2,010 (IGN), Orto fotos (2,006), e imágenes de Google Earth, se realizó una breve descripción de los recursos hídricos superficiales que dan origen a estas bocabarras, así como también de los centros poblados que se encuentran en las cercanías de las estas.

En los principales ríos de las cuencas del Pacífico, se realizó una clasificación de la sinuosidad del río para conocer de manera indirecta la energía hidráulica con la que puede llevar el río hasta su desembocadura.

La clasificación de la sinuosidad del cauce se realizó mediante los índices presentados en el cuadro 31.

Cuadro 31. Índices de sinuosidad

Índice de sinuosidad	Geometría del cauce
<1.2	Rectos
>1.2<1.5	Sinuosos
>1.5	Con meandros

Fuente: elaboración propia, 2015.

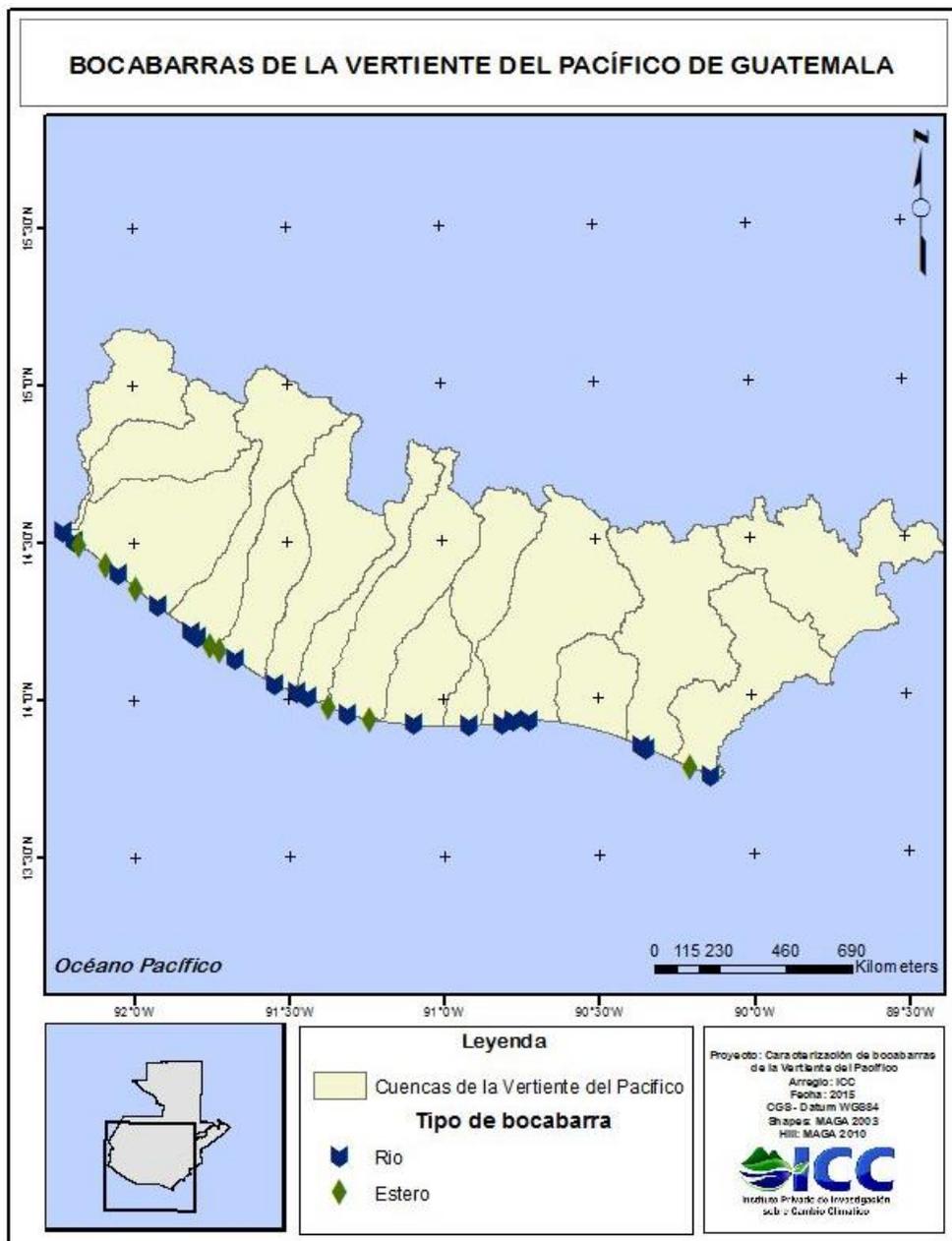
3.2.3 Determinación de las variaciones de la morfología y desplazamiento durante el periodo de 1,999 y el 2,015.

Mediante imágenes de satélite Landsat de los meses de la temporada lluviosa en el país de los años 1,999 y 2,015 se realizó el análisis de variación de la forma de la bocabarras así como se cuantifico la distancia y dirección del desplazamiento de las bocabarras.

El motivo de utilizar imágenes del año 1,999 que a partir de ese año fue lanzado el satélite Landsat 7, el cual ofrece la banda-8 Pancromática, la cual tiene una resolución espacial de 15 m con lo cual se obtuvieron mejores resultados al momento de delimitar las bocabarras.

3.3 Resultados

El número de bocabarras que presentan un comportamiento permanente o semi permanente dentro de la Vertiente del Pacífico es veinte y ocho. Veinte de las cuales corresponden a desembocaduras de ríos y canales, y ocho a la desembocadura de estuarios, como se muestra en la figura 78.



Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 78. Localización de las bocabarras de la vertiente del Pacífico

3.3.1 Cuenca Río Suchiate

La Cuenca del Río Suchiate tiene una bocabarra que se origina por el cauce principal del río Suchiate, el cual es el límite entre Guatemala y México. La forma del río es recta (índice de sinuosidad =1.1) en los últimos diez km, y el ancho en el último kilómetro es en promedio de 140 m. Al costado derecho de la bocarraba se encuentra la Ranchería El Retorno y al costado izquierdo de la bocabarra se encuentra el Caserío Los Faros.

3.3.1.1 Comparación de las imágenes Landsat de 1,999 y 2,015 de las bocabarras

Mediante el análisis comparativo de imágenes Landsat de los años 1,999-2,015, se observa que la bocabarra se ha desplazado cerca de 120 m en dirección oeste, además se observan variaciones en el ancho y forma de la bocabarra, que corresponden a una reducción de 100 m en el ancho de la bocabarra, y en un aumento en la sinuosidad en el tramo final del cauce del río en el año 2,015 respecto a la imagen del 1,999.

3.3.2 Cuenca Río Naranjo

La cuenca del Río Naranjo se presentan dos bocabarras, las cuales se encuentran en promedio de 1.4 km de distancia, la primera bocabarra se origina por la desembocadura de río Naranjo en el mar, el río Naranjo presenta una forma ligeramente sinuosa (índice de sinuosidad =1.19) en los diez km antes desembocadura. Al lado este de la bocabarra se encuentra el pueblo de Ocos.

La segunda bocabarra dentro de la cuenca se origina por la desembocadura hacia el mar del estuario “El Esterón”, que es alimentado por los aportes de los ramales de los ríos Naranjo, Ocosito y el Zanjón Pacayá. Los centros poblados que se encuentran cercanos a la bocabarra son: al lado noreste del estuario el caserío Los Almendrales, al oeste el caserío Tilapa, ambos poblados pertenecen a la aldea la Blanca.

3.3.2.1 Comparación de las imágenes Landsat de 1,999 y 2,015 de las bocabarras

Mediante la comparación de las imágenes satelitales Landsat de los años 1,999 y 2,015 se observa que ambas bocabarras se han desplazada en dirección oeste. La bocabarra del Río Naranja se ha desplazado cerca de 380 metros, además se observa una reducción en el ancho y un aumento en la sinuosidad en el tramo final del cauce. La bocabarra del Esterón presenta un desplazamiento de cerca de 145 m.

Las fotografías de Google Earth, de los últimos diez años, se observa que estas bocabarras permanecen abiertas durante todo el año.

3.3.3 Cuenca Río Ocosito

La cuenca del Río Ocosito presenta un sistema complejo de drenaje superficial, mediante la implementación de imágenes satelitales se observaron cuatro bocabarras, tres de las cuales se forman por las desembocaduras de los ríos: Ocosito, Jesús y Bolas y la restante por la desembocadura del Estero Acapán.

La primera bocabarra es la desembocadura de tres brazos del río Ocosito, que se separan del cauce principal y desembocan en el Estero El Bebedero. Los primeros dos brazos forman la Laguneta el Guayabo, y la Laguneta el Colorado respectivamente antes de llegar al estuario.

El brazo del río Ocosito que presenta el recorrido más predominantemente hacia el estuario, presenta varios meandros en los últimos cinco kilómetros del cauce. (Índice de sinuosidad=1.94).

La siguiente bocabarra se forma por la desembocadura del río Jesús, el cual recibe aportes de una serie de ríos, zanjones y canales, que son el sistema de drenaje de un complejo de lagunetas que se encuentran dentro de la cuenca.

A aproximadamente 8.5 kilómetros de esta bocabarra, se encuentra la bocabarra del Estero Acapán, que abastecido por los zanjones la Palanca, el Sanate, el Voltario, Cola de Pollo y Jabalia.

Siguiendo la costa a aproximadamente a diez kilómetros del Estero Acapán se encuentra la bocabarra que se origina por la desembocadura del Estero el Polvón, y por el afluente del río Bolas, el río Bolas, es un río sinuoso (Índice de sinuosidad=1.35) de 20 m de ancho en su tramo final. Al noroeste de la bocabarra se encuentra la hacienda Chapán.

3.3.3.1 Comparación de las imágenes Landsat de 1,999 y 2,015 de las bocabarras

Mediante la comparación de imágenes satelitales de los años 1,999 y 2,015 se observa que las bocabarras de los ríos Ocosito, Jesús y Bolas se han desplazado en dirección oeste y que presentan reducciones en el ancho de las mismas.

Asimismo se observa la forma y dimensiones de los estuarios de las bocabarras de los ríos Ocosito y Jesús y del Estero Acapán, se mantienen constantes en el tiempo, mientras que el estuario de la bocabarra del río Bolas presenta una reducción en la longitud de cerca de 250 m en la sección transversal.

La observación de las imágenes de Google Earth de la bocabarra del Estero Acapán se observa que esta bocabarra tiende cerrarse y abrirse, naturalmente por los aportes de sus afluentes. Para el año 2,015 esta bocabarra se encuentra cerrada.

3.3.4 Cuenca Río Samalá

La cuenca del río Samalá presenta tres bocabarras, las primeras dos se originan por la desembocadura del río Samalá, el cual se divide siete km antes de su llegada al mar.

El río Samalá, es un río con forma geométrica trenzada, lo cual da lugar a dos brazos que forman dos bocabarras

Estas bocabarras tienden alternar el desfogue del caudal del río Samalá durante la época seca, mientras que en la estación lluviosa ambas bocabarras se encuentran abiertas.

La siguiente bocabarra es la desembocadura del Estero de Mateo, el cual es alimentado principalmente por el zanjón el Corcho, zanjón Pixpiric, y el zanjón Agua Dulce.

3.3.4.1 Comparación de las imágenes Landsat de 1,999 y 2,015 de las bocabarras

Se observa que las bocabarras de la Cuenca Samalá se han desplazado hacia el oeste, en las bocabarras en donde es más visible este desplazamiento, es en las bocabarras del río Samalá, especialmente en el brazo izquierdo, en donde se observa que el río sigue el curso de diferentes cauces.

La bocabarra del Estero Mateo se ha desplazado 200 m hacia al oeste, sin embargo forma del estuario sigue constante a través de los años observados.

3.3.5 Cuenca del Río Sis-Icán

En la cuenca del Río Sis-Icán se encuentran dos bocabarras la primera es la desembocadura del Estero Tulate, y la otra corresponde a la desembocadura del río Icán.

El Estero Tulate, se encuentra en el municipio de Cuyotenango, Suchitepéquez, recibe los afluentes de los zanjones: San Luis, Cacahuatalillo, Las Flores, La Piedra Dos y El Tendedero. A poco más de 700 m de la bocabarra, en el borde norte y sur del estuario, se encuentra la aldea El Tulate.

Siguiendo la costa, a seis km hacia el este se encuentra la bocabarra del río Icán, el cual presenta un comportamiento sinuoso (Índice de sinuosidad: 1.42) en los últimos diez km. El río Icán desemboca en un estuario de cerca de 1.4 km de ancho. En el borde este del estuario, se encuentra la Aldea Churirín, la cual es afectada por la salida de cauce del río Icán.

3.3.5.1 Comparación de imágenes Landsat de los años 1,999-2,015

En base a la comparación de las fotografías satelitales Landsat de 1,999 y 2,015 se observa que la bocabarra del río Icán se ha desplazado cerca de 700 m hacia el oeste, además se observa una reducción en la abertura de la misma, producto de la sedimentación.

Contrario a esto en la bocabarra del Estero Tulate, no se observó ningún desplazamiento significativo, y se registró un aumento del ancho de la misma.

3.3.6 Cuenca Río Nahualate

La cuenca del río Nahualate presenta una bocabarra que se origina por el cauce principal del río Nahualate, el cual es el límite entre los departamentos de Suchitepéquez y Escuintla. Considerando los últimos diez km de trayecto del río hacia el mar, la forma del río es sinuosa (Índice de Sinuosidad: 1.38). Antes de la desembocadura del río se forma un estuario de cerca de un kilómetro y medio de ancho.

Los centros poblados que se encuentran en las cercanías a la desembocadura del Río Nahualate son: al oeste el Caserío Punta Arenas, al norte la aldea Nueva Venecia y en el este, la aldea el Semillero Barra Nahualate.

3.3.6.1 Comparación de imágenes Landsat de los años 1,999-2,015

Mediante la comparación de las imágenes Landsat de los años 1,999 y 2,015 se observa que el cauce principal del río Nahualate se ha adentrado 500 m hacia el oeste, donde se encuentra el poblado del Semillero Barra Nahualate, además se observó que la bocabarra presenta un desplazamiento de aproximadamente 300 m en dirección este.

3.3.7 Cuenca Río Madre Vieja

La cuenca del río Madre Vieja tiene dos bocabarras, la primera es el resultado de la desembocadura al mar del Zanjón el Mico, y el río el Danto, los cuales son alimentados por un sistema de canales y acequias.

Mediante la utilización de imágenes históricas de Google Earth, se observa que esta bocabarra tiende a cerrarse durante la época seca.

La siguiente bocabarra es la que se origina por la desembocadura del río Madre Vieja, que es el límite entre los municipios de Tiquisate y Nueva Concepción, el cual en los últimos diez km de trayectoria tiene forma recta (Índice de sinuosidad: 1.11). La bocabarra tiene en promedio 80 m de ancho cuando se encuentra abierta.

Utilizando imágenes de Google Earth se observa que en época seca, la bocabarra se cierra, debido a que ya no transcurre agua en el cauce principal, ya que es desviada 15 km antes de su desembocadura al mar hacia plantaciones de Palma africana.

3.3.7.1 Comparación de imágenes Landsat de los años 1,999-2,015

Mediante la comparación de las fotografías satelitales Landsat de los años 1,999 y 2,015 se observa que la bocabarra del zanjón el Mico y el río el Danto se ha desplazado 200 m hacia el oeste, en la bocabarra del río Madre Vieja no se observa ningún desplazamiento, situación que puede considerarse como producto de un desequilibrio en su funcionamiento. (Geólogos del mundo, 2012).

3.3.8 Cuenca Río Coyolate

La cuenca del río Coyolate presenta tres bocabarras en un tramo de 14.7 km de costa, la primera de estas, corresponde a la desembocadura de la laguneta Las Pescas, la cual es alimentado por los zanjones: Placetas, San Vicente, Hidalgo, Saladito, La Puerta, El Flor, Matasano, trayecto de los cuales ha sido modificado para que circulen alrededor de un complejo de fincas camaroneras.

El ancho del estuario es de 1.7 km de ancho, el cual según observaciones de imágenes Google Earth se han mantenido estable.

La siguiente es la bocabarra se origina por el río Coyolate, el cual en los últimos diez km de su recorrido tiene un comportamiento sinuoso (índice de Sinuosidad=1.36), antes de la desembocadura, se forma un estuario de 900 m. Mediante la observación de imágenes históricas de Google Earth se observa que la bocabarra tiende a cerrarse en la época seca durante los meses de marzo y abril.

A siete kilómetros se encuentra la siguiente bocabarra que se forma por la desembocadura de la laguneta La Blanca, la cual es alimentada por los afluentes de los zanjones: Agua dulce, Cementerio, y El Calvario, los cuales son los alimentados por acequias y canales.

3.3.8.1 Comparación de las imágenes Landsat de 1,999 y 2,015 de las bocabarras

Mediante la comparación de imágenes Landsat de los años 1,999 y 2,015 se observa que las primeras dos bocabarras presentan ligeros desplazamientos hacia este, en la bocabarra del estuario de la laguna Las Pescas se contabilizan 35 m, y en la bocabarra del río Coyolate 90 m. En la bocabarra de la laguneta La Blanca no se pudo observar ningún desplazamiento porque en la fotografía satelital reciente, se encuentra cerrada.

3.3.9 Cuenca Río Acomé

La cuenca del río Acomé presenta una bocabarra la cual se origina por la desembocadura del río Acomé y el Canal de Chiquimulilla. La forma del río Acomé es ligeramente sinuosa en los últimos diez km de trayectoria (Índice de sinuosidad: 1.2), el impacto de la energía del río Acomé, es amortiguada por el Canal de Chiquimulilla, donde desemboca, antes de verter su caudal en el océano.

A dos km en dirección este de la bocabarra, a un costado del canal de Chiquimulilla, se encuentra la Aldea El Paredón.

3.3.9.1 Comparación de imágenes Landsat de los años 1,999-2,015

En base a la comparación de imágenes Landsat y fotografías históricas de Google Earth, se observa que la bocarraba tiende a desplazarse constantemente hacia el oeste, debido a los aportes de forma transversal que provienen del canal de Chiquimulilla, y las reducciones en el caudal del río Acomé, durante la época seca.

En la fotografía satelital del año 2,015 se observa que la bocabarra se desplaza cerca de 750 m en dirección oeste, y presenta una reducción en la abertura de la misma, en comparación con la imagen del año 1,999.

3.3.10 Cuenca Río Achíguate

Dentro de la cuenca del río Achíguate se encuentran dos bocabarras, la primera de éstas, corresponde a la elaborada artificialmente por un complejo mobiliario, ubicado en el puerto San José.

A aproximadamente cinco km, en la aldea la Barrita se encuentra la bocabarra que se origina por la desembocadura del río Achíguate, en los últimos diez km el río tiene una forma recta (índice de sinuosidad: 1.05). Mediante la utilización de imágenes históricas de Google Earth se observa que la disminución del curso de agua en la época seca provoca el cierre natural de la bocabarra.

3.3.10.1 Comparación de imágenes Landsat de los años 1,999-2,015

La bocabarra del río Achíguate se ha desplazado cerca de 350 m en dirección oeste, además se observa una reducción en la abertura de la misma, que se debe a la acumulación de sedimentos de origen volcánico que arrastra el río (OBIMAR 1,996). Se observa que la bocarraba tiende a cerrarse en los meses de marzo y abril, que corresponden a la época seca.

3.3.11 Cuenca Río María Linda

La cuenca del Río María Linda presenta tres bocabarras ubicadas en un tramo de un poco más de nueve km, además dentro de este tramo se presenta la obra que corresponde al Puerto Quetzal.

Al este del municipio del Puerto San José, se encuentra la primera bocabarra, se origina por la desembocadura del Canal de Chiquimulilla (el cual vierte las aguas de un brazo del río Achíguate, especialmente cuando la bocabarra del mismo se encuentra cerrada), el zanjón Marruecos, el zanjón el Jobo, y las aguas residuales del municipio del Puerto San José. La salida de la bocabarra se encuentra estabilizada de forma artificial por medio de espigones rocosos.

La siguiente bocabarra se encuentra al este del Puerto Quetzal, esta es una bocabarra artificial que le da salida al mar al sistema lagunar frente a el turicentro Likín, formado por el Canal de Chiquimulilla y por aportes del río María Linda, la salida de esta bocabarra se encuentra estabilizada por medio de espigones rocosos, mediante la observación de imágenes de Google Earth, se observa que esta bocabarra tiende a cerrarse en los años de bajo estiaje.

A continuación se encuentra la bocabarra que se origina por la desembocadura del río María Linda, dentro del municipio de Itzapa. Esta bocabarra se encuentra estabilizada artificialmente por espigones rocosos, al igual que las demás bocabarras de esta cuenca. A aproximadamente 600 m hacia el oeste, en ocasiones se abre una nueva bocabarra producto del asolvamiento ocasionado por los espigones que estabilizan las bocabarras del río Itzapa, y la que se encuentra enfrente del turicentro Likín. En el borde oeste de la bocabarra se encuentra la Colonia Waikiki.

3.3.11.1 Comparación de imágenes Landsat de los años 1,999-2,015

En las bocabarras de la cuenca río María Linda, no se observaron desplazamientos de las bocabarras, por estar estabilizadas por espigones rocosos, esta estabilización artificial conlleva problemas de sedimentación y por asolvamientos en el canal de Chiquimulilla desde Puerto Viejo hacia la bocabarra Likín. (Obimar 1996).

3.3.12 Cuenca Río Los Esclavos

Se observó que en la Cuenca del río Los Esclavos se presenta dos bocabarras, ubicadas dentro del departamento de Santa Rosa. La primera bocabarra es la desembocadura del río Los Esclavos y del canal de Chiquimulilla. Esta bocabarra es conocida con el nombre de El Dormido debido que en el borde oeste de esta se encuentra el Caserío con el mismo nombre.

A menos de dos kilómetros en dirección este, encuentra la bocabarra el Chapetón, que se abre naturalmente cuando la energía y el caudal del río Los Esclavos aumenta considerablemente. (OBIMAR 1996). En el costado este de la bocabarra se encuentra la Aldea El Chapetón de donde obtiene su nombre.

3.3.12.1 Comparación de imágenes Landsat de los años 1,999-2,015

La bocabarra del río los Esclavos se ha desplazado cerca de 1,200 m hacia el oeste, asimismo se observa el aumento en su abertura en comparación a su ubicación en el año 1,999.

En el año 2,015 se observa que el caudal del río los Esclavos desemboca parte de su caudal, perpendicularmente a través de la bocabarra El Chapetón, la cual no se observa en la imagen satelital de 1,999.

3.3.13 Cuenca Río Paz

La cuenca del Río Paz presenta tres bocabarras ubicadas dentro del territorio del país, la primera se ubica en la Aldea El Jiote, municipio de Santa Rosa, y es la desembocadura del río Nuevo Paz, y del zanjón Madre Vieja, los cuales desembocan en el Canal de Chiquimulilla, antes de su salida al mar.

Aproximadamente a seis kilómetros, dentro del municipio de Moyuta, Jutiapa se encuentra la bocabarra que se origina por aportes de canales y por el cauce del río Nuevo Paz, el cual antes de su desembocadura, forma un estuario de 2.35 km. A costado este de la bocabarra se encuentra el caserío Barra de la Gabina.

La siguiente bocabarra se encuentra en el límite entre Guatemala y el Salvador, la cual es una bocabarra remanente del cauce antiguo del río La Paz, este cauce permanece seco hasta su desembocadura en el manglar de El Botoncillo, excepto cuando ocurren inundaciones en la época lluviosa.

3.3.13.1 Comparación de imágenes Landsat de los años 1,999-2,015

La bocabarra de El Jiote se ha desplazado cerca de 600 m hacia el oeste, se observa además una ampliación en la abertura de la misma respecto a 1,999.

La bocabarra de la Gabina muestra un desplazamiento de 1,300 m hacia el este, la dirección de este desplazamiento es atípico si se comparan con la dirección del desplazamiento hacia el oeste de las bocabarras de la Vertiente del Pacífico. Este comportamiento inusual puede haber ocurrido por una abertura artificial de la misma.

En la bocabarra del cauce antiguo del río La Paz no se pudo observar ningún desplazamiento porque en la fotografía satelital de 2,015 esta se encuentra cerrada.

En el cuadro 32 se resume la dinámica de las bocabarras por cuenca hidrográfica de la vertiente del Pacífico.

Cuadro 32. Dinámica del desplazamiento de las bocabarras

Cuenca	Nombre	Origen de la bocabarra	Desplazamiento observado (m)	Dirección	Reducción o aumento de la abertura
Río Suchiate	Río Suchiate	Río	400	Oeste	Reducción
Río Naranjo	Río Naranjo	Río	550	Oeste	Reducción
	Estero el Esterón	Estuario	190	Oeste	Reducción
Río Ocosito	Estero el Bebedero	Estuario	20	Oeste	Reducción
	Río Jesús	Río	530	Oeste	Reducción
	Estero Acapán*	Estuario	ND	ND	ND
	Río Bolas	Río	60	Oeste	Reducción
Río Salamá	Brazo derecho río Salamá	Río	180	Oeste	Reducción
	Brazo izquierdo río Salamá	Río	577	Oeste	Reducción
	Estero de Mateo	Estuario	200	Oeste	Igual
Río Sis-Icán	Estero Tulate	Estuario	ND	ND	Aumento
	Río Icán	Río	700	Oeste	Reducción
Río Nahualate	Río Nahualate	Río	300	Este	Reducción
Río Madre Vieja	Zanjón el Mico y río Danto	Río	200	Oeste	Aumento
	Río Madre Vieja	Río	ND	ND	Igual
Río Coyolate	Laguneta Las Pescas	Estuario	35	Este	Reducción
	Río Coyolate	Río	90	Este	Reducción
	Laguneta La Blanca*	Estuario	ND	ND	ND
Río Acomé	Río Acomé	Río	750	Oeste	Reducción

Río Achíguate	Río Achíguate	Río	350	Oeste	Reducción
Río María Linda	Canales	Río y canales	ND	ND	Reducción
	Canal de Chiquimulilla-Río María Linda	Río	ND	ND	Aumento
	Río María Linda	Río	ND	ND	Aumento
Río Los Esclavos	Río Los Esclavos (El Dormido)	Río	1200	Oeste	Reducción
	Río Los Esclavos (El Chapetón)**	Río	ND	ND	ND
Río La Paz	Río Nuevo Paz	Río	600	Oeste	Aumento
	Barra la Gabina	Estuario	1300	Este	Aumento
	Antiguo Cauce río La Paz*	Río	ND	Oeste	ND

*Esta bocabarra se encuentra cerrada en la imagen landsat del año 2,015

**Esta bocabarra no se observa en la imagen landsat del 1,999

Fuente: elaboración propia, 2015.

Como puede observarse en el cuadro resumen, de las bocabarras que se originan por la desembocadura de ríos, el 85 % presenta una reducción en el ancho de su desembocadura, lo cual puede atribuirse a la erosión y transporte de sedimentos de origen volcánico, que son transportados desde las partes altas de las cuencas.

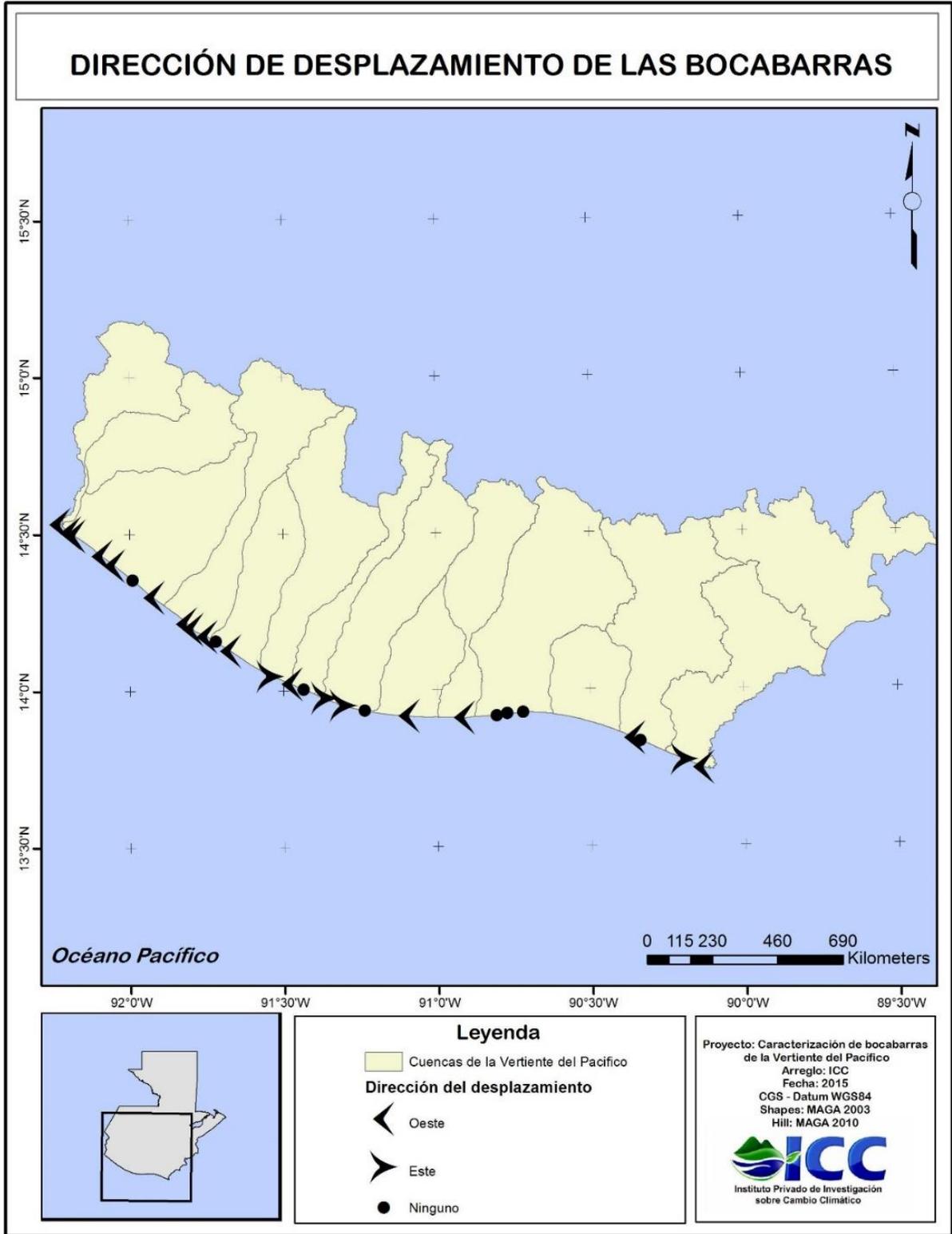
Por el contrario se observa que de las bocabarras de los estuarios, únicamente el 40 % presentó una reducción de su desembocadura, el 60 % restante mantuvo o registro aumentos en la abertura de la misma.

En base a la comparación del desplazamiento de las bocabarras, se observó que de las bocabarras que se han desplazado, el 80 % se desplazan en dirección oeste, y 20 % restante en dirección este.

La Cuenca del Río María Linda, es la única cuenca de la Vertiente en donde no se registró variaciones en el desplazamiento de las bocabarras, las cuales se encuentran estabilizadas artificialmente por espigones rocosos.

Las bocabarras en las cuales no se observó ninguna variación en el desplazamiento en base a la comparación en el periodo de 1,999 y 2,015 fueron las bocabarras del Estero Tulate, y el Río Madre Vieja, situación que puede considerarse como el resultado de un desequilibrio en su funcionamiento (Geólogos del mundo, 2012).

En la figura 79 se resume la dinámica del desplazamiento de las bocabarras de la Vertiente del Pacífico de Guatemala.



Fuente: elaboración propia, 2015.

Figura 79. Desplazamiento de las bocanarras de la Vertiente del Pacífico

3.3.14 Limitaciones del estudio

Se utilizaron imágenes satelitales del año 1,999 por que a partir de esta fecha se pone en marcha el Satélite Landsat 7 que cuenta banda espectral (Banda Pancromática) la cual tiene resolución de 15 m, lo que permitió analizar con más detalle las bocabarras.

Se consideraron únicamente las bocabarras que mediante la observación de imágenes satelitales de los años 1,999 y 2015 se encontraban abiertas.

3.4 Conclusiones

1. El número de bocabarras que presentan un comportamiento permanente o semi permanente dentro de la Vertiente del Pacífico es veintiocho, veinte de las cuales corresponden a desembocaduras de ríos y canales, y ocho a la desembocadura de estuarios.
2. De las bocabarras que se originan por la desembocadura de ríos, el 85 % presenta una reducción en el ancho de su desembocadura.
3. Por el contrario se observa que de las bocabarras de los estuarios, únicamente el 40 % presentó una reducción de su desembocadura, el 60 % restante mantuvo o registro aumentos en la abertura de la misma.
4. En base a la comparación del desplazamiento de las bocabarras, se observó que de las bocabarras que se han desplazado, el 80 % se desplazan en dirección oeste, y 20 % restante en dirección este.

3.5 Recomendaciones

1. Complementar este estudio mediante el análisis de los procesos de erosión y sedimentación de las cuencas de la Vertiente del Pacífico.
2. Realizar el análisis las interacciones de los sistemas ecológicos con las bocabarras.
3. En base al comportamiento de los desplazamientos de las bocabarras, se recomienda realizar trabajos de planificación y gestión del territorio, para garantizar la seguridad de la población y la sostenibilidad ambiental de la zona.

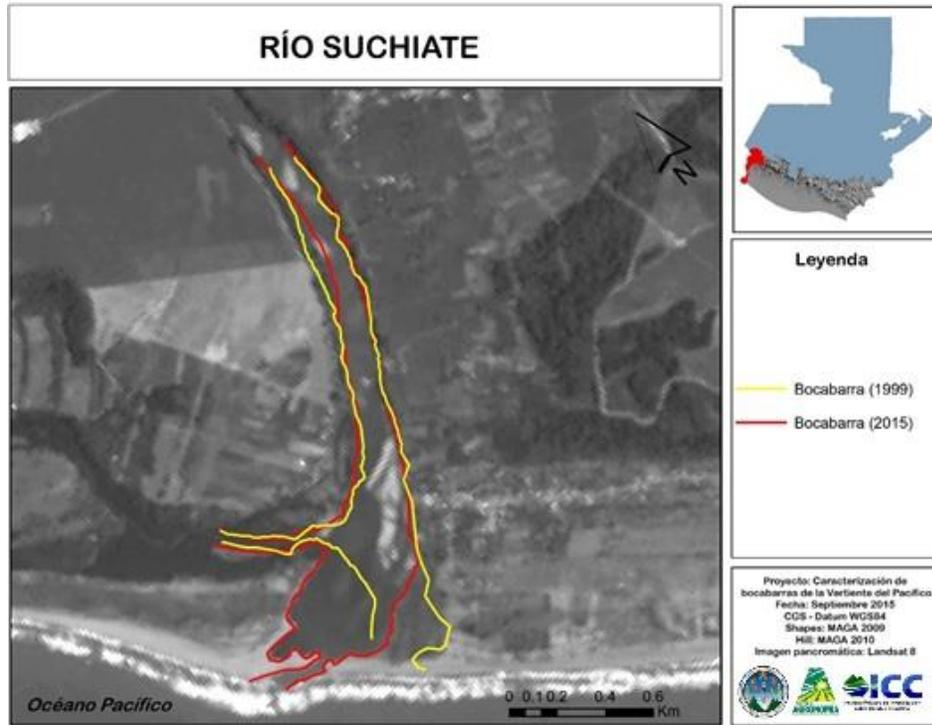
3.6 Bibliografía

- 1 Arrivillaga, A. 2003. Diagnóstico del estado actual de los recursos marinos y costeros de Guatemala. Guatemala. Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Agrícolas. 65p.
- 2 Gallo, M; Rodríguez, E. 2010. Humedales y medios de vida en la cuenca baja del río Paz. Panamá. Wetlands International. 49 p
- 3 García Chacón, PJ; Taracena, J; Marroquín, E; Aceituno Pozuelo, E. 2000. Bases ecológicas de las funcionalidades del ecosistema manglar del Pacífico de Guatemala. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. Dirección General de Investigación. 79 p
- 4 García Sánchez, J; Maza Álvarez, JA; 2002. Morfología de ríos: Capítulo 11 Manual de Ingeniería de ríos. México D.F, México. Instituto de Ingeniería UNAM. 46 p.
- 5 Geólogos del Mundo. 2012. Caracterización y análisis de las dinámicas de las bocanas de barra de Santiago y Garita Palmera: En la microrregión Ahuachapán Sur. San Salvador, El Salvador. Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID) 62 p.
- 6 IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1983. Diccionario geográfico nacional. Guatemala. Tipografía Nacional. s.p.
- 7 OBIMAR (Departamento de Observación, Investigación y Mantenimiento Marítimo). 1997. Meteorología y bocanarras aledañas a Puerto Quetzal 1996. Puerto San José, Guatemala. Empresa Portuaria Quetzal. 70 p
- 8 Pacheco, O; Vásquez, P; Serrano, J; Beltrán, H; Santiago, E; Godínez, R. 2011. Evaluación de cambios geomorfológica en la bocana El Limón, en la zona Occidental del Salvador. San Salvador, El Salvador. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. 6 p.
- 9 UABCS (Universidad Autónoma de Baja California Sur). 2013. Oceanografía geológica (en línea). La Paz, MX. Consultado 20 ago. 2015. Disponible en: <http://elsantogeol.wix.com/geologia-marina#!tipos-de-estuarios-y-lagunas-costeras/c6t9>

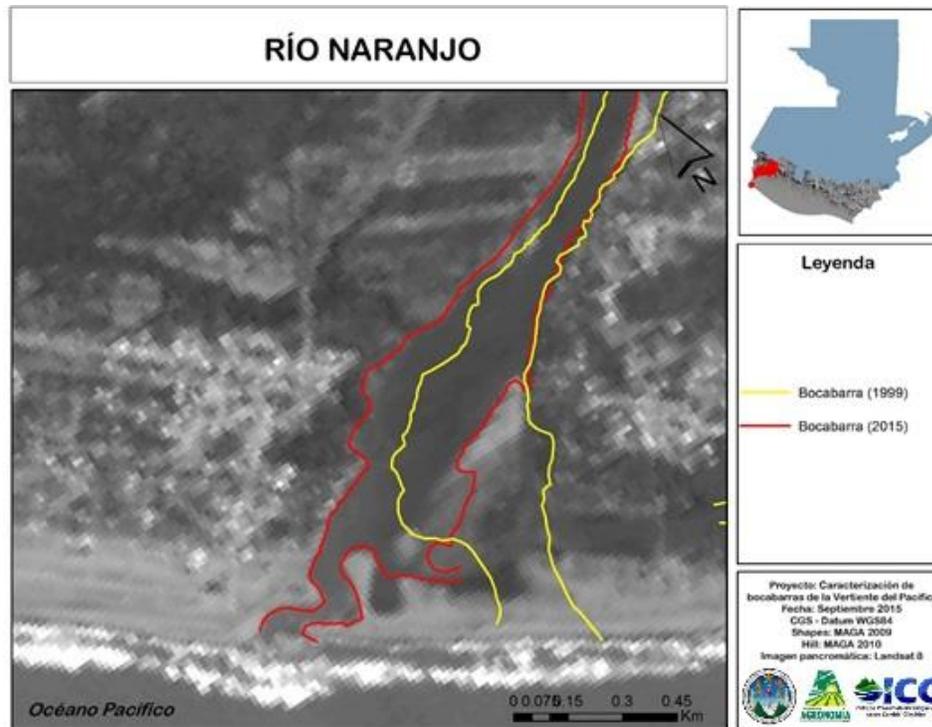
3.7 Anexos

Glosario

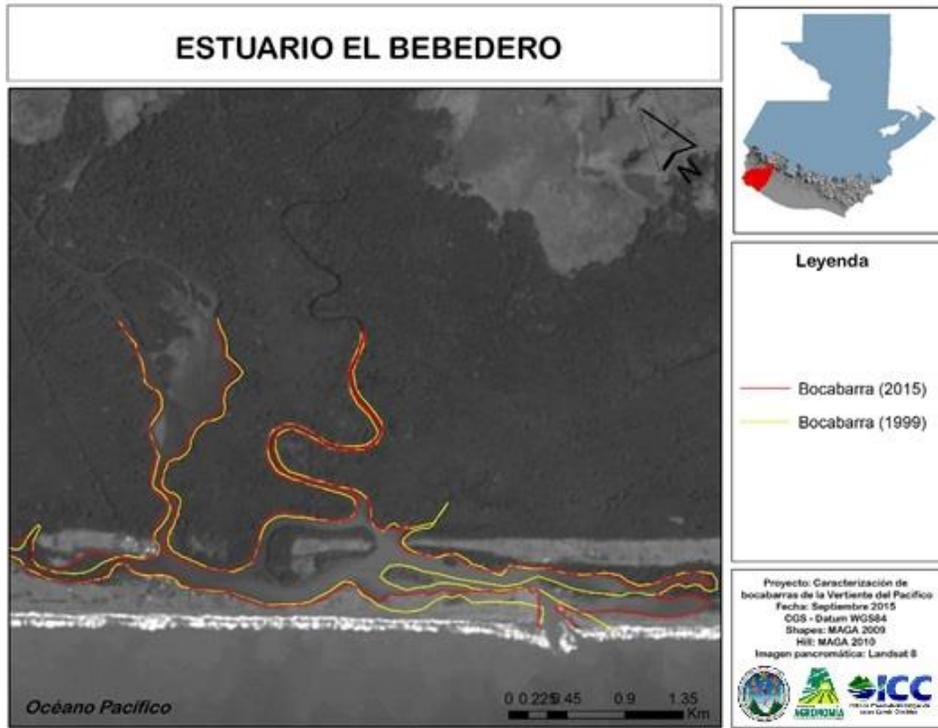
- Bocana: Paso estrecho de mar que sirve de entrada a una bahía o fondeadero.
- Estuario: son sistemas de agua semi-cerrados donde se mezclan las aguas del río con las del mar, y por tanto, presentan amplias variaciones de salinidad. Un estuario es definido de la siguiente manera: “cuerpo de agua semi-cerrado que posee una conexión libre con el mar y que se diluye con el agua dulce del drenaje terrestre.
- Índice de sinuosidad de un río: largo total del río dividido por la distancia entre punto inicial versus punto final del río. Un río que es perfectamente recto desde principio a fin va a tener una sinuosidad de 1 y un río que es meandrónico tienen una sinuosidad mayor.
- Laguneta costera: una depresión topográfica por debajo del nivel medio de las mareas altas, separada por una barrera y comunicadas con éste a través de una o más bocas efímeras o permanentes
- Recursos costeros: están comprendidos entre la línea de costa y la zona de influencia de la salinidad en el litoral, hasta un máximo de 10 km tierra arriba. Se entiende como la zona costera las áreas bajo la influencia de mareas y que experimentan un efecto de la salinidad por el viento, intrusión subterránea o durante desastres naturales como huracanes. También áreas como las desembocaduras de los ríos, lagunas costeras, playas, humedales costeros, estuarios, canales de abastecimiento de agua, etc.



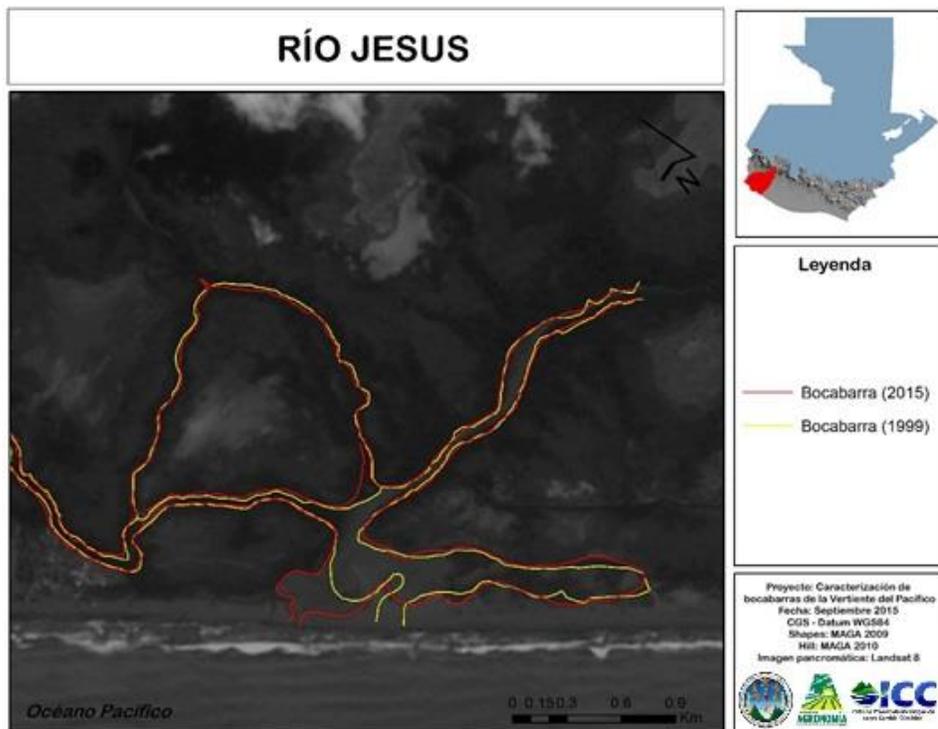
Fuente: elaboración propia, 2015.
Figura 80A. Bocabarra río Suchiate



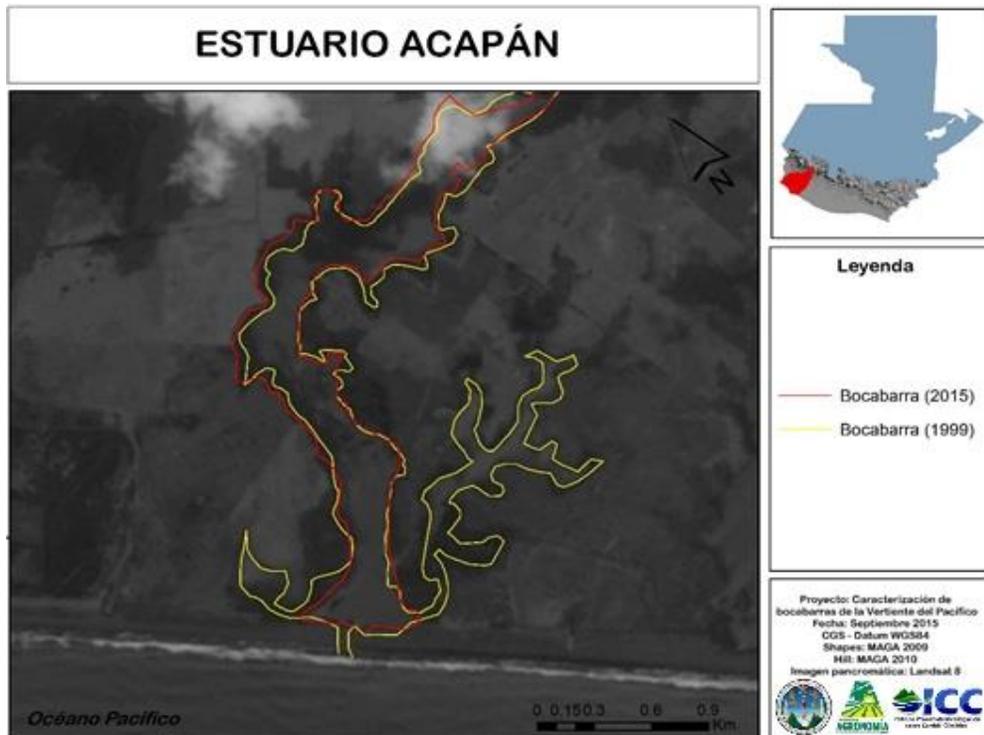
Fuente: elaboración propia, 2015.
Figura 81A. Bocabarra río Naranjo



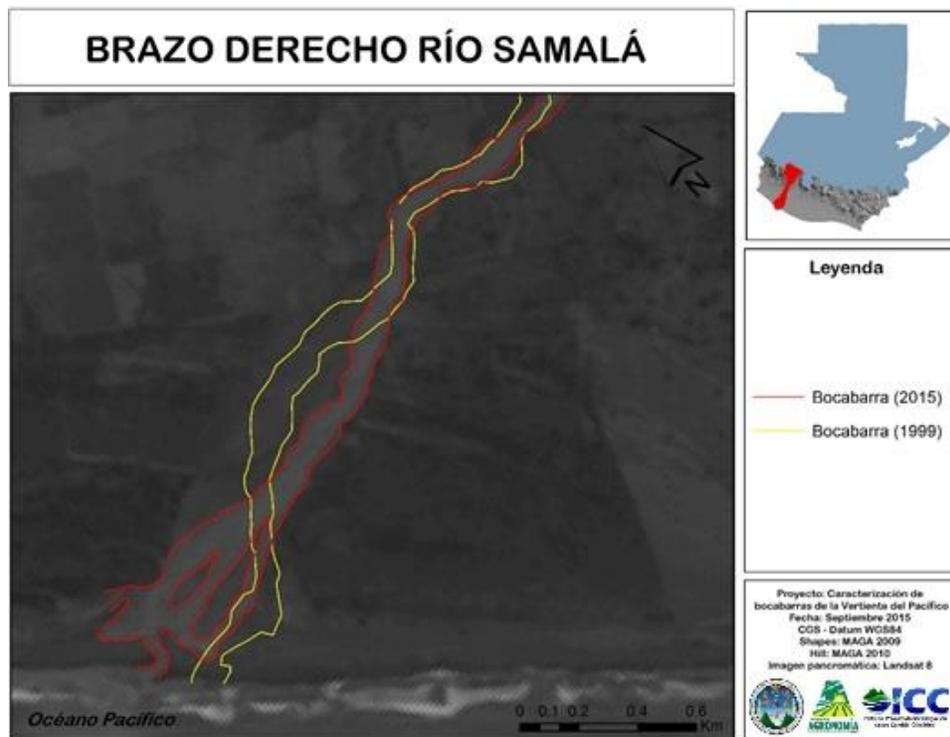
Fuente: elaboración propia, 2015.
 Figura 82A. Bocabarra Estuario El Bebedero



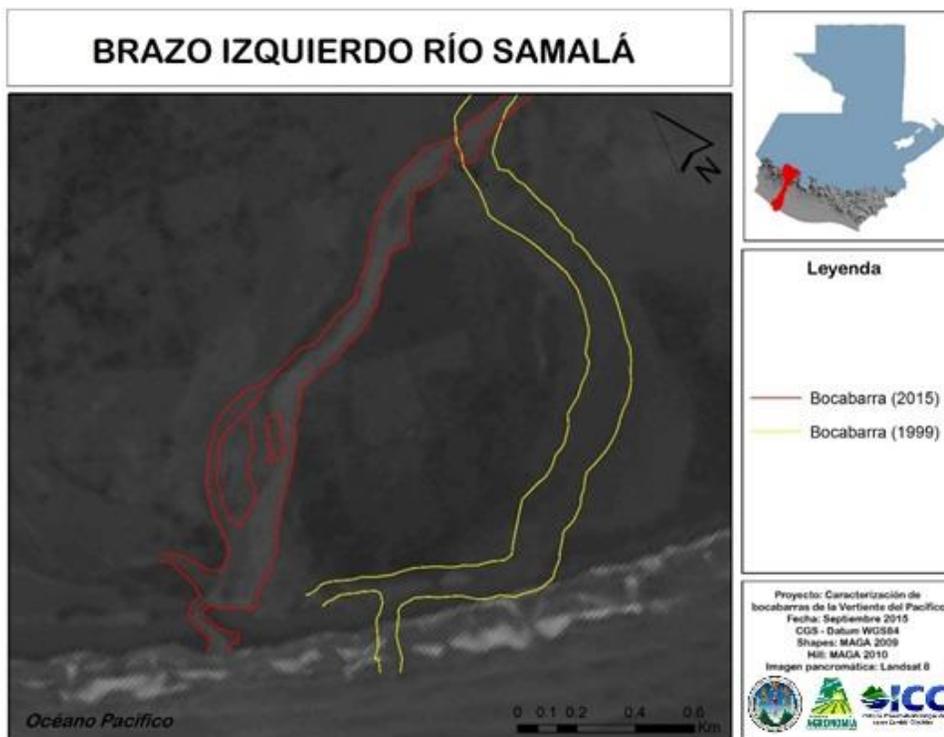
Fuente: elaboración propia, 2015.
 Figura 83A. Bocabarra rio Jesús



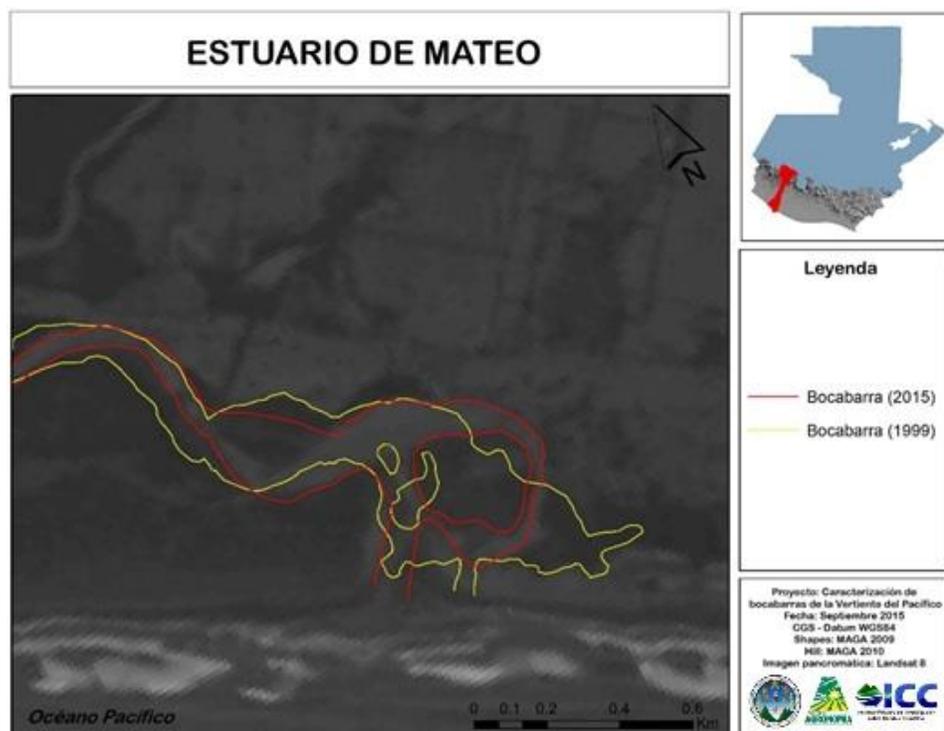
Fuente: elaboración propia, 2015.
 Figura 84A. Bocabarra Estuario Acapán



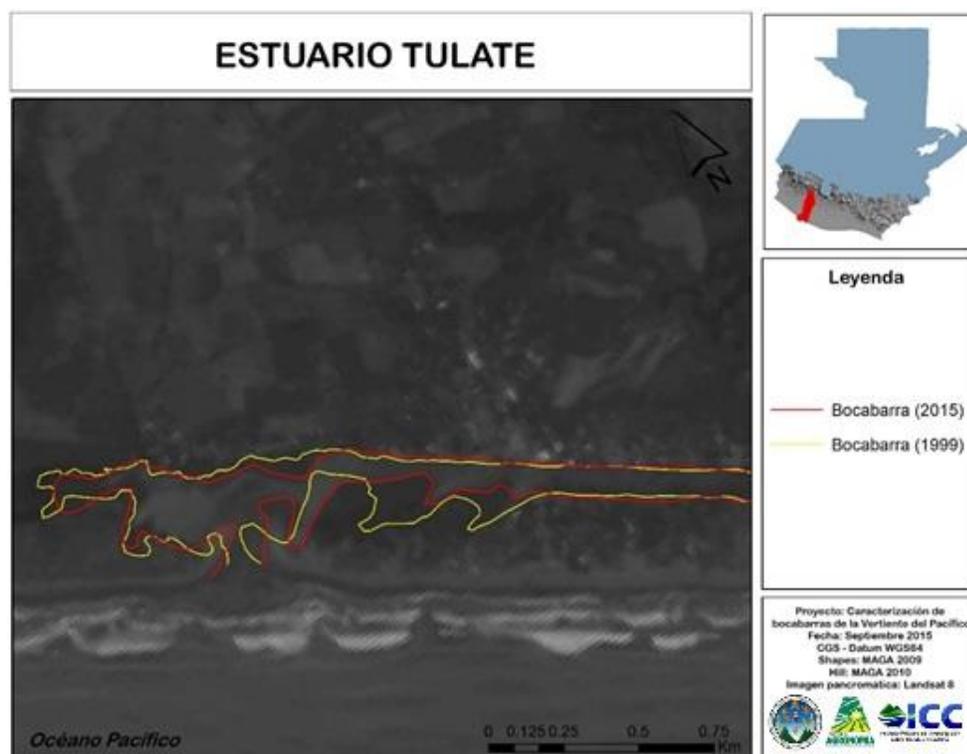
Fuente: elaboración propia, 2015.
 Figura 85A. Bocabarra brazo derecho río Samalá



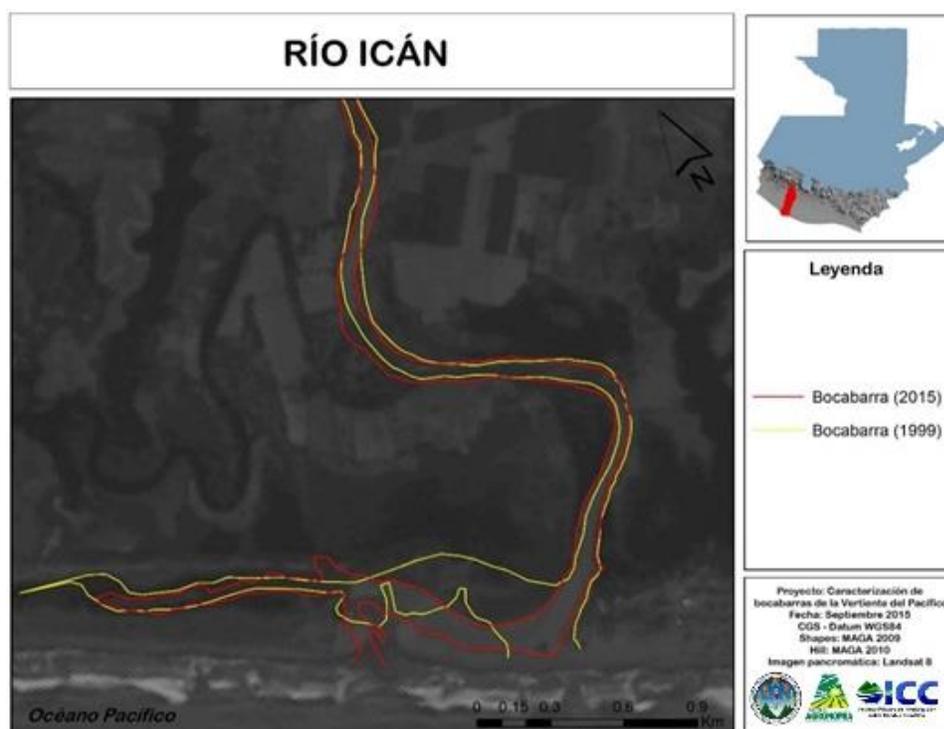
Fuente: elaboración propia, 2015.
 Figura 86A. Bocabarra Brazo izquierdo río Samalá



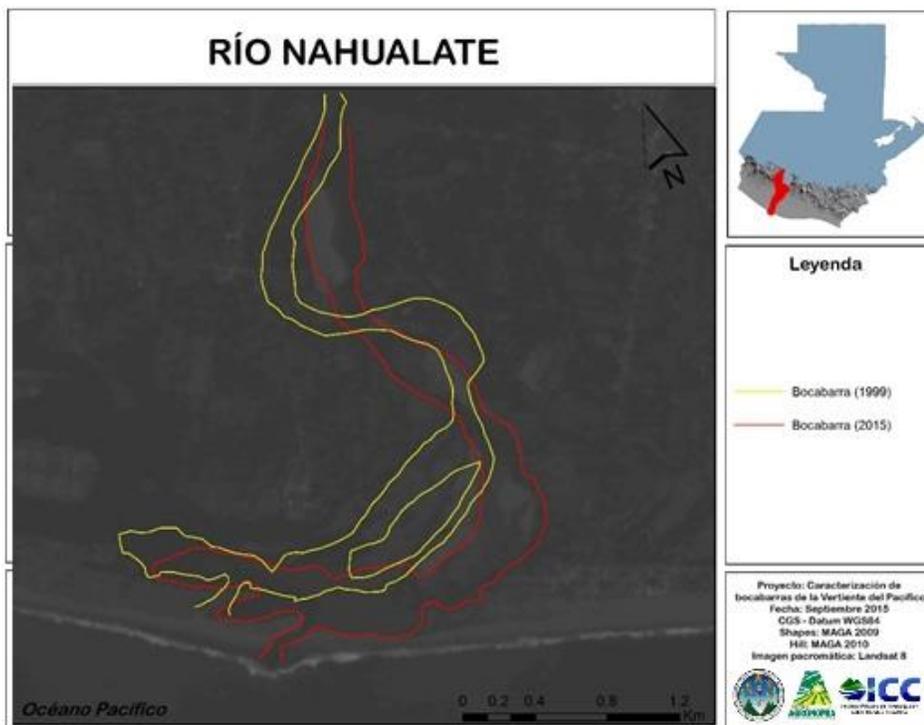
Fuente: elaboración propia, 2015.
 Figura 87A. Bocabarra Estuario de Mateo



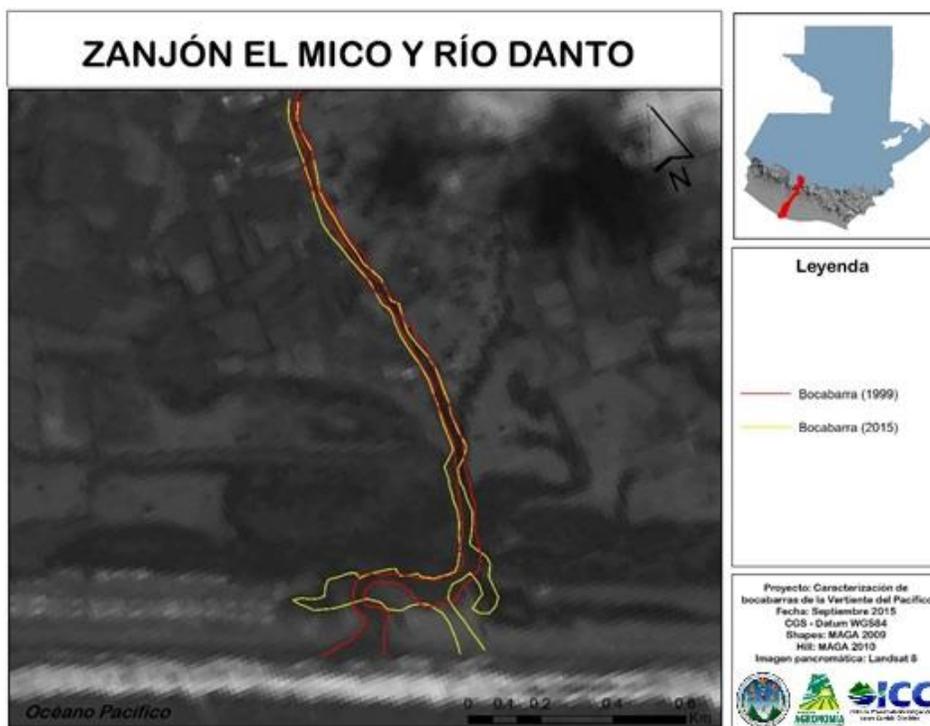
Fuente elaboración propia, 2015.
 Figura 88A. Bocabarra Estuario Tulate



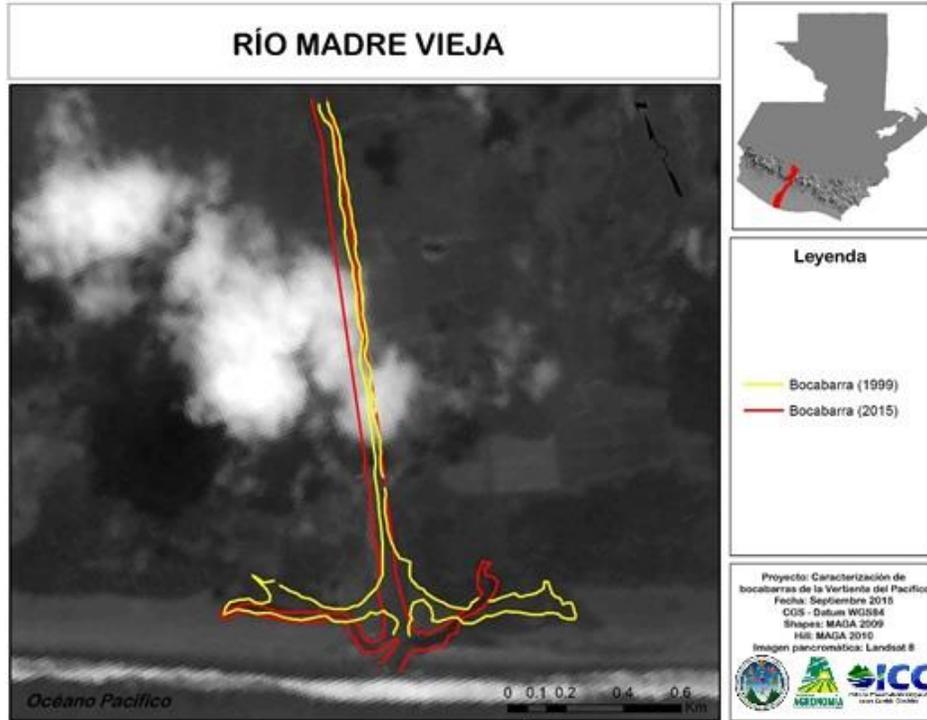
Fuente elaboración propia, 2015.
 Figura 89A. Bocabarra río Ican



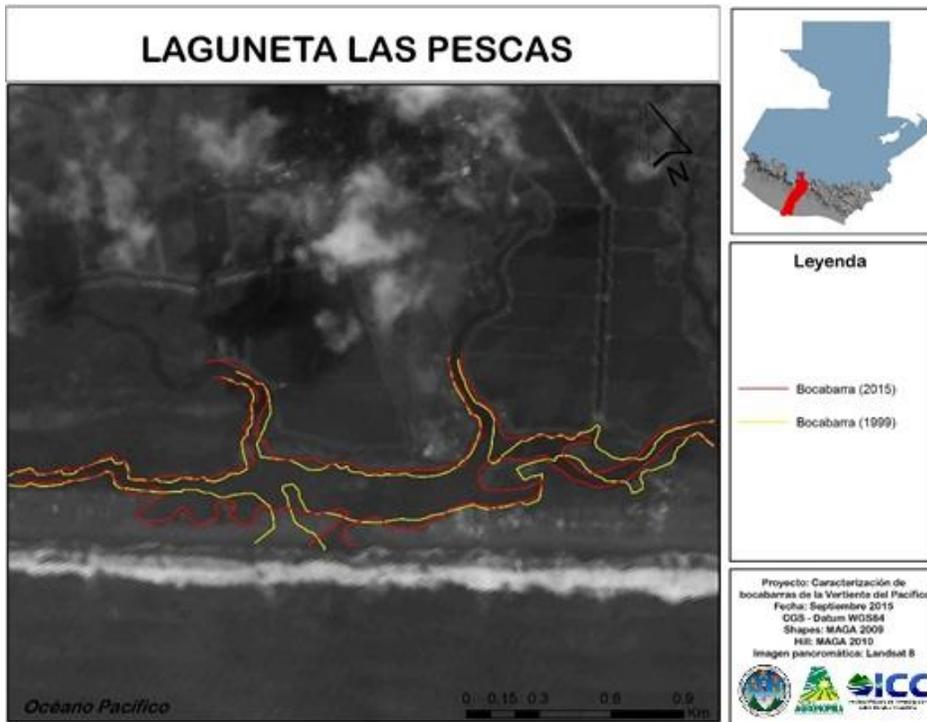
Fuente elaboración propia, 2015.
 Figura 90A. Bocabarra río Nahualate



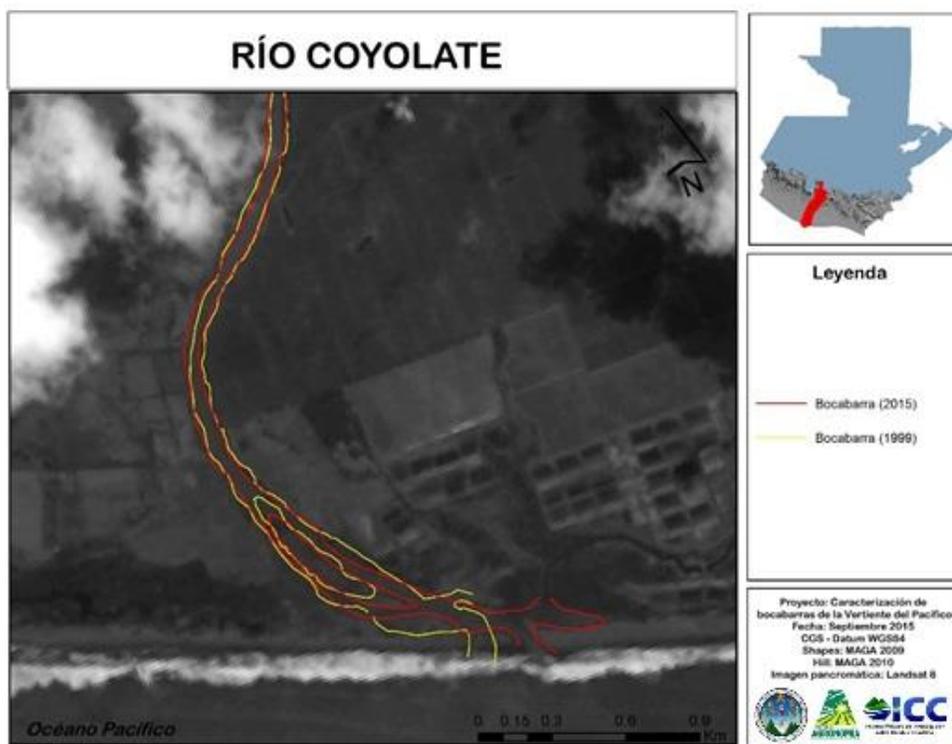
Fuente elaboración propia, 2015.
 Figura 91A. Bocabarra zanjón el Mico y río Danto



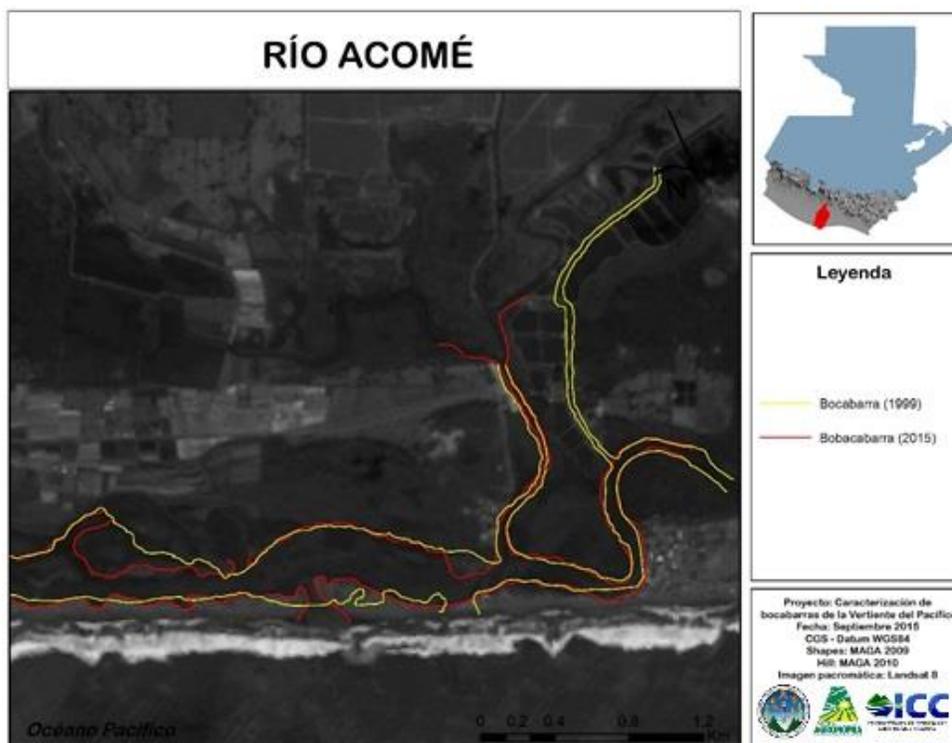
Fuente elaboración propia, 2015.
Figura 92A. Bocabarra río Madre Vieja



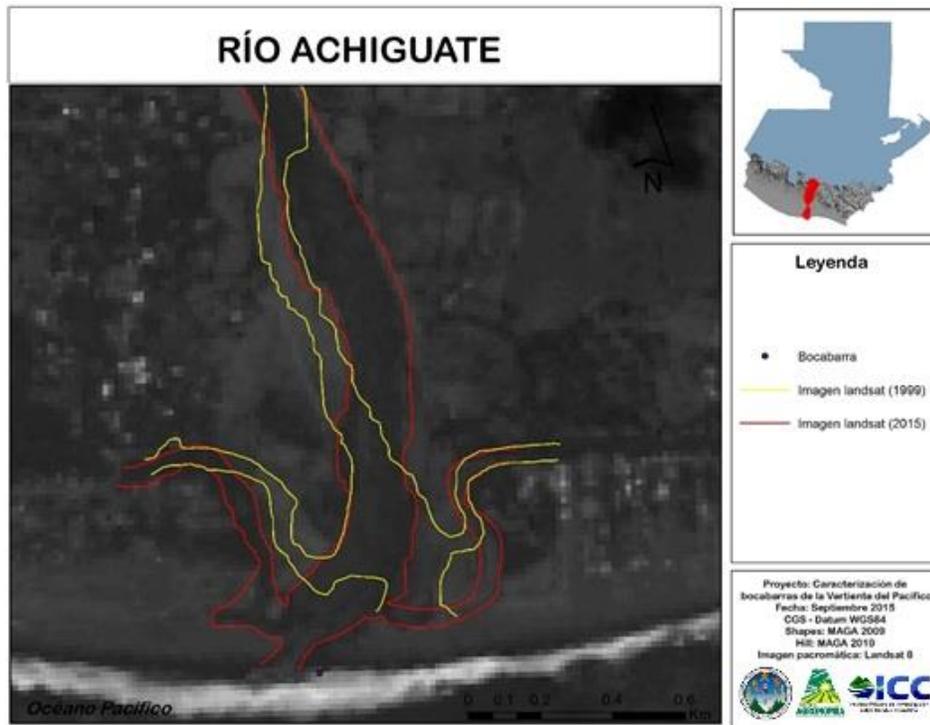
Fuente elaboración propia, 2015.
Figura 93A. Bocabarra Laguneta Las Pegas



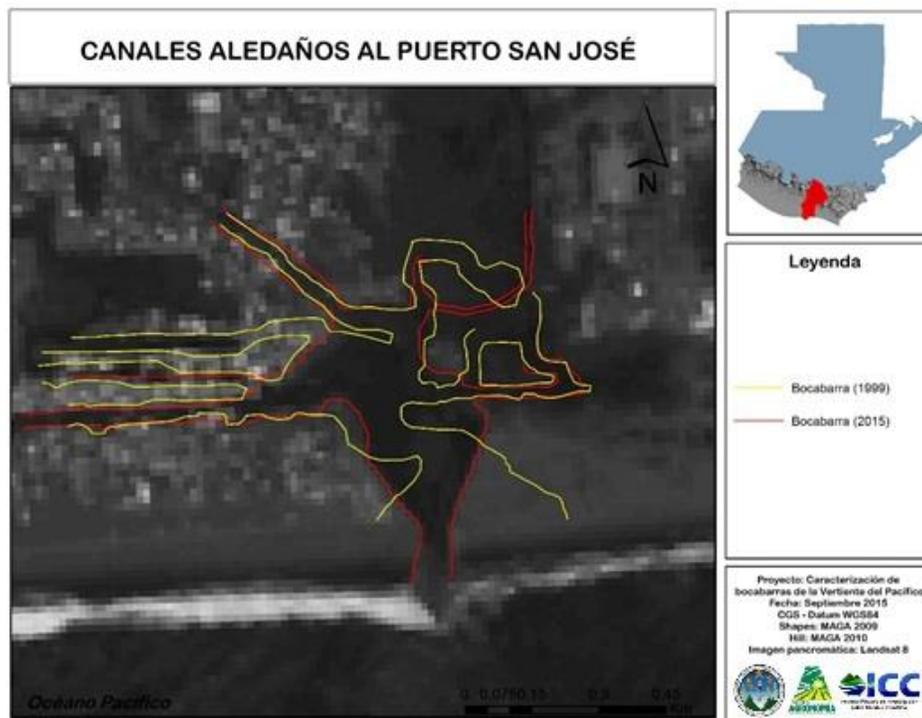
Fuente elaboración propia, 2015.
 Figura 94A. Bocabarra río Coyolate



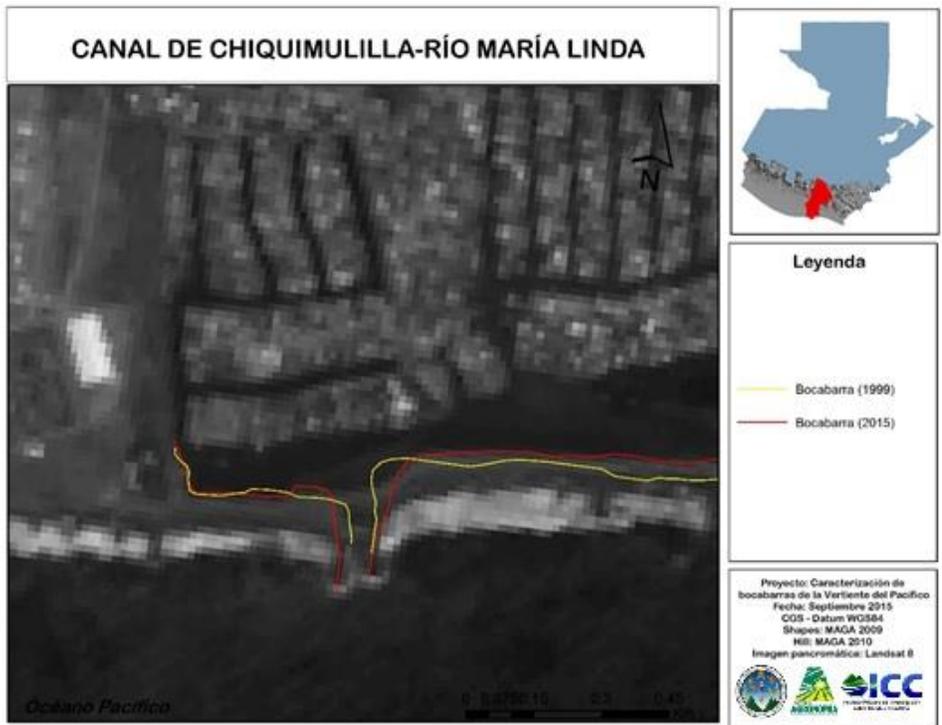
Fuente elaboración propia, 2015.
 Figura 95A. Bocabarra río Acomé



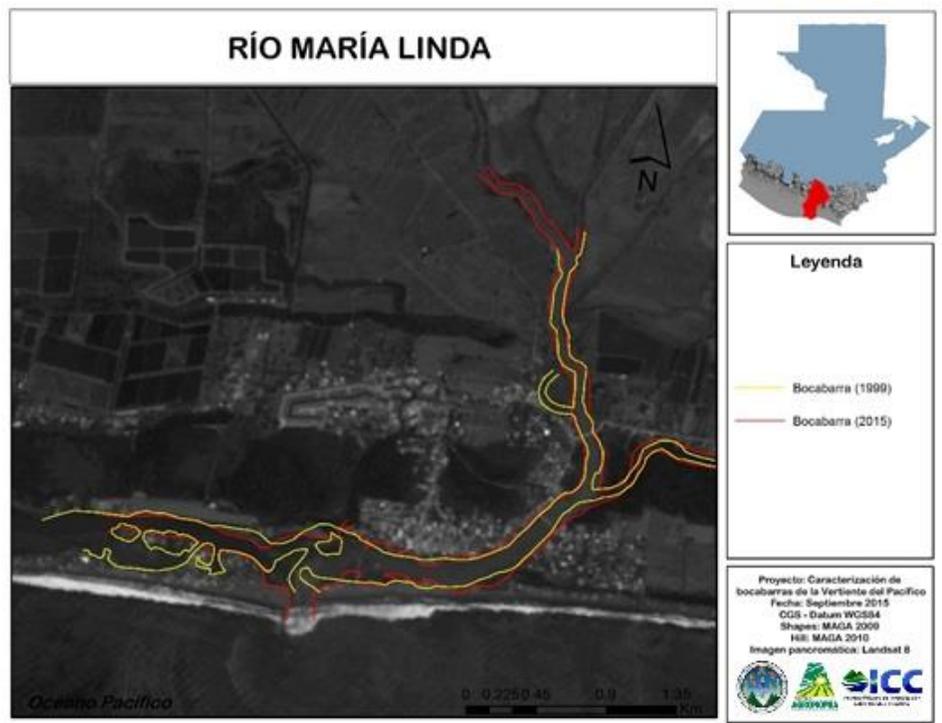
Fuente elaboración propia, 2015.
 Figura 96A. Bocabarra río Achiguate



Fuente elaboración propia, 2015.
 Figura 97A. Bocabarra canales aledaños al Puerto San José



Fuente elaboración propia, 2015.
 Figura 98A. Bocabarra Canal de Chiquimulilla-río María Linda



Fuente elaboración propia, 2015.
 Figura 99A. Bocabarra río María Linda



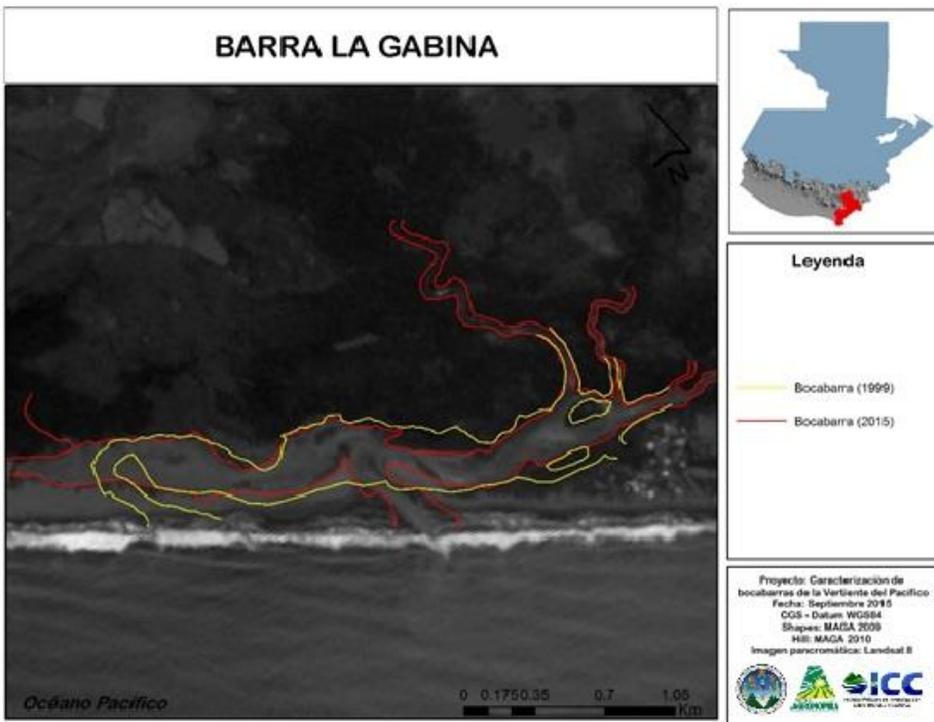
Fuente elaboración propia, 2015.
 Figura 100A. Bocabarra río Los Esclavos (El Dormido)



Fuente elaboración propia, 2015.
 Figura 101A. Bocabarra río Los Esclavos (El Chapetón)



Fuente elaboración propia, 2015.
 Figura 102A. Bocabarras río Nuevo



Fuente elaboración propia, 2015.
 Figura 103A. Barra La Gabina