



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria
y Recursos Hidráulicos (ERIS)

**GUÍA PARA LA GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO CON MANEJO DE INUNDACIONES,
CASO DEL RÍO ACOMÉ EN EL MUNICIPIO LA GOMERA, ESCUINTLA**

Ing. Agr. Jorge Andrés Robles Rivera
Asesorado por el MSc. Ing. Joram Matías Gil Larroj

Guatemala, Noviembre de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**GUÍA PARA LA GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO CON MANEJO DE INUNDACIONES,
CASO DEL RÍO ACOMÉ EN EL MUNICIPIO LA GOMERA, ESCUINTLA**

ESTUDIO ESPECIAL

PRESENTADO A LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y
RECURSOS HIDRÁULICOS (ERIS)

POR

ING. AGR. JORGE ANDRÉS ROBLES RIVERA

ASESORADO POR EL MSC. ING. JORAM MATÍAS GIL LAROJ

COMO REQUISITO PREVIO PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE

**MAESTRO (*MAGISTER SCIENTIFICAE*) EN
CIENCIAS GESTIÓN INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**DIRECTOR DE LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y
RECURSOS HIDRÁULICOS -ERIS-**

MSc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

EXAMINADOR	MSc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis
EXAMINADOR	MSc. Ing. Elfego Orozco Fuentes
EXAMINADOR	MSc. Ing. Joram Matías Gil Laroj

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración el trabajo de investigación titulado:

**GUÍA PARA LA GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO CON MANEJO DE INUNDACIONES,
CASO DEL RÍO ACOMÉ EN EL MUNICIPIO DE LA GOMERA, ESCUINTLA**

Tema que me fuera asignado por la Comisión de Admisión y Otorgamiento de grado de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, con fecha 18 de enero de 2013.

Ing. Agr. Jorge Andrés Robles Rivera
roblesrivera@gmail.com
Carné 100016759



Guatemala, 15 de Noviembre de 2016

PhD. Elfego Orozco
Coordinador de la Maestría en Ciencias en Recursos Hidráulicos
Escuela regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos
Facultad de Ingeniería, USAC

Habiendo revisado el documento Titulado:

**“Guía para la gestión del recurso hídrico con manejo de inundaciones,
caso del rio Acome en el municipio de la Gomera Escuintla”**

Elaborado por el **Ingeniero Agrónomo Jorge Andrés Robles Rivera**, como parte de su Estudio Especial, y como requisito para optar al grado académico de Maestro en Ciencias en Recursos Hidráulicos, Opción Gestión Integrada de Recursos Hídricos, mediante la presente me permito informarle mi satisfacción con su contenido y revisión lingüística, por lo tanto, le comunico que dicho documento cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo la atención prestada a la presente, me suscribo de usted.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

MSc. Ing. Joram Matías Gil Laroj
Asesor de Estudio



Guatemala, 20 de Noviembre de 2016

Señores Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado
Escuela regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS)

Respetuosamente les comunico que he revisado y aprobado, en mi calidad de coordinador de la Maestría en Ciencias en Recursos Hidráulicos, el informe final del Estudio Especial titulado:

**“Guía para la gestión del recurso hídrico con manejo de inundaciones,
caso del río Acomé en el municipio de la Gomera Escuintla”**

Presentado por el estudiante

Ing. Agr. Jorge Andrés Robles Rivera

Les manifiesto que el estudiante cumplió en forma satisfactoria con todos los requisitos establecidos por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) y por la Universidad de San Carlos de Guatemala en la realización de su estudio.

Agradeciéndoles de antemano la atención a la presente, se suscribe de ustedes,

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

MSc. Ing. Efrago Orozco Fuentes
Coordinador de la Maestría en Ciencias en Recursos Hidráulicos

Guatemala, 26 de octubre de 2016

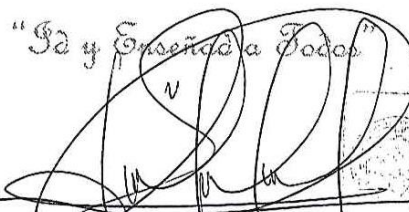
MSc. Ing. Pedro Saravia Celis
Director
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Saravia Celis.

Por este medio extendiendo constancia a la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos de la Facultad de Ingeniería, que se ha realizado satisfactoriamente la revisión y corrección de estilo del trabajo de graduación de Maestría en Ciencias Gestión Integrada de Recursos Hídricos titulada: GUÍA PARA LA GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO CON MANEJO DE INUNDACIONES, CASO DEL RÍO ACOMÉ EN EL MUNICIPIO LA GOMERA, ESCUINTLA del Ing. Agr. Jorge Andrés Robles Rivera.

Para los requerimientos que su despacho necesite.

Atentamente,

"Sé y Enseñada a Todos"


Licda. Jéssica Melgarejo
Unidad de Lingüística
Facultad de Ingeniería

Oficina de Lingüística
Unidad de Planificación
Facultad de Ingeniería



El Director de la Escuela Regional de Ingeniería y Recursos Hidráulicos (ERIS) después de conocer el dictamen del tribunal examinador integrado por los profesores siguientes: MSc. Ing. Pedro Saravia Celis, MSc. Ing. Elfego Orozco Fuentes y MSc. Ing. Joram Gil Laroj; así como también el visto bueno del Coordinador de la Maestría en Ciencias en Recursos Hidraulicos; MSc. Ing. Elfego Orozco Fuentes y la revisión lingüística realizada por la Licenciada Jessica Melgarejo Monterroso, Colegiada No.27003, al trabajo del estudiante Ing. Agronomo Jorge Andrés Robles Rivera, titulado: "Guía para la gestión del recurso hídrico con manejo de inundaciones, caso del rio Acomé en el municipio de la Gomera Escuintla", en representación de la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado, procede a la autorización del mismo, en Guatemala el 25 de Noviembre de 2016

IMPRÍMASE,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

MSc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis
DIRECTOR



Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Ser Supremo Todopoderoso, quien me ha acompañado, desde el inicio de mi existencia y que estara conmigo hasta el final.

Mis padres

Lucía Rivera Hernandez y Juan Andrés Robles, por su amor y buen ejemplo.

Mis amigos

Por los momentos que compartimos y su sincera amistad.

Mi asesor

MSc. Ing. Joram Gil, por su calificada y acertada asesoría.

ERIS/USAC

Por contribuir en mi formación como profesional.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Ser supremo que me llenó de bendiciones y me dio la oportunidad de concluir una de las metas más importantes de mi vida.
Mis padres	Lucía Rivera Hernandez y Juan Andrés Robles por sus bendiciones y amor.
Mi hermana y esposo	Lucía Alejandrina Robles de López y Luis Miguel López Santizo, por estar siempre a mi lado brindándome su apoyo, con cariño este logro es de ustedes también.
Mi asesor	MSc. Ing. Joram Gil, por aceptar tan dura tarea y brindarme su apoyo como profesional, catedrático y como ser humano, principalmente.
ERIS/USAC	Por brindarme la oportunidad de estudiar en esta apreciada Facultad de Ingeniería y a la reconocida Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

2.7.	Inundaciones.....	17
2.7.1.	Factores modificadores de la vulnerabilidad	18
2.7.2.	Principales causas de morbilidad y mortalidad.....	19
2.7.2.1.	Repercusiones directas	19
2.7.2.2.	Repercusiones indirectas	19
2.7.3.	Medidas aplicadas en Guatemala para el manejo de inundaciones	20
2.7.4.	Sistemas de alerta temprana.....	21
2.8.	Software HEC-RAS	24
2.8.1.	Funcionamiento.....	25
2.8.2.	Uso	25
2.8.3.	Ventajas	26
2.8.4.	Desventajas.....	26
2.9.	Ingeniería Naturalística (IN)	27
3.	MARCO REFERENCIAL.....	29
3.1.	Información general del municipio de La Gomera, Escuintla ..	29
3.1.1.	Aspectos históricos	29
3.1.2.	Localización del municipio.....	29
3.1.3.	Extensión territorial.....	30
3.1.4.	Identificación y descripción de cuencas	30
3.1.5.	Topografía	30
3.2.	Caracterización de la cuenca del río Acomé	30
3.2.1.	Área y localización	32
3.2.2.	División administrativa.....	33
3.2.3.	Hidrografía y relieve	34
3.2.4.	Zonas de vida y clima.....	35
3.2.5.	Suelos	37
3.2.6.	Subcuencas.....	38

3.2.7.	Vulnerabilidad a inundaciones	38
3.2.8.	Ríos	39
4.	METODOLOGÍA.....	41
4.1.	Diseño de obras de protección	41
4.1.1.	Solicitud del requerimiento	41
4.1.2.	Análisis de Información.....	41
4.1.3.	Presentación del dictamen técnico	42
4.1.4.	Diseño de obras de control de inundaciones	42
4.1.4.1.	Requerimientos iniciales de información	42
4.1.5.	Levantamiento topográfico georeferenciado.....	42
4.1.5.1.	Análisis fotogramétrico a detalle (escala 1:5000).....	43
4.1.5.2.	Verificación y toma de fotografías.....	43
4.1.5.3.	Análisis de inundabilidad y vulnerabilidad.....	43
4.2.	Presupuesto de la obra.....	44
4.2.1.	Materiales	44
4.2.2.	Maquinaria	44
4.2.3.	Mano de obra.....	44
4.3.	Ejecución de la obra	45
4.3.1.	Requisición y traslado de materiales	45
4.4.	Construcción de la obra.....	45
4.5.	Evaluación de la construcción	45
4.5.1.	Levantamiento topográfico final	45
4.6.	Restauración del diseño de la obra de protección	46
4.7.	Control, operación y mantenimiento de obras de protección ...	46
4.7.1.	Épocas de mantenimiento de obra	46

4.7.2.	Diagnóstico del daño	47
4.7.3.	Presupuesto de reparación	47
4.7.3.1.	Materiales.....	47
4.7.3.2.	Maquinaria requerida	47
4.7.3.3.	Mano de obra	48
4.7.4.	Ejecución del mantenimiento (restauración de la obra).....	48
4.7.4.1.	Actividades de coordinación previa al inicio de la obra	48
4.7.5.	Replanteo de la obra	48
4.7.6.	Mantenimiento de la obra	49
4.7.7.	Seguimiento y control de las obras de control de inundaciones	49
4.7.7.1.	Vigilancia de las obras de protección ...	49
5.	RESULTADOS.....	51
5.1.	Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH)	51
5.1.1.	Diagnóstico.....	52
5.1.2.	Información hidrológica y topográfica.....	55
5.2.	Cálculo del caudal de diseño (Metodología INSIVUMEH).....	56
5.2.1.	Análisis de inundabilidad y vulnerabilidad	60
5.3.	Resultados con el software HEC-RAS	61
5.4.	Cálculo de las variables hidráulicas del río Acomé	66
5.4.1.	Velocidad.....	66
5.4.2.	Límites de inundación	69
5.4.3.	Profundidad del río	71
5.5.	Diseño de las medidas de protección.....	74
5.5.1.	Dimensionamiento hidráulico para el sistema de bordas	75

5.5.2.	Diseño de espigones (río Coyolate).....	76
5.5.3.	Socavación local en los espigones	79
5.6.	Sistema de alerta temprana de la cuenca del río Coyolate	82
5.6.1.	Estructura del sistema	83
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	85
	CONCLUSIONES	87
	RECOMENDACIONES	89
	BIBLIOGRAFÍA	91
	ANEXOS	95

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Clasificación de los cauces (Barrientos & Rojas, 2007)	14
2.	Mapa hidrológico de la cuenca del río Acomé.....	40
3.	Cambio de la morfología del río Acomé	54
4.	Tramo estudiado del río Acomé 2,8 kilómetros lineales	61
5.	Sección transversal número2178.....	62
6.	Sección transversal número2169.....	63
7.	Sección transversal número 835.....	64
8.	Sección transversal número 1138.....	65
9.	Velocidad del río Acomé para un periodo de 10 años.....	67
10.	Velocidad del río Acomé para un periodo de 50 años.....	68
11.	Velocidad del río Acomé para un periodo de 100 años.....	69
12.	Límites de inundación del río Acomé para un periodo de 10 años.....	65
13.	Límites de inundación del río Acomé para un periodo de 50 años.....	70
14.	Límites de inundación del río Acomé para un periodo de 100 años....	71
15.	Profundidad del río Acomé para un periodo de 10 años	72
16.	Profundidad del río Acomé para un periodo de 50 años	73
17.	Profundidad del río Acomé para un periodo de 100 años	74
18.	Fotografía aérea del tramo evaluado para la construcción de los espigones.....	77
19.	Dibujo del diseño de los espigones.....	78
20.	Ejemplos del diseño en dos secciones del río Coyolate.....	79

TABLAS

I.	Departamentos y municipios de la cuenca del río Acomé	33
II.	Regiones hidrológicas para el análisis regional de crecidas.....	57
III.	Cuantiles de caudales modulares regionales, K, según curva envolvente superior.....	57
IV.	Caudales máximos para distintos periodos de retorno	59
V.	Registros y predicciones del caudal del río Acomé hasta un periodo de 100 años.....	60
VI.	Altura de bordas propuesta (período de retorno de 50 años)	75
VII.	Localización de las medidas de protección en el sitio I.....	77
VIII.	Estaciones que conforman el sistema de alerta temprana para inundaciones en la cuenca del río Coyolate	84

RESUMEN

Dentro del área de influencia del río Acomé se encuentran ubicadas varias fincas de producción de caña de azúcar, del ingenio La Unión principalmente, por lo que toma una gran importancia la construcción de medidas de protección contra inundaciones.

Se determinó que para la sostenibilidad de la cuenca es necesario gestionar las acciones vinculando los diferentes elementos naturales, sociales, políticos, económicos y tecnológicos.

Se analizó 2,800 metros dividiéndolo en 3 tramos diferentes, para los cuales se realizaron análisis de períodos de retorno de 10, 50 y 100 años. En el primer tramo se determinó que para los dos últimos períodos existe un alto riesgo debido a que no existen medidas de protección que contenga el crecimiento del río. Este mismo riesgo se ve reflejado para el segundo tramo para el período de retorno de 10 años.

Se identificaron las áreas propensas a sufrir inundaciones y se estimaron los niveles alcanzados por el agua en los diferentes escenarios, por lo que se sugiere el dimensionamiento hidráulico de las medidas de protección a construir, como los son las bordas y la utilización de espigones para estabilizar las curvas del río, así como también el establecimiento de una GIRH.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Durante la época lluviosa, en Guatemala se han presentado fuertes lluvias, depresiones tropicales (Doce-E, 2011), tormentas tropicales (Agatha, 2010), y huracanes (Mitch, 1998) y (Stan, 2005), dentro de los más recientes a estos fenómenos se le suman los efectos de tipo orográfico y convectivo, que provocan tormentas de poca duración y extensión, pero bastante intensas.

En el área estudiada, que comprende el municipio de la Gomera, Escuintla, existe una susceptibilidad a desbordamiento e inundaciones debido a que en años anteriores se han suscitado una serie de eventos naturales en los cuales se ha comprobado que existe un riesgo elevado a sufrir consecuencias devastadoras, principalmente en los centros poblados cercanos a los ríos, por lo cual se han evaluado periódicamente las secciones transversales de los ríos cada año, para poder realizar las medidas de protección necesarias y evitar así catástrofes en el futuro, como pérdidas humanas, pérdida en general de ganado y animales domésticos, destrucción de cultivos, deterioro y destrucción de bienes materiales e infraestructura, ya sea por el nivel que alcanza el agua o por la velocidad a la que esta circula.

Todo esto derivado de la falta de un proceso que promueva el manejo y el desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, conocida como Gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH), con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante de manera equitativa, sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales. La GIRH se entiende en el más amplio sentido, es decir, se trata de integrar visiones, actores y sectores; usos, aprovechamientos y obligaciones de conservación; el

manejo de las aguas superficiales, subterráneas y atmosféricas; la cantidad, calidad y comportamiento y su relación con los otros recursos naturales, la sociedad, la economía y el ambiente; y de vincular su gestión a los objetivos y metas de las políticas públicas.

Se hace necesario implementarlo, ya que es evidente que en Guatemala existe una gran cantidad de comunidades e infraestructuras vulnerables a las inundaciones y otros desastres. Ante la magnitud de la amenaza, son limitados los esfuerzos que se hace, por prevenir y mitigar los efectos de estos fenómenos. De igual forma, existen pocas cuencas en donde se han instalado sistemas de alerta temprana, diseñados para reducir el número de víctimas por un evento de inundación.

La construcción de obras para el control de inundaciones se realiza, principalmente, para evitar pérdidas humanas y la protección de recursos naturales o algún cultivo de interés económico para el área en estudio, por lo que es valioso conocer ¿cuál es el la obra de protección idónea para la Gestión integrada del recurso hídrico?

JUSTIFICACIÓN

Los centros urbanos del área en estudio tienen una escala de probabilidad alta de inundaciones en viviendas, áreas de cultivo, y ganaderas, como también daños a la infraestructura vial, debido a la cercanía de los ríos Coyolate y Acomé; dando como consecuencia la dificultad de las relaciones sociales y de comercio dentro del área de influencia del proyecto. Las aguas de ambos ríos son utilizadas para riego por poblaciones vecinas del área rural. Sin embargo, estos son muy vulnerables a la contaminación con desechos tanto sólidos como líquidos, lo que limita su utilización con fines de consumo humano, quedando, principalmente para riego, en especial para la caña de azúcar, alterando sus cauces y provocando serias consecuencias aguas abajo.

La GIRH es un modelo complejo, como de hecho la administración del agua en donde el planteamiento de soluciones únicas no tiene cabida debido a la multitud de dimensiones involucradas en su gestión y de respuestas a las más variadas situaciones, complicadas, además, en virtud de tratarse de un recurso natural móvil, espacial y temporalmente variable. Con la ejecución del proyecto se genera seguridad a la población del municipio de la Gomera, Escuintla, brindando un respaldo ante la ocurrencia de desastres naturales que provoquen inundaciones y desbordamientos de los ríos hacia viviendas, áreas de cultivo, ganaderas y daños a la infraestructura, mediante la construcción de obras de protección como las bordas y los espigones, en distintos tramos de los ríos Coyolate y Acomé.

Hipótesis

Hipótesis nula

El riesgo que corre el municipio de la Gomera, Escuintla, por la falta de una Gestión integrada de recursos hídricos no hace que las inundaciones o crecidas del río Acomé dañen a la población e industria.

Hipótesis alternativa

El riesgo que corre el municipio de la Gomera, Escuintla, por la falta de una Gestión integrada de recursos hídricos, hace que las inundaciones o crecidas del río Acomé dañen a la población e industria.

OBJETIVOS

General

Realizar una guía para la gestión del recurso hídrico para el control de inundaciones para el río Acomé del municipio de La Gomera, Escuintla, como medida de mitigación a la falta de una GIRH.

Específicos

1. Determinar la situación actual de la GIRH en el área de estudio.
2. Estimar por medio del análisis de inundabilidad, el riesgo y vulnerabilidad que corre el municipio de La Gomera, Escuintla al desbordamiento del río Acomé.
3. Usar el programa HEC-RAS para la modelación hidráulica del cauce del río Acomé.
4. Presentar propuestas de diseño para la construcción de obras de protección en los puntos vulnerables a desbordamientos, como medidas de solución.
5. Presentar una guía metodológica que oriente la construcción, operación y mantenimiento de obras de protección contra inundaciones.

ALCANCES

El presente estudio brinda información del riesgo y vulnerabilidad a inundación por falta de una GIRH que corre el municipio de La Gomera, Escuintla, por el cambio de la morfología natural del río Acomé, y además, propone medidas de protección desarrolladas en otros ríos de la misma zona costera.

Esta información puede servir para la gestión integrada de los recursos hídricos a las autoridades municipales y organizaciones no gubernamentales, que buscan el desarrollo de las comunidades.

LIMITACIONES DEL ESTUDIO

1. Ausencia de registros de caudales máximos o registros pluviales sobre los cauces de los ríos Acomé y Coyolate.
2. Para el análisis de inundabilidad del río Acomé se utilizó únicamente un tramo de 2 800 metros lineales.
3. Para la estimación del caudal de diseño se utilizó la metodología desarrollada por el INSIVUMEH que se genera a partir de siete distribuciones de frecuencia, lo que permite únicamente una estimación.
4. No existe un enfoque participativo que involucre a población y Gobierno Municipal en actividades que promuevan una debida GIRH.

1. ANTECEDENTES

El río Acomé era una fuente de vida muy importante para el municipio de La Gomera, Escuintla tanto en flora como en fauna, pero por el mal uso que las comunidades e industrias le han dado se está contaminado por los desechos sólidos y tóxicos, como también el riesgo a inundaciones por la construcción de obras de protección sin un estudio previo de impacto y la eliminación de la cobertura vegetal, esto se debe a la desinformación educativa que tienen la comunidad del cuidado de las fuentes fluviales y las consecuencias que esto puede traer, que denota una falta de GIRH.

Por la distribución de lluvias en el país existen meses con excesiva precipitación, adicionalmente la tala inmoderada de los bosques, la eliminación de la cobertura vegetal y la pavimentación de las zonas urbanas, están limitando aún más los efectos reguladores de la vegetación, incrementando las crecidas y reduciendo los caudales de estiaje al disminuir la infiltración, como lo sucedido en octubre de 2010, que debido a lluvias intensas se incrementó el nivel del río Acomé, inundando calles y viviendas del municipio de La Gomera, Escuintla. (Anexo 8).

La contaminación del río es debida al mal uso que se le ha dado a la basura por parte de algunos vecinos del municipio, ya que depositan la basura en sus orillas o incluso la tiran en sus caudales. Las principales fuentes de contaminación son, por una parte, las descargas líquidas, directas e indirectas, y por la otra, los basureros, tanto municipales como clandestinos, que se ubican en el área de recarga o en zonas aledañas a los cauces de los ríos. En algunos lugares el mismo río es utilizado como el medio de eliminación de los

desechos sólidos. La industria azucarera y avícola, envían sus desechos a través de ductos al río y eso genera insalubridad, agua con mal olor la cual crea una disminución considerable en la calidad del agua y eso a la vez resulta perjudicial para la salud de las personas que hacen uso de sus agua.

Otros factores que reflejan la falta de una GIRH son:

- No existe planificación y regulación en el crecimiento urbano, que permita construcciones en zonas de recarga.
- La operación y mantenimiento de los sistemas de agua potable y drenaje es deficiente.

De acuerdo al informe: Módulo protección y mantenimiento del río Acomé como fuente de preservación del recurso hídrico dirigido a la comunidad del municipio de La Gomera, Escuintla”, los principales problemas relacionados a la cuenca del río son:

- Desinformación educativa sobre el cuidado de fuentes hídricas
 - No existen programas educativos sobre la contaminación de ríos por desechos sólidos y tóxicos.
 - No hay uso adecuado de los desechos sólidos.
 - No hay apoyo a programas sobre el mejoramiento del río Acomé.
- Descuido ambiental
 - No hay concientización a la población sobre el deterioro del medio ambiente.

- No hay un control adecuado en la comunidad sobre el uso de pesticidas
- No hay un manejo adecuado en el reciclaje de desechos sólidos.

- Deforestación
 - No existe un plan para reforestación de áreas municipales.
 - No existe un control en la tala de árboles que se conservan en las riberas del río Acomé.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Desarrollo sostenible

A partir de los 70's, la humanidad empezó a darse cuenta de que muchas de sus acciones producían un gran impacto sobre la naturaleza, por ello algunos especialistas señalaron la evidente pérdida de la biodiversidad y elaboraron teorías para explicar la vulnerabilidad de los sistemas naturales (Boullón, 2006:20).

El término desarrollo sostenible, perdurable o sustentable se aplica al desarrollo socioeconómico y fue formalizado por primera vez en el documento conocido como *Informe Brundtland* (1987), fruto de los trabajos de la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas, creada en Asamblea de las Naciones Unidas en 1983. Dicha definición se asumiría en el Principio 3º de la Declaración de Río (1992). Es a partir de este informe que se acotó el término inglés *sustainable development*, y de ahí mismo nace la confusión entre si existe o no diferencia alguna entre los términos: desarrollo sostenible y desarrollo sustentable.

En el informe de Bruntland se definió cómo satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades.

El ámbito del desarrollo sostenible puede dividirse conceptualmente en tres partes: ecológico, económico y social. Se considera el aspecto social por la relación entre el bienestar social con el medio ambiente y la bonanza

económica. El triple resultado es un conjunto de indicadores de desempeño de una organización en las tres áreas.

Deben satisfacerse las necesidades de la sociedad como alimentación, ropa, vivienda y trabajo, pues si la pobreza es habitual, el mundo estará encaminado a catástrofes de varios tipos, incluidas las ecológicas. Asimismo, el desarrollo y el bienestar social están limitados por el nivel tecnológico, los recursos del medio ambiente y la capacidad del medio ambiente para absorber los efectos de la actividad humana.

Ante esta situación se plantea la posibilidad de mejorar la tecnología y la organización social de forma que, el medio ambiente pueda recuperarse al mismo ritmo que es afectado por la actividad humana.

2.2. Ecodesarrollo

Término utilizado por primera vez en la conferencia de Estocolmo en 1972, por Maurice Stongh, para dar a entender una idea de desarrollo económico y social que tomase en cuenta la variable ambiental.

El ecodesarrollo plantea una modalidad de desarrollo diferente a las actuales, poniendo énfasis en los estilos y características propias de los aspectos locales, tanto ecológicos, como socioculturales. Esta concepción fue ampliamente desarrollada por Ignaci Sachs, quien lo define inicialmente como: “una estrategia de desarrollo basada en la utilización juiciosa de los recursos locales y del saber hacer campesinos aplicables a las zonas rurales aisladas del tercer mundo”. A partir de lo cual se plantea que el ecodesarrollo ofrece oportunidades de cambio para las zonas rurales marginadas y posteriormente, de forma más amplia, se define como un estilo de desarrollo, que en cada

ecoregión, insiste en soluciones específicas para sus problemas particulares, teniendo en cuenta tanto los datos ecológicos como las necesidades inmediatas y a largo plazo. Se introduce así un instrumento claramente innovador. En este enfoque respecto a los anteriores: la preocupación por el medio ambiente.

Por tanto, el objetivo fundamental del desarrollo económico pasa a ser la sostenibilidad. El concepto de desarrollo sostenible fue discutido en la reunión preparatoria sobre medio ambiente humano celebrado en Estocolmo en 1972, y descrito por algunos autores durante los años 70, como R. Dassmann, J. Miltum y P. Traeman en su libro *Ecological principles for economic development*, después de la presentación del informe de la Comisión Mundial sobre medio ambiente y el desarrollo, conocido como “Nuestro futuro común” o simplemente informe Brundland 1987, en donde se dio a conocer el concepto de desarrollo sostenible bajo el enunciado siguiente: “Un desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus necesidades”.

El concepto ha sido difundido ampliamente después de la cumbre de Río en 1992, alcanzando amplia repercusión política y promoviéndose a niveles altos de decisión. Según la conocida definición de desarrollo sostenible planteada en el Informe Bruntland 1987, el crecimiento económico y el uso racional de los recursos naturales y del medio ambiente están vinculados desde una perspectiva meramente ecológica y se percibe como la interacción entre los sistemas económicos altamente dinámicos y los sistemas ecológicos menos cambiantes en la cual:

- La vida humana puede continuar indefinidamente.
- Los seres humanos como individuos pueden desarrollarse.

- Los efectos de las actividades humanas deben mantenerse dentro de unos límites que no permitan la destrucción de la diversidad, complejidad y funcionamiento de los sistemas ecológicos soportes de la vida.

Este informe propone como principio de una sociedad sostenible lo siguiente:

- Respetar y cuidar la comunidad de los seres vivientes
- Mejorar la calidad de la vida humana
- Reducir al mínimo el agotamiento de los recursos no renovables
- Mantener dentro la capacidad de carga de la tierra.
- Modificar las actitudes y prácticas personales
- Facultar a las comunidades que cuiden su propio medio ambiente
- Forjar una alianza mundial

Otros autores asociaban la sostenibilidad con la capacidad de carga de los sistemas para soportar el desarrollo de la humanidad, lo que implica que el sistema económico debe mantenerse dentro de los márgenes de capacidad de carga del mundo, entendiéndose la sustentabilidad como desarrollo sin crecimiento o como perfeccionamiento cualitativo sin aumento cuantitativos.

Diversos especialistas mencionan cuatro dimensiones del desarrollo sostenible:

- Socioeconómica
- Institucional-política
- Productivo-tecnológica
- Ecológica

Varias medidas han sido propuestas para alcanzar la sostenibilidad: análisis de costo–beneficio, capacidad de carga y rendimiento sostenible, pero han sido rechazadas también, por la dificultad de obtenerlas, así como lo inapropiado para establecer límites o variables, para ello se han definido dos grupos de variables.

- Variable que caracteriza la integridad ecológica: suelo, productividad biológica, biodiversidad, agua dulce y océano.
- Variables que caracterizan las aspiraciones humanas: necesidades humanas básicas (alimento, agua, salud y vivienda) combustible, cohesión y diversidad cultural.

Se plantea que, conociendo las aspiraciones humanas se puede construir los escenarios de las alternativas posibles, ya que las variables suelo, biodiversidad, cambian más lentamente para alcanzar la sostenibilidad, entonces se debe lograr una estabilidad en estas variables.

Luego de este análisis se puede llegar a un concepto de desarrollo sostenible propio: el desarrollo es un proceso de cambio multidimensional sostenido que trae consigo el mejoramiento equitativo de la calidad de vida de las personas, mediante el cual se procura el crecimiento económico, social en una relación armónica con la protección del medio ambiente, de modo tal que se satisfagan las necesidades de las generaciones actuales, sin comprometer la posibilidad de desarrollo de las generaciones futuras.

2.3. Gestión integrada de recursos hídricos (GIRH)

La Gestión integrada de recursos hídricos (GIRH) fue definida por el Comité Técnico de la Asociación Mundial para el Agua (GWP, por su siglas en

inglés) como: "Un proceso que promueve la gestión y desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante de manera equitativa, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas".

Enfoque GIRH en apoyo a optimizar el uso de los escasos recursos naturales y financieros.

- Contribuye a garantizar la coordinación de las inversiones entre distintos sectores, produciendo mejores resultados de lo que hubiera sido posible con un enfoque sectorial único.
- Realza las oportunidades que con frecuencia quedan oscurecidas por los planteamientos sectoriales. Por ejemplo, el examen conjunto de las necesidades del hogar en cuanto a agua corriente e instalaciones sanitarias y la seguridad del suministro alimentario puede dar lugar a maneras más eficaces de proporcionar agua para uso doméstico, industrias rurales, cultivos, ganado, acuicultura, en sistemas de uso único, a menudo por un costo adicional muy reducido.
- Ayuda a evitar inversiones equivocadas y costosos errores. La toma de decisiones basada exclusivamente en una visión sectorial de corto plazo puede resultar en errores muy caros, en forma de beneficios no sostenibles, consecuencias inesperadas y oportunidades perdidas.
- Contribuye a disminuir las repercusiones negativas del desarrollo socioeconómico asociado a un desarrollo no sostenible y el elevado costo que implica la reparación del consiguiente perjuicio ambiental.

2.4. **Gobernabilidad**

Se entiende por gobernabilidad a la capacidad de un gobierno de:

- Administrar recurso hídrico, se requiere conocer:
 - Cantidad, calidad, ubicación y temporalidad (sistema de información)

Se requiere disponer de:

- Organización, proceso, planificación y normativa (sistema de gestión)
- Proveer servicios, se requiere conocer:
 - Demanda, oferta, capacidad de pago e inversiones necesarias (sistema de información)

Se requiere disponer de

- Organización, proceso, planificación y normativa (sistema de gestión)
- Formular e implementar políticas y regulaciones efectivas, se requiere conocer:
 - Necesidades, marco legal, recursos disponibles e inversiones necesarias (sistema de información)

Se requiere disponer de:

- Modelo de gestión, proceso, normativa y capacidad de planificación (sistema de gestión)

2.5. Cauces

En la superficie de la Tierra existe una gran variedad de tipos de cauces. Su clasificación es bastante compleja, aunque básicamente se consideran tres tipos: rectos, meandrizados, trezados y anastomosados. Existen diferentes tipos de cauces, los más importantes se mencionan a continuación:

- Rectos: prácticamente no existen en la naturaleza, salvo cuando se produce un confinamiento del lecho por algún factor externo (ex. falla). A veces en los ríos anastomosados o en los meandrizados aparecen trozos de cauces rectos. Estos tramos presentan irregularidades denominadas *pools* (pozas) y *riffles* (umbrales). Sin embargo, incluso cuando las márgenes del canal son rectas, el talveg describe curvas que bordean barras laterales depositadas por la corriente. (Herrerías, Orengo, Pardo, & Segura).
- Meandrizados: describen un trazado sinuoso. Para medir la sinuosidad se suele emplear la relación entre la longitud del canal y la del valle. Los meandros se pueden caracterizar mediante una serie de variables que son la amplitud, la longitud y el radio medio de curvatura. Estos parámetros están relacionados de manera directa con la anchura del canal. La circulación del flujo en los meandros es ciertamente compleja. Muchos investigadores han demostrado que, en el lado externo de cada curva, hay un sobreelevación de la superficie del agua, que aumenta directamente con la velocidad y estrechez de la curva. Esto da lugar a la

formación de corrientes de retorno en el fondo, de modo que el flujo adquiere una forma helicoidal.

- **Trenzados o Braide:** están formados por un cauce único en el que se distinguen diversas barras y canal es entrelazado. Entre los diversos factores que explican el entrelazamiento de los cauces, se encuentran: una pendiente muy pronunciada, una gran carga de sedimentos, un material del lecho grueso, un caudal con fuertes fluctuaciones y una agradación rápida. Ninguna de estas condiciones explica por sí sola la formación de este tipo de cauces. Sin embargo, el carácter más grueso y poco seleccionado de los materiales del lecho, junto con un caudal que experimenta fuertes fluctuaciones, parecen ser factores particularmente favorables al entrelazamiento de los cauces. Esto se debe a que dichas condiciones provocan la deposición del material en el canal. El depósito se organizará en forma de barras, que se encuentran sometidas a erosión y a deposición durante las crecidas. Sin embargo, cuando son colonizadas por la vegetación se vuelven estables y permanentes. Otra característica de los cauces entrelazados es su elevado gradiente. Así, la pendiente elevada de estos cauces facilita el transporte de una carga elevada de materiales gruesos. (Herrerías, Orengo, Pardo, & Segura).
- **Anastomosados:** aunque en muchas publicaciones los cauces anastomosados se confunden con los trenzados, la principal diferencia entre ellos es que estos poseen varios cauces, y sobre todo, arrastran material fino. Son también característicos de zonas con fuertes oscilaciones de caudal. Es por ello, que son muy frecuentes al pie de los glaciares, donde la nieve se funde en pocos días, generándose fuertes crecidas. (Herrerías, Orengo, Pardo, & Segura).

2.6.1. Tipos de desastres naturales

2.6.1.1. Desastres generados por procesos dinámicos en el interior de la tierra

- Sismos: son los movimientos de la corteza terrestre que generan deformaciones intensas en las rocas del interior de la Tierra, acumulando energía que súbitamente es liberada en forma de ondas que sacuden la superficie terrestre.
- Tsunamis: movimiento de la corteza terrestre en el fondo del océano, formando y propagando olas de gran altura.
- Erupciones volcánicas: es el paso del material (magma), cenizas y gases del interior de la Tierra a la superficie.

2.6.1.2. Desastres generados por procesos dinámicos en la superficie de la tierra

- Deslizamiento de tierras: ocurren como resultado de cambios súbitos o graduales de la composición, estructura, hidrología o vegetación de un terreno en declive o pendiente.
- Derrumbes: es la caída de una franja de terreno que pierde su estabilidad o la destrucción de una estructura construida por el hombre.
- Aludes: masa de nieve que se desplaza pendiente abajo.

- Aluviones: flujos de grandes volúmenes de lodo, agua, hielo, roces, originados por la ruptura de una laguna o deslizamiento de un nevado.
- Huaycos: desprendimientos de lodo y rocas debido a precipitaciones pluviales, se presenta como un golpe de agua lodosa que se desliza a gran velocidad por quebradas secas y de poco caudal arrastrando piedras y troncos.

2.6.1.3. Desastres generados por fenómenos meteorológicos o hidrológicos

- Inundaciones: invasión lenta o violenta de aguas de río, lagunas o lagos, debido a fuertes precipitaciones fluviales o rupturas de embalses, causando daños considerables. Se pueden presentar en forma lenta o gradual en llanuras y de forma violenta o súbita en regiones montañosas de alta pendiente.
- Sequías: deficiencia de humedad en la atmósfera por precipitaciones pluviales irregulares o insuficientes, inadecuado uso de las aguas subterráneas, depósitos de agua o sistemas de irrigación.
- Heladas: producidas por las bajas temperaturas, causando daño a las plantas y animales.
- Tormentas: fenómenos atmosféricos producidos por descargas eléctricas en la atmósfera.
- Granizadas: precipitación de agua en forma de gotas sólidas de hielo.

- Tornados: vientos huracanados que se producen en forma giratoria a grandes velocidades.
- Huracanes: son vientos que sobrepasan más 24 kilómetros por hora, como consecuencia de la interacción del aire caliente y húmedo que viene del océano Pacífico con el aire frío.

2.7. Inundaciones

Guatemala es un país con tres vertientes: la más grande e importante en términos de inundaciones es la del Pacífico, la cual recoge la escorrentía de las cuencas que drenan la cadena volcánica y las tierras altas; la del Atlántico, que son los ríos que drenan hacia el norte y al mar Atlántico (México) y la más pequeña de todas, la del Caribe, que drena hacia dicha área.

Hasta el momento no se han definido las principales planicies de inundación por métodos reconocidos. El intento que se ha hecho es tratar de delinear las zonas que fueron inundadas durante el huracán Mitch en 1998 y la tormenta Stan en 2005, para con ello, tener el peor escenario de inundación del país.

La institución rectora en el tema es el Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), pero desafortunadamente tiene recursos humanos y financieros limitados. Se tiene también la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS) en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), en donde se imparte la Maestría en Hidrología aplicada incluyendo inundaciones. RAPCA 2003.

Las inundaciones se clasifican entre los fenómenos de inicio súbito, aunque su velocidad depende del tipo:

- Inundaciones repentinas.
- Inundaciones fluviales (en su mayoría estacionales).
- Inundaciones costeras, en relación con ciclones tropicales, maremotos o mareas de tempestad.

Los factores que influyen en su gravedad son la profundidad del agua, la duración, la velocidad, el ritmo de subida del agua, la frecuencia con la que se producen y la estación.

2.7.1. Factores modificadores de la vulnerabilidad

Factores naturales y de origen humano:

- Asentamientos situados en llanuras aluviales.
- Edificios y/o cimientos no resistentes.
- No existencia de medidas de protección de ríos.
- Ausencia de sistemas de alarma y de concienciación sobre el peligro de inundación.
- Escasa capacidad de la tierra para absorber la lluvia, por ejemplo, debido a la erosión o al revestimiento con cemento.

2.7.2. Principales causas de morbilidad y mortalidad

2.7.2.1. Repercusiones directas

En el caso de las inundaciones repentinas y costeras, la principal causa de muerte es el ahogamiento. También se pueden producir lesiones mortales durante la evacuación o las actividades de limpieza.

Se observan lesiones, pero generalmente consisten en pequeñas laceraciones o lesiones punzantes por restos de vidrios y clavos. Pueden producirse choques eléctricos.

A corto plazo, las inundaciones tienen escaso impacto en la transmisión de las enfermedades transmisibles, aunque sin duda existe un aumento del riesgo de enfermedades transmitidas por el agua y por vectores. No obstante, raramente se observan brotes de enfermedades transmisibles.

2.7.2.2. Repercusiones indirectas

El impacto en las infraestructuras sanitarias y demás sistemas esenciales para la supervivencia puede ser enorme y ocasionar escasez de alimentos e interrupción de servicios de salud pública básicos, como el abastecimiento de agua.

Teóricamente es posible la contaminación por productos químicos tóxicos durante las inundaciones, pero hasta ahora no se ha observado ni medido una correlación verificable. (12)

2.7.3. Medidas aplicadas en Guatemala para el manejo de inundaciones

Para el manejo y control de inundaciones se conocen en el mundo ampliamente una serie de medidas, cada una de las cuales, generalmente está orientada a uno de los elementos que constituyen una inundación. Y aunque en teoría todas pueden funcionar y cumplir con su cometido sin la existencia de las otras, en muchas ocasiones se implementan en conjunto de las mismas, por motivos de costos y seguridad.

Para que una inundación se considere dañina debe haber ocupación por el hombre en determinadas áreas; existe un tiempo entre la gestación de la inundación y la ocurrencia de la misma que es posible conocer; para que se dé una inundación es necesario que se superen los bordes de un cauce y, por último, para que lo anterior ocurra, es necesario que se dé una crecida. Así están relacionados los elementos que componen una inundación.

A estas medidas, cabría agregar la adaptación de los medios de vida del hombre a condiciones de inundación, tales como: viviendas elevadas y el uso de embarcaciones como medio de transporte. Todas las medidas anteriores, han sido implementadas en Guatemala de una u otra manera.

La Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED) región sur) informa que las comunidades del municipio La Gomera, están expuestas por el desbordamiento de la cuenca del río Acomé, debido a que en época de invierno, los propietarios de varios ingenios desvían el cauce, la misma para el riego de sus fincas y caña de azúcar; pero en época de invierno no realizan ningún tipo de trabajo en la cuenca de los ríos cercanos; las comunidades para evitar que ciertas áreas se inunden, se protegen con bordas

de arena, pero son destruidas cuando se inicia el sistema de riego del ingenio citado, por lo que se originan las inundaciones en aldea Texcuaco, Cerro Colorado, caserío Chontel, Las Cruces, El Paredón y El Naranja.

Para tener cierto control de dichas inundaciones, el municipio cuenta con organización comunitaria y las tres bases de radio con monitoreo permanente por parte de la sede regional de CONRED con el sistema de alerta temprana, como también de las inundaciones, se pueden originar distintos tipos de enfermedades, tales como: enfermedades de los pies, intestinales, respiratorias; además contaminación en los pozos de agua, debido a las inundaciones que alcanza nivel considerable de altura. Las comunidades que en los últimos años han sufrido más inundaciones son: aldeas Chontel, Sipacate y Texcuaco.

2.7.4. Sistemas de alerta temprana

Guatemala es uno de los países más vulnerables al cambio climático, prueba de ello los desastres ocurridos como consecuencia del Huracán Mitch y la Tormenta tropical Stan. De acuerdo con los informes de Acción contra el hambre: “En Escuintla entre el período de 1900-1989, 49 de 162 desbordamientos estaban relacionados con la cuenca del río Coyolate. Esto representa un promedio de una inundación cada 1,8 años”.

El análisis del cambio climático es importante para cualquier país, y especialmente, para Guatemala por ser más vulnerable al mismo. El análisis del cambio climático debe realizarse, ya que desde allí se determinan las medidas de adaptación, el costo financiero, ambiental, educativas y tecnológicas. Lo anterior debe hacerse aprovechando las medidas tecnológicas para determinar y actualizar los cambios. De esta forma se generan más

investigaciones que ayuden a mitigar los cambios. A partir de los estudios que se realicen, los mismos serán tomados en cuenta para la preparación y prevención ante desastres, incluyéndolos en la currícula educativa, la gestión de riesgo y la formación de más profesionales que puedan aportar mucho más potencial a las investigaciones en el país.

El Sistema de Alerta Temprana (SAT) consiste en una serie de monitores colocados en diferentes puntos del río con el objetivo de conocer y registrar la cantidad de fluido del mismo. Cuando el río cambia su nivel el monitor envía una señal por medio de tecnología GPRS y manda mensajes de texto a los celulares de personas que se encuentren dentro del área de riesgo, permitiendo también avisar a las autoridades, municipalidades y entidades gubernamentales. La tecnología que se utiliza es de bajo costo, lo cual permite ser implementada y reproducida en diferentes lugares.

Los sistemas de alerta temprana pueden ser:

- Comunitario: dependiendo del tipo de esquema de difusión puede ser:
 - o alerta local usando instrumentos rústicos, tales como rieles, campanas y aros: difusión masiva, con coordinación y operación de voluntarios.
 - o Ventajas: funciona a toda hora, sin baterías y sin fuente adicional de energía.
 - o Desventajas: alcance limitado, pero se puede extender poniendo más instrumentos para difundir la alerta a mayor cobertura. Limitado en la medida en la cual la alerta no llega de un poblado a otro.

- Alerta local usando emisora de radiodifusión de tipo local
 - Ventajas: funciona a toda hora, pero requiere voluntad de la emisora y control. Abarca múltiples comunidades simultáneamente.
 - Desventajas: se debe estar en sintonía de la emisora para escuchar alertas. Si no se está atento a la radio, pueden pasar desapercibidos los mensajes.

- Nacional o centralizado: alerta usando medios masivos de información
 - Ventajas: cobertura nacional con múltiples medios (radio, prensa y televisión).
 - Desventajas: por lo general, no promueven la difusión de alertas locales, sino mayormente a nivel nacional. No se concibe para eventos o fenómenos locales, sino para eventos que pueden abarcar varios departamentos o regiones simultáneamente.

- Aplicabilidad de los sistemas de alerta temprana

Para pensar en la implementación de sistemas de alerta temprana es necesario conocer con suficiente detalle los fenómenos naturales, los socionaturales y los antropogénicos, así como las señales precursoras pertinentes que acompañan a cada tipo de fenómeno. Por ejemplo, antes de una inundación es necesario que se presenten fuertes lluvias. En general, la generación de conocimientos en torno a los fenómenos y sus precursores es una actividad que llevan a cabo las diversas instituciones y observatorios de

carácter nacional o académico. Sin embargo, algunos de estos fenómenos son tan complejos, que no ha sido posible implementar sistemas de alerta temprana para ellos. En América Central son frecuentes los terremotos, las inundaciones y las erupciones volcánicas. Reconociendo que muchas poblaciones se ubican en sitios de alta amenaza, se ha considerado como una estrategia en la temática de la gestión para la reducción del riesgo el iniciar los esfuerzos en las etapas de preparación, donde los sistemas de alerta temprana son un ejemplo típico. Esto debido a que no se cuenta en la actualidad con las capacidades, recursos y condiciones adecuadas para iniciar las etapas de prevención y mitigación (Villagrán de León, 2003).

2.8. Software HEC-RAS

Es un programa de computadora que modela la hidráulica del flujo de agua a través de naturales los ríos y otros cauces. El programa es unidimensional, lo que significa que no hay modelado directo del efecto hidráulico de la sección transversal cambios en la forma, en las curvas, y otros aspectos de dos y tres dimensiones de flujo. El programa fue desarrollado por el Departamento de Defensa de EE.UU., Ejército del Cuerpo de Ingenieros para la gestión de los ríos, puertos y otras obras públicas bajo su jurisdicción, sino que ha encontrado una amplia aceptación por parte de muchos otros desde su lanzamiento público en 1995.

El Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC) en Davis, California, desarrolló el Sistema de análisis de río (RAS) para ayudar a los ingenieros hidráulicos en análisis de flujo de canal y llanura de inundación determinación. Incluye numerosas funciones de entrada de datos, componentes de análisis hidráulicos, almacenamiento de datos y capacidades de gestión y capacidades de gráficos e informes.

2.8.1. Funcionamiento

El procedimiento de cálculo básico de HEC-RAS para el flujo constante se basa en la solución de la ecuación de energía unidimensional. Las pérdidas de energía se evalúan por la fricción y la contracción/expansión. La ecuación de momento se puede utilizar en situaciones en las que el perfil de la superficie del agua se varía rápidamente. Estas situaciones incluyen saltos hidráulicos, hidráulica de los puentes y los perfiles de evaluación de confluencias fluviales.

Para el flujo inestable, HEC-RAS resuelve la dinámica, llena 1-D de Saint Venant ecuación utilizando un método de diferencia implícita, finito. La inestabilidad ecuación solucionador de flujo es una adaptación del paquete UNET del Dr. Robert L. Barkau.

HEC-RAS está equipado para modelar una red de canales, un sistema dendrítica o un solo tramo de río. Algunas simplificaciones deben realizarse con el fin de modelar algunas situaciones complejas de flujo utilizando el HEC-RAS enfoque unidimensional. Es capaz de modelar el flujo de régimen de flujo supercrítico y mixto subcrítico junto con los efectos de puentes, alcantarillas, vertederos y estructuras.

2.8.2. Uso

HEC-RAS es un programa de ordenador para el modelado de agua que fluye a través de los sistemas de canales abiertos y los perfiles de la superficie del agua de computación. HEC-RAS encuentra particular aplicación comercial en el manejo de llanuras de inundación y seguro de inundación estudios para evaluar las invasiones cauce mayor. Algunos de los otros usos son: puentes y alcantarillas de diseño y análisis, los estudios de diques, y los estudios de modificación de canal. Se puede utilizar para el análisis de incumplimiento

presa, aunque otros métodos de modelado son aceptados actualmente más ampliamente para este propósito.

2.8.3. Ventajas

HEC-RAS tiene méritos, en particular su apoyo por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE.UU., las futuras mejoras en curso, y su aceptación por parte de muchas agencias gubernamentales y empresas privadas. Es de dominio público y revisada por pares, y está disponible para descargar de forma gratuita desde el sitio web de la HEC. Varias empresas privadas están registradas como proveedores oficiales y ofrecen soporte de consultoría y agregar el software. También distribuir el software en países que no tienen permiso para acceder a los sitios web del Ejército de Estados Unidos. Sin embargo, la descarga directa de HEC incluye una extensa documentación, y los científicos e ingenieros conocedores de análisis hidráulico deberían tener pocas dificultades para utilizar el software.

2.8.4. Desventajas

Los usuarios pueden encontrar problemas de inestabilidad numérica durante los análisis inestables, especialmente en los ríos y quebradas empinadas y/o altamente dinámico. A menudo es posible usar HEC-RAS para superar los problemas de inestabilidad en los problemas del río. HEC-RAS es un modelo hidrodinámico 1-dimensional y, por lo tanto, no va a funcionar bien en entornos que requieren modelado multidimensional. Sin embargo, hay características incorporadas en que se pueden utilizar a la hidráulica multidimensional aproximados.

2.9. Ingeniería Naturalística (IN)

Es una disciplina técnico-científica que estudia las modalidades de uso, como materiales de construcción en intervenciones de control de erosión, de contención y recuperación ambiental, de plantas vivas, de partes de plantas o de asociaciones vegetales, a menudo en combinación con materiales orgánicos muertos (madera, etc.) y como materiales no orgánicos naturales (piedras, tierra, etc.) y sintéticos (hierro, plástica, etc.). (H. M. Schiechl) (Anexos 7 al 10).

- Finalidades de la Ingeniería Naturalística
 - Técnicas: control erosión, prevención deslizamientos, recuperación ambiental, disminución impactos de construcciones civiles.
 - Naturalísticas: no solamente de maquillaje verde, sino también de recuperación de ecosistemas naturales.
 - Estéticas y paisajísticas: de reconexión con el paisaje del alrededor.
 - Económicas y sociales: competitividad económicas con relación a las intervenciones clásicas de la ingeniería civil (muros, gaviones, etc.); las obras de Ingeniería naturalística suelen necesitar de mano de obra y de materiales locales.
 - Materiales vegetales vivos: semillas, estolones, estacas, plántulas, rizomas, chambas, etc.
 - Materiales orgánicos muertos: madera, fibras orgánicas (cabuya, coco, yuta, etc.), abonos orgánicos, etc.
 - Materiales no orgánicos naturales y sintéticos: piedras, gravas, hierro, acero, geotextil, redes plásticas, tubos, abonos químicos, etc.

En la Ingeniería Naturalística se utilizan plantas vivas, partes de plantas o asociaciones vegetales, a menudo en combinación con materiales orgánicos y materiales no orgánicos naturales y sintéticos, sin embargo, si las plantas faltan no se cumple su definición, en cuanto solo las plantas pueden remplazar, a lo largo del tiempo, a la madera, cumpliendo con la función de anclaje y evitando la erosión del suelo.

- Ventajas y desventajas de la Ingeniería Naturalística

Ventajas

- Acción antierosiva
- Acción estabilizadora dinámica
- Costos relativamente bajos
- Permiten la creación de hábitat para la fauna
- Favorecen la depuración del agua
- Aumentan la biodiversidad
- Conservan y mejoran el paisaje

Desventajas

- Necesitan un mantenimiento regular
- Hay factores limitantes
- Los resultados a veces no son inmediatos

3. MARCO REFERENCIAL

3.1. Información general del municipio de La Gomera, Escuintla

3.1.1. Aspectos históricos

El municipio La Gomera fue fundado en 1611, por el entonces capitán general del Reino de Guatemala don Antonio Peraza Ayala y Rojas, a quien se le dio el nombre de conde de La Gomera. El nombre de La Gomera se concedió en honor de una isla bajo el control de los pueblos españoles conquistadores que se llama así precisamente. La cabecera de este poblado estuvo originalmente en el lugar que hoy ocupa la aldea Texcuaco, la cual fue trasladada al lugar conocido como el Bebedero, debido a que varias inundaciones e incendios de grandes proporciones consumieron el antiguo pueblo, el traslado de esta cabecera se realizó conforme al Acuerdo Gubernativo del 11 de junio de 1913. Cuando se distribuyeron los pueblos del estado de Guatemala para la administración de justicia por medio del sistema de jurados decretados el 17 de agosto de 1896, La Gomera se adscribió para tal fin al departamento de Escuintla.

3.1.2. Localización del municipio

La Gomera se encuentra situado en la parte sur del departamento de Escuintla, en la región V o región central. Se localiza en la latitud 14° 05' 03" y en la longitud 91° 02' 55". Limita al norte con el municipio de Santa Lucía Cotzumalguapa, al sur con océano Pacífico, al este con los municipios de San

José y la Democracia, al oeste con el municipio de Nueva Concepción, todos del departamento de Escuintla (anexo 1).

3.1.3. Extensión territorial

Cuenta con una extensión territorial de 640 kilómetros cuadrados y se encuentra a una altura de 35 metros sobre el nivel del mar, por lo que generalmente su clima es cálido. Se encuentra a una distancia de 57 kilómetros de la cabecera departamental de Escuintla. Cuenta con una villa, la cabecera municipal La Gomera; 6 aldeas, 20 caseríos, 6 parcelamientos, 78 fincas y 10 colonias.

3.1.4. Identificación y descripción de cuencas

El municipio La Gomera se encuentra a orillas del océano Pacífico, por lo que existen varios afluentes que lo transitan y desembocan en este océano. Entre los ríos más importantes están: Achiguate, Coyolate, Acomé o La Gomera, Pantaleón, Cabezas de Toro, El Salto y Seco.

3.1.5. Topografía

La topografía del terreno del municipio La Gomera es de una franja a lo largo del océano Pacífico; también se identifican algunos accidentes orográficos, como las montañas de Rama Blanca y San Jerónimo.

3.2. Caracterización de la cuenca del río Acomé

Está localizada entre las cuencas de los ríos Coyolate y Achiguate, las cuales, junto con esta, forman un abanico aluvial de características similares. La

principal unidad geológica del área, está formada por arenas y grabas de granulometría variada, las cuales han sido depositadas durante el período Cuaternario, en esta unidad se encuentra el acuífero local, es más extenso que la delimitación de la cuenca hidrográfica y coincide con la forma y extensión del abanico aluvial que forman los ríos Coyolate, Acomé, Achiguate. El espesor de esta unidad alcanza más de 150 metros en las partes bajas de la cuenca, separada en algunos casos, por capas de arcillas cuyo funcionamiento hidráulico es el de un acuitardo. Debajo de esta unidad se encuentra rocas volcánicas oscuras, fracturadas, posiblemente andesitas, que constituyen una segunda unidad geológica, las cuales no están muy estudiadas debido a que en el área pocos pozos tienen profundidades mayores a los 180 metros.

El sistema de acuíferos en el que se encuentran las aguas subterráneas de la cuenca, está formada por un acuífero superior libre o freático, debajo del cual subyace un acuífero confinado por una capa de arcilla de pocos metros de espesor, los cuales presentan porosidad primaria, un tercer acuífero más profundo, confinado y con porosidad secundaria. Este sistema de acuíferos es de muy buena calidad el cual puede ser explotado con fines agrícolas e industriales con rendimientos de hasta 100 l/s, y rendimientos específicos altos (hasta 18 l/s/m). Con transmisividades de 900 a 2 500 m²/día. Las isofreáticas muestran un movimiento del agua de norte a sur, con fluctuaciones de 0,3 hasta 1 metros.

Los suelos de la cuenca tienen muy buena capacidad de infiltración que van desde 3,1 hasta 7 cm/h. lo cual se ve reflejado en un potencial de recarga de los acuíferos que alcanza 213 millones de m³ al año que equivale al 15 por ciento de la lluvia, siendo las partes altas de la cuenca las que presentan altos porcentajes de infiltración debido a que aquí se presentan las mayores precipitaciones. Mientras que en las partes bajas se presenta una mayor

evapotranspiración potencial y precipitaciones menores, principalmente en el bosque seco subtropical presente en una franja de aproximadamente 5 kilómetros a partir de la línea del mar.

Se estima que un 23,47 por ciento de esta recarga es aprovechada actualmente, por lo cual hay un excedente del 76,53 por ciento, lo que equivale a 163 millones de m³ al año que pueden ser aprovechados. El río Acomé es influente en la parte alta y media de la cuenca, mientras que en la parte baja es efluente, lo cual se determinó con base en aforos diferenciales.

La calidad del agua para uso agrícola según la clasificación de la FAO, presenta aguas de clase C1S1, C2S1 y C3S2; por lo tanto, se deben tomar precauciones al momento de la selección de especies vegetales, y las condiciones de drenaje y contenido de sales de las áreas a cultivar, cuando se utilicen las clases C2S1 y C3S1. La presencia de hierro y manganeso, deberá de ser estudiada más a detalle, debido a que es una limitante al utilizar presurizados con emisores de boquillas pequeñas.

El agua del acuífero superficial no es apta con fines de consumo humano, según Normas COGUANOR, debido a que existe una alta contaminación causada por la actividad humana y no recibe ningún tratamiento. En la mayoría de las muestras fue aislada la bacteria *escherichia coli*.

3.2.1. Área y localización

La cuenca hidrográfica del río Acomé está situada en jurisdicción del departamento de Escuintla. En los municipios de La Gomera, Siquinalá, Santa Lucía Cotzumalguapa y La Democracia. Pertenece a la vertiente del océano

Pacífico, se extiende desde la zona conocida como el pie de monte volcánico, hasta el océano Pacífico.

La cuenca está delimitada por las coordenadas geográficas: 13° 54' 00" y 14° 22' 00" de latitud norte; 90° 57' 00" y 91° 13' 00" de longitud oeste, la altitud se encuentra entre los 0,625 metros sobre el nivel del mar, aproximadamente. El área total de la cuenca es de 821,26 kilómetros cuadrados, la parte baja de la cuenca tiene como límite el océano Pacífico.

3.2.2. División administrativa

El territorio de la cuenca se encuentra en jurisdicción del departamento de Escuintla, y parte de los municipios de Santa Lucía Cotzumalguapa, Siquinalá, La Democracia y la Gomera, siendo este último el que ocupa la mayor parte de la cuenca (60 % del territorio). (Anexo 3).

Tabla I. **Departamentos y municipios de la cuenca del río Acomé**

Municipio	% Área
Siquinalá	3,15
Santa Lucía Cotzumalguapa	15,89
La Democracia	20,51
La Gomera	60,46

Fuente: SALGUERO, Marvin Roberto. *Estudio con fines de riego, de la cuenca del río Acomé, Escuintla, Guatemala* 2002. p. 18.

3.2.3. Hidrografía y relieve

Los ríos de Guatemala forman dos grandes sistemas hidrográficos:

- Los que desembocan en el océano Pacífico.
- Los que desembocan en el océano Atlántico. Esto da lugar a que se formen 3 vertientes principales.
 - Los ríos que desembocan en océano Pacífico forman la vertiente del Pacífico, y los que desembocan en el océano Atlántico se dividen en dos vertientes, la del Golfo de México y la del Caribe o del Mar de las Antillas.

Cada una de las vertientes está formada por un número de cuencas que corresponden a un cauce principal, el cual les da el nombre.

La cuenca del río Acomé está ubicada en la vertiente del océano Pacífico y el cauce principal es el río del mismo nombre, aunque cabe mencionar que paralelo a este se ubica el río Coyolate, que tiene longitud similar al Acomé, pero con menos cauces tributarios y que se une al Acomé en la parte baja de la cuenca. La desembocadura del sistema de cauces de agua superficial de esta cuenca es en su gran mayoría, el canal de Chiquimulilla, el cual colecta toda la escorrentía para luego desembocar en el océano Pacífico.

Los cauces superficiales de esta cuenca, se caracterizan por desplazarse en pendientes fuertes desde su nacimiento (600 msnm), lo cual determina que en época lluviosa tomen régimen torrencial, y a la vez transporten gran cantidad de sedimentos, principalmente materiales volcánicos recientes. A una altura de 300 msnm aproximadamente, existe un cambio de pendiente donde esta pasa

de fuerte a moderada, en todo este trayecto se ha producido erosión del cauce principal, con arrastre de materiales de origen volcánico de gran tamaño. A partir de la altura de 100 msnm la pendiente sufre un cambio y pasa de moderada a leve y desde este punto hasta su desembocadura del río arrastra materiales de menor tamaño y el lecho del río es preferentemente arenoso.

3.2.4. Zonas de vida y clima

En la cuenca del río Acomé se encuentran 3 zonas de vida:

- Bosque seco subtropical

Abarca una faja angosta de unos 3 a 5 kilómetros en la litoral del Pacífico que va desde la frontera con México hasta la cercanía de Las Lisas, en el canal de Chiquimulilla.

Las condiciones climáticas en esta zona se caracterizan por días claros y soleados durante los meses que no llueve y parcialmente nublados durante la época de enero-abril. La época de lluvia corresponde especialmente a los meses de junio a octubre, en que llegan a ser las precipitaciones más importantes en esta región. La precipitación varía entre 500 y 1 000 mm anuales y como promedio un total de 855 mm. La biotemperatura media anual para esta zona oscila entre los 19 y los 24 °C. la relación de evapotranspiración potenciales de alrededor de 1,5.

La topografía de esta zona es plana, con suelos de buena calidad, se pueden destinar a agricultura intensiva.

- Bosque seco subtropical

Esta zona corresponde a una franja que va desde El Salvador hasta México en la Costa Sur. Ahí se tiene un patrón de lluvias que van desde 1 200 a 2 000 mm anuales. La biotemperatura es de alrededor de 27 ° C y se tiene una relación de evapotranspiración del 0,95.

Los terrenos tienen, por lo general, una topografía suave, en la costa sur van desde 0 hasta 80 msnm. Los suelos corresponden a esta zona en la Costa Sur, son los más adecuados para fitocultivos y ganadería por tener suelos fértiles, profundos y bien drenados.

- Bosque muy húmedo subtropical (cálido)

Es la más extensa en Guatemala ocupando, también el primer lugar en usos, esta zona en la Costa Sur cubre una franja de 40 a 50 kilómetros de ancho que va desde Oratorio y Santa María Ixtahuatán en Santa Rosa, hasta la frontera con México.

El patrón de lluvia varía entre 2 136 y 4 237 mm anuales, promediando 3284 mm en la Costa Sur. Las biotemperaturas van de 21 a 25 °C en la Costa Sur y la evatranspiración potencial puede estimarse en promedio en 0,45.

La topografía de esta zona de vida va desde plana a accidentada. La elevación varía de 80 msnm hasta 1 600 msnm.

En la Costa Sur esta zona es la más indicada para dedicarla a fitocultivos, pues es la que posee los mejores suelos del país. (Anexo 5).

3.2.5. Suelos

El material sobre el cual se han desarrollado los suelos de la zona cañera de Guatemala, está constituido, principalmente por cenizas, lapilli, pómez y otros materiales piroclásticos; aportados por las erupciones volcánicas ocurridas en diferentes épocas, especialmente durante la Cuaternaria. Estos materiales de cenizas han sido transportados por el viento o removidos por las aguas de escorrentía y luego transportados por los ríos que descienden de la montaña, formando depósitos recientes o antiguos, gruesos o delgados, según como haya sido la dinámica eólica o aluvial durante el depósito y la relación con las emisiones volcánicas de los piroclastos.

Su disposición en la planicie está caracterizada por capas relativamente delgadas, de granulamiento media y fina. Las capas superiores están enriquecidas de materia orgánica himificada y son de colores siempre oscuros de espesores mayores de 2 centímetros, su densidad es baja (menos que 1). La minerología y granulamétrica de los materiales varían de un lugar a otro según su localización geográfica y la posición fisiográfica considerada, especialmente con la relación a las distancias al cono volcánico, lo cual es un factor que incide en los tipos y granulometría del material volcánico que se observa en la región. Al pie de los conos volcánicos se observan materiales gruesos, lapilli y escorias; en los lugares más apartados son las cenizas las que dominan.

El tipo y tamaño de los materiales que forman los suelos, dependen también del origen y caudal de las corrientes de agua que remueven, acarrear y depositan estos materiales.

Los sedimentos y aluviones depositados en alguna época, en un sitio determinado, es posible que hayan sido retomados, removidos, retransportados y redepositados posteriormente en otros lugares, debido a los cambios en la dinámica fluvial, en relación con los eventos volcánicos tan activos en esta región. Es por todos estos hechos que la complejidad de la región de estudio es grande y no es fácil explicar la génesis de los suelos con exactitud.

3.2.6. Subcuencas

De acuerdo a la clasificación realizada por el MAGA (2010), se clasificaron las subcuencas de la cuenca del río Acomé, al nivel 8, de donde se dividen 4 subcuencas (anexo 5). La subcuenca de El Papayo ocupa un 26,09 por ciento del territorio, seguido de la subcuenca del río Seco con 18,59 por ciento, y las subcuencas Agüero y Cabeza de Toro con un área de captación similar, 6,73 y 4,43 por ciento, respectivamente.

3.2.7. Vulnerabilidad a inundaciones

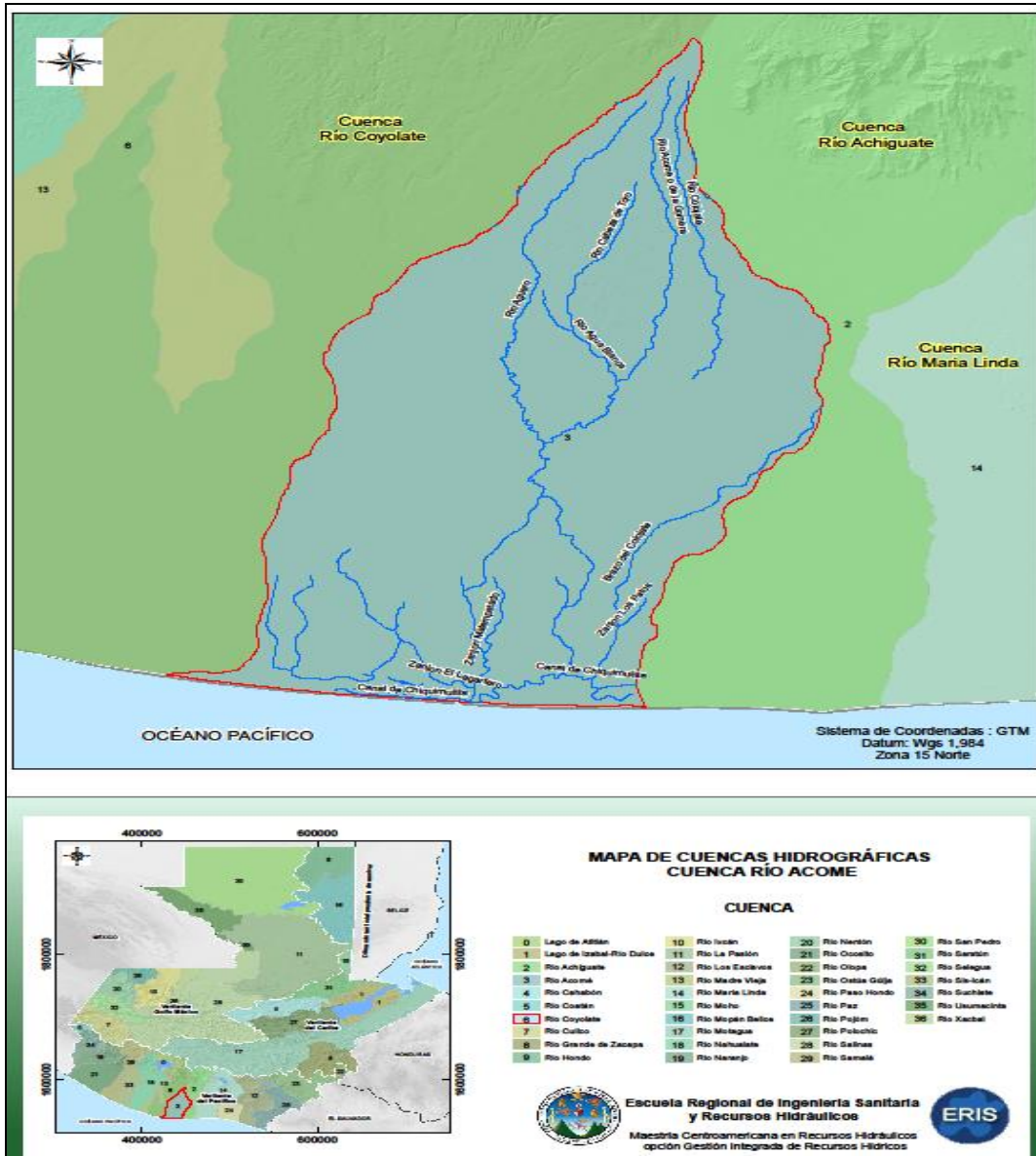
La Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED región sur, informa que las comunidades del municipio La Gomera, están expuestas por el desbordamiento de la cuenca del río Acomé, debido a que en época de invierno, los propietarios de varios ingenios desvían del cauce la misma para el riego de sus fincas y caña de azúcar; pero en época de invierno no realizan ningún tipo de trabajo en la cuenca de los ríos cercanos; las comunidades para evitar que ciertas áreas se inunden, se protegen con bordas de arena, pero son destruidas cuando se inicia el sistema de riego del ingenio citado, por lo que se originan las inundaciones en aldea Texcuaco, Cerro Colorado, caserío Chontel, Las Cruces, El Paredón y El Naranja.

Para tener cierto control de dichas inundaciones, el municipio cuenta con organización comunitaria y las tres bases de radio con monitoreo permanente por parte de la sede regional de CONRED con el sistema de alerta temprana, como también de las inundaciones se pueden originar distintos tipos de enfermedades, tales como: de los pies, intestinales, respiratorias; además contaminación en los pozos de agua, debido a las inundaciones que alcanza nivel considerable de altura. (Anexo 4).

3.2.8. Ríos

La longitud aproximada de las corrientes que integran el sistema de drenaje de la cuenca es de 768 kilómetros, naciendo en la parte más alta en la subcuenca Xayá y desembocando en el océano Pacífico. (Anexo 5).

Figura 2. Mapa hidrológico de la cuenca del río Acomé



Fuente: elaboración propia, empleando el programa Arc Gis 10.0

4. METODOLOGÍA

A continuación se describen los pasos para el diseño y mantenimiento de obras de protección contra inundaciones.

4.1. Diseño de obras de protección

4.1.1. Solicitud del requerimiento

- Se recibe una solicitud para el diagnóstico del lugar afectado.
- Procede a realizar el reconocimiento de campo para observar las condiciones del lugar y determinar el nivel de riesgo, apoyándose para ello en:
 - Planos topográficos (revisión de relieve del área afectada)
 - Fotografías e imágenes aéreas del lugar

4.1.2. Análisis de Información

- Análisis de daño y el riesgo que corre si no se construye una obra de protección.
- Elaboración del dictamen técnico, donde se resalta la vulnerabilidad del lugar (si es alta, media o baja).

4.1.3. Presentación del dictamen técnico

Se envía el documento para su revisión y autorización de la construcción de obras de protección si fuera pertinente.

4.1.4. Diseño de obras de control de inundaciones

4.1.4.1. Requerimientos iniciales de información

- Se utiliza información relacionada con:
 - Información hidrológica.
 - Registros de precipitación (caudal de diseño).
 - Ubicación del área afectada dentro la cuenca mediante georeferenciación con el uso de un GPS.
 - Ortofotos.
 - Longitud del tramo colindante con el área de estudio.
 - Orden de la corriente.
 - Recarga hídrica.
 - Área de influencia.
 - Distribución de precipitación, intensidad y frecuencia.

4.1.5. Levantamiento topográfico georeferenciado

Se refiere a planos de planta, perfil y secciones transversales del tramo donde se construirá la obra de protección con el uso de estación total y GPS.

4.1.5.1. Análisis fotogramétrico a detalle (escala 1:5000)

Con la ayuda de Sistema Información Geográfica (SIG):

- Mapa de elementos de agua (específicamente para la identificación de corrientes naturales).
- Mapa de vegetación.
- Mapa de infraestructura.

4.1.5.2. Verificación y toma de fotografías

Actividad que se realiza a nivel de campo de la información generada en gabinete, mediante:

- Sobrevuelo del área afectada y sus alrededores
- Recorrido vía terrestre para corroborar lo observado en el sobrevuelo

4.1.5.3. Análisis de inundabilidad y vulnerabilidad

- Para su realización se utiliza el modelo de tránsito hidráulico HEC-RAS (Hidrologic Engineering Center-River Analysis Sistem), donde se analiza el comportamiento del flujo del agua a través del cauce, que definen las características como: materiales, forma, orientación y dimensiones de las obras de control.
- Para la modelación del flujo de agua se ingresan información concerniente a: secciones transversales, distancia entre secciones,

coeficiente de rugosidad, definición de las orillas, caudales, registros de crecidas, datos de estructuras como puentes, vertederos y bocatomas.

4.2. Presupuesto de la obra

Se calcula la cantidad y tipos de materiales, maquinaria y mano de obra tomando como base las características y dimensiones de la obra.

4.2.1. Materiales

- Volumen tierra: se cuantifica utilizando curvas a nivel y estudios topográficos de secciones transversales.
- Concreto (cemento y sacos): se realiza la relación arena/cemento para los diferentes usos (sacos o jumbos) espigones y largo de la borda.
- Sacos (quintaleros, jumbo de 2 toneladas de capacidad).
- Otros: geotextil (lienzo de tela), geomembrana, pita rafle, alambre de hierro galvanizado, tenazas, gaviones.

4.2.2. Maquinaria

- Palanganas de acuerdo con lo estimado de arena o piedra que se necesita y su costo se calcula con base en la distancia recorrida.
- Excavadora: para actividades de recolección y carga se calcula el costo por hora de trabajo realizada.

4.2.3. Mano de obra

Se calcula tomando en cuenta los rendimientos del personal del área y la prioridad que se da a la construcción de la obra.

4.3. Ejecución de la obra

4.3.1. Requisición y traslado de materiales

Esta inicia con la cotización de materiales, en donde se debe evaluar la calidad y el precio, y además la capacidad del proveedor para satisfacer la demanda.

Replanteo de la obra: esta consta de 2 pasos

- La ubicación mediante coordenadas georeferenciadas
- El replanteo y marcaje de la obra mediante estacas

4.4. Construcción de la obra

Construcción de la borda:

- Es el límite lateral del cauce mayor del río (máximas crecidas a un periodo de retorno del río).
- Construcción de obras de restitución de orilla.
- Espigones de acuerdo con la borda que lo requiera para recuperación de orillas y se realiza durante el verano.

4.5. Evaluación de la construcción

4.5.1. Levantamiento topográfico final

Se realiza para determinar si todas las dimensiones del diseño de la obra coinciden o se deben ajustar, y se debe revisar:

- Relación de talud
- Corona
- Ubicación
- Espigones

4.6. Restauración del diseño de la obra de protección

Requerimientos de información:

- Plano de diseño original de la obra: se utiliza para consultar las características técnicas y dimensiones de secciones específicas de la obra.
- Replanteo de la obra mediante topografía.
- Construcción de la obra.

4.7. Control, operación y mantenimiento de obras de protección

4.7.1. Épocas de mantenimiento de obra

- Invierno: se monitorea la obra y se realizan trabajos para mitigar el daño causado por crecidas del río durante la temporada.
- Verano: es una evaluación más detallada de las condiciones de la obra, ya que en esa temporada no hay riesgos de desbordamientos y es más funcional realizar la construcción.

4.7.2. Diagnóstico del daño

Se realiza el reconocimiento de campo para observar el daño o deterioro de la obra y determinar el nivel de riesgo de vulnerabilidad de la obra tomando en cuenta:

- Planos topográficos (revisión de relieve del área afectada).
- Fotografías e imágenes aéreas del lugar.
- Reconocimiento de la sección o tramo de la obra afectada mediante el levantamiento topográfico.

4.7.3. Presupuesto de reparación

De acuerdo con el tipo de mantenimiento que se va ejecutar se realiza el estimado de los costos del mantenimiento a través de un presupuesto proyectado, cuantificando:

4.7.3.1. Materiales

- Volumen tierra, arena o piedra (m³).
- Cemento.
- Sacos (quintaleros y jumbo de 2 toneladas de capacidad).
- Otros: geotextil (lienzo de tela), geomembrana, pita rafle, alambre de hierro galvanizado, tenazas, canastas para gaviones.

4.7.3.2. Maquinaria requerida

En donde será importante conocer:

- Costos por distancia recorrida
- Costos por hora de trabajo realizada

4.7.3.3. Mano de obra

Se calcula tomando en cuenta los rendimientos y el tipo de mantenimiento que se va realizar en la obra, incluye directamente el personal que trabaja en la construcción.

4.7.4. Ejecución del mantenimiento (restauración de la obra)

4.7.4.1. Actividades de coordinación previa al inicio de la obra

- Requisición y traslado de materiales
- Maquinaria
- Mano de obra

Es importante presupuestar el personal una semana previa a dar inicio a los trabajos.

4.7.5. Replanteo de la obra

Sirve para ubicar al personal al momento de la construcción y consiste en:

- Ubicación de puntos mediante coordenadas.
- Trazos de la obra: alineación de puntos de la obra de acuerdo a lo establecido en el diseño.
- Marcaje de la obra: se coloca una estaca en cada punto de medición.

4.7.6. Mantenimiento de la obra

Se realiza la obra de mantenimiento planificada, que pueden ser:

- Fijación de orilla
- Mantenimiento de bermas
 - Restauración de dimensiones de obras manejo de cárcavas
 - Reparación y mantenimiento de espigones
 - Ampliación de cauce
 - Control de malezas a la obra
 - Mantenimiento de accesos

4.7.7. Seguimiento y control de las obras de control de inundaciones

4.7.7.1. Vigilancia de las obras de protección

Cuando inicia la época de invierno se realiza un programa de turnos para el monitoreo de los cauces y las condiciones de obras de protección, mediante turnos de 24 horas y la delimitación de tramos de 5 kilómetros por persona.

5. RESULTADOS

Mediante el seguimiento de las distintas fases metodológicas mencionadas en la sección anterior se obtuvieron los resultados que se describen a continuación:

5.1. Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH)

Recibe este nombre a las acciones que promueven el desarrollo coordinado y el manejo de agua, suelo y recursos relacionados, para maximizar el resultado económico y el beneficio social de una manera equilibrada, sin comprometer la sostenibilidad de ecosistemas vitales.

Este concepto incluye un desarrollo y un manejo coordinado de: la tierra, agua superficial, agua subsuperficial, la cuenca hidrográfica, su costa adyacente y el ambiente marino, así como, intereses de las partes altas y bajas de las cuencas. Se constituye en una herramienta para enfrentar los retos del agua y optimizar la contribución del agua para el desarrollo sostenible. La gestión integrada de recursos hídricos no es una meta en sí misma, sino un instrumento.

La propuesta de GIRH se basa en un conjunto de principios básicos cuya aplicación e interpretación se entiende dentro del contexto del desarrollo sostenible y buscan, fundamentalmente, equilibrar los objetivos de las demandas económicas, sociales y ambientales, articulando la gestión del agua al conjunto de objetivos y metas de las políticas públicas del país.

Como principios básicos, se plantean los siguientes:

El desarrollo sectorial debe insertarse en las estrategias de desarrollo, esto dará un marco político indispensable para las actuaciones sectoriales, facilitará la comprensión del carácter transversal del servicio para el desarrollo país y facilitaría los necesarios procesos de interacción y coordinación interinstitucional.

Debe promoverse una mayor participación ciudadana en los diferentes aspectos, para facilitar la búsqueda e implementación de soluciones novedosas y efectivas para su prestación en determinados casos, y para hacerlos aliados y actores en las tareas de planificación y control del río Acomé. El agua forma parte de un sistema mayor compuesto por otros recursos naturales.

Para regular el caudal de las aguas superficiales y la recarga de las subterráneas, la gestión del agua debe vincularse con los programas de protección y conservación del bosque y del suelo. Favorecer condiciones para lograr una mejor regulación de las fuentes de agua contribuye también, a la reducción de los impactos de amenazas naturales como sequías, deslizamientos e inundaciones.

El estudio plantea parte, precisamente de coordinar y potenciar acciones existentes relacionadas con la conservación del agua, parte de las medidas forestales, de medidas de protección, de áreas protegidas y de uso del suelo.

5.1.1. Diagnóstico

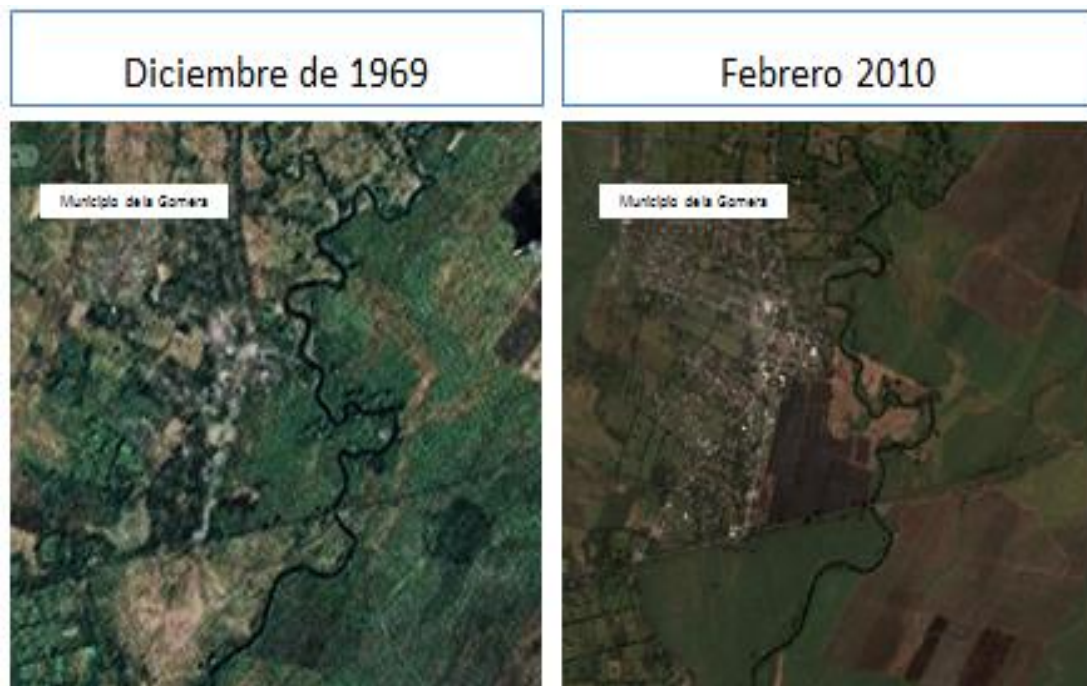
- Solicitud del requerimiento: dentro de los lugares afectados se pueden mencionar el municipio de La Gomera que colinda con el río Acomé. El

reconocimiento de campo se realizó, principalmente en un tramo de 2 800 m que colinda con el municipio.

- Análisis de información: apoyado con la información de los trabajos realizados por el ingenio La Unión en el manejo del cauce del río Coyolate, documentos técnicos y la experiencia personal, se realizó un análisis del área seleccionada.

A continuación se presenta un análisis histórico del cambio de la morfología del río con el uso de imágenes satelitales.

Figura 3. **Morfología original del río Acomé**



Fuente: Google Earth. Consulta 2013.

Figura 4. **Cambio de la morfología del río Acomé**



Fuente: Google Earth. Consulta 2013.

En las figuras 3 y 4 se puede observar el cambio de morfología del cauce del río Acome lo que puede afectar en los siguientes aspectos:

- Pérdida de hábitats y empobrecimiento de las comunidades biológicas:
 - Modificación de la granulometría y disposición de los sedimentos del lecho y orillas del río.
 - Modificación de la composición y estructura de las comunidades biológicas. Facilitación del asentamiento de especies exóticas.
 - Modificación de la superficie del cauce habitable útil para cada especie.
- Disminución de la dinámica fluvial y regeneración natural de las especies

- Eliminación de las avenidas ordinarias (morfología del cauce, regeneración de los hábitat, regeneración vegetación riparia).
 - Disminución drástica del caudal natural.
 - Modificación de la profundidad del agua, velocidad de la corriente, tensión de arrastre, etc.
 - Alteraciones de las características físico-químicas del agua.
- Aumento del riesgo hidrológico y daños por inundaciones
 - Presentación del dictamen técnico: la modificación de la morfología y la construcción de obras de protección dentro del cauce menor del río, representa un riesgo alto a inundación, porque la presión y la velocidad del agua pueden hacer colapsar la obra de protección y sufrir una inundación.

5.1.2. Información hidrológica y topográfica

- Registros de precipitación.
- Caudal de diseño para los periodos de retorno de 10, 50 y 100 años. (INSIVUMEH 2004).
- Topografía de las secciones en estudio.
- Ubicación del área afectada dentro la cuenca mediante:
 - Georeferenciación con el uso de un GPS
 - Ortofotos e imágenes satelitales Google Earth 2013
- Levantamiento topográfico georeferenciado:

Se realizó un levantamiento topográfico de 2 800 metros, con secciones transversales a cada 50 metros de 180 a 200 metros de ancho, con el propósito de generar planos de planta y perfil del tramo estudiado.

5.2. Cálculo del caudal de diseño (Metodología INSIVUMEH)

La metodología de la crecida índice parte del estudio regional de los datos de caudal. En un determinado territorio se establecen regiones hidrológicas a partir de las características morfológicas, climáticas y de uso de la tierra. Se agrupan todos los registros de caudal disponibles para cada una de las regiones hidrológicas, y se elabora una correlación entre el caudal máximo y la superficie de drenaje (Boni G. et al.2007).

Para cada una de estas regiones se han establecido ecuaciones de ajuste para determinar el caudal de crecida índice o estándar en una determinada superficie de drenaje. Este caudal de crecida índice se deberá multiplicar por un parámetro de ajuste en función del período de retorno para el cual se quiera determinar el caudal máximo. La cuenca del río Acomé se encuentra en la región hidrológica III (Pacífico suroriental).

El método regional desarrollado por INSIVUMEH parte de 7 distribuciones teóricas de frecuencia. La que mejor se ajusta para proporcionar resultados correctos es la curva envolvente, según INSIVUMEH.

Tabla II. **Regiones hidrológicas para el análisis regional de crecidas**

REGIONES	N	B	n
REGIÓN I: ALTIPLANO OCCIDENTAL	11	0,08	1,03
REGIÓN II: PACÍFICO SUROCCIDENTAL	10	84,00	0,24
REGIÓN III: PACÍFICO SURORIENTAL	10	0,26	1,04
REGIÓN IV: ALTIPLANO ORIENTAL	4	0,15	1,21
REGIÓN V: MOTAGUA	12	3,62	0,64
REGIÓN VI: POLOCHIC-CAHABÓN Y BAJO MOTAGUA	17	0,75	0,91
REGIÓN VII: PLANICIE DEL PETÉN	5	0,22	0,90
REGIÓN VIII: NCROCCIDENTAL	17	2,99	0,65

Fuente: Departamento de Investigación y Servicios Hídricos, INSIVUMEH, 2004.

Referencias: N: número de estaciones utilizadas. B y n: parámetros de ajuste de la Ec. $QMM=B A^n$ (A=área de la cuenca)

Tabla III. **Cuantiles de caudales modulares regionales, K, según curva envolvente superior**

Tr	REGIÓN							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1000	6,30	6,70	7,60	7,60	6,30	7,20	4,70	7,00
500	5,73	6,00	6,80	6,85	5,66	6,45	4,30	6,30
100	4,44	4,44	5,10	5,30	4,20	4,90	3,38	4,70
50	3,95	3,90	4,36	4,60	3,66	4,26	3,00	4,10
30	3,58	3,53	3,87	4,10	3,25	3,78	2,72	3,64
25	3,44	3,40	3,72	3,90	3,13	3,60	2,62	3,48
20	3,28	3,22	3,47	3,70	2,97	3,40	2,50	3,28
10	2,80	2,70	2,85	3,05	2,48	2,82	2,10	2,75
5	2,30	2,20	2,24	2,40	2,00	2,28	1,75	2,22
2	1,60	1,49	1,45	1,50	1,38	1,60	1,28	1,50

Fuente: Departamento de Investigación y Servicios Hídricos, INSIVUMEH, 2004.

Referencia: valores que pueden utilizarse cuando se deseen estimaciones mayores de caudales máximos, especialmente para períodos de retorno de 100 años o menos.

Para la estimación de los caudales máximos asociados a diferentes períodos de retorno, en cualquier sitio de interés, en cualquier región del país, se usa la Ecuación.

$$Q_{tr} = K_{tr} \times Q_{mm}$$

Donde

Q_{tr} = caudal para el período de retorno Tr

Q_{mm} = la crecida índice

K_{tr} = crecida modular (o estandarizada)

Q_{mm} = estimación de la crecida índice y se obtiene a partir de la ecuación:

$$Q_{mm} = B \times A^n$$

Donde

A = área del drenaje

B y n = parámetros estadísticos contenidos en el cuadro 2

Para la región a la que pertenece la cuenca de interés K_{tr} se obtiene de acuerdo a la región y la curva de frecuencia que se estime conveniente. Por ejemplo, la curva regional de frecuencia Gumbel o Log-Normal, o la curva regional envolvente. Para desarrollar los análisis de frecuencia de precipitaciones máximas y de picos de crecida, se utilizó la distribución de frecuencias de Gumbel, que está considerada como la clásica en hidrología para el análisis de eventos extremos. La distribución de Gumbel es una asimétrica de dos parámetros. Los parámetros que determinan la distribución son el promedio y la desviación estándar.

Para este caso en específico A es el área de drenaje $A=194 \text{ Km}^2$, B y n son parámetros estadísticos. La cuenca del Acomé se encuentra en la región III (Pacífico suroriental). Los valores de esta región son: $B = 0,26$ y $n = 1,04$. Mediante la fórmula se estimó un caudal de crecida índice igual a: $62,27 \text{ m}^3/\text{s}$

Este caudal de crecida índice se multiplicó por un parámetro modular para determinar el caudal para eventos con diferente magnitud o período de retorno.

$Q_{tr} = K_{tr} \times Q_{mm}$, el caudal para un periodo de retorno "tr" se calculó multiplicando el caudal de crecida índice por el parámetro K de dicho período de retorno.

Se obtuvieron los siguientes caudales de diseño para los periodos de retorno utilizados:

Tabla IV. **Caudales máximos para distintos periodos de retorno**

Tr (años)	K	Q (m ³ /s)
100	5,1	317,58
50	4,36	271,50
30	3,87	240,99
25	3,72	231,65
20	3,47	216,08
10	2,85	177,47
5	2,24	139,49
2	1,45	90,29

Fuente: Elaboración propia.

Se determinó que el caudal máximo en un periodo de retorno de 100 años puede alcanzar los 317,58 m³/s, lo cual triplica el caudal normal expresado en esta tabla por un periodo de retorno de dos años de 90,29 m³/s.

Por medio de la metodología anterior se determinaron los caudales máximos utilizados en el programa de hidráulica HEC-RAS, que permite calcular si un caudal se desborda del cauce o no, los periodos de retorno utilizados de 10, 50 y 100 años.

Tabla V. **Registros y predicciones del caudal del río Acomé hasta un periodo de 100 años**

Cuenca	Superficie (Km ²)	Estación	Crecida índice	T2	T5	T10	T50	T100
Acomé	194.02	La Gomera	62	90	140	177	272	318

Fuente: Elaboración propia.

5.2.1. Análisis de inundabilidad y vulnerabilidad

Para su realización se utilizó el modelo de tránsito hidráulico HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center-River Analysis System), Para la modelación del flujo de agua se ingresó la información concerniente a: topografía de secciones transversales, distancia entre secciones, coeficiente de rugosidad, definición de las orillas, caudales, registros de crecidas, datos de estructuras como puentes, vertederos y bocatomas.

Se analizó el comportamiento del flujo del agua a través del cauce, el tramo evaluado del río Acomé se compone de 2 800 metros lineales, dentro de

los datos requeridos para dicha modelación se encuentran: topografía (secciones transversales), y los caudales de diseño para los periodos de retorno de 10, 50 y 100 años expresados en m^3/s .

5.3. Resultados con el software HEC-RAS

Luego de realizar los análisis en el programa se presentan las secciones de los tramos más representativos, los cuales son:

- Tramo I. Área de La Gomera, Escuintla (borda construida de cemento)
- Tramo II. Parte media (sin modificar)
- Tramo III. Parte final: área del puente (alterada totalmente)

Figura 5. Tramo estudiado del río Acomé 2.8 kilómetros lineales

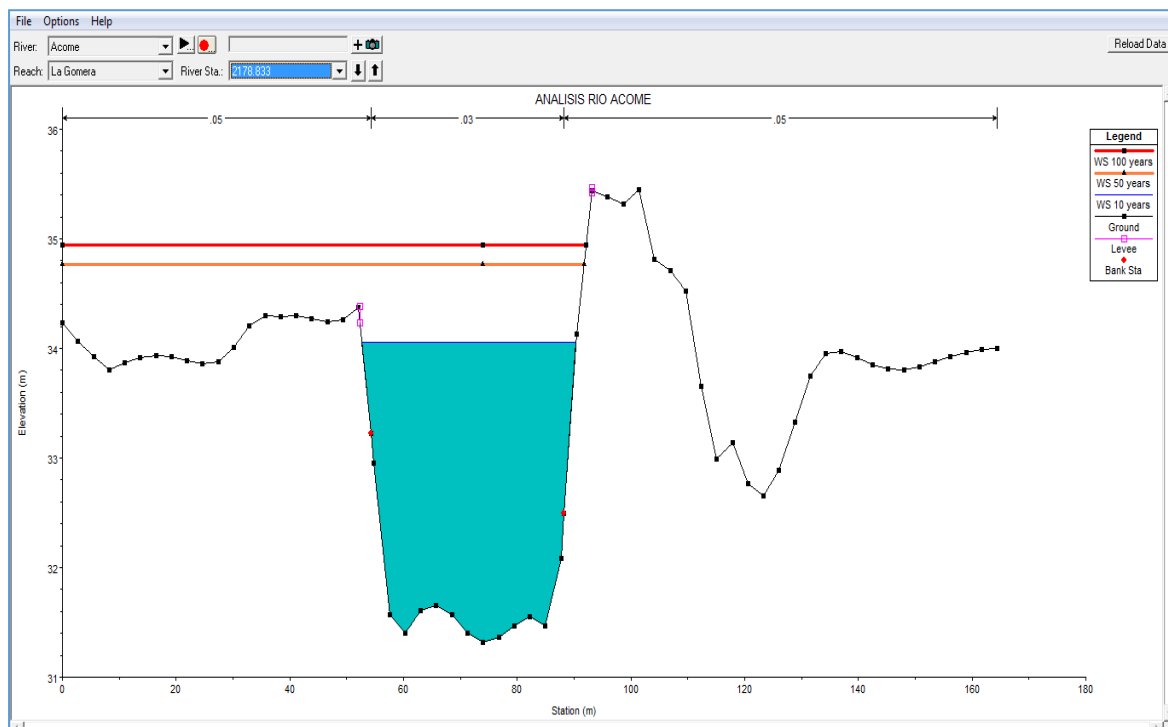


Fuente: Google Earth. Consulta: 2012.

En la figura 5 se observa el tramo de la sección del río Acomé evaluada, que comprende 2,8 kilómetros lineales, en donde se observa el río en color azul y el levantamiento topográfico con las secciones transversales en color marrón.

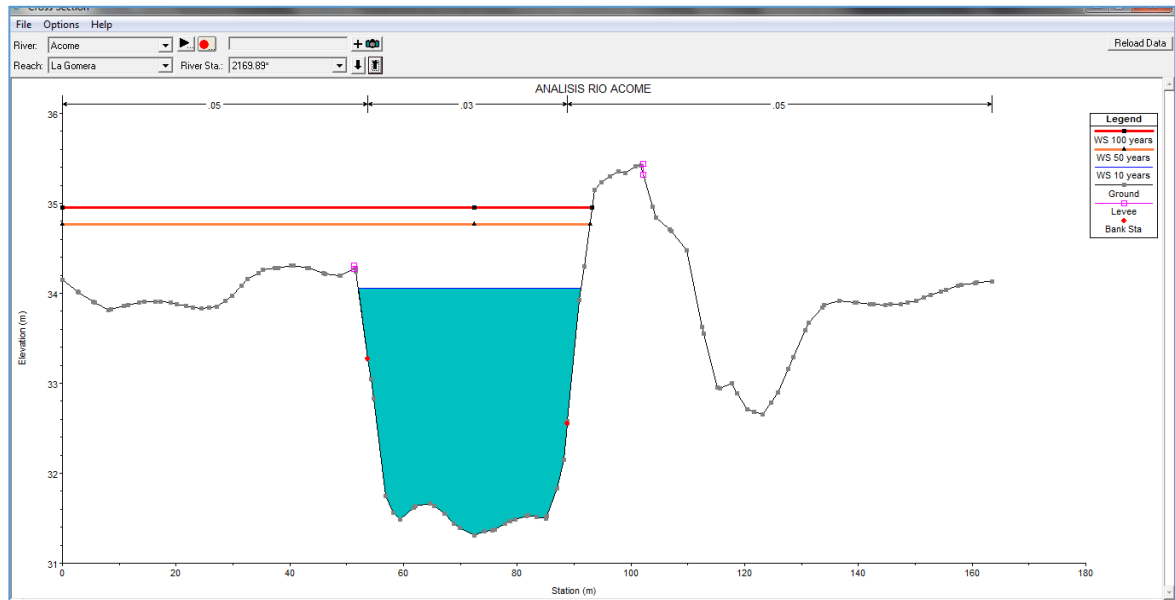
Área de La Gomera Escuintla

Figura 6. Sección transversal número 2178



Fuente: Elaboración propia, empleando el programa HEC RAS.

Figura 7. Sección transversal número 2169



Fuente: Elaboración propia, empleando el programa HEC RAS.

En las figuras 6 y 7 el color rojo indica el riesgo a inundación en un periodo de retorno de 100 años, en color naranja un periodo de retorno de 50 años, y el área coloreada de celeste indica la inundación en un periodo de retorno de 10 años.

En la sección de La Gomera se realizó la construcción de una borda sólida de cemento, sin embargo, con esto se modificó la morfología del río, modificando los meandros del mismo, no respetando el cauce mayor, reduciendo el área de despliegue del río aumentando así la velocidad del caudal.

El caudal es siempre variable, según el régimen hidrológico de la cuenca, y puede ser a una escala de tiempo estacional o bien restringido a un evento

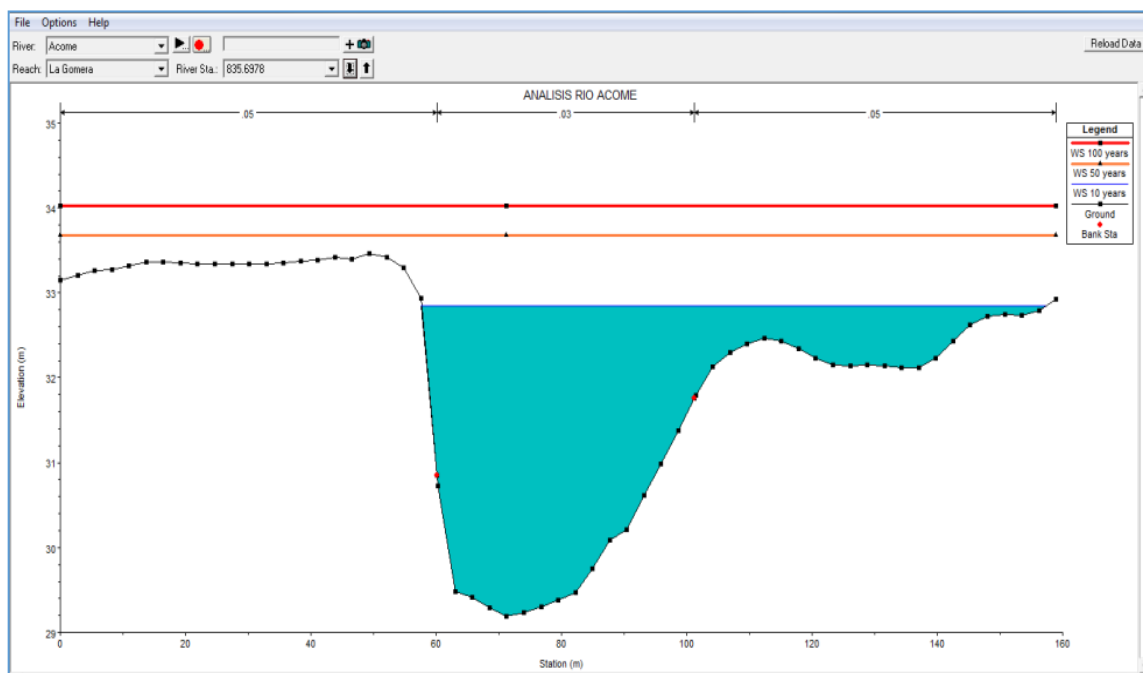
meteorológico. En general, la forma del cauce de un río responde a ciertos caudales de elevadas recurrencias (pero no extraordinarias).

Además, existen las crecidas extraordinarias las cuales pueden transformar la naturaleza o el curso del río (corte de meandros) otorgándole al mismo un comportamiento dinámico que responde a ciertos grados de libertad.

Las bordas construidas representan seguridad ante la inundación hacia el centro poblado, sin embargo, al modificar la morfología del río se corre el riesgo de que estas no soporten el golpe del río hacia las bordas, ya que se genera una alta velocidad y asimismo, alta presión en el presente tramo.

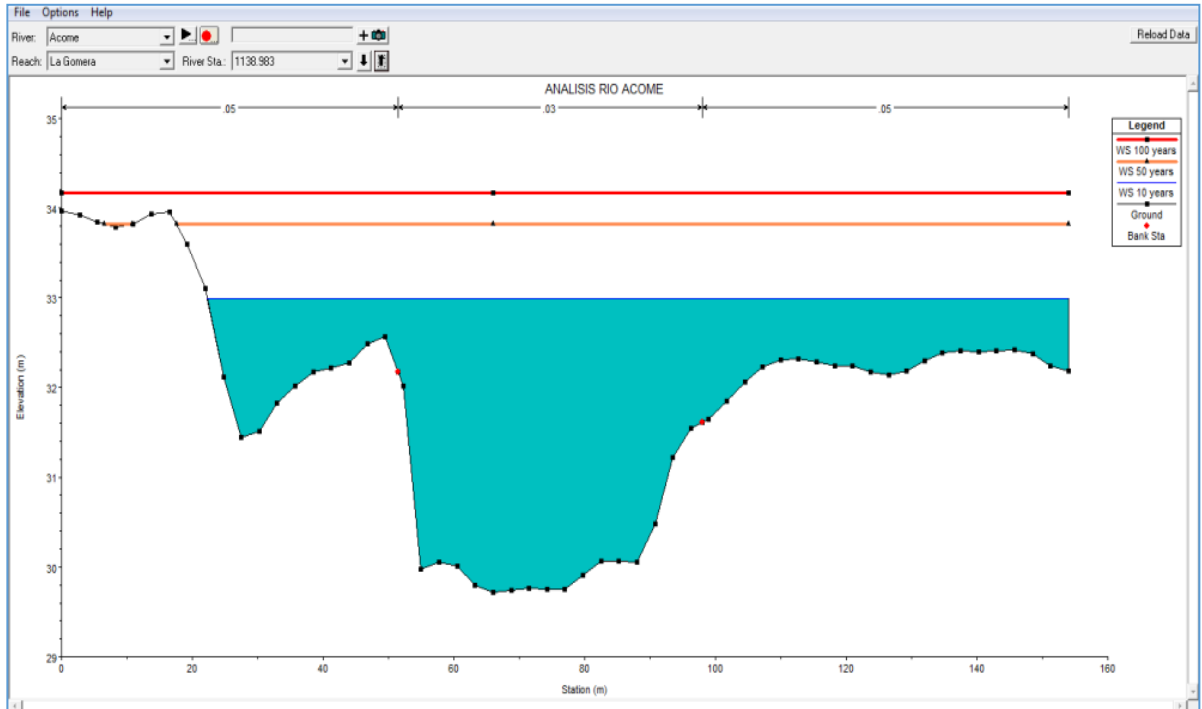
Sección media: parte ancha (sin modificar)

Figura 8. **Sección transversal número 835**



Fuente: Elaboración propia, empleando el programa HEC RAS.

Figura 9. Sección transversal número 1138



Fuente: Elaboración propia, empleando el programa HEC RAS.

En general se observa una sección amplia, con playa ancha, en donde se respeta el cauce mayor y menor, indicando también la necesidad de realizar obras de protección de algún tipo para evitar desbordamientos. La velocidad en dicha sección es relativamente baja comparada con las demás secciones evaluadas en el presente estudio.

La parte media representa la sección amplia del río, ubicándose en el medio del tramo, luego de la borda del municipio de La Gomera.

En las figuras 8 y 9 del lado izquierdo representa el área de cultivo, en donde la superficie del terreno no permite que se presente una inundación para

un periodo de 10 años, sin embargo, para 50 y 100 años se hace necesario evaluar la altura.

Sección final:

Área del puente (alterada totalmente)

En el área del puente se puede observar un efecto de cuello de botella, el río viene de un área hidráulica amplia y pasa a un de menor tamaño, esto debido a que se construyó el puente sin respetar el área del cauce mayor. Dentro de las repercusiones que esto conlleva se pueden mencionar: aumento de la velocidad del caudal, aumento en la presión del río, reducción del área hidráulica, el golpe aguas abajo es elevado, riesgo elevado a inundación en los poblados aguas abajo y destrucción de la carretera asfaltada.

5.4. Cálculo de las variables hidráulicas del río Acomé

- Análisis de las variables en ArcGis

Para realizar el análisis de la información generada en el software HEC-RAS, utilizando la topografía del lugar y los caudales de diseño se utilizó la plataforma del programa ArcGis llamada RAS mapping, obteniendo los resultados de las variables siguientes: velocidad (m/s), b= límites de inundación, d= profundidad o altura en cada punto, por lo que los resultados obtenidos se presentan a continuación:

5.4.1. Velocidad

Periodo de retorno de 10 años, un caudal de diseño de $177\text{m}^3/\text{s}$.

Figura 10. Velocidad del río Acomé para un periodo de 10 años

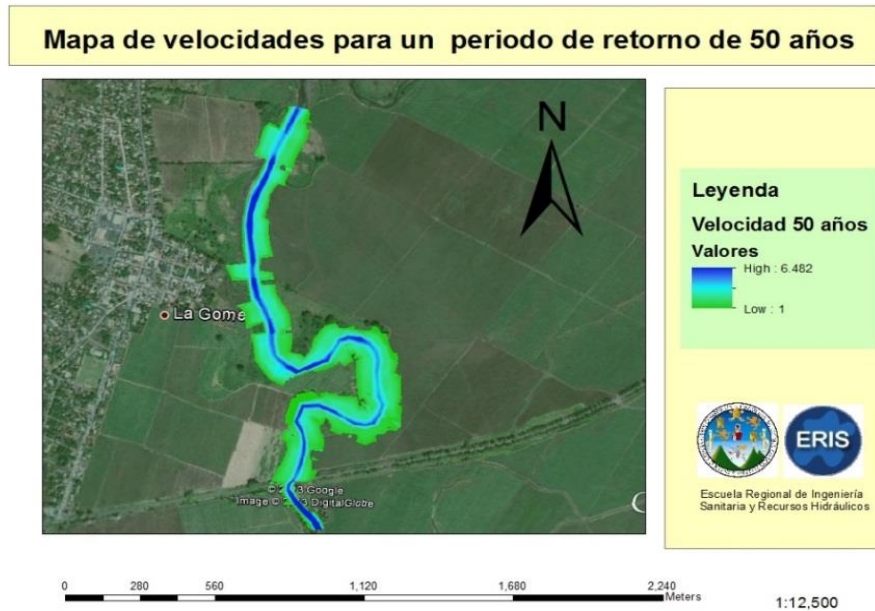


Fuente: Elaboración propia, empleando el programa Arg Gis 10.0

El máximo de velocidad para un periodo de retorno de 10 años es de 5,763m/s, asimismo, el mínimo que el río pudiera alcanzar en ese periodo es de 1 m/s.

Periodo de retorno de 50 años, un caudal de diseño de 272 m³/s.

Figura 11. Velocidad del río Acomé para un periodo de 50 años



Fuente: Elaboración propia, empleando el programa Arg Gis 10.0

Para un periodo de retorno de 50 años la velocidad máxima en metros por segundo es de 6,482 m/s asimismo, el mínimo que el río pudiera alcanzar en ese periodo es de 1 m/s.

Periodo de retorno de 100 años, un caudal de diseño de $318\text{m}^3/\text{s}$.

Figura 12. **Velocidad del río Acomé para un periodo de 100 años**



Fuente: Elaboración propia, empleando el programa Arg Gis 10.0

Según la figura 12 indica que para un periodo de retorno de 100 años la velocidad máxima en metros por segundo es de 6,746 m/s asimismo, el mínimo que el río pudiera alcanzar en ese periodo es de 1 m/s, presentando un aumento significativo y paulatino en referencia a los periodos anteriores.

5.4.2. Límites de inundación

Periodo de retorno de 10 años, un caudal de diseño de 177 m³/s.

Figura 13. Límites de inundación del río Acomé para un periodo de 10 años



Fuente: Elaboración propia, empleando el programa Arg Gis 10.0
 Periodo de retorno de 50 años, un caudal de diseño de 272m³/s.

Figura 14. Límites de inundación del río Acomé para un periodo de 50 años



Fuente: Elaboración propia, empleando el programa Arg Gis 10.0

Periodo de retorno de 100 años, un caudal de diseño de $318\text{m}^3/\text{s}$.

Figura 15. Límites de inundación del río Acomé para un periodo de 100 años



Fuente: Elaboración propia, empleando el programa Arg Gis 10.0

5.4.3. Profundidad del río

Otro dato que arroja el programa es la profundidad del río para las diferentes áreas de inundación, en donde se evidencia la necesidad de construir obras de protección en el límite del cauce mayor respetando la morfología del río.

Periodo de retorno de 10 años, un caudal de diseño de $177\text{ m}^3/\text{s}$.

Figura 16. Profundidad del río Acomé para un periodo de 10 años



Fuente: Elaboración propia, empleando el programa Arg Gis 10.0

Con base en la figura 16 las profundidades estimadas para un periodo de retorno de 10 años se registran dentro de las cantidades siguientes: máximo 4,7166 metros y un mínimo de 000036.

Periodo de retorno de 50 años, un caudal de diseño de 272m³/s.

Figura 17. **Profundidad del río Acomé para un periodo de 50 años**



Fuente: Elaboración propia, empleando el programa Arg Gis 10.0

Con base en la figura 17 las profundidades estimadas para un periodo de retorno de 50 años se registran dentro de las cantidades siguientes: máximo 5,52 metros y un mínimo de 0,00033.

Periodo de retorno de 100 años, un caudal de diseño de 318 m³/s.

Figura 18. **Profundidad del río Acomé para un periodo de 100 años**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa Arg Gis 10.0

Con base a la figura 18, las profundidades estimadas para un periodo de retorno de 100 años se registran dentro de las cantidades siguientes: máximo 5,86 metros y un mínimo de 0,0014.

5.5. Diseño de las medidas de protección

Las medidas de protección pretenden ayudar a las personas potencialmente de sufrir inundaciones. Es necesario contar con una delimitación de zonas inundables bajo diferentes escenarios, datos que se presentaron en la sección anterior con el uso del software HEC-RAS, en los periodos de retorno de 10, 50 y 100 años.

Con esta información recolectada fue posible estimar los daños esperados para el área de interés y sobre todo recomendar que se eviten asentamientos humanos en zonas con alto riesgo de ser inundadas.

5.5.1. Dimensionamiento hidráulico para el sistema de bordas

Por lo anterior se proponen las siguientes dimensiones hidráulicas para el sistema de bordas en la sección del río Acomé:

El dato de alturas para el sistema de bordas en la sección del río Acomé que representa riesgo para el centro poblado de La Gomera, Escuintla con una población aproximada de 24 000 habitantes, se obtuvo del análisis con el programa HEC-RAS de 280 secciones transversales con un ancho promedio de 180 a 200 metros, que equivalen a un tramo de 2.8 kilómetros. La tabla 6 presenta las alturas de bordas para la sección evaluada, para un periodo de retorno de 50 años, que es un escenario adecuado que nos brindara mayor seguridad ante cualquier evento.

Para el estudio de las secciones se tomaron tramos representativos de acuerdo a los resultados del software HEC-RAS, con lo cual se puede inferir en las alturas de las bordas para todo el tramo evaluado.

Tabla VI. **Altura de bordas propuesta (período de retorno de 50 años)**

Sección	Altura del río	Altura de borda propuesta
Tramo I área de La Gomera, Escuintla (borda construida de cemento)	34,5	36,5
Tramo II. Parte media (sin modificar)	33,18	35,2
Tramo III. Parte final: área del puente (alterada totalmente)	30	32

Fuente: elaboración propia, con base a resultados de HEC-RAS.

La distancia entre bordas se debe hacer respetando el cauce mayor. Además se deben construir de un material arcilloso, porque este las hace más estables.

Con la Ingeniería Naturalística se reforzará los taludes en tramos críticos, principalmente, en las curvaturas o en tramos cercanos a centros poblados.

5.5.2. Diseño de espigones (río Coyolate)

Considerando los trabajos realizados presentados en el informe de plan de emergencia, se recomienda construir espigones con una separación de 50 metros entre cada uno, como se tienen construidos en el río Coyolate. Esta es una alternativa para estabilizar el cauce del río Acomé.

La construcción de los espigones del río Coyolate se recomendó bajo los siguientes parámetros:

- Si el tramo del cauce es recto se deberán construir los espigones en dirección perpendicular a este.
- Si el tramo del cauce presenta comportamiento en meandros estos deberán colocarse a 45° con respecto al cauce.

En relación al número de espigones debe ser siempre mayor que 2. En otros documentos, como el manual técnico *Obras de sistematización fluvial en torrentes y ríos con espigones*, de Mccaferri, recomiendan un mínimo de 4 espigones.

La cantidad de los espigones depende del tramo a ser protegido, al igual que la longitud y forma de los mismos. De acuerdo al espaciamiento de los

espigones se utiliza la siguiente forma de cálculo para determinar la cantidad de estos:

$$N = \frac{(E1 - E2)}{d} + 1$$

Donde:

N = número de espigones en cada margen

$E1$ = estacionamiento inicial

$E2$ = estacionamiento final

D = espaciamiento entre espigones

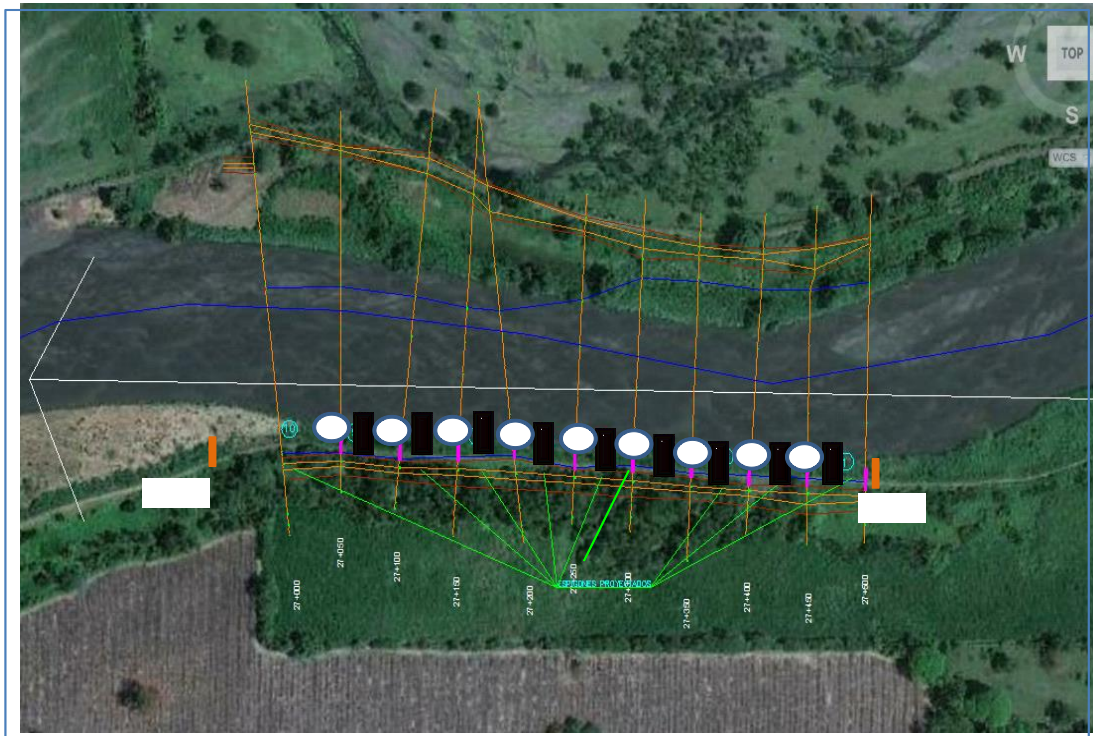
A continuación se presenta la tabla 7 en donde se indican las coordenadas de los espigones construidos en uno de los 2 sitios considerados como vulnerables en el río Coyolate. Tomando como base las necesidades observadas y al presupuesto evaluado, indicando la longitud de cada espigón.

Tabla VII. **Localización de las medidas de protección en el sitio I**

LOCALIZACION ESPIGONES SITIO 1					
ESPIGON	INICIO		FINAL		LONGITUD (m)
	NORTE	ESTE	NORTE	ESTE	
1	1566022.16	426706.29	1566037.04	426698.07	17.00
2	1565989.31	426664.86	1566011.83	426652.42	25.73
3	1565975.82	426622.27	1565992.25	426609.15	21.03
4	1565944.26	426582.72	1565957.77	426570.63	18.13
5	1565908.38	426545.67	1565923.40	426532.22	20.17
6	1565875.24	426509.84	1565888.85	426494.29	20.66
7	1565836.72	426479.31	1565843.86	426467.38	13.90
8	1565793.91	426456.88	1565802.45	426442.61	16.63
9	1565747.26	426433.83	1565757.94	426415.98	20.80

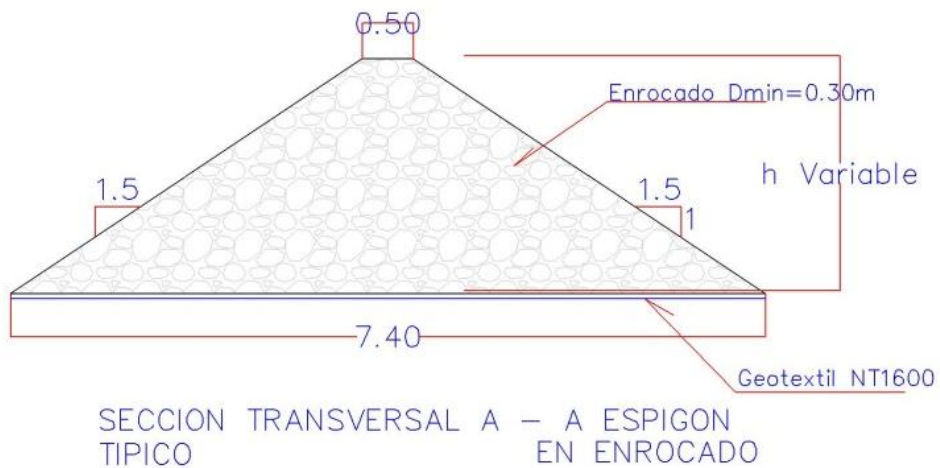
Fuente: Ingenio La Unión, S.A.

Figura 19. **Fotografía aérea del tramo evaluado para la construcción de los espigones**



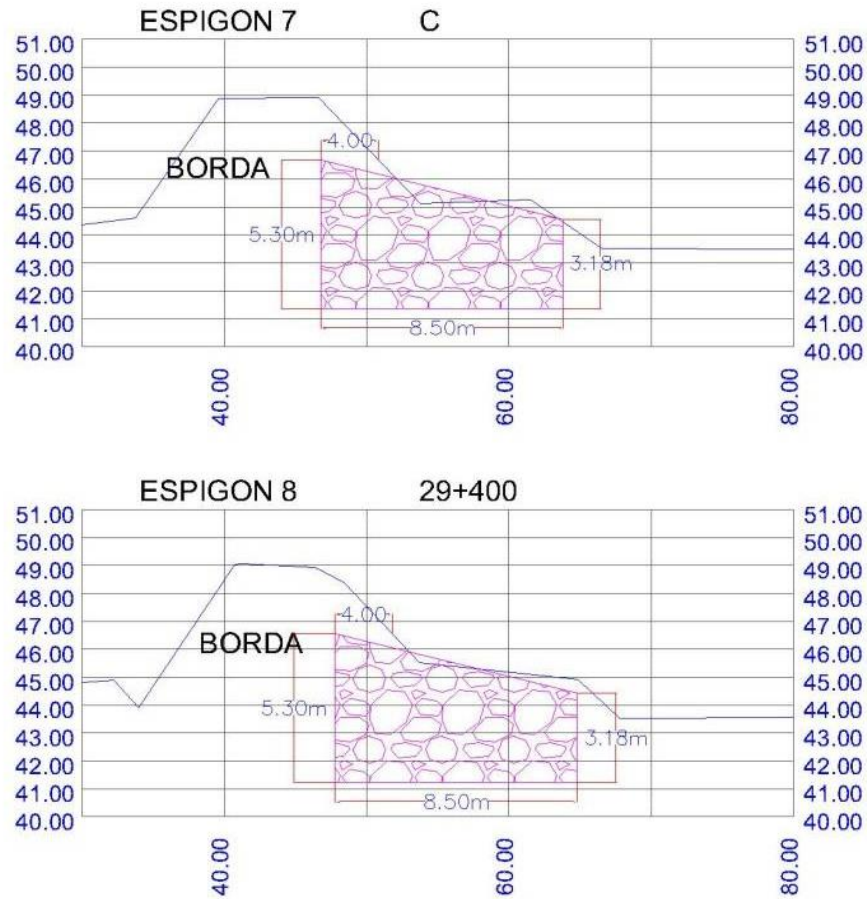
Fuente: elaboración propia, empleando el programa AutoCAD 2012.

Figura 20. **Dibujo del diseño de los espigones**



Fuente: Ingenio La Unión, S.A.

Figura 21. Ejemplos del diseño en dos secciones del río Coyolate



Fuente: Ingenio La Unión, S.A.

5.5.3. Socavación local en los espigones

En un río se distinguen varios tipos de socavación. Para el presente estudio se considera y se presentan los siguientes tipos:

- Socavación general: existe en la naturaleza, independientemente de las obras que el hombre puede construir en los cauces de los ríos, y obedece al descenso del fondo del río durante una creciente, como

consecuencia de la mayor capacidad que tiene la corriente para transportar sedimentos del fondo en suspensión.

La socavación máxima está representada por la siguiente ecuación:

$$H_s = \left(\frac{f H_o^{\frac{5}{3}}}{0.68} \times d_m \times 0.28 \hat{U} \times \beta \right)^{\frac{1}{(1+z)}}$$

$$f = \frac{Q_d}{(H_m)^{\frac{5}{3}}} \times B_e \times u$$

Donde:

Q_d = caudal de diseño de la creciente para una frecuencia definida (m³/s)

B_e = ancho efectivo de superficie libre (m)

H_m = tirante medio de la sección = A/B_e (m)

u = coeficiente de contratación. Es función de la velocidad media y del ancho efectivo

v = velocidad media (m/s)

f = coeficiente

H_S = profundidad del cauce alcanzado por la erosión (m)

H_o = profundidad del agua antes de socavación

S_r = socavación general en un punto (m)

β = coeficiente de paso, función de la frecuencia de la creciente

d_m = diámetro medio del material granular de fondo (mm)

$d_m = \frac{\sum d_i}{n}$

d_i = diámetro medio en mm

p_i = peso de dicha fracción en % del peso total de la muestra

z = exponente para suelos angulares. Depende de d_m

\hat{U} = coeficiente de arrastre de material en suspensión

- Socavación local al pie de estructuras: se presenta al pie de cualquier estructura que se interpone a la corriente, por ejemplo, al pie de pilas, estribos, espigones y tubería que descansan en el fondo. En algunos casos se produce por obstáculos rodeados por la corriente como en el caso de las pilas y en otros por obstáculos que solo desvían la corriente, pero que están ligados a la orilla. En este caso se incluyen los estribos y espolones. Esta socavación es importante de calcular teniendo en cuenta las obras que se puedan diseñar para el manejo de la estabilización de las orillas, como pueden ser muros, espolones, etc.

Para evaluarla se utiliza el método de Artamonov, que se representa por la siguiente ecuación:

$$S_T = P_\alpha P_q P_k d_o$$

Donde

S_T = profundidad máxima de socavación medida desde la superficie libre del agua, m.

P_α = coeficiente, que depende del valor del ángulo que forma el eje del espigón con la corriente.

P_q = coeficiente, que depende de la relación Q_1/Q , donde Q_1 es el caudal que teóricamente podría pasar por el lugar ocupado por el espigón si este no existiera, y Q total que se presenta en el río.

P_k = coeficiente, que tiene en cuenta el talud que tienen los lados del espigón.

Existe socavación en las obras de protección contra inundaciones, pero a pesar de ello en el río Coyolate le han brindado estabilidad al cauce en los últimos 5 años.

5.6. Sistema de alerta temprana de la cuenca del río Coyolate

De acuerdo a la tesis *Evaluación del sistema de alerta temprana para inundaciones, en la cuenca del río Coyolate*, en Guatemala se implementó SAT's, al igual que en las cuencas de los ríos Samalá, Madre Vieja, Coyolate, Achiguate, María Linda, Polochic, Motagua, Chixoy y en la subcuenca del río Pensativo. Este estudio puede servir de base para implementar un sistema similar para la cuenca del río Acomé.

El sistema inicia operaciones en 1997, empleando un año para el diseño y puesta en marcha del sistema. El mismo es de tipo comunitario, de tal manera que se cuenta con una red de observadores voluntarios. La información es transmitida a la CONRED por una red de radiocomunicación, así como a estaciones situadas en comunidades que típicamente se inundan, y a otras entidades que conforman el sistema, como la Cruz Roja, Cuerpo de Bomberos locales y alcaldías respectivas. Se han sistematizado precipitaciones y niveles de río que provocan inundaciones, lo que ha permitido establecer procedimientos simples para el pronóstico de crecidas. Las alertas entonces se emiten localmente una vez que se ha sobrepasado los niveles críticos de nivel de río en la parte media y se inician las operaciones de emergencia.

CONRED por su parte, da el mantenimiento técnico al sistema para mantenerlo operativo de manera permanente y realiza las ampliaciones que considera necesarias.

5.6.1. Estructura del sistema

El sistema de alerta temprana de la cuenca del río Coyolate está integrado de lo siguiente:

- Dos estaciones de vigilancia en la parte alta de la cuenca, ubicadas en San Pedro Yepocapa y San Rafael Sumatán, las cuales miden precipitación pluvial.
- Cinco estaciones de vigilancia y de confirmación de niveles del río en la parte media de la cuenca, ubicadas en Siquinalá, Santa Lucía Cotzumalguapa, Carrizal y El Naranjo, donde se mide precipitación pluvial, niveles de río y condiciones hidrometeorológicas.
- Siete estaciones de respuesta en la parte baja de la cuenca, ubicadas en las comunidades de: Texcuaco, Canoguitas, Santa Odilia, Chontel, Santa Ana Mixtán, Santa Marta del Mar y Santo Domingo Los Cocos.

En la tabla siguiente se muestra una descripción de las estaciones que conforman el sistema:

Tabla VIII. **Estaciones que conforman el sistema de alerta temprana para inundaciones en la cuenca del río Coyolate**

Estación	Tipo	Localidad	Coordenadas geográficas		Altitud (msnm)
			Longitud oeste	Latitud norte	
Delta uno	Vigilancia	Municipalidad Sta. Lucía Cotz.	91° 01' 15.37"	14° 19' 29.43"	375
Delta dos	Vigilancia	Parc. Sn. Rafael Sumatán	91° 02' 58.51"	14° 25' 01.08"	750
Delta tres	Vigilancia	Parc. El Naranjo	91° 08' 09.60"	14° 22' 36.17"	212
Delta cuatro	Vigilancia	Aldea El Carrizal	91° 08' 07.80"	14° 11' 12.51"	60
Delta cinco	Vigilancia	Aldea Cerro Colorado	91° 11' 54.13"	14° 09' 49.82"	40
Delta seis	Vigilancia	Río Cristóbal, km 91	91° 06' 33.11"	14° 19' 58.23"	275
Delta siete	Vigilancia	41 Cia. Cuerpo Bomberos V.	91° 01' 07.37"	14° 19' 25.43"	375
Delta ocho	Vigilancia	Municipalidad Sn. Pedro Y.	90° 57' 31.14"	14° 30' 01.18"	1,380
Base Ardilla	Respuesta	Aldea Texcuaco	91° 13' 36.94"	14° 04' 27.31"	22
Base Canoguitas	Respuesta	Aldea Canoguitas	91° 12' 44.68"	14° 08' 36.41"	38
Base Mariposa	Respuesta	Aldea Santa Odilia	91° 16' 48.10"	14° 01' 57.94"	12
Base Ratón	Respuesta	Caserío Chontel	91° 13' 36.58"	14° 31' 29.63"	12
Base Sta. Ana	Respuesta	Santa Ana Mixtán	91° 13' 56.88"	14° 07' 18.45"	29
Basa Sta. Marta	Respuesta	Aldea Sta. Marta del Mar	91° 18' 54.17"	13° 58' 19.47"	2
Base Los Cocos	Respuesta	Aldea Sto. Domingo Los Cocos	91° 14' 28.47"	14° 06' 59.75"	25

Fuente: Fuentes, Juan Carlos. *Evaluación del sistema de alerta temprana para inundaciones, en la cuenca del río Coyolate*. 2008. p. 78.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para la sostenibilidad de las cuencas es necesario gestionar las acciones vinculando los diferentes elementos naturales, sociales, políticos, económicos y tecnológicos. Con ello se podría medir el alcance de las acciones realizadas hasta la fecha, incluyendo lo realizado en este estudio, debidamente valorados cualitativa y cuantitativamente, y si dichas acciones contribuyen con la Gestión Integrada de Recursos Hídricos, ya que actualmente en el país no hay un índice que mida la sostenibilidad en los territorios y mucho menos para la cuenta del río Acomé.

Al hacer el análisis de los datos obtenidos por medio del sistema HEC-RAS, para el primer tramo estudiado se determinó que para un periodo de retorno de diez años no existe riesgo alguno de inundación, sin embargo, para 50 y 100 años existe un riesgo alto, a pesar de existir una borda construida, pero, el cambio en la morfología del río representa un riesgo alto de inundación, ya sea por la misma variación que presenta el cauce del río Acomé o bien de acuerdo a los datos obtenidos para los períodos de retorno de 50 y 100 años. En la sección media del tramo existe un riesgo alto de inundación para cualquier de los períodos de retorno calculados, debido a que es la zona más ancha del cauce del río y no existen obras de protección.

Los límites de inundación presentan una expansión significativa en los tres periodos de retorno evaluados, asimismo se puede observar la amplitud de los límites de inundación esperados para dichos periodos. Es importante mencionar que los datos obtenidos solamente son escenarios predictivos basados en caudales de diseño estimados, por lo que se pueden esperar

cambios significativos al existir cambios climáticos afectando el caudal de diseño del río para los periodos evaluados. En gran medida este riesgo es derivado de los cambios que se han realizado a la morfología del río Acomé.

Otra variable importante obtenida es la profundidad del río, que de acuerdo a los diferentes períodos de retorno se encontró que puede llegar a tener hasta un máximo de profundidad de 5,86 metros.

Analizando todas las variables y al dimensionamiento hidráulico se identificaron las áreas propensas a sufrir inundaciones, por lo que se sugiere construir bordas de material arcilloso en el área de La Gomera, Escuintla en la parte media del río y en el área del puente.

CONCLUSIONES

1. Se determinó que no existe una Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, por lo que se debe mejorar la calidad técnica de las obras construidas y administrar eficientemente el gasto público, con el propósito de generar condiciones favorables que resguarden a la población.
2. El estudio proporcionó el análisis de inundabilidad del área de interés, en donde es evidente la necesidad de rescatar y recuperar la morfología antigua del río, y además considerar la construcción de bordas en el límite del cauce mayor, la protección de taludes mediante la aplicación de técnicas de Ingeniería Naturalística y construcción de espigones.
3. Con el uso del programa HEC-RAS, se determinó la dinámica del río Acomé en los 2 800 metros evaluados. Para lo cual se consideró las secciones transversales del río a cada 10 metros y los caudales de diseño para una superficie de captación de 194,02 km². Análisis que proyectó la inundación para los periodos de retorno de 10, 50 y 100 años.
4. Se presentaron las propuestas de diseño para la construcción de obras de protección, en donde se resaltan sus dimensiones y ubicación de acuerdo al análisis de los diferentes periodos de retorno.

5. Con esta guía metodológica se busca orientar la construcción y mantenimiento de obras de protección contra inundaciones, tomando como base los principios técnicos y experiencia personal obtenida en la dinámica de los ríos, además se consideró las técnicas de Ingeniería Naturalística que busca la estabilización de taludes, conservar el paisaje y minimizar la inversión.

6. Se aceptó la hipótesis alternativa, en donde se afirma que existe una falta de Gestión Integrada de Recursos Hídricos, que hacen que las inundaciones o crecidas del río dañen a la población e industria.

RECOMENDACIONES

1. Generar mayor investigación en el área de estudio que permita conocer más detalladamente el estado de los recursos y las interacciones que estos poseen con las comunidades presentes en el área, con el fin de identificar las potencialidades, necesidades y riesgos a los que se encuentran expuestos.
2. Para la construcción de obras de protección para el control de inundaciones es necesario priorizar puntos críticos en donde se deban realizar las obras de forma inmediata, asimismo elaborar un listado de puntos para el monitoreo pertinente en las obras previamente establecidas, todas las actividades deberán estar encaminadas a la conservación y protección del recurso hídrico dentro del área para asegurar el bienestar de las comunidades locales y en general de la cuenca.
3. Informar a las autoridades municipales acerca de los riesgos que conlleva modificar el curso o la morfología del río, debido a que este conlleva una alta vulnerabilidad a inundaciones y desbordamientos aguas abajo.

BIBLIOGRAFÍA

1. ANLEU, Rafael. *Estudio de sistematización de la cuenca del río Coyolate*. Guatemala. 2010. 210. p.
2. BARRIENTOS, G.; ROJAS, J. *Presentación de conceptos básicos en la dinámica de los ríos*. Guatemala. 2007. 40. p.
3. CROCETTI, C.; FERRARI, R.; PETRONE A. *Proyecto estimación de vulnerabilidades y reducción del riesgo de desastre a nivel municipal en el Ecuador, sector La Floresta Quito*. Ecuador. 2012. 28. p.
4. FUENTES, Juan Carlo. *Evaluación del sistema de alerta temprana para inundaciones, en la cuenca del río Coyolate*. Trabajo de graduación de Ing. Agrónomo. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 2008. 109. p.
5. FRACASSI, Gerardo. *Obras de sistematización fluvial en torrentes y ríos con espigones*. Manual técnico. 2012. 85 p.
6. GUDIEL LÓPEZ, Brenda Yohanna. *Módulo de protección y mantenimiento del río Acomé como fuente de preservación del recurso hídrico dirigido a la comunidad del municipio de La Gomera, Escuintla*. Trabajo de graduación de Licda. en Pedagogía, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Humanidades. 2011. 121 p.

7. Helid.[enlínea][http:// www.helid.digicollection.org/en/d/Jh0182s/3.4.4.html](http://www.helid.digicollection.org/en/d/Jh0182s/3.4.4.html). [Consulta: febrero de 2013].
8. HERRERA IBAÑEZ, I.R. *Manual de hidrología*. Trabajo de graduación de Ing. Agrónomo. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, 1995, 223 p.
9. HERRERÍAS, M.; et al. *Operaciones en emergencias: riegos tecnológicos*. Valencia, España: Alfa Delta Digital S. L. 2000.
10. HOLDRIDGE, L. R. *Ecología basada en zonas de vida*. San José, Costa Rica: IICA. 1978. 216 p.
11. Instituto Geográfico Nacional, GT. *Mapa topográfico de la República de Guatemala: hoja Escuintla, No. 2059-IV*. Guatemala: IGN. Esc. 1:50,000. Color. 1965.
12. _____. *Imágenes SID*, Guatemala: IGN. Esc. 1:50,000. Color. 2001.
13. _____. *Ortofotos*. Guatemala: IGN. Esc. 1:8,000. 2006.
14. *Inundaciones. An overview de disaster management*. 2a ed. Geneva. United Nations Development Programme, Disaster Management Training Programme. 1992.

15. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.[enlinea]
http://www.insivumeh.gob.gt/folletos/Informe_STAIN.pdf
Guatemala: INSIVUMEH. [Consulta: febrero de 2013.]
16. MONTEJO, V. *Tormenta Stan en la Costa Sur, Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla*. 2005.
17. MUX CANÁ, Víctor Lionel. *Determinación del índice de sostenibilidad de cuencas de la parte alta del río Naranjo*. Trabajo de graduación de Ing. Agrónomo. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 2013. 54 p.
18. Redacurso.[enlinea] Blog. <deredacurso.blogspot.com/2010/10huracan-mitch-en-guatemala.html> [Consulta: 03 de febrero de 2013.]
19. SALAS, M. A. *Cuaderno de investigación, obras de protección contra inundaciones*. Centro Nacional de Prevención de Desastres CENAPRED, UNAM, México, D. F. 1999.
20. SALGUERO, Marvin Roberto. *Estudio con fines de riego, de la cuenca del río Acomé, Escluinta, Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Agrónomo. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 2002.

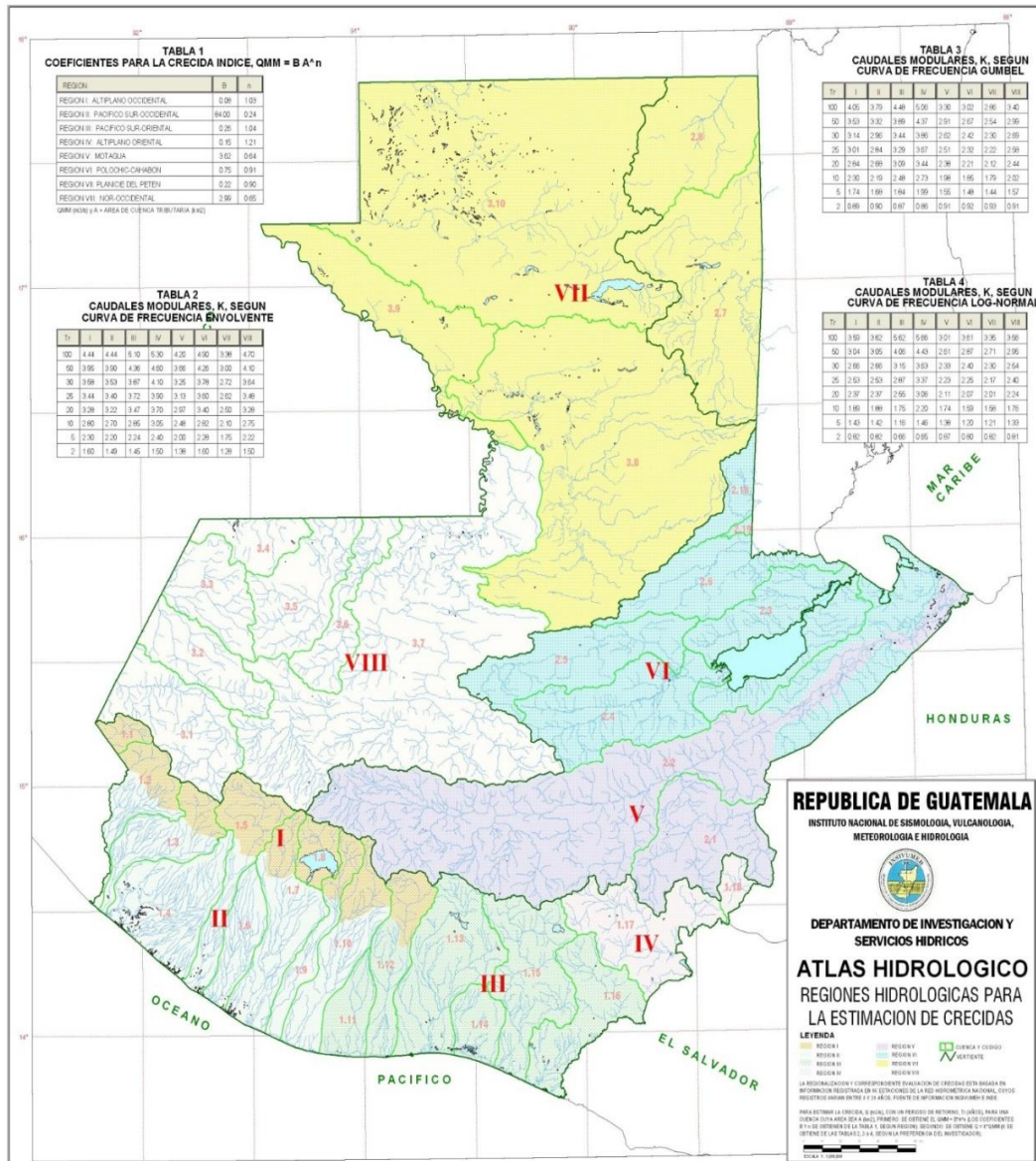
ANEXOS

Anexo 1. **Municipio de La Gomera**



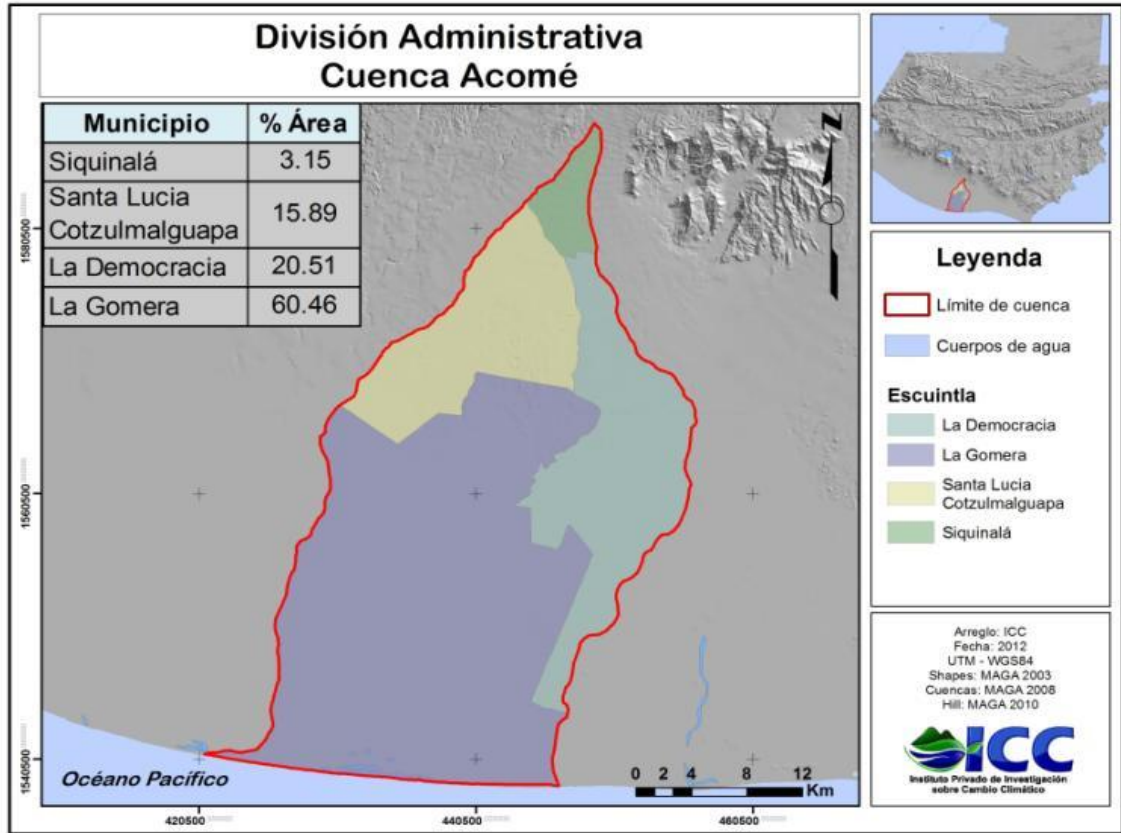
Fuente: Google Earth. Consulta: septiembre de 2013.

Anexo 2. Mapa de regiones hidrológicas para la estimación de crecidas



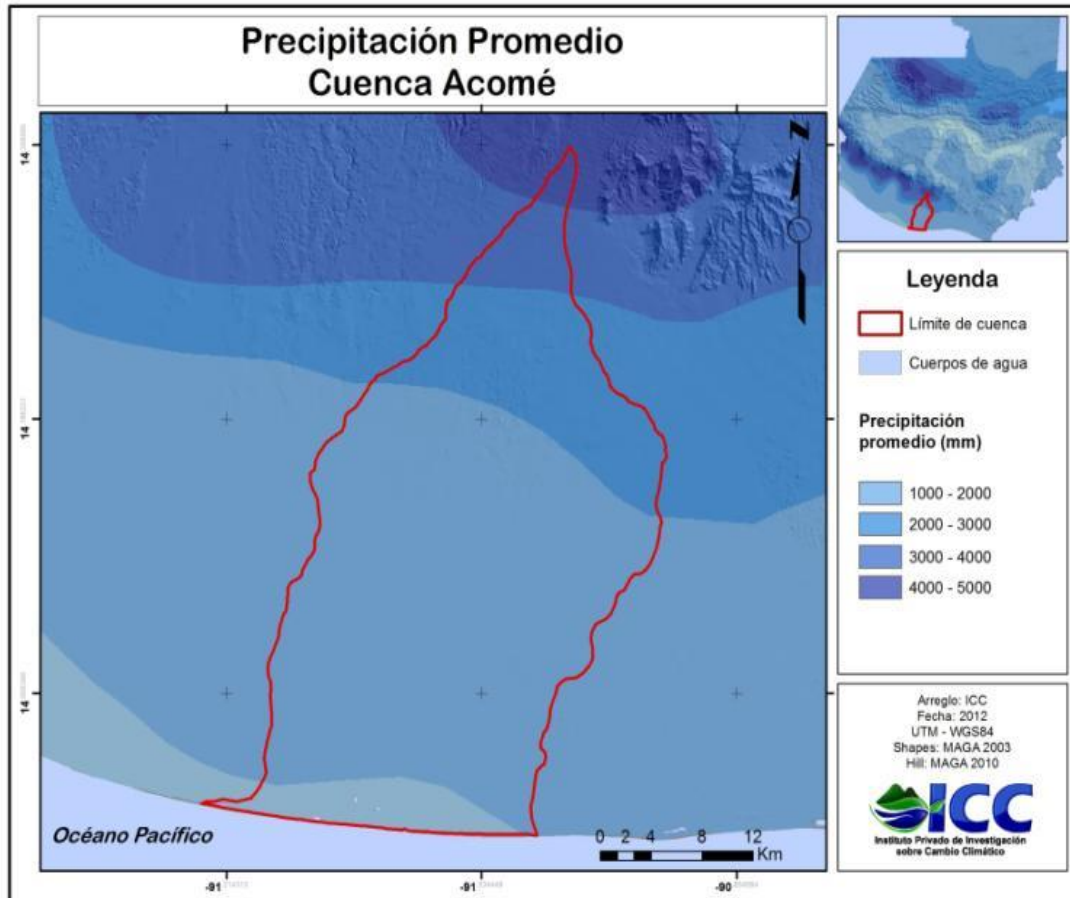
Fuente: INSIVUMEH.

Anexo 3. Distribución Administrativa rio Acomé



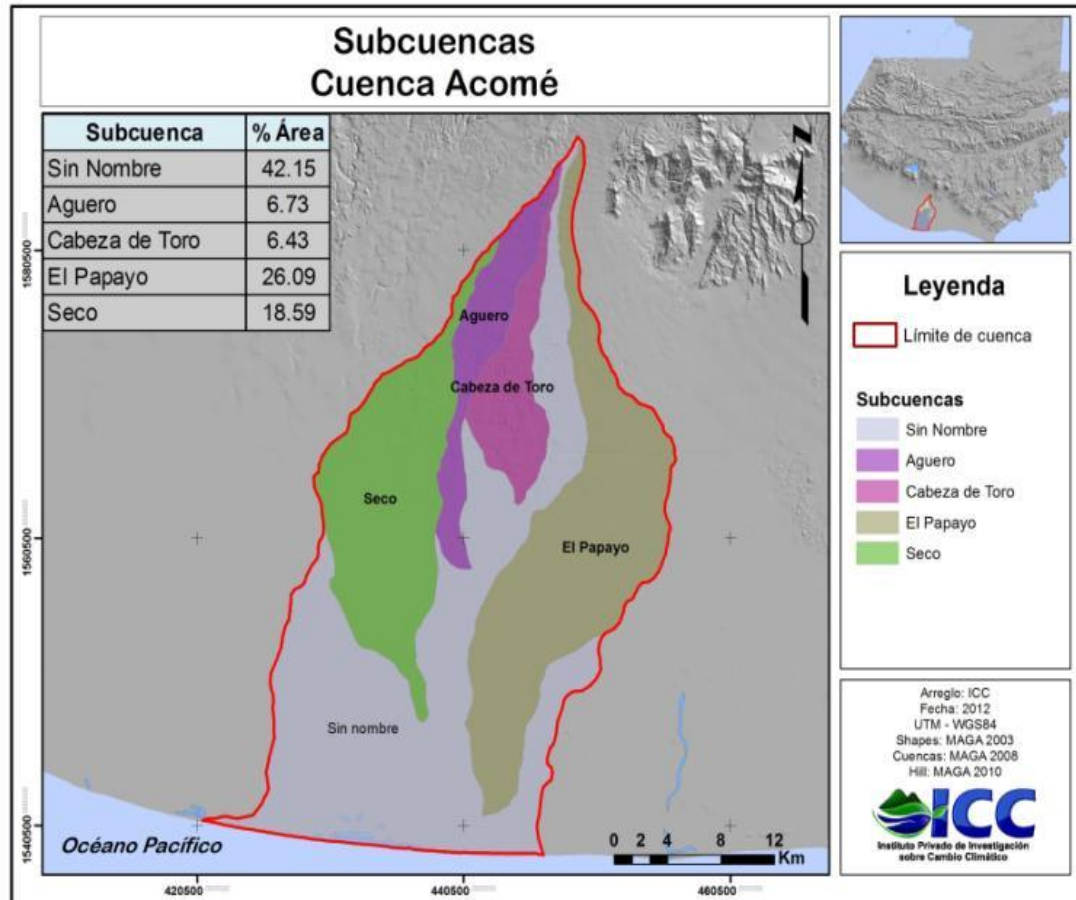
Fuente: Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, CENGICAÑA.

Anexo 4. Precipitación promedio para la cuenca del río Acomé



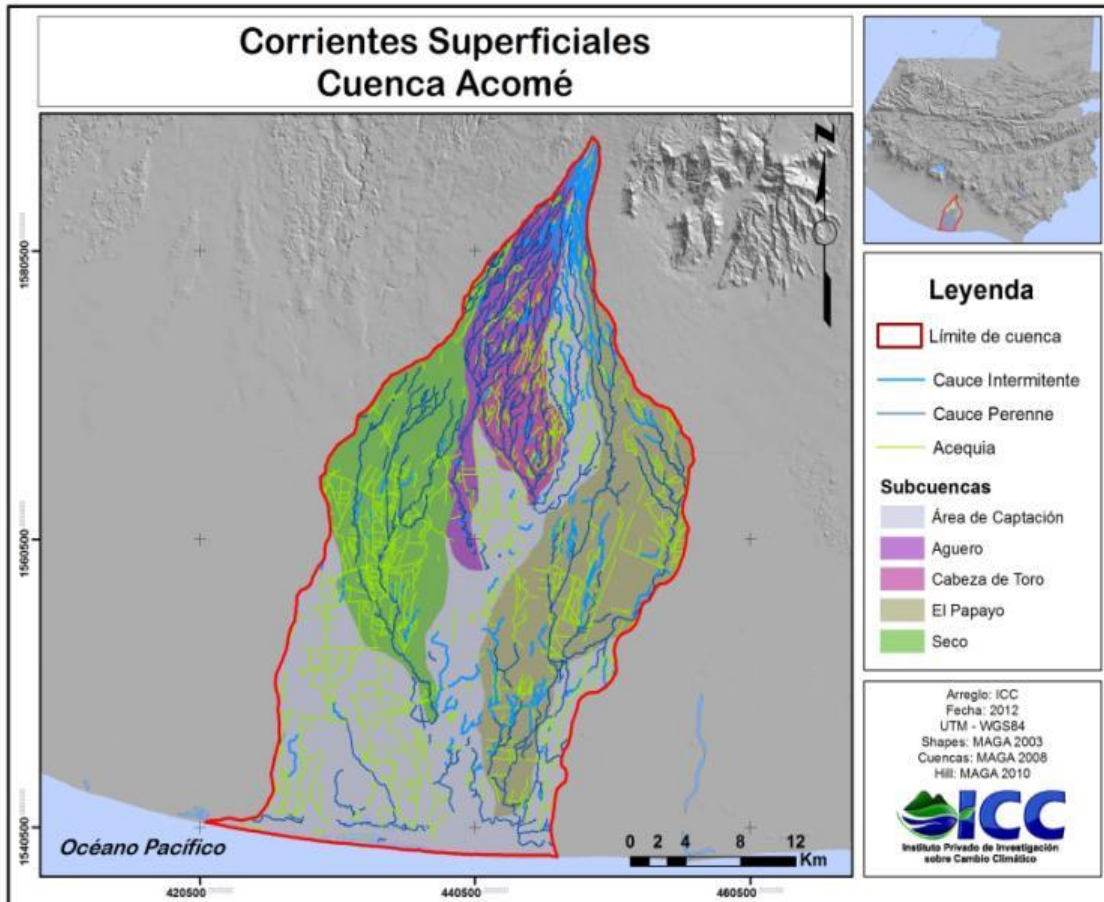
Fuente: Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, CENGICAÑA.

Anexo 5. Subcuencas del río Acomé



Fuente: Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, CENGICAÑA.

Anexo 6. Corrientes superficiales de la cuenca del río Acomé



Fuente: Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, CENGICAÑA.

Anexo 7. Extracto de Prensa Libre

19/10/11 - 19:06 ESCUINTLA

Desborde de río Acomé en La Gomera afecta casas y comercios

Las intensas lluvias continuas de diez días en Escuintla incrementaron el nivel del río Acomé, lo que originó que se desbordará en jurisdicción de La Gomera, donde anegó viviendas y calles con más de 60 centímetros de altura.



Las calles de ingreso al casco urbano de La Gomera, Escuintla, se inundan debido al desborde del río Acomé. (Foto Prensa Libre: Melvin Sandoval)

LA GOMERA.- En el kilómetro 113 de la ruta que de este municipio conduce a Escuintla, el agua del afluente paso por encima de la cinta asfáltica, ocasionando que los vehículos que se conducían sobre dicha ruta, esperan por varias horas hasta que la correntada disminuyó, lo que originó largas filas de vehículos en la ruta.

Casas y comercios ubicados en el ingreso del casco urbano de La Gomera, quedaron con el agua a más de 60 centímetros de altura, debido al desborde del río, por lo que la actividad comercial fue suspendida y los vecinos afectados colocaron sus enseres domésticos fuera del nivel del agua que amenazaba con arrastrar las pertenencias, dijo un

comerciante afectado.

Jesús Vicente Santos, otro dueño de negocio dijo que tuvo que sacar sus productos su consumo diario hacia otro lugar, para que no fueran arrastradas por la correntada.

Francisco Vásquez Montepeque, alcalde del municipio de La Gomera, indicó que en lo que va del año no se recibió el apoyo suficiente por parte del gobierno central, para dragar y continuar con el trabajo de colocar bordas en el sector del río, por lo que hemos procedido a brindarle ahora el apoyo a los afectados, con el traslado de sus pertenencias a lugares seguros.

© Copyright 2008 Prensa Libre. Derechos Reservados.
Se prohíbe la reproducción total o parcial de este sitio web sin autorización de Prensa Libre.

Fuente: Prensa Libre, 2011.

Anexo 8. **Emparrillado vivo ejemplo**



Fuente: *Manual de Ingeniería Naturalística*. www.preventionweb.net. Consulta: agosto 2013.

Anexo 9. **Entramado de cajón triangular ejemplo**



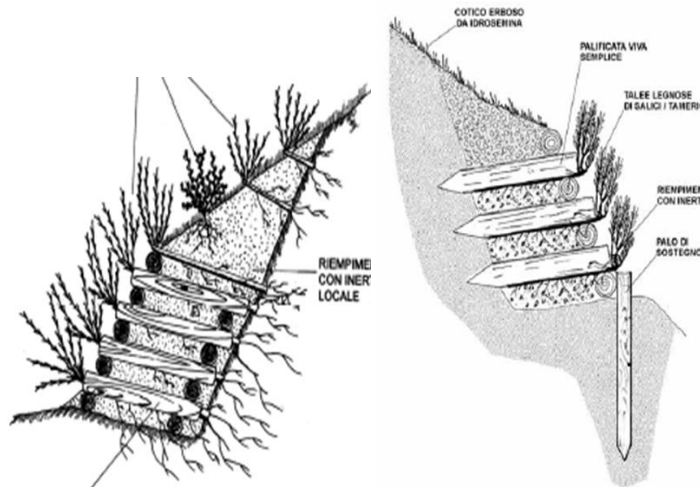
Fuente: *Manual de Ingeniería Naturalística*. www.preventionweb.net. Consulta: agosto 2013.

Anexo 10. Entramado loricato



Fuente: *Manual de Ingeniería Naturalística*. www.preventionweb.net. Consulta: agosto 2013.

Anexo 11. Entramados de pared

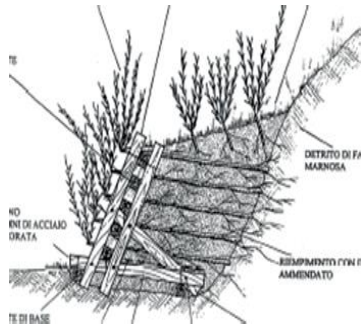


De doble pared

De una pared

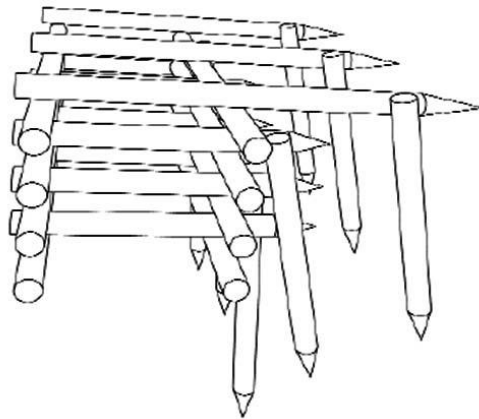
Fuente: *Manual de Ingeniería Naturalística*. www.preventionweb.net. Consulta: agosto 2013.

Anexo 12. Entramado roma



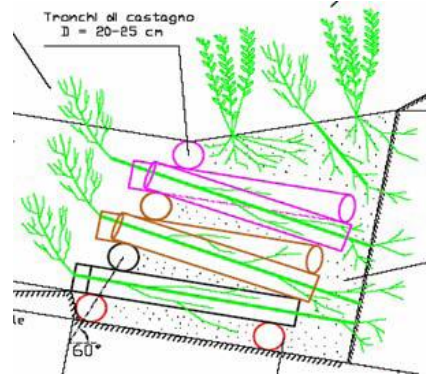
Fuente: *Manual de Ingeniería Naturalística*. www.preventionweb.net. Consulta: agosto 2013.

Anexo 13. Entramado vesuvio



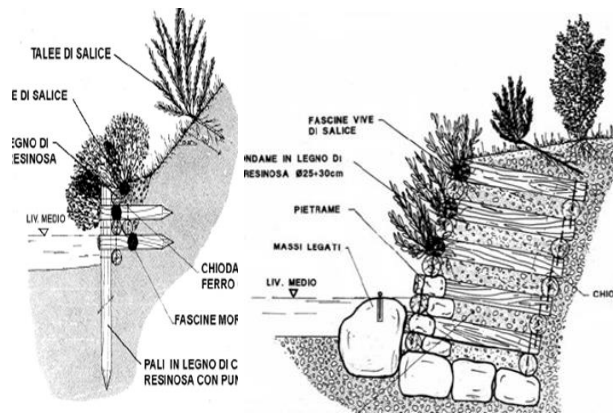
Fuente: *Manual de Ingeniería Naturalística*. www.preventionweb.net. Consulta: agosto 2013.

Anexo 14. Entramado latino



Fuente: *Manual de Ingeniería Naturalística*. www.preventionweb.net. Consulta: agosto 2013.

Anexo 15. Entramado de riberas

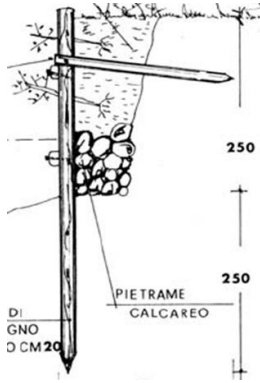


De riberas

De riberas con poste frontal

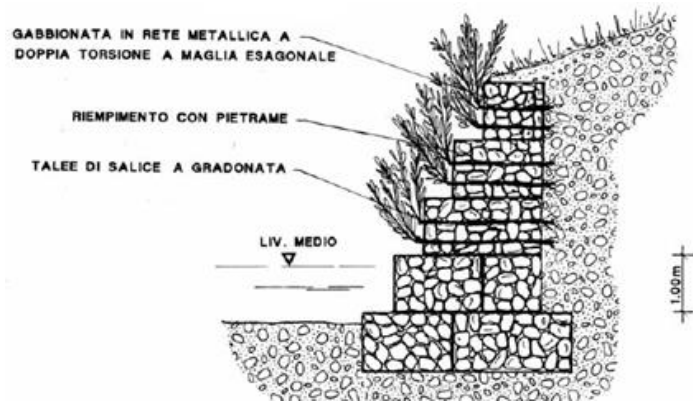
Fuente: *Manual de Ingeniería Naturalística*. www.preventionweb.net. Consulta: agosto 2013.

Anexo 16. Entramado de reatina



Fuente: *Manual de Ingeniería Naturalística*. www.preventionweb.net. Consulta: agosto 2013.

Anexo 17. Entramado gaviones verdes



Fuente: *Manual de Ingeniería Naturalística*. www.preventionweb.net. Consulta: agosto 2013.