



ESCUELA DE DOCTORADO
INTERNACIONAL DE LA USC

Pablo
Yax López

Tesis doctoral

Resiliencia comunitaria a
eventos de inundación en las
partes bajas de las cuencas de
los ríos Sis-Icán y Achiguate,
República de Guatemala

Lugo, 2021

Programa de doctorado en Ciencias Agrícolas y Medioambientales



TESIS DE DOCTORADO

**RESILIENCIA COMUNITARIA A
EVENTOS DE INUNDACIÓN EN LAS
PARTES BAJAS DE LAS CUENCAS DE
LOS RÍOS SIS-ICÁN Y ACHIGUATE,
REPÚBLICA DE GUATEMALA**

Pablo Yax López

ESCUELA DE DOCTORADO INTERNACIONAL
PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS AGRÍCOLAS Y
MEDIOAMBIENTALES

SANTIAGO DE COMPOSTELA / LUGO

AÑO 2021



DECLARACIÓN DEL AUTOR DE LA TESIS

Resiliencia comunitaria a eventos de inundación en las partes bajas de las cuencas de los ríos Sis-Icán y Achiguate, República de Guatemala.

D. Pablo Yax López

Presento mi tesis, siguiendo el procedimiento adecuado al Reglamento, y declaro que:

- 1) La tesis abarca los resultados de la elaboración de mi trabajo.*
- 2) En su caso, en la tesis se hace referencia a las colaboraciones que tuvo este trabajo.*
- 3) La tesis es la versión definitiva presentada para su defensa y coincide con la versión enviada en formato electrónico.*
- 4) Confirmando que la tesis no incurre en ningún tipo de plagio de otros autores ni de trabajos presentados por mí para la obtención de otros títulos.*

En Lugo, 31 de julio de 2021

Fdo. Pablo Yax López

AUTORIZACIÓN DEL DIRECTOR/TUTOR DE LA TESIS

D./Dña. **Alex Guerra Noriega**

En condición de: **Director/a**

Título de la **Resiliencia comunitaria a eventos de inundación en las partes bajas**
tesis: **de las cuencas de los ríos Sis-Icán y Achiguate, República de Guatemala**

INFORMA:

Que la presente tesis, se corresponde con el trabajo realizado por D/Dña **Pablo Yax López**, bajo mi dirección/tutorización, y autorizo su presentación, considerando que reúne los requisitos exigidos en el Reglamento de Estudios de Doctorado de la USC, y que como director/tutor de esta no incurre en las causas de abstención establecidas en la Ley 40/2015.

En **Guatemala, 31 de julio de 2021**

Firma electrónica

AUTORIZACIÓN DEL DIRECTOR/TUTOR DE LA TESIS

D./Dña. **Felipe García Oliva**
En condición de: **Director/a**

Título de la **Resiliencia comunitaria a eventos de inundación en las partes bajas**
tesis: **de las cuencas de los ríos Sis-Icán y Achiguate, República de Guatemala**

INFORMA:

Que la presente tesis, se corresponde con el trabajo realizado por D/Dña **Pablo Yax López**, bajo mi dirección/tutorización, y autorizo su presentación, considerando que reúne los requisitos exigidos en el Reglamento de Estudios de Doctorado de la USC, y que como director/tutor de esta no incurre en las causas de abstención establecidas en la Ley 40/2015.

En **Morelia, 31 de julio de 2021**

Firma electrónica



AUTORIZACIÓN DEL DIRECTOR/TUTOR DE LA TESIS

D./Dña. **Joaquín Giménez de Azcárate Cornide**

En condición de: **Tutor/a**

Título de la **Resiliencia comunitaria a eventos de inundación en las partes bajas**
tesis: **de las cuencas de los ríos Sis-Icán y Achiguate, Republica de Guatemala**

INFORMA:

Que la presente tesis, se corresponde con el trabajo realizado por D/Dña **Pablo Yax López**, bajo mi dirección/tutorización, y autorizo su presentación, considerando que reúne los requisitos exigidos en el Reglamento de Estudios de Doctorado de la USC, y que como director/tutor de esta no incurre en las causas de abstención establecidas en la Ley 40/2015.

En **Lugo, 31 de julio de 2021**

Firma electrónica



Dedicatoria

Chech ri Loq'alaj Ajaw, tzaqol b'anol rech ri Kaj Ulew

(A Dios, creador del universo)

Chech ojer taq k'amam k'a tit, nimaq' ajno'j - ajq'ijab

(A los abuelos mayas, grandes sabios y científicos)

A mi esposa Dina y a mis hijos Nik'te', Ixchel y Pablo

A mi madre María López y mis hermanos Nicolás, Demetrio,
Micaela (Q.E.D), Fidel y José Alfredo

Agradecimientos

A mis directores de tesis Alex Guerra y Felipe García por los consejos, intercambio de experiencias, apoyo en las estancias internacionales, opiniones y orientación científica durante todo el programa de doctorado, que sin su valiosa ayuda no habría sido posible concluir este proyecto de vida y carrera.

Al ICC y sus autoridades por darme la oportunidad de continuar con los estudios de doctorado.

Un agradecimiento especial al Dr. Ezequiel Aráoz por sus valiosas recomendaciones científicas y el tiempo brindado a mi persona para uno de los componentes de la investigación. Así mismo a los doctores Luis Ferraté, Luis Quemé y Ernesto Vega por sus recomendaciones.

A los hogares de las comunidades Campamento La Barrita, caserío Lolitas, caserío Botón Blanco, Comunidad Agraria La Vega, San José Churirín y comunidad Línea B20, y sus líderes comunitarios que me permitieron adentrar en sus comunidades y recopilar información valiosa, e hicieron posible el presente estudio.

A Martín Pérez, Moira Corcoran, Ronal Pérez, Kevin Noriega, Enrique Gómez, Luis Montúfar, Erick Lara y cada una de las personas que me apoyaron en el trabajo de campo o brindaron sugerencias para lograr la presente tesis.

A Dave Adder y Sara Mulville por el apoyo brindado en la estancia internacional en el Smith International Center de la Universidad de Tennessee.



Índice de contenido

<i>Agradecimientos</i>	<i>xii</i>
<i>Índice de contenido</i>	<i>xiv</i>
<i>Índice de láminas (figuras)</i>	<i>xviii</i>
<i>Índice de tablas</i>	<i>xxi</i>
<i>Resumen</i>	<i>xxv</i>
<i>Abstract</i>	<i>xxviii</i>
1 <i>Introducción</i>	1
2 <i>Marco teórico</i>	4
2.1 <i>Marco de vulnerabilidad</i>	4
2.2 <i>Marco teórico sobre resiliencia</i>	6
2.3 <i>El marco de Medios de Vida Sostenibles</i>	15
3 <i>Caracterización de eventos de inundación provocados por fenómenos hidrometeorológicos extremos en las cuencas hidrográficas de los ríos Achiguate y Sis-Icán</i>	18
3.1 <i>Introducción</i>	18
3.2 <i>Objetivos</i>	20
3.2.1 <i>Objetivo general</i>	20
3.2.2 <i>Objetivos específicos</i>	20
3.3 <i>Métodos</i>	21
3.3.1 <i>Selección de áreas de estudio</i>	21
3.3.2 <i>Eventos hidrometeorológicos extremos que afectaron el territorio guatemalteco periodo 1988 - 2008: huracán Joan-Miriam, huracán Mitch, tormentas tropicales Stan y Agatha</i>	26
3.3.2.1 <i>Huracán Joan-Miriam 1988</i>	26
3.3.2.2 <i>Huracán Mitch</i>	27
3.3.2.3 <i>Tormenta tropical Stan</i>	29
3.3.2.4 <i>Tormenta tropical Agatha</i>	32

3.4	Recopilación de datos/imágenes satelitales.....	34
3.4.1	Pre-procesamiento de las imágenes satelitales	36
3.4.2	Delimitación de zonas inundables	37
3.4.3	Validación de áreas inundadas de acuerdo con el conocimiento local.....	40
3.5	Resultados y su discusión.....	43
3.5.1	Cuenca Achiguate.....	43
3.5.1.1	Inundaciones del año 1988.....	43
3.5.1.2	Inundaciones de 1998 asociadas al huracán Mitch....	49
3.5.1.3	Inundaciones de 2005 (tormenta Stan).....	53
3.5.1.4	Inundaciones de 2010 (tormenta Agatha).....	58
3.5.2	Cuenca del río Sis-Icán.....	61
3.5.2.1	Inundaciones en 1988.....	62
3.5.2.2	Inundación delimitada en noviembre de 1988.....	64
3.5.2.3	Inundaciones de 1998 asociadas al huracán Mitch....	64
3.5.2.4	Inundaciones de 2005 asociadas a la tormenta Stan..	66
3.5.2.5	Inundaciones de 2010 asociadas a la tormenta Agatha 69	
3.5.3	Comparativo de áreas inundadas en ambas zonas de estudio	74
3.5.3.1	Parte baja de la cuenca Achiguate	74
3.5.3.2	Parte baja de la cuenca Sis-Icán	78
3.5.3.3	Comparación entre las dos zonas de estudio	80
3.6	Conclusiones.....	85
4	<i>Exposición de asentamientos humanos y zonas agrícolas ante inundaciones en las partes bajas de las cuencas Achiguate y Sis-Icán.....</i>	88
4.1	Introducción.....	88
4.2	Objetivos.....	89
4.2.1	Objetivo general.....	89
4.2.2	Objetivos específicos	89
4.3	Métodos	89
4.3.1	Evaluar la exposición de los asentamientos humanos y áreas agrícolas a eventos de inundación en las dos últimas décadas.	89

4.3.1.1	Análisis de cambios morfológicos del cauce principal de los ríos Achiguate y Sis-Icán en el período 1973 (marzo) – 2017 (marzo).....	89
4.3.1.2	Exposición de poblados y áreas de cultivo ante las inundaciones más importantes en el período 1988 – 2018.	91
4.3.1.3	Elaboración de mapas y evaluación del riesgo de inundación en dos localidades en ambas cuencas bajo estudio.....	92
4.4	Resultados y su discusión	92
4.4.1	Evaluar la exposición de los asentamientos humanos y áreas agrícolas a eventos de inundación en las dos últimas décadas	92
4.4.1.1	Cambios morfológicos del cauce principal de los ríos Achiguate y Sis-Icán en el período 1973 (noviembre) – 2017 (enero).....	92
4.4.1.1.1	Cuenca Achiguate.....	92
4.4.1.1.2	Cuenca Sis-Icán	99
4.4.2	Exposición de poblados y áreas de cultivo ante las inundaciones más importantes en el período 1988 – 2018.	107
4.5	Conclusiones.....	115
5	<i>Análisis de la resiliencia y evolución de los principales medios de vida de comunidades ubicadas en las partes bajas de los ríos Achiguate y Sis-Icán.....</i>	117
5.1	Introducción	117
5.2	Objetivo	119
5.3	Métodos.....	119
5.3.1	Impactos de las inundaciones sobre medios de vida de seis comunidades y análisis de la resiliencia a nivel comunitario.	120
5.3.2	Escenarios y posibles tendencias de la resiliencia comunitaria ante inundaciones.	124
5.4	Resultados y su discusión	126

5.4.1	Modelo conceptual de los sistemas focales Achiguate y Sis-Icán.....	126
5.4.1.1	Perfil histórico SES' Achiguate	127
5.4.1.2	Perfil histórico SES del Sis-Icán	130
5.4.1.3	Modelo del sistema socio-ecológico focal Achiguate	132
5.4.1.4	Modelo del sistema focal Sis-Icán.....	135
5.4.2	Medios de vida y su resiliencia ante eventos de inundación en las cuencas Achiguate y Sis-Icán	137
5.4.2.1	Parte baja de la cuenca Achiguate	139
5.4.3	Indicadores de resiliencia en Achiguate	143
5.4.3.1	Parte baja de la cuenca Sis-Icán	155
5.4.3.1.1	Impactos o pérdidas por las inundaciones.....	158
5.4.4	Indicadores de resiliencia en la cuenca Sis-Icán.....	161
5.4.5	Comparativa de medios de vida y su resiliencia entre las dos zonas de estudios: Parte baja de las cuencas hidrográficas del Achiguate y Sis-Icán.....	171
5.4.6	Tendencias y escenarios de resiliencia comunitaria ante inundaciones	180
5.4.6.1	Sistema socioecológico focal Achiguate.....	181
5.4.6.2	Sistema socioecológico focal Sis-Icán	185
5.5	Conclusiones.....	190
6	Conclusiones.....	193
6.1.1	Aportes del estudio al campo a la teoría de la resiliencia y sus limitaciones.....	197
6.1.2	Limitaciones del estudio:.....	202
7	Referencia bibliográfica.....	205

Índice de láminas (figuras)

Lám. 1.	Ubicación de las dos zonas de estudio.	21
Lám. 2.	Trayecto del ciclón Joan-Miriam.	27
Lám. 3.	Trayecto del huracán Mitch entre 22 de octubre y 06 de noviembre de 1998.	29
Lám. 4.	Trayecto de la tormenta tropical Stan entre 01 al 05 de octubre de 2005.	32
Lám. 5.	Trayecto de la tormenta tropical Agatha del 28 al 30 de mayo de 2010.	34
Lám. 6.	Metodología de mapeo de inundación utilizado para este trabajo.	42
Lám. 7.	Áreas inundadas en septiembre (izquierdo) y noviembre (derecho) de 1988 en la parte baja del Achiguate y Acomé (círculos en rojo).	45
Lám. 8.	Áreas inundadas en noviembre de 1988 en la parte baja de la cuenca del río Achiguate (en color azul claro).	47
Lám. 9.	Áreas inundadas en noviembre de 1998 en parte baja de la cuenca Achiguate (en color azul claro), influenciadas por Mitch.	50
Lám. 10.	Áreas inundadas post-evento tormenta tropical Stan (2005) en la parte baja de la cuenca del río Achiguate.	54
Lám. 11.	Áreas inundadas delimitadas para el 18 de septiembre de 1988 en la parte baja de la cuenca Sis-Icán.	63
Lám. 12.	Áreas inundadas post evento Stan (2005) en la parte baja de la cuenca del río Sis-Icán.	68
Lám. 13.	Áreas inundadas post-evento tormenta tropical Agatha (2010) en la parte baja de la cuenca del río Sis-Icán.	72
Lám. 14.	Vivienda del Sr. Menchú en comunidad Línea B20 señalando el nivel de la inundación influenciada por Agatha en la parte baja de la cuenca Sis-Icán.	73
Lám. 15.	Comparación de áreas de inundación para los eventos de septiembre de 1988 y junio de 2010 (Agatha) en la parte baja de la cuenca Achiguate.	77
Lám. 16.	Comparativa del cauce del río Achiguate para los años 1973, 1985 y 2017.	97

Lám. 17.	Índice de sinuosidad del río Sis-Icán a través del tiempo (años 1974, 1985, 2010 y 2017)	101
Lám. 18.	Longitud del eje de meandro para los 22 meandros definidos, gráfica eje x: número de meandro y eje “y” longitud en metros.	104
Lám. 19.	Amplitud histórica del cauce del río Sis-Icán para el período 1974-2017.....	105
Lám. 20.	Zona de exposición a inundación en el sistema focal Achiguate.....	111
Lám. 21.	Zona de exposición a inundación en el sistema focal Sis-Icán.	114
Lám. 22.	Sección del modelo conceptual del sistema socioecológico (SSE) parte baja de la cuenca Achiguate.....	134
Lám. 23.	Sección del modelo conceptual del sistema socioecológico parte baja de la cuenca Sis-Icán.....	136
Lám. 24.	Proporción (%) de hogares y el riesgo percibido por inundaciones del nivel 0 (nulo) a 10 (alto) en la parte baja de la cuenca hidrográfica del Achiguate.....	140
Lám. 25.	Proporción (%) de hogares y sus diferentes medios de vida en la parte baja de la cuenca hidrográfica del Sis-Icán.	156
Lám. 26.	Proporción (% en el eje: y) de hogares y el riesgo percibido por inundaciones (eje x) del nivel 0 (nulo) a 10 (alto) en la parte baja de la cuenca hidrográfica del Sis-Icán.	157
Lám. 27.	Proporción (%) de hogares de la parte baja de la cuenca hidrográfica Sis-Icán y su percepción de recuperación ante los eventos de inundación.....	168
Lám. 28.	Acumulado de eventos extremos de inundación (eje “y”) generados por el modelo de resiliencia comunitaria para la parte baja de la cuenca Achiguate.	182
Lám. 29.	Comportamiento de la resiliencia comunitaria (nivel eje “y”) de los tres escenarios contemplados para el sistema focal Achiguate.....	183
Lám. 30.	Acumulado de eventos extremos de inundación (eje “y”) generados por el modelo de resiliencia comunitaria para la parte baja de la cuenca Sis-Icán.....	186

Lám. 31. Comportamiento de la resiliencia comunitaria (nivel eje “y”) para los tres escenarios formulados para el sistema focal Sis-Icán.....188

Índice de tablas

Tabla 1.	Fortalezas del enfoque de resiliencia identificadas por diferentes autores.....	10
Tabla 2.	Áreas de investigación de la resiliencia y los sistemas complejos de aplicación.....	11
Tabla 3.	Características generales de las dos cuencas hidrográficas bajo estudio.....	24
Tabla 4.	Acumulado de lluvia durante 01 al 10 de octubre de 2005, por efectos de la tormenta tropical Stan.	31
Tabla 5.	Acumulado de lluvias en varias estaciones de INSIVUMEH por efecto de la tormenta Agatha.	33
Tabla 6.	Detalle de las escenas (imágenes) empleadas para el estudio de áreas inundables en las partes bajas de las cuencas hidrográficas Achiguate y Sis-Icán.....	36
Tabla 7.	Calendario y comunidades donde se efectuaron los talles de validación de información sobre inundaciones.....	41
Tabla 8.	Características de las inundaciones que afectaron las tres comunidades priorizadas en la parte baja de la cuenca del Achiguate en función de la información satelital y conocimiento comunitario local.	51
Tabla 9.	Características de las inundaciones que afectaron las tres comunidades priorizadas en la parte baja de la cuenca del Achiguate por efecto de la tormenta Stan.....	55
Tabla 10.	Características de las inundaciones que afectaron las tres comunidades priorizadas en la parte baja de la cuenca del Achiguate por efecto de la tormenta Agatha.	58
Tabla 11.	Resumen de áreas inundadas, áreas no inundadas y zonas sin datos en la parte baja de la cuenca Achiguate.....	61
Tabla 12.	Características de las inundaciones que afectaron las tres comunidades priorizadas en la parte baja de la cuenca del Sis-Icán por efecto del huracán Mitch.	65
Tabla 13.	Características de las inundaciones que afectaron las tres comunidades priorizadas en la parte baja de la cuenca del Sis-Icán por efecto de la tormenta Stan.	66

Tabla 14.	Características de las inundaciones que afectaron las tres comunidades priorizadas en la parte baja de la cuenca del Sis-Icán por efecto de la tormenta Agatha.	70
Tabla 15.	Resumen de las áreas sin datos o información, áreas inundadas y no inundadas en la cuenca Sis-Icán.	74
Tabla 16.	Resumen de áreas recurrentes y simétricamente diferentes de impacto entre eventos extremos de inundación en el periodo 1988-2018 en la parte baja de la cuenca Achiguate.	75
Tabla 17.	Comparativo de áreas recurrentes y simétricamente diferente de inundación entre eventos (de inundación) en la parte baja de cuenca hidrográfica del río Sis-Icán.	79
Tabla 18.	Dinámica de la cobertura forestal en las cuencas hidrográficas del Achiguate y Sis-Icán, periodo 1991-2016.	82
Tabla 19.	Comparativo de cambios en el ancho o posición de 22 secciones transversales (porcentaje) en el río Achiguate durante el período de 1973 a 2017.	94
Tabla 20.	Cambios en la sinuosidad en 22 meandros (porcentaje) del río Icán (cuenca Sis-Icán).	100
Tabla 21.	Marco conceptual y analítico para caracterizar resiliencia de medios de vida.	121
Tabla 22.	Resumen de habitantes para los municipios dentro del sistema focal en estudio.	128
Tabla 23.	Resumen de habitantes para los municipios dentro del sistema focal en estudio.	132
Tabla 24.	Características generales de los hogares en el sistema focal Achiguate (N=74).	137
Tabla 25.	Características generales de los hogares en el sistema focal Sis-Icán (N=90).	138
Tabla 26.	Pérdidas reportadas por los hogares por comunidad y tipo de pérdidas provocadas por las inundaciones. ...	141
Tabla 27.	Prueba de correlación Spearman para las variables inundaciones y pérdidas económicas por inundaciones.	143

Tabla 28.	Resumen de las dimensiones de resiliencia en comunidades estudiadas de la parte baja de la cuenca Achiguate.....	143
Tabla 29.	Tabla cruzada entre el acceso a tierra y la recuperación por impactos de inundaciones en hogares de la parte baja de la cuenca del Achiguate.....	155
Tabla 30.	Pérdidas reportadas por los hogares por comunidad y tipo de pérdidas por inundaciones.	159
Tabla 31.	Prueba de correlación Spearman para las variables inundaciones y pérdidas económicas por inundaciones.	160
Tabla 32.	Resumen de las dimensiones de resiliencia en comunidades estudiadas de la parte baja de la cuenca Sis-Icán.	161
Tabla 33.	Tabla cruzada entre la variable acceso a tierra y la tipología de percepción de recuperación para los hogares de la parte baja de la cuenca hidrográfica Sis-Icán Sis-Icán.	170
Tabla 34.	Pruebas de chi-cuadrado entre la percepción de recuperación de los hogares ante las inundaciones y el acceso a la tierra.	171
Tabla 35.	Resumen de las dimensiones de resiliencia en los territorios de las cuencas: Achiguate y Sis-Icán.....	174
Tabla 36.	Resumen de la percepción de recuperación de los hogares ante las inundaciones en los territorios de las cuencas: Achiguate y Sis-Icán.....	175
Tabla 37.	Prueba Kruskal Wallis (H-test) para los tres diferentes escenarios de resiliencia comunitaria ante inundaciones en la parte baja de la cuenca Achiguate.	184
Tabla 38.	Prueba Kruskal-Wallis (H-test) para los promedios anuales de resiliencia de los tres diferentes escenarios de resiliencia comunitaria ante inundaciones en la parte baja de la cuenca Sis-Icán.	189

Resumen

Las inundaciones se han convertido en la amenaza natural más frecuente y con efectos significativos en lo social, económico y ambiental en todo el mundo, principalmente, en áreas con alta exposición y vulnerabilidad. Esta situación detona disrupciones en los sistemas comunitarios y posteriormente conducen a una degradación de los medios de vida y otros recursos, con consecuencias en el nivel de resiliencia de comunidades y hogares.

La sociedad actual se encuentra en una era de rápidos cambios globales, pero, con efectos locales, que generan desafíos para una respuesta rápida y flexible a todo nivel de los sistemas. El marco teórico de la resiliencia es uno de los enfoques y herramientas para lidiar con los cambios, permitiendo estudiar cómo los sistemas enfrentan, se adaptan o se transforman debido a perturbaciones particulares.

En la vertiente del Pacífico de Guatemala existen zonas expuestas a las inundaciones, y durante eventos hidrometeorológicos extremos en el pasado se ha evidenciado su alta vulnerabilidad.

Enmarcada en la teoría de la resiliencia, medios de vida sostenibles y vulnerabilidad, esta investigación se propuso responder ¿Cómo ha cambiado la resiliencia a las inundaciones en hogares y comunidades ubicadas en las partes bajas de las cuencas de los ríos Achiguate y Sis-Icán? La investigación involucró cuatro actividades principales: i) un análisis y caracterización de los eventos de inundación influenciados por eventos hidrometeorológicos extremos basado en técnicas de Sistemas de Información Geográfica -SIG-; ii) un análisis de la dinámica del cauce de las dos principales corrientes en ambas zonas de estudio, empleando métodos de ciencias naturales como la hidrología y la geomorfología; iii) una evaluación de la resiliencia comunitaria a través de técnicas sociales (entrevistas y aplicación de cuestionarios a hogares) y socio-ecológicas y, iv) la elaboración de escenarios de resiliencia para ambos territorios basado en modelos conceptuales y modelación.

Dentro de los principales hallazgos está la evidencia de una alta dinámica de las inundaciones influenciadas por eventos extremos en las dos cuencas de estudio. Para la cuenca del río Achiguate se estimaron un área promedio de 1,050 hectáreas recurrente de inundación y, un rango de 957 a 5,580 hectáreas de variabilidad (diferentes) de impacto. Para la cuenca del Sis-Icán se estimaron un promedio 636 hectáreas de área recurrente de inundación y una variabilidad de áreas diferentes de afectación inter-evento en el rango de 705 a 2,843 hectáreas.

Las dos corrientes hídricas importantes en ambas zonas de estudio durante el periodo 1973-2017 han modificado sus cauces principales. Se identificaron cambios drásticos y avulsiones fuertes (cambio de cauce) para el subperiodo de 1985-1998 en el tramo central del cauce del río Achiguate. En relación con el río Sis-Icán, clasificado como un río meándrico, presentó una reducción en su sinuosidad, pasando de 2.06 a 1.79 en su índice para el período 1985-2017.

La evidencia empírica en un contexto rural guatemalteco y representativo de Centroamérica, muestra la existencia de niveles de *muy bajo* y *bajo* de resiliencia de los hogares y comunidades ante los eventos de inundación siguiendo la metodología que propone Ifejika Speranza *et al.* (2014), en la cual se incluyen 24 indicadores en tres dimensiones o proxis para generar una cuantificación ordinal de la resiliencia: a) capacidad de amortiguamiento, b) auto-organización y c) capacidad de aprendizaje.

Un hallazgo relevante, en función de las condiciones particulares del territorio en estudio, refleja que no necesariamente las comunidades (hogares) que más afrontan inundaciones sufren una degradación de su resiliencia o viceversa, sino que la fortalecen.

Otro de los hallazgos, es la fuerte evidencia de un capital social débil en las seis comunidades estudiadas (Achiguate y Sis-Icán). Cada territorio presenta diferentes matices en las respectivas variables indicadoras de cada dimensión de resiliencia.

A través de este estudio se confirmó que la resiliencia es una propiedad intrínseca de los sistemas que es compleja de medirla directamente, y que es el resultado de una combinación de factores ambientales y socioeconómicos de los grupos humanos y elementos físicos de los territorios dónde estos últimos están ubicados. El estudio aporta a la disciplina de la resiliencia a través de la operacionalización de una propuesta metodológica, en este caso la propuesta de Ifejika Speranza *et al.* (2014) con un enfoque de sistemas socio-ecológicos. Esto es importante puesto que la mayoría de la literatura se enfoca en modelos conceptuales.

Abstract

Floods have become the most frequent natural hazard, and their social, economic, and environmental impact around the world is severe, primarily in areas with high exposure and vulnerability. Such phenomena trigger disruptions in community systems and subsequently lead to a degradation of livelihoods and other resources with consequences for the level of household resilience.

We live in an era of rapid global change, but with local effects, there are challenges for a rapid and flexible response at all levels of systems. The theoretical framework of resilience is one of the approaches and tools to deal with changes, allowing us to study how systems cope, adapt, or transform in the face of particular disturbances.

On the Pacific slopes of Guatemala, there are areas exposed to flooding. Their vulnerability to extreme hydro-meteorological events has been evidenced in the past during tropical storms and hurricanes.

Framed in the theory of resilience, sustainable livelihoods, and vulnerability, this dissertation set out to answer the question: How has the resilience to floods changed in households and communities located in the lower parts of the Achiguate and Sis-Icán rivers basins? The research involved four main activities: i) an analysis and characterization of flood events influenced by extreme hydrometeorological events using Geographic Information Systems-GIS- techniques; ii) an analysis of the channel dynamics of the two main streams in both study areas, using natural science methods such as hydrology and geomorphology; iii) an evaluation of community resilience through social science techniques (e.g., interviews and questionnaires to households) and socio-ecological techniques, and iv) the creation of resilience scenarios for both areas based on conceptual models and modeling.

One of the main findings are evidence of high flood dynamics influenced by extreme events in both rivers' basins. In the Achiguate River basin, an average recurrent flood area of 1,050 hectares and a

range of 957 to 5,580 different impact hectares was estimated. In the Sis-Ican River basin, an average recurrent flood area of 636 hectares and the different areas of an inter-event affectation area in the range of 705 to 2,843 hectares.

In both areas, between 1973 and 2017, the mainstream flows modified their main channels. Drastic changes and strong avulsions (channel change) in the central channel of the Achiguate River channel were identified for the 1985 -1998 subperiod. In the Sis-Icán River basin, which is classified as a meandering river, there was a reduction in sinuosity. It was reduced from 2.06 to 1.79 over the period of 1985 to 2017.

The empirical evidence in this study shows the existence of low and very low levels of household and community resilience to flood events in the context of rural Guatemalan according to methods proposed by Ifejika Speranza *et al.* (2014), which include 24 indicators in three dimensions or proxies to generate an ordinal quantification of resilience, namely: a) buffer capacity; b) self-organisation; and c) learning capacity.

A relevant finding, depending on the particular conditions of the territory under study, suggests that the communities (households) that most often face floods do not necessarily suffer degradation of their resilience or vice versa, rather it strengthens it.

Another finding is the strong evidence of weak social capital in the six communities studied in the Achiguate and Sis-Icán territories. Each territory presents different nuances in their respective indicator variables of each dimension of resilience.

This study showed that resilience is an intrinsic property of systems, it is complex to measure directly and that it results from the combination of environmental and socioeconomic factors of human groups and of physical elements in the territories in which they lie. This work makes a contribution to the field of resilience by operationalising

a method proposed Ifejika Speranza *et al.* (2014) with a focus on socio-ecological systems. This is important because most of the literature has focused on conceptual models.

1 Introducción

La presente tesis doctoral examina la resiliencia comunitaria ante la amenaza de inundaciones detonadas, específicamente, por eventos hidrometeorológicos extremos, en un contexto rural-agrícola y en zonas inundables de la vertiente del Pacífico de la República de Guatemala. El planteamiento de investigación se basó en la pregunta: ¿Cómo ha cambiado la resiliencia a las inundaciones en hogares y comunidades ubicadas en los territorios de estudio?

El estudio fue desarrollado durante el periodo 2017 – 2020 y se analizó particularmente las partes bajas de las cuencas hidrográficas de los ríos Achiguate y Sis-Icán, ambas en el Pacífico guatemalteco. La primera está localizada en la parte central y, la segunda, hacia el suroccidente.

Guatemala se sitúa en Centroamérica posee una extensión territorial de 108, 889 km² y está limitada al oeste y norte por México, al este con Belice, al sureste con Honduras y El Salvador, y al sur con el océano Pacífico (Programa de Naciones Unidas, 2020). El país se encuentra conformado por 22 departamentos, los cuales se dividen en 340 municipios. Su capital es la Ciudad de Guatemala. ‘El territorio guatemalteco está asentado sobre tres placas tectónicas que provocan frecuentes movimientos sísmicos de diversa intensidad’ (Programa de Naciones Unidas, 2020). También se encuentra expuesta a diversas amenazas hidrometeorológicas, muchas asociadas a la actividad ciclónica del Océano Pacífico y del Mar Caribe.

Las inundaciones son una de las tensiones abióticas más prevalentes que causan una importante reducción del rendimiento de cultivos agrícolas a nivel mundial (Bin Rahman y Zhang, 2016). Bierman y Montgomery (2013) mencionan que las inundaciones son eventos puntuales naturales y normales, de otra manera los ríos y otras corrientes estarían calmos. Las inundaciones de sistemas fluviales y costeros son las más frecuentes y la amenaza natural más dañina en los países del mundo (UNISDR, 2011). La base de datos de EM-DT (2020),

reporta para el territorio guatemalteco un total 33 eventos importantes de inundación para el periodo de 1949 al 2019. Dichos eventos han provocado la muerte de 40,923 personas y pérdidas económicas cuantiosas en varios sectores de la sociedad guatemalteca.

Por efecto del huracán Mitch (1998), el sector agrícola primario guatemalteco, reportó pérdidas económicas alrededor de los 3,244 millones de quetzales, con mayor intensidad en los rubros de exportación y granos básicos (Naciones Unidas y CEPAL, 1999). Por efecto del huracán Stan (2005), derivado del exceso de lluvias (cultivos inundados y daños detonados por las lluvias) en los departamentos de Suchitepéquez y Escuintla, se tuvo pérdidas en el cultivo de maíz blanco por Q12,301,029.0 y Q19,910,869.0 respectivamente. Dichos impactos afectaron la seguridad alimentaria de las familias en referidos territorios, así como la población en otras zonas del país que dependen de la producción de maíz como parte de su dieta alimenticia.

La resiliencia se está convirtiendo cada vez en un concepto clave en la investigación ambiental orientada a la ciencia que analiza las interacciones naturaleza-humano y los sistemas socioecológicos y explorar como hacer frente al cambio climático, económico y social (Ifejika Speranza *et al.*, 2014).

El interés de investigadores y tomadores de decisión o practicantes refleja el hecho que vivimos en una era de cambios rápidos, y la teoría de la resiliencia provee un marco aplicable para estudiar como los sistemas enfrentan, se adaptan o se transforman para enfrentar disrupciones exógenas (Berkes y Ross, 2013; Vaneeckhaute *et al.*, 2017). En este sentido se estudiaron tres asentamientos humanos (comunidades) con diferentes niveles de exposición a eventos de inundación en cada una de las dos cuencas hidrográficas bajo estudio.

La investigación empírica involucró cuatro actividades principales: i) análisis y caracterización de los eventos de inundación influenciados por ciclones tropicales extremos basado en técnicas de Sistemas de Información Geográfico -SIG-; ii) análisis de la dinámica del cauce de

las dos principales corrientes en ambas zonas de estudio, empleando métodos de ciencias naturales como la hidrología y la geomorfología; iii) evaluación de la resiliencia comunitaria a través de técnicas sociales (entrevistas y aplicación de cuestionarios a hogares) y socio-ecológicas y iv) elaboración de escenarios de resiliencia para ambos territorios basado en modelos conceptuales y modelación

La tesis está compuesta de seis capítulos. Posterior al resumen se presenta la introducción con un breve abordaje de Guatemala y las razones de ejecución del estudio. En el II capítulo se desarrolla el marco teórico relacionado a la resiliencia y otros marcos complementarios para su análisis. En el III capítulo, se analizan con detalle las características y zonas de impacto de las inundaciones generadas por lluvias detonadas por eventos hidrometeorológicos extremos (ciclones).

En el IV capítulo se estudia la dinámica histórica de los cauces de las principales corrientes en ambas zonas de estudio, los ríos Achiguate y Sis-Icán. Además, se presenta un análisis del crecimiento de asentamientos humanos en áreas con exposición a eventos de inundación.

El V capítulo enfatiza en la parte medular de la tesis doctoral y, en respuesta a la pregunta principal de investigación que consistió en la evaluación de las características de la resiliencia de los medios de vida en las comunidades priorizadas. Así mismo, se efectuó una estimación (niveles o grados) en función de 24 indicadores de resiliencia, aunado a la elaboración de escenarios plausibles de la resiliencia comunitaria.

Finalmente, se plantean las conclusiones generales, donde se mezclan los hallazgos de cada capítulo y una síntesis de sus implicaciones en la resiliencia comunitaria y argumentos para responder a la pregunta de investigación.

2 Marco teórico

Esta sección teórica general de la presente tesis se basa en diferentes marcos y/o enfoques para el análisis de la resiliencia, desde una perspectiva cualitativa, cuantitativa, socio-ecológica y social. Se presenta otro marco teórico que aporta al análisis de la resiliencia como el caso del marco de medios de vida sostenibles.

La estructura de la tesis doctoral incluye revisiones de literatura y métodos en cada una de las secciones o capítulos (III, IV y V), considerando que cada una de dichas secciones contribuyen a la investigación en general.

Los enfoques de vulnerabilidad y la resiliencia, son muy amplios y abarcan diversos elementos metodológicos que varían entre los analíticos como la modelación, investigación participativa y de acción (Hinkel,2008; Tschakert, 2007; Archer *et al.*, 2008; Ziervogel y Tylor 2008, citado por Miller *et al.*, 2010).

Las políticas internacionales y numerosas organizaciones sin fines de lucro han adoptado la resiliencia como un mandato para efectuar esfuerzos ambiciosos para enfrentar el cambio climático y adaptarse a sus efectos (UNFCCC, 2016 citado por Sterk *et al.*, 2017).

2.1 MARCO DE VULNERABILIDAD

Existe un debate en como caracterizar la vulnerabilidad tanto en la teoría y en la práctica. Cada vez más, se ve como una condición que abarca las características de exposición, susceptibilidad y capacidad de enfrentar una amenaza, moldeada por procesos dinámicos históricos, derechos diferenciados, la política, la economía y las relaciones de poder, más que un resultado de una perturbación (Blaike *et al.*,1994; Downing *et al.*, 2005; Eakin y Luers 2006 citado por Miller *et al.*, 2010).

Aunque los enfoques de vulnerabilidad difieren en su marco y escala de análisis, sus puntos de partida son similares: analizan la exposición a choques o disturbios de grupos sociales o comunidades, su potencialidad, afectación y como difieren en términos de sensibilidad y capacidad de enfrentar un disturbio y su énfasis en como las características espaciales, físicos y sociales influyen la vulnerabilidad (Miller *et al.*, 2010).

El marco del análisis de vulnerabilidad en las ciencias sostenibles de Turner de 2003, fue considerado por Birkmann (2006), como la representativa para la comunidad del cambio ambiental global. La vulnerabilidad es vista y examinada en el contexto de la unión o acoplamiento del sistema humano-ambiental, la cual es una diferencia importante con otros marcos. En contraste, la comunidad de estudio del riesgo de desastres, este marco conceptual define la exposición, la respuesta de enfrentar un disturbio, respuesta de impactos y de adaptación explícitamente como parte de la vulnerabilidad. Esto toma en cuenta el concepto de la adaptación, vista como un elemento que incrementa la resiliencia. Las preguntas que permanecen incluidas en el marco, es la distinción entre los impulsores (drivers) y las consecuencias de retroalimentación apropiadas (Birkmann, 2006).

Turner *et al.* (2003) citado por Guerra (2010), identifican varios elementos que se incluyen en el análisis de vulnerabilidad para la sostenibilidad avanzada: 1) las múltiples interacciones de las perturbaciones y factores estresantes y sus consecuencias; 2) la exposición tras la presencia de una perturbación y factores de estrés, que incluye la manera en que el sistema se acopla a las experiencias de amenazas; 3) la sensibilidad del sistema acoplado a la exposición; 4) las capacidades del sistema para enfrentar o responder, incluyendo las consecuencias y la atención de riesgo de una lenta recuperación; 5) la estructuración del sistema después de una respuesta tomada (por ejemplo: ajustes o adaptaciones); y 6) la dinámica de escalar de las amenazas y escalas anidadas, sistemas acoplados y sus respuestas.

Dicho marco tiene la fortaleza de llevar las condiciones humanas y ambientales al mismo nivel y reconocer su interacción. La diferencia es que se ha trabajado más en ecología política, por ejemplo, la degradación y la marginación, y al mismo tiempo ofrece flexibilidad para utilizar teorías y métodos de otros campos (Guerra, 2010).

Un análisis de Miller *et al.* (2010) de 128 documentos sobre vulnerabilidad social a amenazas costeras en el sur y sudeste de Asia, identificaron un vacío importante entre el trabajo teórico y lo empírico, basado en la aplicación de estudios de caso, incluso, el marco referencial particular es raro en los análisis. Sólo el 14% de los documentos se refieren a un marco conceptual particular de evaluación de vulnerabilidad. Aunque, este no es el caso con todos los campos, ciertamente es preocupante que la alta incidencia del trabajo empírico que existe no está vinculada con el desarrollo conceptual (Miller *et al.*, 2010).

Una cuestión clave es vincular las diferentes evaluaciones a diferentes escalas, ya sea ascendente o descendente, para identificar claramente cuáles son las características de vulnerabilidad y la dinámica que solamente puede ser capturada a través de un enfoque local y que tipo de característica y dinámicas pueden ser capturados por enfoques a meso y macro escalas (Miller *et al.*, 2010).

2.2 MARCO TEÓRICO SOBRE RESILIENCIA

La palabra resiliencia se originó en el siglo XVII a partir del término latino “*resiliere*”, que significa retroceder. En la literatura académica, el concepto surgió en la década de 1970 en el campo de la ecología, a partir de estudios ecológicos sobre poblaciones en interacción depredadores-presas, y sus respuestas funcionales, y empleándolo como un concepto núcleo en la modelación (Thapa *et al.*, 2010; Fraccascia *et al.*, 2018).

La resiliencia ya ha tenido una larga tradición en las ciencias biológicas e ingeniería, a través de los últimos 40 años. Se ha expandido en múltiples dominios tales como la ecología, ciencias ambientales,

ingeniería y ciencias computacionales. En las últimas décadas ha tomado relevancia en otros campos como: la administración, economía y psicología. Así, hoy, la resiliencia es un tema multidisciplinar que abarca las ciencias naturales, ciencias sociales e ingeniería. Por lo que es parte integral de los estudios de la sociedad humana y la ecología, ha llegado a convertirse en un tema relevante en muchas disciplinas de investigación (Borsekova *et al.*; 2018; Fraccascia *et al.*, 2018; Xue *et al.*, 2018).

El concepto es empleado en varias disciplinas científicas como un enfoque para analizar sistemas ecológicos y socioecológicos (Anderies *et al.*, 2006; Folke, 2006).

El enfoque de resiliencia es una teoría del cambio y busca comprender como cambian los sistemas complejos, que es lo que determina la capacidad del sistema para absorber perturbaciones y la capacidad de los actores para aprender del cambio (Janssen *et al.*, 2006). Un enfoque de resiliencia asume un contexto incierto de los recursos naturales complejos y objetivos para llevar a cabo una entrega sostenible de beneficios a largo plazo del medio ambiente relacionados con el bienestar humano (Resilience Alliance, 2010). Según Cutter *et al.* (2008), la resiliencia de una comunidad está indisolublemente ligada a las condiciones del medio ambiente y al tratamiento de sus recursos; por lo tanto, el concepto de sostenibilidad es fundamental para los estudios de resiliencia.

La preocupación por el presente y la sostenibilidad requiere claramente que en los análisis contemple la interacción de las escalas temporales y espaciales de lo social y lo ecológico, desde la historia hasta el futuro, desde lo local hasta lo global (Schwartz 1991; Redman 1999; Costanza *et al.* 2012 citado por Folke *et al.*, 2016).

El vínculo entre la resiliencia y la sostenibilidad es multifacético y la interpretación de sus varias dimensiones no siempre es sencillo. La mayor contribución del pensamiento resiliente a la sostenibilidad es su papel en la vinculación de la teoría visionaria y amplia de la

sostenibilidad en prácticas de formas más específicas, es decir, las aplicaciones del pensamiento de resiliencia a diferentes ámbitos para la búsqueda de la sostenibilidad (Xu *et al.*, 2015).

Marchese *et al.*, (2018) encontraron que existe tres marcos que organizan a la sostenibilidad y la resiliencia. El primero, describe la resiliencia como una parte integral del concepto más amplio de sostenibilidad, considerando a la sostenibilidad como objetivo principal. Dicho marco opera con la noción de aumentar la resiliencia de un sistema y esto, hace que sean más sostenible, pero aumentar la sostenibilidad de un sistema no necesariamente lo hace más resiliente.

En esa misma línea, Magis (2010) afirma que la resiliencia comunitaria es uno de los indicadores de la sostenibilidad en el componente social. Agrega, que las comunidades experimentan cambios constantes de múltiples fuentes. Como el cambio es constante, ninguna comunidad puede presumir de un futuro sin cambios. Además, como el cambio es impredecible, las comunidades no pueden tener pleno conocimiento del tipo de cambio que deben anticipar o la intensidad de esos cambios. La resiliencia de una comunidad influirá en su capacidad para responder con éxito a los cambios, por lo que la resiliencia será de vital importancia para la sostenibilidad social y comunitaria. A medida que se “puede desarrollar la resiliencia comunitaria, las comunidades estarían preparadas para desarrollarla estratégicamente” (Magis, 2010).

Una segunda perspectiva, cuando la resiliencia es el último objetivo del sistema, entonces, la sostenibilidad se propone como un factor que contribuye a la resiliencia. Dicho marco opera con la afirmación que incrementando la sostenibilidad de un sistema hace que sea más resiliente. “El enfoque de la resiliencia en dicho contexto es mantener algún objetivo principal o funcionalidad crítica durante y después de las perturbaciones” (Marchese *et al.*, 2018).

El tercer marco que proponen Marchese *et al.* (2018), es el que describe a la resiliencia y la sostenibilidad como conceptos con

objetivos separados y carecen de una estructura jerárquica. Además, que puede complementarse o competir entre sí. El marco sostiene que la resiliencia no contribuye fundamentalmente a la sostenibilidad, ni la sostenibilidad contribuye fundamentalmente a la resiliencia. En cambio, este marco sugiere que los proyectos y las políticas pueden afectar la resiliencia, la sostenibilidad o ambas. En la infraestructura civil prevalecen implementaciones separadas de sostenibilidad y resiliencia. Por ejemplo, aparte de la resiliencia están los códigos de construcción sostenible. Por otro lado, cuando la sostenibilidad y la resiliencia adoptan un enfoque sinérgico. La sostenibilidad se ve a través de los dominios económico, ambiental y social, y se evalúa mediante el ciclo de vida.

Un sistema socioecológico (SSE) resiliente es capaz de proporcionar capital natural para el desarrollo humano y es capaz de tolerar el estrés impuesto por el cambio ambiental y las actividades humanas. Que podrían mejorar la justicia intra-generacional a corto plazo y la justicia intergeneracional a largo plazo al equilibrar las demandas humanas y capacidad de carga del sistema natural para proveer los distintos servicios ecosistémicos. Este tipo de estado de equilibrio relativo (equilibrio) y justicia social es la aspiración utópica de la sostenibilidad (Xu *et al.*, 2015).

Las múltiples y, a veces conflictivas formas en que se interpreta el concepto de resiliencia, genera críticas, aunque es como una fortaleza para otros, al reunir a grupos, instituciones, disciplinas y escalas, que de otro modo estarían disociados (Borsekova *et al.*, 2018).

De acuerdo a Brand y Jax (2006), existen dos significados de la resiliencia que deben ser distinguidos. El primero, se relaciona a la cercanía a una dinámica de equilibrio, y se refiere al tiempo que le toma a un sistema retornar a punto de equilibrio después de un evento de disturbio. El segundo, se relaciona a la lejanía a cualquier estado de equilibrio, y significa la cantidad de disturbio que un sistema puede absorber antes de cambiar a otro régimen estable, controlado por un juego diferente de variables y una estructura diferente.

Al conceptualizar la resiliencia en sistemas socioecológicos, se hace una distinción entre la resiliencia específica y la general. La resiliencia específica se refiere a la resiliencia ¿De qué? y ¿A qué? (Carpenter *et al.*, 2001). La resiliencia general se refiere a la resiliencia de todos los aspectos de un sistema a perturbaciones no específicas, incluidas las nuevas e imprevistas (Resilience Alliance, 2010).

La teoría de la resiliencia proporciona un paradigma holístico y poderoso para comprender la dinámica del sistema (Kerner y Thomas, 2014). Dentro de las principales fortalezas que se destacan del enfoque de resiliencia se resumen en la tabla 1.

Tabla 1. Fortalezas del enfoque de resiliencia identificadas por diferentes autores.

No.	Fortalezas del enfoque de resiliencia	Autor
1	La resiliencia permite el análisis de los cambios en sistemas socio-ecológicos y la determinación de su habilidad para sobrevivir a los disturbios.	(Janssen <i>et al.</i> , 2006)
2	La resiliencia ayuda a entender el dinamismo de los sistemas en múltiples escalas de interacción.	(Walker <i>et al.</i> , 2004)
3	La resiliencia apoya nuestro entendimiento de como los sistemas socio-ecológicos pueden enfrentar, adaptar y moldear cambios para la sostenibilidad.	(Folke, 2006)
4	La resiliencia facilita la integración de otras teorías para un mejor entendimiento de la dinámica en sistemas sociales a múltiples escalas.	(Anderies <i>et al.</i> , 2006)

Fuente: (Thapa *et al.*, 2010)

En el caso de los ecosistemas, el marco de resiliencia puede ser medida o explorada a través de las siguientes fases: crecimiento o explosión, conservación de recurso, liberación de recursos y reorganización; y estas colectivamente denominado como el ciclo adaptativo (Resilience Alliance, 2010).

Brand y Jax (2006) revisaron la variedad de definiciones propuestas para el concepto de resiliencia dentro de la ciencia de la sostenibilidad ambiental y sugirieron una clasificación en función del grado específico de normatividad. Encontraron 10 definiciones de

resiliencia, distinguiendo entre definiciones puramente ecológicas (4 definiciones) y aquellas que también se utilizan en el contexto de otros campos como la economía y la sociología (6 definiciones). Además, distinguieron 3 categorías de definiciones, reflejando si la definición está de acuerdo con un concepto genuinamente descriptivo, un concepto genuinamente normativo o un concepto híbrido, en el que se entremezclan connotaciones descriptivas y normativas.

Tabla 2. Áreas de investigación de la resiliencia y los sistemas complejos de aplicación.

Áreas de investigación	Sistemas complejos analizados	Perturbaciones	Dimensiones de la resiliencia
Ciencias ambientales y ecología	Ríos, lagos, mar, arrecifes de coral, sistemas agrícolas y ecosistemas industriales	Comportamientos humanos, cambio climático, cambios en el entorno económico y social	Resistencia, recuperación y capacidad adaptativa
Ingeniería	Infraestructura física: redes de energía eléctrica, redes de telecomunicaciones, redes de distribución del agua y gas, infraestructura de transporte, redes ferroviarias, sistemas de control de tráfico aéreo y plantas petroquímicas. Cadenas de producción y suministro.	Ataques terroristas, sabotajes, fallas técnicas, fallas humanas, accidentes, eventos naturales, cambios en la tecnología, la sociedad y el medio ambiente	Estabilidad, robustez, vulnerabilidad, seguridad y adaptabilidad
Investigación operativa y ciencias de la gestión	Redes de suministro de energía y de transporte, sistemas de gestión	Desastres, accidentes humanos y fallas mecánicas	Flexibilidad, vulnerabilidad, recuperación y capacidad de adaptación
Ciencias de la computación	Redes informáticas, dispositivos de internet y sistemas de flujo de la información	Ataques humanos y fallas de ingeniería	Recuperación y capacidad de adaptación
Negocios y administración	Firmas individuales, industrias, regiones,	Fenómenos naturales,	Adaptabilidad y la recuperación

	puertos, cadenas de valor e individuos	acciones humanas, cambios sociales, económicos y tecnológicos	
Psicología	Individuos, grupos de individuos	Eventos estresantes que ocurren durante la vida normal o incidentes	Capacidad de adaptación

Fuente: (Fraccascia *et al.*, 2018)

En relación a la tabla anterior, Fraccascia *et al.* (2018) indican que las ciencias ambientales, la ecología y la ingeniería son los campos de estudio en que el tema de resiliencia recibió mayor atención. En estos dominios, tanto el número de artículos publicados como el número de citas recibidas aumentaron con el tiempo con una tendencia exponencial. Las áreas de investigación operativa y ciencias de la gestión, informática y negocios, y economía son campos novedosos de interés, pero considerablemente menos importante. La resiliencia en psicología tiene un papel marginal a pesar de que el número de citas recibidas en promedio por los artículos es bastante alto. En todas las áreas de investigación los investigadores e instituciones de Los Estados Unidos de América juegan un papel destacado en la temática.

De acuerdo Xu y Kajikawa (2018), la resiliencia y sus conceptos afines son términos que se utilizan para describir los diferentes comportamientos, estados y posibles trayectorias de los sistemas en respuesta a las perturbaciones. En contextos ecológicos, la resiliencia generalmente se trata junto con la estabilidad y la resistencia, mientras que la resiliencia en las ciencias de los materiales presta más atención a la recuperación y la elasticidad de los sistemas. Al vincular los sistemas sociales a los sistemas ecológicos, la resiliencia se refiere a la capacidad de los sistemas de absorber perturbaciones naturales y humanas recurrentes para mantener su función y capacidad de regeneración o para transformarse a un nuevo estado deseable. Esto explora la adaptabilidad y transformabilidad de los sistemas.

La capacidad de adaptación es un aspecto de la resiliencia, y se refiere a la flexibilidad para experimentar y adoptar nuevas soluciones y desarrollo de respuestas generalizadas a los grandes desafíos. Reconocemos que la definición de la capacidad de adaptación es relativamente vaga y requiere de un mayor desarrollo. A pesar de esta vaguedad, es útil disponer de un plazo para una amplia clase de respuestas flexibles de aprendizaje, que a menudo son cruciales cuando un SES se expone a completamente nuevos desafíos (Walker *et al.*, 2006).

La resiliencia comunitaria es difícil de poner en práctica, y la mayor parte de la literatura se ha centrado en discusiones teóricas del término y no en mediciones, la mayor parte de lo que se ha hecho midiendo “la resiliencia percibida en un momento dado, en lugar de una definición independiente y objetiva midiendo la resiliencia comunitaria como un proceso que opera a través del tiempo (Kulig *et al.* 2013 citado por Matarrita-Cascante *et al.*, 2017).

Vaneeckhaute *et al.* (2017) sugieren que es necesario realizar más investigaciones empíricas sobre la resiliencia comunitaria. Esto incluye investigar la forma en que una interrupción del sistema contemporáneo en particular impacta en la localidad (recursos comunales de todos los dominios y organización social); estudiar los efectos multiplicadores entre los recursos comunales debido a una interrupción particular; investigar cómo una comunidad basada en el lugar responde a los impactos; rastrear cómo las personas en una comunidad se convierten en agentes corporativos; explorar las circunstancias estructurales y culturales actuales en una comunidad para comprender completamente cómo responde una comunidad a una interrupción actual; investigar cómo las comunidades han lidiado con interrupciones pasadas, qué han aprendido las comunidades de estas experiencias y cómo las comunidades utilizarán este conocimiento y habilidades en futuras interrupciones (memoria social).

Otros autores como Aldunce *et al.* (2015) coinciden con los autores mencionados en que es necesario operacionalizar, ya que existen pocos estudios empíricos.

La resiliencia a nivel de la comunidad es de especial interés debido a las superposiciones y complementariedades entre las dos ramas (resiliencia y comunidad) de la literatura y las oportunidades de enriquecimiento mutuo. El nivel comunitario está relativamente descuidado y, por lo tanto, requiere más atención. La segunda es que el conjunto de ideas de la literatura emergente sobre resiliencia comunitaria de la salud y el desarrollo comunitario puede ayudarnos a desarrollar un concepto enriquecido e integrado de resiliencia comunitaria, e informar nuevas direcciones y prácticas de investigación (Berkes y Ross, 2013).

En cuanto a las metodologías de investigación en el campo de la resiliencia, Fraccascia *et al.* (2018) encontraron que el modelo conceptual sigue siendo el enfoque preferido en promedio en todas las áreas de investigación. Aunque, el estudio de caso generalmente se prefiere en “ingeniería” e “investigación operativa y ciencia de la gestión”. El 51.06 % de los artículos dentro de las ciencias ambientales y ecología, emplean el modelo conceptual. Los enfoques cuantitativos que se basan en la simulación se utilizan sólo de forma limitada.

Dado que los modelos conceptuales se adoptan principalmente al comienzo de un tema de investigación, cuando las conceptualizaciones y las teorías deben desarrollarse y son más necesarias, esto parece una fuerte limitación de la literatura actual. De hecho, la cantidad de teorías desarrolladas sobre resiliencia en cada campo de investigación aún carece de operacionalización y pruebas (Fraccascia *et al.*, 2018).

En la literatura reciente se han desarrollado varios índices de resiliencia, pero hasta ahora no se ha encontrado una medida inequívoca y universalmente aceptada, porque los límites del sistema y el tiempo de transición necesario pueden variar sustancialmente (Borsekova *et al.*, 2018). La mayoría de los métodos de estimación de la resiliencia,

se basan en argumentos cualitativos y en el uso de proxis para dimensionar los atributos de la resiliencia.

La metodología que propone Ifejika Speranza *et al.* (2014), un marco indicador para la evaluación de la resiliencia de los medios de vida en el contexto de las dinámicas socio-ecológicas (tabla 21), recoge información importante para caracterizar y dimensionar la resiliencia de las comunidades a través de variables indicadoras. Dicha metodología sugiere la inclusión de tres dimensiones o proxis: a) capacidad de amortiguamiento, b) autoorganización y c) capacidad de aprendizaje, que en conjunto generan una cuantificación ordinal de la resiliencia. Cada una de estas dimensiones o proxis se conforman de diferentes indicadores (que son descritos en el capítulo V) y, estos últimos por variables indicadoras de resiliencia.

El marco proporciona una base para profundizar análisis empírico de la resiliencia de un actor desde su perspectiva. Dicho marco de resiliencia tiene el potencial de contribuir a la planificación y seguimiento de proyectos y políticas de desarrollo (Ifejika Speranza *et al.*, 2014).

2.3 EL MARCO DE MEDIOS DE VIDA SOSTENIBLES

Otro de los marcos teóricos empleados fue el de Medios de Vida Sostenibles, que es un enfoque que se centra en las personas para el entendimiento y el abordaje de diversos factores que influyen la pobreza y el bienestar (Department For International Development, DFID, 1999). Los medios de vida comprenden las personas, sus capacidades y sus medios de vida, incluyendo los alimentos, ingresos y activos (tangibles e intangibles).

La teoría de los medios de vida se remonta a la labor de Robert Chambers, llevada a cabo a mediados de los 80's (y que continuó desarrollando, junto a Conway y otros en los 90's). Esta teoría reconoce de forma explícita la importancia del bienestar físico, la educación y el estado del entorno natural para las poblaciones menos favorecidas y para el éxito de los medios de vida sostenibles (DFID, 1999).

El concepto de sostenibilidad incluye dos aspectos, la sostenibilidad ambiental y la sostenibilidad social. En el primero, un medio de vida mantiene o mejora los activos locales y globales en que los medios de vida dependen, y tiene efectos benéficos netos sobre otros medios de vida. Un medio de vida es socialmente sostenible cuando puede enfrentar y recuperarse de un estrés o perturbación y proveer para las futuras generaciones (Chambers y Conway, 1992).

Los elementos clave de este enfoque son los cinco activos de medios de vida o capitales (capital humano, natural, financiero, social y físico), el contexto de vulnerabilidad visto como choques, tendencias y la temporalidad, y la influencia de estructuras de transformación para las estrategias de medios de vida y sus resultados (Birkmann, 2006).

El enfoque mira la vulnerabilidad como un amplio concepto, abarcando los activos de medios de vida y su acceso, los elementos en un contexto de vulnerabilidad tales como los choques, estacionalidad y tendencias como las estructuras institucionales y procesos (Birkmann, 2006).

En este marco, las amenazas se consideran choques a los que son vulnerables los medios de vida y la supervivencia de los individuos, hogares, grupos y comunidades humanas (Chambers y Conway, 1992). Dichos autores se centran en la vulnerabilidad (más que el riesgo) y afirman que tiene dos aspectos: externo (las amenazas) e interno (la capacidad de evitar, resistir y recuperarse de los choques). El término de vulnerabilidad en este contexto se acerca entonces al concepto de riesgo en la literatura sobre desastres (Birkmann, 2006).

Aunque el enfoque de Medios de Vida Sostenibles resalta las múltiples interacciones que determinan la habilidad de una persona, grupo social y hogares para enfrentar y recuperarse de un estrés como un disturbio, se mantiene abstracto y, la estructura de transformación y procesos particulares que incluye aspectos de influencias y acceso se mantiene muy general. En este contexto, el énfasis del acceso y el rol de la transformación de estructuras son cuestiones claves que no han

sido suficientemente examinados. En particular, la flexibilidad de intercambios de los diferentes capitales y activos tiene que ser estrechamente considerado (Birkmann, 2006).

Uno de los procesos de retroalimentación subestimado por el marco de Medios de Vida Sostenibles es el producto en la esfera ambiental. Por ejemplo, un uso más sostenible de los recursos naturales puede ser visto como una herramienta importante para reducir la magnitud de frecuencia de algunas amenazas naturales, tales como, sequías, inundaciones o deslizamientos. Esos vínculos entre los sistemas ambientales y humanos juegan un papel importante en la resiliencia (Birkmann, 2006).

Dentro de las debilidades que presenta el marco de Medios de Vida Sostenibles se resaltan: subestimar las tendencias macroeconómicas y los conflictos en el contexto de vulnerabilidad, no presta atención a las desigualdades de poder, y asume que los activos del capital pueden ser expandidos e incrementados de manera generalizada (Serrat, 2017).

La fortaleza del marco de Medios de Vida Sostenible es su entendimiento de los procesos de los medios de vida sostenibles basado en el análisis de causa-efecto (Wang *et al.*, 2016).

El marco de Medios de Vida Sostenibles es de relevancia en esta tesis doctoral debido los impactos diferenciados de los eventos de inundación a nivel de hogar, especialmente en un contexto rural agrícola centroamericano. Department For International Development, (DFID, 1999), afirma el carácter holístico del marco de Medios de Vida Sostenibles, ya que trata de identificar y organizar los distintos factores que obstaculizan o proporcionan oportunidades y a mostrar las relaciones entre éstos. Lindenbergh, 2002 citado por Wang *et al.* (2016), confirma que la perspectiva de medios de vida sostenibles provee una lente importante para el complejo desarrollo rural sostenible.

3 Caracterización de eventos de inundación provocados por fenómenos hidrometeorológicos extremos en las cuencas hidrográficas de los ríos Achiguate y Sis-Icán

3.1 INTRODUCCIÓN

El objeto de este estudio doctoral es entender la resiliencia ante inundaciones de los territorios desde un enfoque comunitario. Para ello fue necesario estudiar la perturbación en las dos áreas de investigación. Este capítulo muestra la caracterización en el período de 1988 - 2019 y el análisis de los eventos de inundación influenciados por fenómenos meteorológicos extremos que han impactado en ambos territorios bajo estudio.

Una de las preguntas de investigación planteadas es: ¿Han cambiado en las últimas tres décadas la extensión o áreas de impacto de las inundaciones en las partes bajas de las cuencas Achiguate y Sis-Icán?

Las amenazas geo-hidrológicas (por ejemplo, deslizamientos e inundaciones) causan daños sociales y económicos significativos, y un gran número de muertos alrededor del mundo (Salvati *et al.*, 2018). Además el análisis de riesgo de inundaciones y sequía es de gran importancia para preservar la salud de las sociedades humanas y los sistemas ambientales (Lehner *et al.*, 2006). El territorio guatemalteco, principalmente, las planicies costeras del Pacífico de Guatemala no están exentos del impacto de estos fenómenos hidrometeorológicos.

Se estima que el 17.83% del país está expuesto ante la amenaza de inundación (IARNA-URL, 2009). Confirmándose esta situación con los eventos de inundación ocurridos en el pasado como el huracán Mitch (1998), las tormentas tropicales Stan (2005) y Agatha (2010); que generaron precipitación alta en Guatemala, México y El Salvador

provocando grandes inundaciones en las partes bajas (Castellanos y Guerra, 2009; IARNA-URL, 2009).

El huracán Mitch provocó un total de daños por un monto de 748 millones de dólares americanos, en contraste con los impactos de la tormenta Stan fue estimada en 983 millones, equivalente al 3.4% del PIB de 2.004 (CEPAL, 1999; Naciones Unidas y CEPAL, 2005).

Uno de los pasos para el análisis de la resiliencia de un sistema socio-ecológico es definir ante que perturbación o shock debe ser resiliente. En esta fase se examinan los disturbios o fenómenos externos y los procesos de desarrollo (Walker *et al.*, 2006). En este caso la perturbación bajo análisis son los eventos de inundación que impactan ambos sistemas bajo estudio.

Un análisis cuidadoso del perfil histórico revela una gran parte de la dinámica actual del sistema y cómo el sistema podría responder a futuros choques externos (Walker *et al.*, 2006).

Existe un amplio consenso a la hora de afirmar que los desastres resultan de la interacción entre factores físicos, biológicos y sociales. Además, el componente humano es a menudo responsable de la mayoría de los daños. Una de las numerosas formas de definir el riesgo es como una función entre la amenaza y la vulnerabilidad, donde la amenaza involucra la frecuencia de ocurrencia y magnitud de la amenaza (Guerra, 2010).

Cuando describimos una amenaza para explicar un riesgo es importante conocer sus características básicas de peligrosidad en la localidad, tiempo, intensidad y frecuencia (Gravley 2001, citado por Birkmann, 2006).

Entonces para abordar la resiliencia fue necesario analizar la amenaza de inundaciones y cuáles fueron sus características de impacto a nivel local. Los resultados y su discusión se presentan en tres secciones, 1) las inundaciones en la parte baja del Achiguate, 2) las

inundaciones en la parte baja del Sis-Icán y 3) una comparativa de áreas inundables recurrentes y diferentes durante los eventos de inundación analizados.

Se caracterizaron cuatro eventos de inundación que fueron influenciados por eventos hidrometeorológicos extremos en el territorio cómo el huracán Joan-Miriam (1988), huracán Mitch (1998), las tormentas tropicales Stan (2005) y Agatha (2010). En las siguientes páginas se incluye información relevante sobre dichos eventos extremos.

En el caso de la parte baja de la cuenca Achiguate se logró determinar un cambio en la dinámica de las inundaciones a partir del año 1997. Anteriormente, las inundaciones impactaban en la parte baja del Achiguate y otra proporción en la cuenca del río Acomé. A partir de 1997 las inundaciones ya sólo impactan en el tramo final de la cuenca del río Achiguate.

Los eventos de inundación influenciados por la tormenta Stan fueron los de mayor magnitud en extensión en los dos territorios bajo estudio. En Achiguate se estimaron un total de 6,892 hectáreas inundadas y en Sis-Icán fueron 3,149 hectáreas.

3.2 OBJETIVOS

3.2.1 *Objetivo general*

Caracterizar los eventos extremos de inundación en las últimas tres décadas en las partes bajas de las cuencas hidrográficas Achiguate y Sis-Icán.

3.2.2 *Objetivos específicos*

Delimitar y cuantificar las áreas superficiales cubierta con agua (pluvial y fluvial) post eventos hidrometeorológicos extremos en las partes bajas de las cuencas bajo estudio.

Caracterizar los eventos de inundación en seis comunidades priorizadas en las dos áreas de estudio.

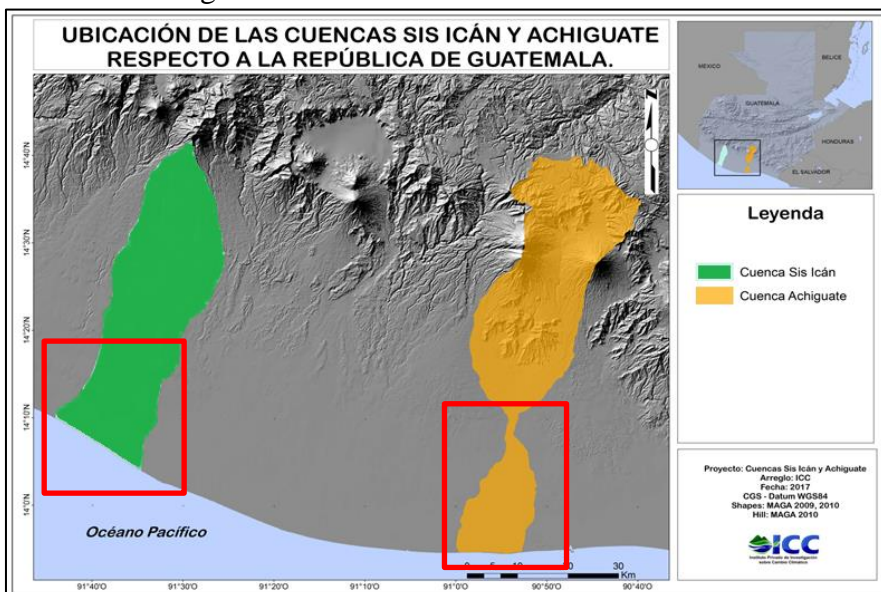
3.3 MÉTODOS

Los métodos utilizados en este apartado de la tesis se basaron en productos de sensores remotos (imágenes satelitales) y sistemas de información geográfica (SIG). El primer paso fue la obtención de imágenes satelitales (open source) post eventos hidrometeorológicos extremos para las dos áreas en estudio, parte baja de las cuencas Achiguate y Sis-Icán.

Posteriormente se procedió a la delimitación de áreas cubiertas con agua. El análisis se complementó con un trabajo de campo a nivel comunitario y el conocimiento local para la validación de las zonas delimitadas con agua.

3.3.1 Selección de áreas de estudio

Las dos áreas sujeto de estudio fueron las partes bajas de las cuencas de los ríos Achiguate y Sis-Icán, ambas ubicadas en la vertiente del Pacífico de la República de Guatemala (lámina 1). Dichas áreas han sido impactadas en el pasado por inundaciones detonadas por eventos hidrometeorológicos extremos.



Lám. 1. Ubicación de las dos zonas de estudio.

En el territorio guatemalteco existen antecedentes de impactos de fenómenos naturales. Los eventos hidrometeorológicos extremos como Mitch, Stan y Agatha provocaron grandes inundaciones en las partes bajas de Guatemala y con impactos en los sectores de salud, infraestructura, educación y agricultura. En el caso de la tormenta Agatha, luego de una semana de intensas lluvias, los suelos se saturaron y con ello se generaron condiciones para deslaves, hundimientos e inundaciones (Castellanos y Guerra, 2009; IARNA-URL, 2012a).

Es frecuente que los fenómenos naturales como Mitch produzcan trastornos graves en la agricultura de Guatemala. Más de 98,000 hectáreas de cultivo fueron afectadas en distintas áreas del país, con mayor intensidad en los departamentos (unidad político-administrativo) de Izabal, Guatemala, Zacapa, El Progreso y Escuintla (CEPAL, 1999). El último de los citados es uno de los territorios de estudio de la presente tesis. Además de otros daños en el sector salud, vivienda, productivo agropecuario y en el medio ambiente que se reportan.

Derivado de los efectos de la tormenta tropical Stan en el año 2005 (Naciones Unidas y CEPAL, 2005), se reportaron daños en viviendas para el departamento de Escuintla. El evento incrementó condiciones de riesgo sanitario, afectación de los sistemas de agua y saneamiento, daños en centros educativos, daños y pérdidas en zonas agrícolas en varios departamentos del país, incluyendo a Suchitepéquez y Escuintla (ambos sujetos de estudio de la presente tesis).

Las dos zonas priorizadas para la presente investigación, las cuencas de los ríos Sis-Icán y Achiguate, presentan áreas expuestas a eventos de inundación. Dichas áreas probables de inundación han sido delimitadas a través de varios estudios hidrológicos e hidráulicos que se compila en el mapa de zonas de inundación de la vertiente del Pacífico de Guatemala (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, 2018).

Las principales características de ambas áreas de estudio se resaltan en la tabla 3. En el caso del Achiguate su área de captación es de

1,237.82 km² y el cauce principal tiene una longitud de 104.7 km; forma parte de los departamentos de Escuintla, Chimaltenango y Sacatepéquez (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2009). Los volcanes de Acatenango, Agua y Fuego están situados en la parte media/alta de la cuenca Achiguate, el último mencionado con una elevación de 3,800 msnm y uno de los más activos y peligrosos en el mundo, aportando grandes cantidades de material que se deposita conformando una extensa llanura de material volcánico (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, 2012; Escobar, 2013; Aldeghi *et al.*, 2019).

Por las razones anteriores, la cuenca del río Achiguate fue seleccionada como área de estudio, destacándose su exposición histórica a eventos de inundación, impactos sociales y económicos por eventos de inundación. Además, la probable influencia del material (cenizas, arena gruesa, rocas de distintos tamaños) proveniente del volcán de Fuego en la dinámica actual y futura de las inundaciones, que podrían magnificarse, situación que podría conducir a una reducción de la resiliencia de los hogares y comunidades dentro de dicho territorio.

La segunda zona de estudio está ubicada en la cuenca hidrográfica Sis-Icán. Esta cuenca tiene un área de captación de 1,028.65 km² y abarca el territorio de los departamentos de Suchitepéquez, Retalhuleu, Quetzaltenango y Sololá (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2009).

La cuenca del río Sis-Icán contrasta con la del Achiguate, no posee volcán activo, pero los hogares y comunidades dentro del territorio han experimentado eventos de inundación y sus impactos desde 1,998 (huracán Mitch). La dinámica de las inundaciones en el Sis-Icán son el resultado de procesos geomorfológicos particulares en dicho territorio y las lluvias asociadas con eventos intensos de lluvia detonados por eventos extremos. Los impactos de la tormenta tropical Stan, de acuerdo al Ministerio de Agricultura y Ganadería (2005), provocaron alrededor de 12.5 millones de quetzales en pérdidas en maíz blanco y amarillo en el territorio de Suchitepéquez.

Tabla 3. Características generales de las dos cuencas hidrográficas bajo estudio.

Características/Criterio de selección	Cuenca del río Achiguate	Cuenca del río Sis-Icán
Área de captación (km ²)	1237.82	1028.65
Longitud del cauce principal	104.7	121.77
Área de sistema focal de estudio (km ²)	333.84	253.53
% Uso de la tierra para actividades agropecuarias (cuenca completa)	80.35	90.29
% Uso de la tierra para actividades agropecuarias (sistema focal)	86.0	78.86
Población estimada en sistema focal (censo 2002)	30,461	12,533
Área inundable (toda la cuenca)		
Eventos de inundación (extremos) que ha impactado el territorio	Mitch (1998), Stan (2005), y Agatha (2011)	Mitch (1998), Stan (2005), y Agatha (2011).
Descripción de impactos más importantes	Daños en viviendas, perdidas de enseres del hogar, daños y pérdidas de cultivos agrícolas, enfermedades temporales gastrointestinales y de piel.	Daños en viviendas, perdidas de enseres del hogar, daños y pérdidas de cultivos agrícolas, enfermedades temporales gastrointestinales y de piel.
Pérdidas agrícolas (2005) *	Q23,626,867	Q12,738,734
Volcán activo	Volcán de Fuego	Ninguno

Fuente: (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2009);(Naciones Unidas y CEPAL, 2005); (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, 2015); (Instituto Nacional de Estadística, 2002).

*Datos reportados para todo el departamento de Escuintla y Suchitepéquez, respectivamente.

Ambas zonas de estudio se ubican dentro de la región fisiográfica denominada llanura costera del Pacífico, cubierta con material aluvial cuaternario que cubre los estratos de la plataforma continental. Los efluvios que corren desde el altiplano volcánico, al cambiar su pendiente, han depositado grandes cantidades de materiales que han formado esta planicie de poca ondulación y aproximadamente con cincuenta kilómetros de ancho a lo largo de la costa del Pacífico. Por lo general, las elevaciones son menores de doscientos metros y el drenaje,

en su mayor parte, es deficiente. Son extensas las áreas sujetas a inundación, particularmente en el oeste (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2001).

En el caso de la primera zona de estudio, se definió un sistema focal de análisis empleando los siguientes criterios: el área con mayor probabilidad de inundación de acuerdo con modelaciones hidrológicas/hidráulicas y zonas afectadas históricamente. Dicho territorio inicia partir de cero metros sobre el nivel del mar hasta la cota (curva) de 140 metros. Combinado con la delimitación oficial del parteaguas o línea divisoria de la cuenca Achiguate por sus flancos en el este y oeste.

Para la segunda zona, cuenca del río Sis-Icán, se utilizaron los mismos criterios de la cuenca anterior, el área con mayor probabilidad a inundaciones para delimitar un sistema focal de análisis. Delimitándose desde cero hasta la cota de 30 metros sobre el nivel del mar. Se tomaron en cuenta la delimitación oficial del parteaguas o línea divisoria en los flancos este y oeste.

En ambas áreas (cuencas) de estudio se priorizaron tres comunidades (asentamientos humanos) de las cuales dos se seleccionaron bajo los siguientes criterios: 1) territorio comunitario con alta exposición a eventos de inundación, 2) viviendas o proporción expuesta a inundaciones, 3) permanencia del nivel de agua entre 3-9 días y 4) indicios de impactos económicos en medios de vida.

Para la tercera comunidad se consideró nula o baja exposición a eventos de inundación, que permitió un comparativo de las características de los eventos de inundación y sus impactos. Entre las comunidades priorizadas se encuentran:

Cuenca del río Achiguate:

Aldea Campamento La Barrita, San José, Escuintla

Caserío Botón Blanco, San José, Escuintla (baja exposición desde el 2010)

Caserío Lolitas, aldea Cuyuta, Masagua, Escuintla

Cuenca del río Sis-Icán:

Aldea San José Churirín, Mazatenango, Suchitepéquez

Línea B-20, San José La Máquina, Suchitepéquez.

Comunidad Agraria La Vega, Mazatenango, Suchitepéquez (nula o baja exposición a eventos de inundación).

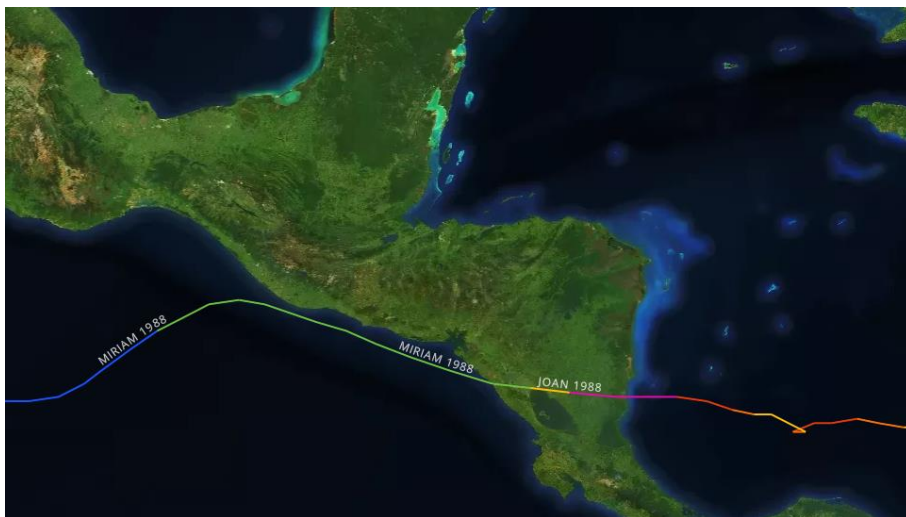
3.3.2 Eventos hidrometeorológicos extremos que afectaron el territorio guatemalteco periodo 1988 - 2008: huracán Joan-Miriam, huracán Mitch, tormentas tropicales Stan y Agatha

3.3.2.1 Huracán Joan-Miriam 1988

El huracán Joan comenzó su formación como disturbio a una latitud baja cerca de las costas de África el 05 de octubre de 1988, ya el 10 de octubre era una depresión tropical en el Atlántico tropical (Lawrence y Gross, 1989). El día 11 la depresión se fortaleció en tormenta tropical, moviéndose a través del sureste de las Islas Barlovento en el Mar Caribe hasta el día 14 de octubre. La tormenta se desplazó por las Antillas Holandesas, la costa de Venezuela y el extremo norte de Colombia (Guajira) y el 17 se convierte en huracán frente a la costa colombiana, se dirigió hacia Nicaragua donde entró a tierra y se desplazó hasta la costa del Pacífico. Luego al océano Pacífico, donde comenzó a denominarse como tormenta tropical Miriam (Lawrence y Gross, 1989). De acuerdo a Díaz y Alfaro, 2015, su intensidad máxima fue de huracán categoría 4, entre las 0 y 12 horas del día 22, registrando un radio de vientos máximos a una velocidad de 230 km/hr y una presión en el ojo de 932 hPa. El día 23, el sistema fue denominado como Miriam cuando ingresó enteramente en el oeste del océano Pacífico, moviéndose y situándose al sur de El Salvador y Guatemala antes de que la categoría de tormenta tropical se disipara como un ciclón tropical (Lawrence y Gross, 1989).

Durante el 24 y 25 de octubre el sistema se movilizó frente a las costas del Pacífico de Guatemala. A partir del 26 de octubre el sistema se aleja de tierras continentales y adentrándose más hacia el océano Pacífico (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2018).

Joan fue responsable de 216 muertes estimadas a través del sur del Caribe incluyendo: Nicaragua 148, Costa Rica 28, Colombia 25, Venezuela 11 y Panamá 4. El total de daños estimados fue de \$2,000,000,000; casi la mitad de estos ocurrió en Nicaragua (Lawrence y Gross, 1989).



Lám. 2. Trayecto del ciclón Joan-Miriam.

Fuente: NOAA Digital Coast (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2018) <https://coast.noaa.gov/hurricanes>.

Esta figura/imagen cuenta con permiso para su utilización y reproducción.

3.3.2.2 *Huracán Mitch*

La temporada de huracanes en el hemisferio norte y el océano Atlántico tuvo características de inusitada fuerza en 1998, causando desolación, pérdida de vidas y daños económicos, sociales y ambientales de enorme magnitud. Mitch tuvo su origen en una onda tropical entre el lunes 19 y 20 de octubre (lámina 3). En territorio guatemalteco se manifestaba viento norte debido a su circulación ciclónica y la atmósfera adquiría condiciones de inestabilidad (CEPAL, 1999).

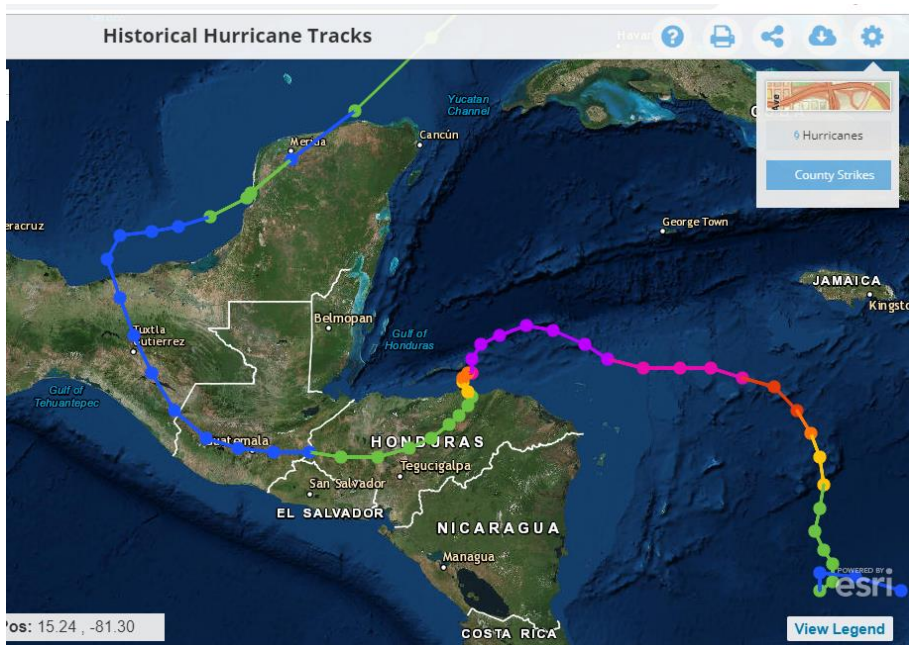
El 24 de octubre el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala inició la fase de alerta, que el huracán adquiere la categoría 2. Para el 25 de octubre aumentó más su fuerza, categoría 3, empezó a afectar a la costa de Honduras. Con vientos máximos sostenidos de 221 km/hr, por la tarde obtiene categoría 4 (CEPAL, 1999).

El día 28 el huracán se estacionó frente al litoral de Honduras y redujo su intensidad progresivamente, pasando por las categorías 3, 2, 1 y convirtiéndose en tormenta tropical el día 29, con vientos de menos de 100 km/hr y desplazamientos al oeste. Se presentan lluvias fuertes en Petén, Izabal y Cobán. El día 30 ingresó en territorio de Honduras, convirtiéndose en depresión tropical y el 31 penetró con rapidez en territorio de Guatemala. En la estación de Puerto Barrios se registraron 319 mm de precipitación para el 28 al 30 de octubre (CEPAL, 1999).

El 01 de noviembre, la depresión se desplazó lentamente de este a oeste, ocasionando fuertes lluvias en ese y el día siguiente. El 3 de noviembre se renueva su intensidad y la depresión se convierte en tormenta tropical, dirigiéndose hacia Campeche, México y el 04 abandonó el territorio guatemalteco. Los días 1 al 03 de noviembre se registraron las lluvias más intensas en el departamento de Guatemala (308 mm los días 1 y 2) y en Escuintla (799 mm los días 2 y 3). La precipitación pluvial superó, en ese lapso, la que se había registrado en todo el año. En la estación del Pto. San José Escuintla el acumulado de lluvias entre el 31 de octubre y 05 de noviembre fue de 975.6 milímetros (CEPAL, 1999).

Mitch fue el responsable de más de 9 mil muertes predominantemente de las áreas que se inundaron por las lluvias inducidas por este fenómeno en Centro América, primordialmente en Honduras y Nicaragua. Esto hizo que Mitch sea considerado como uno de los más mortíferos de los ciclones tropicales en el Atlántico en la historia (vaung y Lawrence, 1999).

Se estimó que el fenómeno afectó a casi 750,000 personas en Guatemala, de las cuales resultaron damnificadas más de 106,000 que debieron ser evacuadas. Se registraron 268 muertes y un número similar de heridos (CEPAL, 1999).



Lám. 3. Trayecto del huracán Mitch entre 22 de octubre y 06 de noviembre de 1998.

Fuente: NOAA Digital Coast (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2018) <https://coast.noaa.gov/hurricanes>.

Esta figura/imagen cuenta con permiso para su utilización y reproducción.

3.3.2.3 Tormenta tropical Stan

Stan fue asociado con desastrosas inundaciones en áreas de América Central y México, y se estimó que el total de muertes fueron más de 2,000 personas. Sin embargo no todas esas muertes fueron directamente atribuidas a Stan (Pasch and Roberts, 2006).

En octubre del 2005, la interacción de varios sistemas meteorológicos, entre los que resalta la formación y evolución de la

tormenta Stan en el mar Caribe y el Golfo de México, aunado a la posición latitudinal de la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ), cercana a las costas del Pacífico guatemalteco vinculado con un sistema fuerte de baja presión y la persistencia en baja atmósfera; propiciaron abundante humedad que, al interactuar con el relieve guatemalteco favorecieron la formación de lluvias continuas a partir del 01 de octubre, especialmente en la costa sur del país (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, 2005).

Una onda tropical se movió de la costa de África desde el 17 de septiembre y fue el precursor de Stan (Pasch y Roberts, 2006). Del 28 de septiembre al 01 de octubre, el sistema de baja presión en el mar Caribe pasa a ser una depresión tropical (No. 20). La depresión estaba ubicada a 500 km al norte de Puerto Barrios, Izabal (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, 2005).

El 02 de octubre la depresión tropical tuvo una transición a tormenta tropical, retornando posteriormente a depresión tropical, en su momento se ubicaba a 440 km al norte de Puerto Barrios, Izabal. Durante este día el sistema cruzó la península de Yucatán, con trayectoria oeste-noroeste. El día 03 de octubre la depresión tropical se fortaleció a tormenta tropical, ubicándose en el golfo de México (lámina 4). Las bandas secundarias asociadas a la tormenta favorecían el ingreso de mayor humedad desde el océano Pacífico, sumado a la humedad asociada a un sistema de baja presión en el Pacífico (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, 2005).

El día 04 de octubre, la tormenta tropical Stan se intensificó a huracán categoría I. Su centro se localizaba a 195 km al sureste de Veracruz México. Sobre el Pacífico sur, promovió abundante nubosidad, con lluvias fuertes desde la meseta central al Pacífico sur y la zona occidente de Guatemala. El sistema de baja presión en el océano Pacífico se volvió parte de la circulación del ciclón y la ITCZ se mantenía sobre las costas de Guatemala y El Salvador (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, 2005).

El 05 de octubre, en la madrugada la depresión tropical seguía degradándose, disipándose finalmente sobre las montañas de Oaxaca México. Durante la mañana aún se tuvo gran humedad en casi todo el país, asociado al paso de una onda tropical y la ITCZ que se mantenía sobre la costa del Pacífico (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, 2005)

Este gran sistema produjo intensas lluvias sobre el este de México y América Central que resultó en inundaciones desastrosas. Se estimó que el total de pérdidas de vidas humanas en México y América Central fue entre el rango de 1,000 a 2,000 personas. En Guatemala fue particularmente fuerte, más de 1,000 personas perecieron (Pasch y Roberts, 2006).

Los mayores acumulados de lluvia durante diez días, del 01 al 10 de octubre, fueron los siguientes (tabla 4):

Tabla 4. Acumulado de lluvia durante 01 al 10 de octubre de 2005, por efectos de la tormenta tropical Stan.

Lugar	Lluvia acumulada (mm)
Ciudad de Tecún Umán	868.2
Puerto de San José	776.2
Retalhuleu	681.6
Ciudad de Pedro de Alvarado	662.5
Santa Lucía Cotzumalguapa	505.2
Santiago Atitlán, Sololá	483.8
San Marcos	362.5
Aldea Los Esclavos, Santa Rosa	359.5
Santa María El Tablón, Sololá	347.8
San Lucas Tolimán, Sololá	325.1
Quetzaltenango	279.2

Fuente: (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, 2005)



Lám. 4. Trayecto de la tormenta tropical Stan entre 01 al 05 de octubre de 2005.

Fuente: NOAA Digital Coast (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2018) <https://coast.noaa.gov/hurricanes>.

Esta figura/imagen cuenta con permiso para su utilización y reproducción.

3.3.2.4 Tormenta tropical Agatha

Agatha fue un ciclón tropical de corta vida, que generó lluvias en áreas del Pacífico de Guatemala. Las fuertes lluvias asociadas con la tormenta fueron responsables de 177 muertes en América Central (Beven, 2010).

El 25 de mayo, un sistema fuerte de baja presión se ubicaba en el Pacífico centroamericano entre Nicaragua y El Salvador, asociado a la zona de convergencia intertropical, generando inestabilidad en gran parte del territorio nacional, el movimiento de la baja presión era lento hacia El Salvador y Guatemala (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, 2010).

El 28 de mayo, el sistema de baja presión se quedó semi-estacionario en el Pacífico entre México y Guatemala, alcanzando una presión mínima de 1,007 mb, condición que promovió abundante entrada de humedad al territorio nacional, registrándose lluvias fuerte en la mayor parte del país (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, 2010).

Para el 29 de mayo la condición meteorológica fue de tipo temporal en la mayor parte del territorio nacional con lluvias torrenciales. Los acumulados de lluvias durante el periodo de influencia del ciclón fueron elevados, en seis días considerados como influencia de Agatha en algunas regiones de Guatemala se registraron más lluvia de lo que normalmente se registraron en mayo (tabla 5). Debido a su fortalecimiento, frente a las costas de Guatemala, fue elevada a tormenta tropical Agatha (lámina 5). Al tocar tierra, Agatha causó deslizamientos de tierra e innumerables ríos desbordados, cobrando la vida de varias decenas de personas. (Gobierno de Guatemala *et al.*, 2010; Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, 2010).

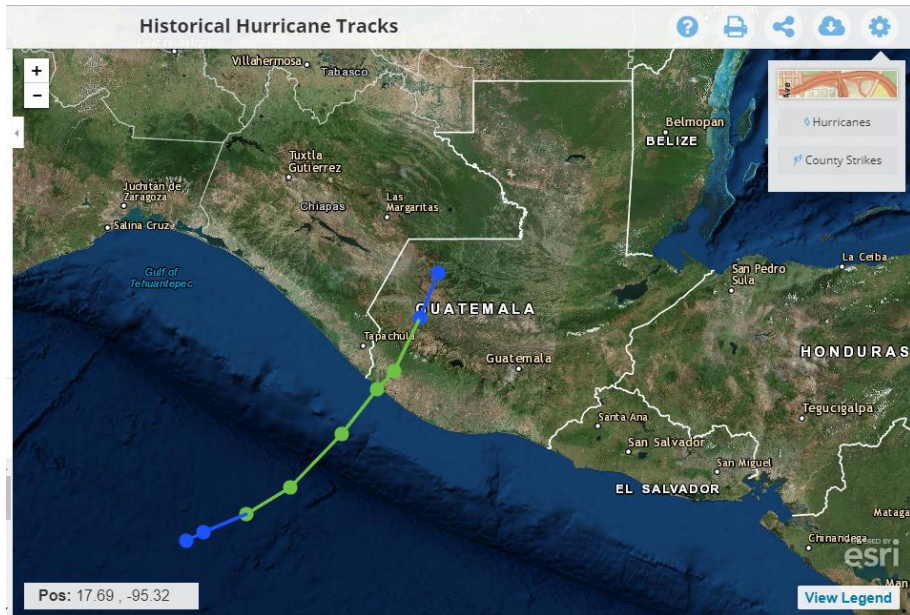
Tabla 5. Acumulado de lluvias en varias estaciones de INSIVUMEH por efecto de la tormenta Agatha.

Lugar	Lluvia acumulada (mm)
Mazatenango	565.6
Retalhuleu	555.3
Ciudad de Pedro de Alvarado	536.7
Puerto de San José	497.4
San Lucas Tolimán	490.4
Santa Lucía Cotzumalguapa	369.3
Guatemala, Guatemala	356
Tecún Umán	335.9
Santiago Atitlán	301.9
Quetzaltenango	294.7
San Marcos	290.8

Fuente: (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, 2010)

El día 30, Agatha se disipó sobre territorio de Huehuetenango. Lluvias fuertes siguieron registrándose en la región sur-occidente,

asociados con el sistema y a los remanentes de humedad (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, 2010).



Lám. 5. Trayecto de la tormenta tropical Agatha del 28 al 30 de mayo de 2010.

Fuente: NOAA Digital Coast (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2018) <https://coast.noaa.gov/hurricanes>.

Esta figura/imagen cuenta con permiso para su utilización y reproducción.

Los ciclones tropicales que tocan tierra en Guatemala son eventos raros. Durante el periodo de registros confiables en el este del Pacífico, solamente una tormenta tropical había tocado tierra en Guatemala, Simone el 19 de octubre de 1968. Además, la tormenta tropical Bárbara que toco tierra justamente entre la frontera de México – Guatemala, no muy lejos de Agatha (Beven, 2010).

3.4 RECOPIACIÓN DE DATOS/IMÁGENES SATELITALES

En los recientes años los sistemas satelitales y las técnicas de análisis de imágenes que se han desarrollado extensamente con instrumentos civiles y comerciales de observación de la Tierra, pueden

contribuir significativamente para apoyar un gestión más técnica de los desastres, como el caso de las situaciones de crisis humanitarias (Voigt *et al.*, 2007). Los sensores remotos son una herramienta poderosa para mapear áreas inundadas. En los últimos años, la disponibilidad de datos satelitales gratuitos ha incrementado en términos de tipo y frecuencia, permitiendo la producción de mapas a bajo costo en todo el mundo (Notti *et al.*, 2018). A pesar de permanecer en una era digital donde existen varias plataformas y otros mecanismos particulares para disponer de información y datos de sensores remotos de manera gratuita, estas presentan algunas limitaciones entre las que destacan, su frecuencia de cobertura de determinada área, la disponibilidad de imágenes en pico máximo de inundación, la nubosidad y especialmente la resolución espacial. De acuerdo a Notti *et al.* (2018) la alta resolución es una de las limitaciones del enfoque gratuito de los datos satelitales (imágenes) para el mapeo de inundaciones. A pesar de dichas limitaciones y con la ayuda de herramientas auxiliares se logró integrar la información satelital disponible y se obtuvo las áreas inundables con precisión.

Una de las ventajas del uso de imágenes satelitales en el mapeo de inundaciones es la disponibilidad de datos, la efectividad y la robustez (Wang, 2004). El uso de un sistema geográfico, sensores remotos y datos satelitales de alta resolución para identificar amenazas, vulnerabilidad y mapeo de riesgos pertenecen a un área de enfoque intensivo (Hazarika *et al.*, 2016).

Para estimar las áreas inundables en las dos zonas de estudio, parte baja del Achiguate y Sis-Icán, se consideraron cuatro diferentes escenas de las misiones: Landsat, una escena del sensor MODIS de los satélites Terra/Aqua. Así mismo, se utilizó una escena de la misión ASTER. Previo al pre-procesamiento se procedió con la selección y adquisición (descarga, tabla 6) de las escenas de Landsat Surfaces Reflectance, ASTER (path/row 20/50) y MODIS Land Surface Reflectance (horizontal/vertical – 9/7) disponibles en <https://glovis.usgs.gov/app> y <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>.

Tabla 6. Detalle de las escenas (imágenes) empleadas para el estudio de áreas inundables en las partes bajas de las cuencas hidrográficas Achiguate y Sis-Icán.

Escena	Resolución espacial	Resolución espectral	Fecha	Fuente
LT04_L1TP_020050_19880918_20170206_01_T1	30m	7	18/09/1988	USGS
LT04_L1TP_020050_19881105_20170206_01_T1	30 m	7	05/11/1988	USGS
LT05_L1TP_020050_19981109_20161220_01_T1	30 m	7	09/11/1998	USGS
MOD09GQ.A2005285.h09v07.006.2015109111744	250 m	2	12/10/2005	NASA
LE07_L1TP_020050_20100611_20161214_01_T1	30 m	8	11/06/2010	USGS
AST_L1T_00306112010164148_20150601192603_91022_V	15 m	3	11/06/2010	USGS

Las condiciones básicas definidas para la selección de las escenas satelitales a analizar fueron las siguientes: cercanía a las fechas de inundaciones (pos-inundación), cobertura de las zonas bajo estudio, baja nubosidad en la escena, resolución espacial y espectral, y especialmente la captura de la información sobre áreas inundadas en ambos territorios en estudio.

3.4.1 Pre-procesamiento de las imágenes satelitales

Para las escenas de Landsat L1T no se efectuaron ningún pre-procesamiento y en los casos del producto MODIS dicho trabajo fue necesario a través de una herramienta de MODIS y para ASTER se empleó la herramienta de Semi-Automatic Classification Plugin en QGIS.

Los datos satelitales a menudo requieren de un pre-procesamiento previo al análisis para reducir efectos de sensor, del sol, condiciones atmosféricas y topográficas en la información (Young *et al.*, 2017).

Las escenas de Landsat con la mayor calidad de datos disponible se colocan en el nivel 1 y se consideran adecuadas para el análisis de series de tiempo. El nivel 1 incluye datos corregidos de precisión y

terreno (L1TP) que tienen una radiometría bien caracterizada y están inter-calibrados a través de los diferentes instrumentos Landsat. El registro geográfico de las escenas de nivel 1 es coherente y está dentro de las tolerancias prescritas de imagen a imagen de 12 metros de error de media cuadrática radial -RMSE- (USGS, 2018).

Para el pre-procesamiento de las imágenes MODIS a un formato compatible con un software SIG, fue necesario obtener uno de los programas de instalación, MODIS Reprojection Tool (MRT), para el pre-procesamiento de los datos, los cuales se encuentran disponibles en la página de USGS (<http://LDPAAC.usgs.gov>) de acuerdo al sistema operativo en que se desee trabajar.

La metodología utilizada se basó principalmente en un código escrito con comandos de líneas que permiten ser ejecutados dentro de cada uno de los programas mencionados anteriormente. Los resultados son imágenes en formatos compatibles en software SIG, y con un sistema de coordenada designado para el país. En el caso de este estudio, se re-proyectaron las imágenes desde su proyección original, Sinusoidal, a la proyección Universal Transversal de Mercator (UTM), generándose archivos geo tiff para su posterior uso en el análisis.

En el caso de la imagen ASTER se utilizó la herramienta de complemento Semi-Automatic Classification Plugin de QGIS para la corrección atmosférica DOS y crear las tres bandas de color natural, insumo importante, para la siguiente fase de análisis.

3.4.2 Delimitación de zonas inundables

La delimitación de superficies con agua post-eventos hidrometeorológicos extremos no contempló la separación entre la inundación de tipo fluvial de la pluvial, por lo que es relevante dicha consideración.

Para el procesamiento y análisis de las zonas inundables se utilizó el software MultiSpec©. Este es un sistema de procesamiento para analizar de manera interactiva datos de imágenes multi-espectrales de

observación de la Tierra, como el producido por la serie Landsat de satélites de la Tierra e información de imágenes hiperespectrales de sistemas actuales y futuros a bordo de aviones y naves espaciales como AVIRIS. El objetivo principal de MultiSpec es brindar una ayuda para exportar los resultados de la investigación para idear buenos métodos para analizar dichos datos de imagen hiperespectral (Purdue Research Foundation, 2018).

A través del programa MultiSpec se desplegaron las bandas que conforman las imágenes satelitales y se procedió con la inspección de estas (coordenadas, datum, la calidad de la imagen entre otros). Posteriormente se definieron los parámetros de la imagen satelital, seleccionándose la zona 15 UTM y el Datum WGS84 (Purdue Research Foundation, 2015a). También se define la mejor combinación de bandas que visualicen y mejoran las características de la imagen (Biehl, L., 2016), que permitan observar más detalles las superficies con agua y las otras superficies de cada área de estudio. Posteriormente se realizaron recortes de manera separada de las dos zonas focales de estudio (tabla 3), parte baja de las cuencas Achiguate y Sis-Icán, guardándolos como archivos geotiff para su posterior análisis.

Para la delimitación de las áreas cubiertas con agua se utilizó una clasificación no supervisada basada en un algoritmo de agrupamiento (clúster). En MultiSpec existen dos algoritmos disponibles que agrupan píxeles similares de la imagen dentro de agrupamientos o categorías. Uno de los algoritmos es el tipo: simple one-pass, el otro es el llamado ISODATA (Purdue Research Foundation, 2015b).

El algoritmo ISODATA es más sofisticado para la clasificación no supervisada que one-pass. Además, es utilizado comúnmente por los científicos debido a su alta precisión y la selección de parámetros apropiados que son más fáciles (Vaughn, 2000).

Se eligió el algoritmo ISODATA y se procedió al procesamiento de los agrupamientos de las diferentes superficies de las dos zonas en estudio. Se utilizaron algunos valores por defecto del algoritmo, como

la convergencia del 99% y un tamaño mínimo del grupo de 10 (Purdue Research Foundation, 2011). Se estableció un máximo de 50 grupos. Las imágenes que se analizaron fueron para los años 1988, 1998, 2005 y 2010 (tabla seis) que contienen datos de los efectos de eventos hidrometeorológicos extremos ocurridos entre 4 a 12 días posterior al pico máximo de inundación.

Una vez completado el agrupamiento, siempre en MultiSpec, se desplegó la imagen de salida del clúster y con detalle se comparó con la imagen satelital de referencia del terreno, por foto-interpretación (lámina 6). Con la finalidad definir las clases espectrales (grupos generados) que coinciden con las clases de información deseadas, en este caso con las superficies cubiertas con agua. Purdue Research Foundation (2011), indica que el archivo de clúster de salida se convierte en una herramienta útil en este proceso.

A través del sistema de información geográfico, QGIS, se procedió a la vectorización del archivo clúster en formato ráster a un vectorial y con ello obtener polígonos de las zonas inundadas.

Como un método complementario y de corroboración de la delimitación de superficies cubierta con agua con el procedimiento anterior, se generó el Índice Modificado Normalizado de Diferencia de Agua (MNDWI) con datos de imágenes satelitales utilizadas, a excepción de la escena ASTER. Con este insumo se procedió a una comparación de las áreas delimitadas con el clúster y el índice MNDWI para obtener un producto más preciso.

Existen varios métodos para la extracción de información de agua de imágenes de sensores remotos, que, de acuerdo con el número de bandas utilizadas, generalmente se dividen en dos tipos: método de banda-simple o multibandas. El método multibandas toma ventaja sobre la banda-simple, ya que toma las diferencias reflectivas de cada banda involucrada (Xu, 2006). En este sentido el índice MNDWI utiliza varias bandas para el procesamiento.

El índice MNDWI tiene la ventaja sobre el Índice Normalizado de Diferencia de Agua (NDWI), que mejora claramente las características de aguas abiertas. Además, logra separar áreas edificadas, que están presentes en la imagen NDWI en un tono gris medio, lo que sugiere tener un valor de brillo positivo. Estas tierras edificadas se pueden ver como ruido mezclado con las características del agua (se sobredimensiona). Sin embargo, en la imagen MNDWI toma un tono negro y tiene un gran contraste con las características del agua, lo que sugiere que el ruido se suprime notablemente o incluso lo remueve (Xu, 2006).

Debido a la dinámica cambiante del cauce principal de los dos ríos principales bajo estudio, especialmente el río Achiguate, estos cuerpos de agua fueron incluidos dentro de la delimitación de superficies con agua. Caso contrario, en el territorio del Sis-Icán, con cuerpos de agua más estables, estos fueron separados en el cálculo.

Finalmente, a través de QGIS se procedió al cálculo de áreas inundadas post eventos hidrometeorológicos extremos y la obtención de los mapas de zonas inundables pos-eventos hidrometeorológicos extremos.

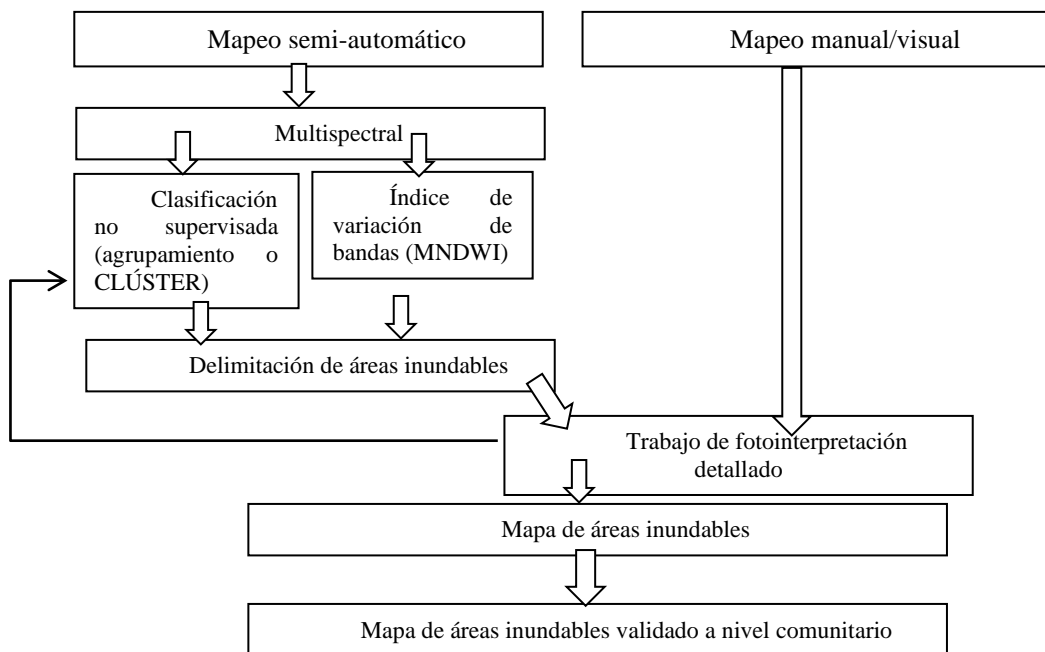
3.4.3 Validación de áreas inundadas de acuerdo con el conocimiento local

El conocimiento y la experiencia local de las personas sobre las inundaciones pasadas fueron considerados y comparados con los resultados e información generada en la fase anterior (tabla 7). La opinión y el conocimiento de estas personas fueron colectados a través de seis talleres comunitarios en igual cantidad de comunidades. Estos talleres de validación de información a nivel comunitario se priorizaron en función de tres comunidades por cada área de estudio. Hewitt (2004) citado por Guerra (2010), menciona que la inclusión del conocimiento local, percepciones culturales y antecedentes histórico son esenciales, y particularmente importantes para la evaluación de vulnerabilidad.

A través de la técnica de grupo focal, las personas revisaron los mapas (con colores reales) generados de áreas inundables, confirmando o desechando la información relacionada a eventos pasados. Se indagaron algunas características de los eventos de inundación que no recogen las imágenes satelitales en comunidades priorizadas, cómo el tipo de evento, el máximo nivel alcanzado y los materiales transportados entre otros datos registrados.

Tabla 7. Calendario y comunidades donde se efectuaron los talles de validación de información sobre inundaciones.

No.	Comunidad	Fecha
1	Aldea San José Churirín, Mazatenango, Suchitepéquez	17/10/2018
2	Línea B-20, San José La Máquina, Suchitepéquez.	18/10/2018
3	Comunidad Agraria La Vega, Mazatenango, Suchitepéquez	19/10/2018
4	Aldea Campamento La Barrita, San José, Escuintla	23/10/2018
5	Caserío Lolitas, aldea Cuyuta, Masagua, Escuintla	24/10/2018
6	Caserío Botón Blanco, San José Escuintla	25/10/2018



Lám. 6. Metodología de mapeo de inundación utilizado para este trabajo.

Fuente: Basado en (Notti *et al.*, 2018)

3.5 RESULTADOS Y SU DISCUSIÓN

Este apartado contiene tres subsecciones, la primera y la segunda presentan los resultados de la delimitación de superficies conteniendo agua superficial para los tramos finales de las cuencas Achiguate y del Sis-Icán, respectivamente. La tercera subsección analiza las zonas recurrentes de inundación y otras áreas diferentes de impacto que tomarían relevancia como insumos para la gestión y reducción del riesgo a inundaciones.

Como una premisa importante sobre los resultados, los datos satelitales Landsat presentan algunas limitaciones, comparado con los sensores SAR. Las imágenes multi-espectrales a menudo están limitadas por la presencia de nubes, generando más dificultad para obtener datos durante el máximo nivel de inundación. Otro factor limitante de datos es la presencia de bosques o cobertura vegetal densa y finalmente cuando la imagen es de varios días posterior al máximo nivel del evento meteorológico (Notti *et al.*, 2018).

Muchos de los enfoques de mapeo de riesgo y vulnerabilidad requieren de datos y análisis que son tan complejos y costosos, resultando en un limitado acceso en países en vías de desarrollo como el caso de Guatemala. Sin embargo, ambos procesos de elaboración de los mapas deben ser valorados y considerados, por lo tanto, la pregunta que se debe plantear es cómo adaptar el conocimiento y los métodos existentes para informar y alentar acciones en lugares con poca información o recursos (Guerra, 2010).

3.5.1 Cuenca Achiguate

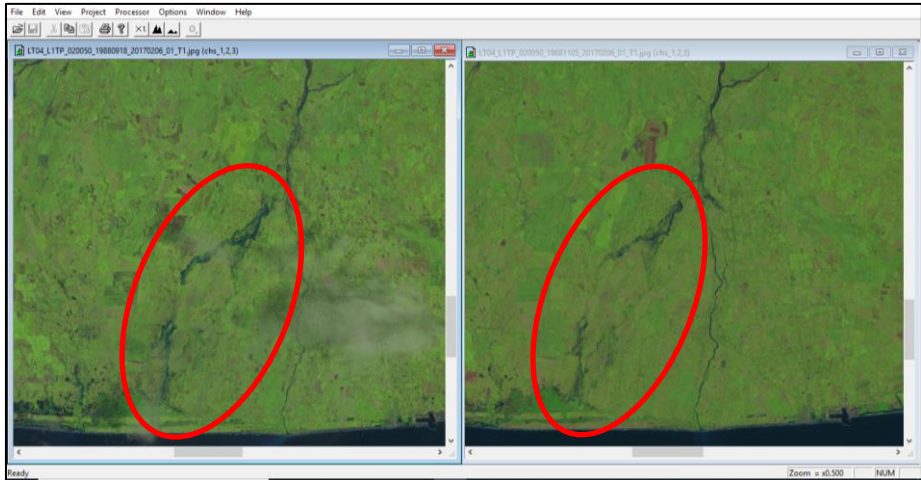
3.5.1.1 Inundaciones del año 1988

En 1988, especialmente en los últimos meses (septiembre, octubre y noviembre) de la temporada de lluvias en la costa sur de Guatemala, las inundaciones fueron recurrentes en territorios aledaños al cauce principal del Achiguate, especialmente en el lado oeste (lámina 7), que es parte del territorio de la cuenca del Acomé.

En función de imágenes satelitales Landsat disponibles, las inundaciones en la parte baja de la cuenca Achiguate se han dado desde el año 1986 y no necesariamente vinculadas con la influencia de un evento ciclón tropical. Estos eventos de inundación han ocurrido bajo la influencia de lluvias en el rango promedio o por eventos extremos de lluvia generado por mecanismos locales que influyen su ocurrencia en el territorio, aunado a otros factores físicos y humanos en el territorio. Guerra (2010), indica que un número de eventos extremos de lluvia han ocurrido cuando no existen tormentas tropicales. En una muestra de 568 eventos diarios que comprende el percentil 99 en 9 estaciones representativas del país, sólo el 11% de lluvias extremas locales ocurrieron durante ciclones tropicales. Durante las tormentas tropicales los impactos son ampliados e inicia su relevancia a nivel de país. Porque se dan eventos extremos de forma simultánea en varias localidades, con efectos a una escala mayor.

El 18 de septiembre se observó un evento de inundación en el Achiguate de 1,836 hectáreas de extensión superficial contra 1,507 hectáreas impactadas por el evento del cinco de noviembre para el mismo año (ver lámina 7).

El primer evento no coincide con la influencia de un evento hidrometeorológico extremo. A pesar de ello y de acuerdo con registros de la estación meteorológica de INSIVUMEH Sabana Grande, ubicada en la parte media de la cuenca, hubo una precipitación máxima el día 08 de septiembre de 107.8 milímetros, representando el 18% del promedio mensual acumulado para el mes de septiembre desde 1979 hasta el 2010. Es muy probable que este evento haya saturado de humedad los suelos del territorio de Achiguate y generado escorrentía superficial y finalmente inundaciones en el tramo final de la cuenca.



Lám. 7. Áreas inundadas en septiembre (izquierdo) y noviembre (derecho) de 1988 en la parte baja del Achiguate y Acomé (círculos en rojo).

Tal como lo indica el Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, (2012), cuanto mayor es el volumen de precipitación en un territorio mayor será la proporción de agua que se generará como escorrentía superficial. Esta relación tiene sentido puesto que las pérdidas hidrológicas no pueden incrementarse indefinidamente (el suelo, por ejemplo, tiene una capacidad limitada de absorción de agua de lluvia).

Las precipitaciones subsiguientes al 08 de septiembre (desde el 09 hasta el 17 de septiembre), generaron un acumulado de 200.8 mm, aunado a la saturación de humedad en los suelos y sedimentos volcánicos, se infiere que influenciaron en la magnitud del evento de inundación que captura la imagen satelital del 18 de septiembre de 1988.

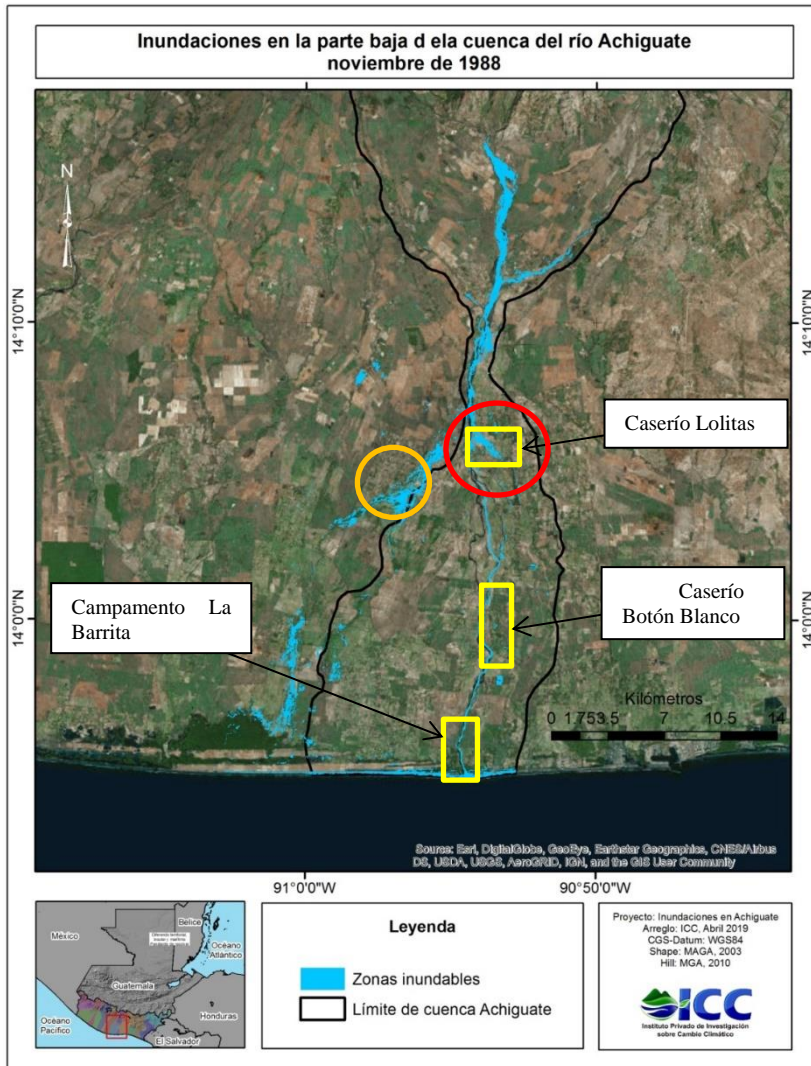
Lo anterior tiene sentido, ya que el Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (2012)), afirma que el tiempo en que una crecida causada por un episodio de lluvia extremo en la subcuenca del Guacalate llegará a la zona costera en un tiempo estimado de 15 horas.

El cinco de noviembre 1988 se observó otro evento de inundación en la cuenca Achiguate que afectó territorio aledaño en el lado oeste. Dicho evento afectó una zona de 1,507 hectáreas (ver lámina 8, superficies con cubierta de agua en color azul claro).

Este segundo evento fue influenciado por el fenómeno Joan/Miriam, provocando que el 24 de octubre se diera una precipitación máxima de 103.7 milímetros en la estación de INSIVUMEH Sabana Grande. En los siguientes 10 días se tuvo un acumulado de 178.3 milímetros que influenciaron en este episodio de inundación.

Respecto a las tres comunidades (pobladós) priorizadas para el estudio en dicha cuenca, durante los eventos de 1988, el único que fue afectado directamente fue el caserío Lolitas, Masagua Escuintla, tal como se muestra en la lámina ocho (enmarcado en el círculo rojo). Esta situación se confirmó con el grupo focal en referida comunidad, que validaron dicha inundación. Se mencionó que la característica de la inundación fue un proceso gradual y con arrastre de escombros orgánicos y principalmente lodo. Las personas de la tercera edad en el grupo focal manifestaron que la profundidad de la inundación fue de un metro aproximadamente.

Como uno de los hallazgos importantes del análisis de las inundaciones de septiembre y noviembre de 1988, el impacto fue mayor en la Comunidad Agraria El Pilar, La Democracia, Escuintla (territorio que no está dentro de la cuenca hidrográfica Achiguate). El desbordamiento del río Achiguate fueron en las siguientes coordenadas: 14.11802° y 90.90764°; 14.11576° y 90.90753° respectivamente, provocando que parte del volumen de agua se condujera por la quebrada El Pilar y llegara a impactar en dicha población agrícola (ver áreas dentro de círculo naranja, lámina ocho). El flujo se extendió hacia el sur, perjudicando áreas de cultivos de empresas agrícolas hasta el humedal Sipacate-Naranjo. Se estimaron 1,866 y 845 hectáreas de impacto por inundación, respectivamente.



Lám. 8. Áreas inundadas en noviembre de 1988 en la parte baja de la cuenca del río Achiguate (en color azul claro).

Respecto a las áreas impactadas en territorio fuera de la cuenca Achiguate, se puede inferir que fue provocado por una combinación de varios factores. El primero, debido a los materiales volcánicos expulsados por el volcán de Fuego en el pasado, especialmente las

erupciones más fuertes a mediados de los 70's, que fue transportado gradualmente en cada temporada de lluvias río abajo. INSIVUMEH, 2012, reporta y confirma que en 1974 el volcán de Fuego tuvo una erupción fuerte que dañó la agricultura. En años posteriores se tuvo constante actividad piroplástica y flujos de lava.

Molina (2005) relata sobre una propiedad ubicada al suroeste del volcán de Fuego respecto a la erupción de 1974 “La ceniza y arena lanzadas por el volcán de Fuego cubrieron masivamente toda la finca, en cuyas partes altas la capa de materia volcánica alcanzó mayor espesor. Seis meses después de la erupción y a la llegada de las lluvias, la arena volcánica empezó a introducirse en uno en los ríos”.

Dicho material fue depositándose y generando que la profundidad del lecho de Achiguatue fuese disminuyendo a través de los años y movilizándose hacia otras áreas (ver capítulo IV donde se aborda este asunto). Otro de los factores, son las precipitaciones extremas en el territorio, la humedad y la capacidad de infiltración de los suelos, que generan que parte de lluvia se vuelva escorrentía y se conduce directamente a los distintos afluentes. Guerra (2010), identificó que los datos de precipitación en dos estaciones meteorológicas muy cercanas al territorio del Achiguatue (Camantulul y Puerto de San José) para el período de 1979 - 2009, han mostrado una tendencia a incremento en la precipitación anual, aunado a una tendencia de lluvias extremas.

Finalmente está el factor humano, es probable que alguna actividad humana, como los canales de riego, contribuyera que mayor volumen de agua se condujera por este territorio de la cuenca del río Acomé.

Con relación a las comunidades de estudio en el Achiguatue, el caserío Campamento La Barrita, la memoria colectiva desconocía de este evento de inundación. En cambio, las personas en el caserío Botón Blanco indicaron que afectó pocas áreas, las de mayor depresión topográfica, pero que el mayor impacto fue en el lado oeste del río, coincidiendo con la delimitación de imagen satelital.

Otras áreas que fueron afectadas en el territorio bajo estudio fueron algunas fincas privadas, Aldea Milagro, Masagua, Escuintla y caserío Linda Mar, San José, Escuintla.

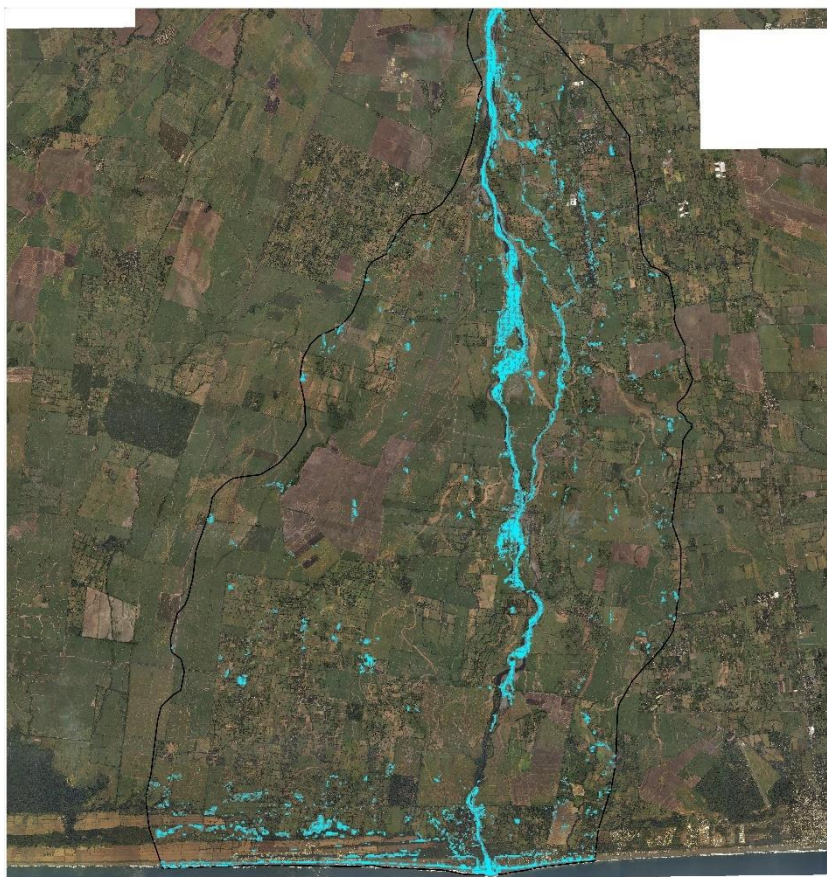
3.5.1.2 Inundaciones de 1998 asociadas al huracán Mitch

Derivado del paso del fenómeno meteorológico extremo huracán Mitch por el territorio guatemalteco, varias zonas ubicadas en las partes bajas, de la cuenca Achiguate (sistema focal en estudio) fueron inundadas directamente por desbordamientos del río principal y de otras corrientes secundarias (lámina 9), aunado a la acumulación de agua por efecto de las lluvias locales. Se estimaron un total de 1,849 hectáreas inundadas, entre poblados, áreas de cultivo y cauce principal del río Achiguate.



Es importante aclarar, que las condiciones meteorológicas que prevalecieron en el área bajo estudio, especialmente, en la fecha de adquisición de la imagen satelital, fue la existencia de nubosidad densa y sus sombras proyectadas en otras áreas provocaron no contar con datos para un total 8,142 hectáreas para el sistema focal en estudio.

De acuerdo con los datos de estaciones meteorológicas ubicadas en este territorio, el día dos de noviembre se tuvo una precipitación acumulada de 219 milímetros (Estación Sabana Grande) y 467 milímetros (Estación Puerto San José). Estas precipitaciones máximas acumuladas influyeron en la magnitud de las inundaciones en la parte baja del Achiguate, aunado a las características topográficas del área.

Inundaciones provocadas en la parte baja de la cuenca Achiguate por influencia del huracán Mitch



Leyenda

-  Sistema focal Achiguate
-  Áreas inundadas post - huracán Mitch (1998)

Proyecto: Resiliencia a inundaciones en Guatemala
Arreglo: Pablo Yar López
Datum: WGS84
Shape de cuencas: Maga 2009
Ortofotos: Maga2005
Datos de inundación: USGS, NASA, 2017



Lám. 9. Áreas inundadas en noviembre de 1998 en parte baja de la cuenca Achiguate (en color azul claro), influenciadas por Mitch.

Tabla 8. Características de las inundaciones que afectaron las tres comunidades priorizadas en la parte baja de la cuenca del Achiguate en función de la información satelital y conocimiento comunitario local.

Nombre del poblado	Afectación (áreas inundadas) basada en datos de imagen satelital	Afectación (áreas inundadas) basada en el conocimiento local (experiencia de las personas)
Caserío Campamento La Barrita	<p>Se observan varias áreas pequeñas de la comunidad con cobertura de agua, especialmente en la zona norte y media. En áreas de playa se confirman varias zonas secas. En el suroeste de la comunidad se observa una zona inundada debido a la cercanía al cauce del río, que por el mismo fenómeno del encuentro de las mareas del océano Pacífico y las aguas del Achiguate en la desembocadura, que generan un plano de inundación.</p> <p>También se observa que el canal de Chiquimulilla incrementó en caudal, alimentado por la escorrentía superficial proveniente de áreas al norte, generándose áreas inundables en los flancos.</p>	<p>Se confirmó que la inundación afectó casi toda la comunidad, exceptuando áreas cercanas a la playa. La lámina de agua acumulada tuvo un rango entre 1 - 3 metros de profundidad. Se mencionó que la inundación fue lenta (progresiva) y que las aguas provenían de la parte norte de la comunidad. Estas aguas transportaron lodo compuesto de materiales como: limo, arcilla y arena. Parte de la comunidad en lado este fue inundada por el efecto de choque entre las aguas del océano Pacífico (marea oceánica) y las aguas del Achiguate en su desembocadura. Las inundaciones duraron entre 5-6 días para que se drenaran.</p>
Caserío Botón Blanco	<p>La nubosidad y su efecto de sombra limitaron los datos para esta localidad. En áreas periféricas de la comunidad se delimitaron pequeñas zonas que se inundaron.</p>	<p>En el taller comunitario, las personas informaron que la comunidad fue afectada totalmente por inundaciones. Indicaron que por efecto del desbordamiento del río Limón (afluente del Achiguate) y la escorrentía superficial proveniente de áreas al norte llegaron a impactar a la comunidad.</p> <p>Dicho punto de desbordamiento está aproximadamente en el</p>

		<p>kilómetro 93 de la carretera antigua a Puerto San José. Dicho punto es donde las aguas inician su impacto hasta llegar a la comunidad Botón Blanco y continúan la escorrentía hacia áreas al sur. Incluso hasta llegar al casco urbano del puerto San José.</p>
Caserío Lolitas	<p>El análisis permitió determinar que dos puntos de desbordamiento del río Achiguate provocaron que llegara más volumen de agua al río Limón (afluente). Esta situación provocó inundaciones en áreas agrícolas principalmente y en algunas viviendas. En el área donde se concentra la mayoría de las viviendas no se registra acumulación de agua. Se observa que perjudicó un tramo de la carretera principal hacia la comunidad.</p>	<p>En el área donde se concentran la mayoría de las viviendas la acumulación de agua fue por efecto de lluvia local. Algunas viviendas y áreas agrícolas cercanas al río Limón (afluente secundario) el impacto fue mayor. Varias viviendas de otras comunidades al sur fueron afectadas en mayor grado por la inundación.</p> <p>La carretera de acceso a la comunidad fue seriamente afectada, que el traslado fue por medio de transporte acuático (lanchas) hacia aldea Cuyuta y el puerto San José.</p> <p>Las inundaciones duraron entre 5 y 6 días.</p>

Otras áreas exclusivamente dedicadas a actividades agropecuarias, tanto en lado este y oeste del cauce principal del Achiguate, fueron afectadas seriamente por la acumulación de agua.

De acuerdo con el conocimiento local de las tres comunidades priorizadas, la extensión de inundación fue mayor que lo registrado por la imagen satelital empleada para el análisis de 1998 (ver tabla 8). De acuerdo con Notti *et al.* (2018), el factor tiempo es el parámetro más crítico en el estudio de la inundaciones. Si una imagen de inundación está disponible, la detección y el refinamiento del área inundada son más exactos. Además, la hora en que pasa el satélite respecto al pico

máximo de inundación, es otro factor muy importante. Dichas limitaciones de conseguir datos en el máximo nivel de inundación generan una sub- cuantificación de las zonas de impacto por inundaciones.

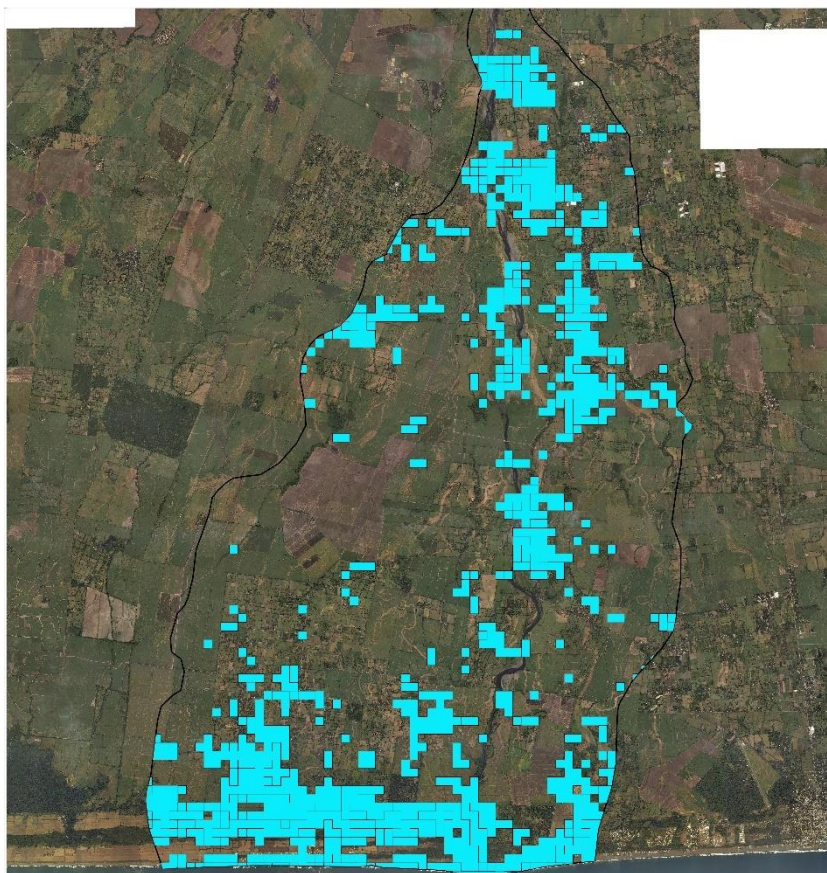
Un aspecto importante durante este evento del 1998, en contraste con lo ocurrido en septiembre y noviembre de 1988, el río Achiguate no se desbordó hacia la cuenca Acomé, en los puntos identificables en 1988. Se cuantificaron un estimado de 218 hectáreas en el Acomé en la zona de efecto de 1988, pero fue debido a lluvia local y escorrentía superficial de la parte norte de dicho territorio (cuenca).

3.5.1.3 Inundaciones de 2005 (*tormenta Stan*)



De acuerdo con las Naciones Unidas y Cepal (2005) las intensas lluvias ocasionadas por el huracán Stan afectaron alrededor de un tercio del territorio nacional a través de inundaciones y deslizamientos generalizados, con graves consecuencias sobre vidas, patrimonio, medios de vida y actividades de la población.

Lo anterior se confirma con la delimitación efectuada de superficies inundadas post-Stan, con un área estimada de 6,892 hectáreas (lámina 10) en el sistema focal bajo estudio. Aunque es relevante mencionar que la única fuente de datos, imagen que se utilizó, fue una MODIS con una resolución de 250 metros cuadrados que es menos precisa que las imágenes Landsat de resolución más fina. Notti *et al.* (2018)) indican que las pequeñas inundaciones no pueden ser mapeadas con imágenes satelitales de baja resolución, especialmente en áreas de pequeños afluentes y con un corto intervalo de tiempo de inundación. Aunque para imágenes post inundaciones, la relación entre la hora del máximo nivel de inundación versus la hora en que pasa el satélite, es más importante que la resolución espacial.

Inundaciones provocadas en la parte baja de la cuenca Achiguate por influencia de la tormenta tropical Stan



Legenda

-  Sistema focal Achiguate
-  Áreas inundadas post - tormenta tropical Stan (2005)

Proyecto: Resiliencia a inundaciones en Guatemala
Arreglo: Pablo Yax López
Datum: WGS84
Shape de cuencas: Maga 2009
Ortofotos: Maga2005
Datos de inundación: USGS, NASA, 2017



Lám. 10. Áreas inundadas post-evento tormenta tropical Stan (2005) en la parte baja de la cuenca del río Achiguate.

En dos de las tres comunidades priorizadas para el estudio en su percepción manifestaron que Stan fue el evento de mayor impacto comparado con Mitch o Agatha (tabla 9). El mapa de áreas inundables (lámina 10) confirma el impacto total en estas comunidades. Además, en la parte final de la cuenca se observa la concentración de las inundaciones por escorrentía y lluvias locales.

Tabla 9. Características de las inundaciones que afectaron las tres comunidades priorizadas en la parte baja de la cuenca del Achiguate por efecto de la tormenta Stan.

Nombre de poblado	Afectación (áreas inundadas) basada en datos de imagen satelital	Afectación (áreas inundadas) basada en el conocimiento local (experiencia de las personas)
Caserío Campamento La Barrita	Gran parte de la superficie de la comunidad fue afectada por la acumulación de agua, especialmente áreas adyacentes al cauce principal del Achiguate. En áreas de playa se confirma una zona que no fue afectada. De acuerdo con el taller comunitario, hacia esta zona donde evacúan las personas o familias afectadas por las inundaciones.	La inundación afectó casi toda la comunidad, exceptuando áreas cercanas a la playa. Se consideró como un evento más fuerte que Mitch. Aunque se poseía más organización comunitaria y se respondió de manera diferente, indicaron en el taller. Se estimó una lámina de agua acumulada entre un rango de 1 - 3 metros. Se mencionó que la inundación fue de tipo progresiva, originándose las aguas de la parte norte de la comunidad. Estas aguas contenían una alta carga de materiales volcánicos que se depositaron en los terrenos y viviendas. Como parte de la dinámica de la desembocadura del Achiguate, se generó un ensanchamiento del río por efecto de la marea oceánica. Aunque esta situación fue magnificada por el aporte de grandes volúmenes de agua, generando mayor área inundable. Las aguas

		estancadas duraron entre 3 - 4 días para que drenaran.
Caserío Botón Blanco	<p>Los datos de la imagen satelital indican que esta comunidad fue afectada por el desbordamiento del Achiguate, incluso, fue el trayecto de río durante dicho evento extremo. Se observa la acumulación de agua en la zona de viviendas y en cultivos aledaños. A través de la fotointerpretación, se deduce que parte del agua que impactó a la comunidad se condujo a través del canal del río Limón (afluente) y por desbordamiento de este afluente en otros puntos hasta llegar a la comunidad.</p> <p>Es importante mencionar que parte del agua que se condujo por el río Limón provino del mismo río Achiguate que se desbordó en dos puntos río arriba, específicamente en las coordenadas: N 14.12577° y O -90.90384°; N14.10316° y O -90.90438.</p>	<p>La comunidad fue afectada totalmente por la inundación detonada por la tormenta Stan. Se mencionó que la profundidad promedio del agua acumulada fue de 2 metros de altura. Se calificó como una de las más fuertes que han impactado a la comunidad, incluso, superior en impacto de las inundaciones provocadas por el huracán Mitch.</p> <p>La mayor parte del agua ingresó en la parte norte de la comunidad por el desbordamiento del río Limón. Se indicó que la finca la Esperanza fue inundada totalmente.</p> <p>Las personas evacuaron para aldea Cuyuta, Masagua Escuintla y otras fueron trasladadas en helicópteros a la base naval del puerto San José.</p> <p>La inundación tuvo una duración de 8 días. No afectó únicamente a esta comunidad, sino el agua continuó desplazándose en el territorio al sur, impactando a varias comunidades del municipio de San José y principalmente el área urbana de San José Escuintla.</p>
Caserío Lolitas	<p>Por el desbordamiento del río Achiguate, en las coordenadas citadas anteriormente (Botón Blanco), la comunidad Lolitas fue totalmente afectada.</p>	<p>El conocimiento local confirmó que durante este evento extremo la comunidad fue impactada en su totalidad. El rango de profundidad estuvo entre 1- 2</p>

	<p>A través de la fotointerpretación de la imagen satelital del 12 de octubre, se logró deducir que el agua derivada de ambos desbordamientos en el Achiguate impactó directamente el poblado de caserío Lolitas. También se observa que áreas de cultivos de empresas privadas y otros poblados fueron perjudicados entre las que destacan: finca Tierra Linda, entrada y extremo final de aldea Llanitos, finca Las Flores, finca Anabella, finca Rosario, finca Santa Clara entre otras de la zona.</p>	<p>metros de agua y otros materiales.</p> <p>Se mencionó que la inundación detonada por Stan fue fuerte para la comunidad, quedándose incomunicados vía terrestre y las viviendas perjudicadas por la acumulación de agua y materiales.</p> <p>El agua contaba con una alta carga de sedimentos (arena, limo y arcilla) y arrastre de escombros orgánicos y de otros tipos. La inundación duró un total de 6 días.</p> <p>Algunas familias elevaron sus enseres para que no se perdieran por humedad.</p>
--	--	---

La información obtenida de la imagen satelital, específicamente con la extensión de la superficie del agua, coincide con el conocimiento local de las comunidades que fueron priorizadas para el estudio. Como lo indica Hewitt, citado por Guerra, (2010), que la inclusión del conocimiento local, las percepciones culturales y los antecedentes históricos son esenciales, y particularmente importante en la evaluación de la vulnerabilidad.

A través de la fotointerpretación de imágenes aéreas del año 2006, de fina resolución, se logró identificar las diferentes rastros o huellas por donde las principales escorrentías (corrientes) que se desplazaron por este territorio durante la tormenta Stan, ya sean estas generadas por el exceso de lluvia local y/o por el desbordamiento del río principal y otros afluentes secundarios. Contrastando dicha información con la delimitación de áreas inundables post – Stan (imagen de resolución gruesa), se confirma la alta probabilidad de que estas áreas permanecieron bajo agua durante varios días.

Como lo indican Notti *et al.* (2018), para el refinamiento de un mapa se debe considerar información adicional como fotos aéreas georreferenciadas o documentos que tengan información acerca de la extensión del área inundada. Esos datos permiten la creación de una versión final mejorada de mapas de áreas inundadas.

Otra forma de corroborar las áreas que se delimitaron con agua post evento Stan fue la comparación con productos de zonas inundables a partir de estudios hidrológicos e hidráulicos para la zona. Las zonas inundadas en el año 2005 coinciden con la delimitación de zonas inundables de origen fluvial para un período de retorno de dos, 10 y 30 años que efectuó el Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático en su mapa de zonas de riesgo a inundación en el Pacífico de Guatemala.

3.5.1.4 Inundaciones de 2010 (tormenta Agatha)

Los ciclones que tocan tierra en Guatemala son poco comunes y Agatha se recuerda porque afectó en el inicio de la temporada de lluvias. Las personas que se dedican a la agricultura tienen muy presente este evento por la fecha y su afectación (tabla 10). Además, fue uno de los últimos eventos de mayor impacto que ocurrió en el territorio.

Tabla 10. Características de las inundaciones que afectaron las tres comunidades priorizadas en la parte baja de la cuenca del Achiguate por efecto de la tormenta Agatha.

Nombre del poblado	Afectación (áreas inundadas) basada en datos de imagen satelital	Afectación (áreas inundadas) basada en el conocimiento local (experiencia de las personas)
Caserío Campamento La Barrita	La imagen satelital Landsat muestra pequeñas áreas inundadas en el centro de la comunidad. Aunque en áreas adyacentes al cauce principal del Achiguate se observa zonas cubiertas de agua. También se inundaron áreas de cultivo al norte de la comunidad, que se convierten en indicios, que de esas zonas	A nivel comunitario la inundación provocada por influencia de Agatha ha sido la de mayor impacto comparado con las anteriores (Mitch y Stan). Casi toda la comunidad fue perjudicada, ya que el desbordamiento del río Achiguate fue cercano (80 - 100 metros) al noreste de

	<p>se originaron las escorrentías hacia la comunidad.</p>	<p>dicha comunidad y no como en las anteriores inundaciones, que los desbordamientos fueron en puntos más alejados al norte y la energía fue disipándose en áreas o terrenos al norte de la comunidad. Se mencionó que el nivel de agua superó el puente y que los escombros orgánicos (árboles) impactaron el puente. Dicha situación se magnificó debido a las obras de mitigación que se construyeron a partir del 2010 en tramos río arriba y que aún no estaban construidas en el tramo final del Achiguate.</p> <p>El flujo de agua desbordado contenía una alta carga de materiales volcánicos y escombros (orgánicos y no orgánicos) que se depositaron en los terrenos y viviendas en dicho poblado. Se dañaron 11 viviendas aledañas al cauce principal del Achiguate.</p>
<p>Caserío Botón Blanco</p>	<p>Se observan pocas áreas cubiertas de agua directamente en el área de las viviendas. Se ven acumulaciones en lado sureste, que son áreas de cultivo de empresas agrícolas. Estas acumulaciones se interpretan que fueron por efecto de las lluvias locales y escorrentía, descartando que sea por desbordamiento del río Achiguate u otro afluente secundario.</p>	<p>A nivel comunitario se confirmó que el evento Agatha no impactó a la comunidad. Esto debido a la construcción de un dique longitudinal (borda) en tramos río arriba, donde regularmente se desbordaba el río Achiguate en el pasado.</p>
<p>Caserío Lolitas</p>	<p>De acuerdo con datos de Landsat, el área donde se concentra la mayoría de las viviendas se observa acumulación de agua, aunque</p>	<p>Se mencionó que la inundación alcanzó una altura entre 0.20 a 0.45 metros, con una combinación de agua fluvial y pluvial local. El agua</p>

	<p>no captura toda la magnitud del evento.</p> <p>Los indicios de humedad muestran que es probable que el Achiguate se desbordara en un punto al norte muy cercano al poblado, entre 900 y 1,000 metros de distancia.</p>	<p>estancada duró entre 2 y 4 días. El agua contaba con una alta carga de sedimentos (arena, limo y arcilla) y arrastre de escombros orgánicos y de otros tipos.</p> <p>Las personas fueron evacuadas hacia el salón comunal y la escuela de la aldea Cuyuta, Masagua, Escuintla.</p> <p>Las personas agregaron que en ese año el Estado guatemalteco ya había construido diques longitudinales para mitigar el impacto de las inundaciones. Aunque, estas estructuras fueron superadas en nivel del agua, sí disminuyeron la magnitud como ocurría en el pasado.</p>
--	---	---

Las inundaciones influenciadas por la tormenta Agatha en este territorio bajo análisis fueron de mayor impacto en el tramo final del río Achiguate (de acuerdo con el conocimiento local). Es probable que esta magnificación de impacto fuese por las obras de mitigación (bordas o diques longitudinales) construidas a la altura de Masagua, Escuintla, hacia el sur en ambos lados del cauce principal, que aún no habían finalizado en su tramo final. Estas obras de mitigación evitaron o disminuyeron el impacto en algunas áreas recurrentes de inundación, como el caso del caserío Botón Blanco y en cierta medida para el caserío Lolitas entre otras comunidades aledañas. Pero, en el caso de Caserío Campamento La Barrita la inundación fue súbita y con el arrastre de escombros orgánicos y material sedimentario volcánico.

Se estimó un área inundable para la fecha 11 de junio de 2010 de 2,228 hectáreas que estaban cubiertas con agua, aunque no se observa acumulación en el Caserío Campamento La Barrita. Evidentemente la

imagen es post-evento, y no contiene datos del máximo nivel de inundación.

El evento de mayor cobertura superficial con agua fue generado por efecto de la tormenta Stan (ver tabla 11) y cuantificado en 6,892 hectáreas. Los eventos de 1988 mostraron menos cobertura directamente en territorio del Achiguate. Aunque parte del volumen durante dicho año (1988) se derivó hacia el territorio del Acomé impactando en 1,866 y 845 hectáreas para septiembre y noviembre, respectivamente. Dichas áreas sumadas con las inundaciones en el Achiguate en 1988 brindan un acumulado de 3,703 y 2,352 hectáreas respectivamente y se convierten en inundaciones superiores a Mitch y Agatha.

Tabla 11. Resumen de áreas inundadas, áreas no inundadas y zonas sin datos en la parte baja de la cuenca Achiguate.

Fecha de imagen satelital	Área inundada (has)	Áreas no inundadas (has)	Área sin datos (por nubosidad o sombras) has
11/06/2010	2,228	31,538	0
12/10/2005	6,892	11,608	14,883
09/11/1998	1,849	23,369	8,164
05/11/1988	1,507	31,877	0
18/09/1988	1,836	29,370	2,177

3.5.2 Cuenca del río Sis-Icán

Este territorio se decidió estudiarlo para contar con un comparativo en términos de resiliencia con el otro territorio que tiene influencia de material volcánico recientemente e interpretar su influencia y si es un factor determinante en el grado de impacto o magnitud de las inundaciones. En esta cuenca existen más cuerpos de agua permanente, como lagunas y lagunetas que incrementan su extensión y puede llegar afectar zonas colindantes.

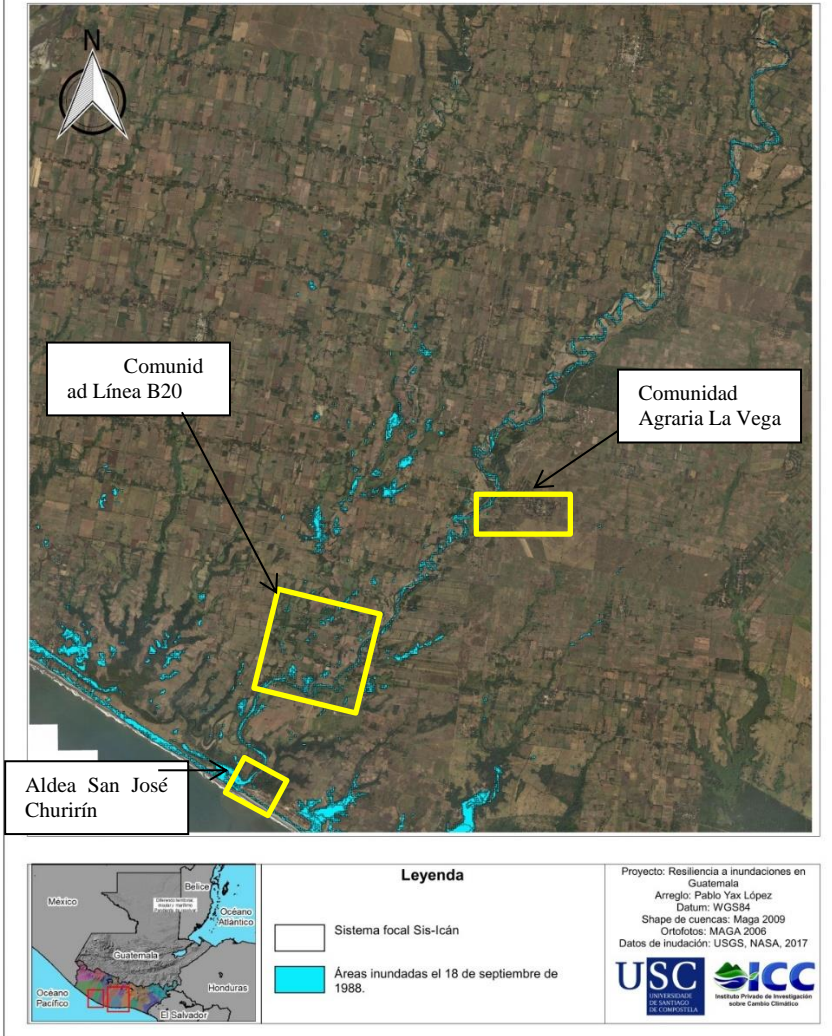
3.5.2.1 *Inundaciones en 1988*

Se procedió a la delimitación de áreas con cubiertas de agua para el 18 de septiembre y 05 de noviembre de 1988 (lámina 11). Estos productos se generaron con la finalidad de ser un comparativo con los siguientes años, inundaciones que fueron influenciadas por eventos hidrometeorológicos extremos como el huracán Mitch, las tormentas tropicales Stan y Agatha.

Para septiembre de 1988 se observa poco impacto en el área de viviendas de la comunidad San José Churirín. En pequeñas áreas que forman parte del ecosistema manglar se observa acumulación de agua, pero no perjudicaron a las viviendas.

Para la Comunidad Línea B20, el impacto se observa en áreas de cultivo que por sus condiciones de depresión topográfica fueron cubiertas con agua procedente del río Sis en el oeste y el Icán en el este, aunado al aporte por escorrentía superficial de otras áreas al norte.

Áreas inundadas en septiembre de 1988 en la parte baja de la cuenca Sis-Icán.



Lám. 11. Áreas inundadas delimitadas para el 18 de septiembre de 1988 en la parte baja de la cuenca Sis-Icán.

Por otro lado, en el caso de la Comunidad Agraria La Vega, no se delimitaron áreas cubiertas con agua. Incluso, esta comunidad no existía como poblado en 1988, tal como se refleja en la imagen satelital utilizada, que muestra cobertura vegetal.

Para todo el sistema focal Sis-Icán (área de estudio) se delimitó un total de 969 hectáreas inundadas que fueron capturadas en la imagen de fecha 18 de septiembre de 1988, excluyendo un total de 507 hectáreas que representan cuerpos de agua (lagunas) permanente en la zona.

3.5.2.2 Inundación delimitada en noviembre de 1988

En el caso de la aldea de San José Churirín, se observa acumulación de agua en pequeñas áreas colindantes al mangle, en lado noroeste de la comunidad.

En la Comunidad Línea B20, se delimitaron áreas cubiertas de agua al sur del poblado y zonas adyacentes al cauce principal del río Icán, que son zonas recurrentes de inundación, como se verán en los siguientes años.

Para la Comunidad Agraria La Vega, tal como se mencionó en párrafos anteriores aún no estaba asentada en la zona.

En los talleres comunitarios ningún participante se recordó de este fenómeno en el año 1988. En el caso de la Comunidad Agraria La Vega todas las personas no son originarias de este territorio, es decir migraron de otras áreas del país, y llegaron a establecerse como parte del proceso de adquisición de tierras a través del Fondo de Tierras a finales de los años 90's y cuentan con poca memoria histórica del territorio. Dicha situación hizo que desconocieran los sucesos que han ocurrido en el territorio antes de su llegada.

3.5.2.3 Inundaciones de 1998 asociadas al huracán Mitch

Entre los eventos más recordados que han afectado el territorio en estudio, se mencionó el huracán Mitch como uno de los más

impactantes (ver tabla 12). Se estimaron un área inundada post evento Mitch de 855 hectáreas, menor al área cuantificada para el 18 de septiembre de 1988 que fue de 969 hectáreas. Aunque se debe considerar que la comparación es relativa, debido a la fecha en que se capturaron los datos por las imágenes satelitales y el máximo nivel de inundación. Aunado al efecto de la nubosidad en la fuente de datos de 1998.

Tabla 12. Características de las inundaciones que afectaron las tres comunidades priorizadas en la parte baja de la cuenca del Sis-Icán por efecto del huracán Mitch.

Nombre del poblado	Afectación (áreas inundadas) basada en datos de imagen satelital	Afectación (áreas inundadas) basada en el conocimiento local (experiencia de las personas)
Aldea San José Churirín, Mazatenango	La disponibilidad de datos (algunas áreas no se observan por la nubosidad) muestran que la zona al noroeste, en el ecosistema manglar un incremento de la extensión de agua. No se observa acumulación en la zona de viviendas	Las personas confirmaron que la zona que se inundó en la comunidad por efecto del Mitch fue el área adyacente al norte de la comunidad. Específicamente, áreas del ecosistema manglar. En el poblado como tal, las lluvias locales generaron cierta acumulación de agua, pero que no fue perjudicial.
Línea B20, San José La Máquina	Se observa gran proporción de la comunidad cubierta con agua, específicamente la parte sur (faja 21) antes de la unión de los ríos Sis e Icán. En algunas áreas no fue posible determinar la cobertura de agua por efecto de las nubes.	Se informó que casi toda la comunidad fue afectada por la acumulación de agua. Una decena de viviendas no fueron afectadas, al igual que la Escuela Oficial Rural Mixta de Línea B20, esta última, empleada como albergue para varias familias. El desbordamiento fue en ambos ríos, por el lado oeste el Sis y en lado este, el Icán que provocaron acumulación de agua. La inundación tuvo una duración de 3 - 6 días y estuvo en función de los sitios. La lluvia fue constante durante el evento.

Comunidad Agraria La Vega, Mazatenango	La comunidad no fue afectada por inundaciones derivadas del río Icán.	La zona de viviendas no se inundó durante este evento. Algunas casas ubicadas muy cercanas a corrientes pequeñas (riachuelos) se vieron perjudicadas por el incremento en caudal de estos afluentes terciarios.
--	---	---

3.5.2.4 Inundaciones de 2005 asociadas a la tormenta Stan

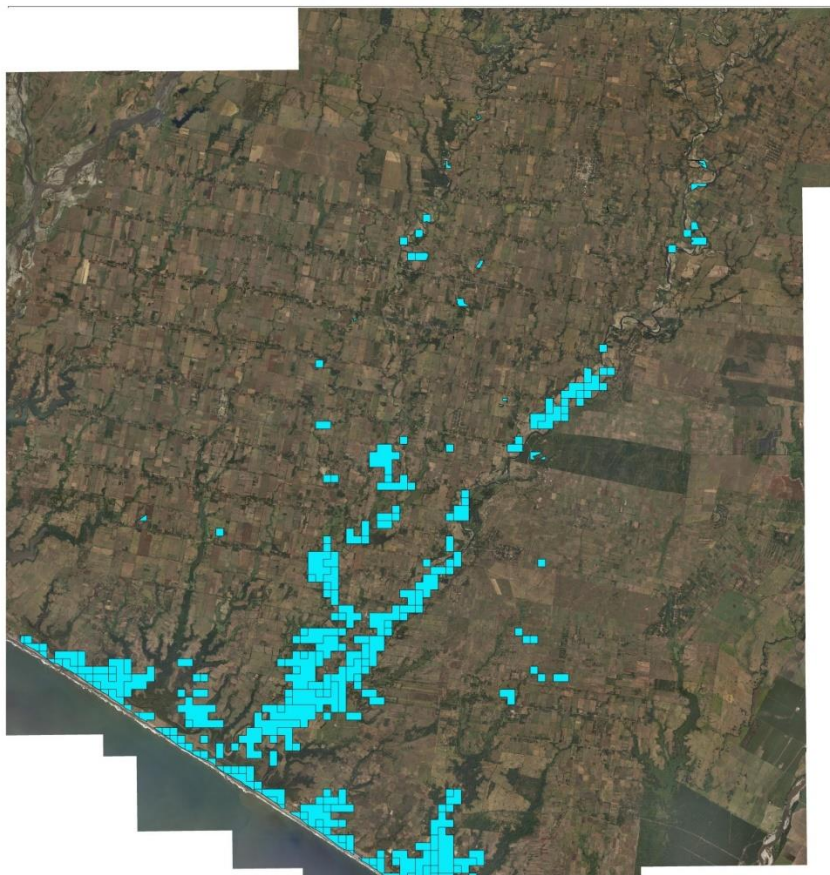
Considerando las limitaciones de la imagen satelital MODIS (la única fuente satelital de datos disponibles para este evento) utilizada para el análisis, tanto por el grueso de la resolución espacial y la nubosidad existente, se logró delimitar las zonas inundadas post evento Stan en la parte baja de Sis-Icán. Se estimaron 2,968 hectáreas de zona inundada en el sistema focal de estudio (lámina 12) y sus efectos se resaltan en la tabla 13.

Tabla 13. Características de las inundaciones que afectaron las tres comunidades priorizadas en la parte baja de la cuenca del Sis-Icán por efecto de la tormenta Stan.



Nombre del poblado	Afectación (áreas inundadas) basada en datos de imagen satelital	Afectación (áreas inundadas) basada en el conocimiento local (experiencia de las personas)
Aldea San José Churirín, Mazatenango	<p>La zona norte, a un kilómetro de la comunidad fue afectada por inundaciones.</p> <p>El área de viviendas se observa acumulación de agua (inundada) en su totalidad.</p>	<p>Las personas confirmaron que la zona que se inundó en la comunidad por el desbordamiento del Sis-Icán fue el área adyacente al ecosistema manglar. En el caso de las viviendas cercanas al cauce principal del Sis-Icán, estas fueron perjudicadas. Se mencionó que en el poblado (casco urbano) se dio acumulación de agua debido a la lluvia local que no se infiltraba por la saturación de humedad en el suelo y el incremento del manto freático (napa). Dicha acumulación tuvo una profundidad de 30 - 40 centímetros y mencionaron</p>

		que no fue perjudicial. Tuvo una duración de 1 día.
Línea B20, San José La Máquina	<p>Las inundaciones afectaron casi por completo a la comunidad, observándose el impacto en áreas agrícolas y en las viviendas.</p> <p>Se destaca que la Escuela Oficial Rural Mixta (utilizada como albergue) de la comunidad que no fue afectada, además de otras viviendas ubicadas en la parte alta de la comunidad.</p>	<p>Se confirma que este evento extremo afectó casi a toda la comunidad.</p> <p>Considerado como uno de los eventos más fuertes en la historia de la comunidad, superior a los efectos de Mitch y otros eventos más recientes.</p> <p>El desbordamiento se dio en ambos ríos, por el lado oeste el Sis y en lado este por el río Icán. Esta situación generó una inundación de tipo súbita en el centro del poblado y con una alta carga de sedimentos y de escombros que se acumularon en la zona de viviendas y otras áreas. Se estimaron profundidades de 0.5 metros hasta máximos de 3 metros. La inundación se mantuvo entre 6- 8 días.</p>
Comunidad Agraria La Vega, Mazatenango	<p>En el poblado no se observa acumulación de agua relevante. En el área agrícola de la comunidad, al este, se observa acumulación de agua.</p>	<p>Algunas casas ubicadas muy cercanas a corrientes pequeñas (zanjones o riachuelos) se vieron perjudicadas por el incremento en caudal de estos afluentes terciarios.</p> <p>Se mencionó que en áreas agrícolas (parcelas agrícolas) se acumuló agua por depresiones topográficas y afluentes intermitentes.</p>

Inundaciones influenciadas por la tormenta tropical Stan (2005) en la parte baja de la cuenca Sis_Icán.



Leyenda

-  Sistema focal Sis-Icán
-  Áreas inundadas por efecto de la tormenta tropical Stan (2005)

Proyecto: Resiliencia a inundaciones en Guatemala
Arreglo: Pablo Yax López
Datum: WGS84
Shape de cuencas: Maga 2009
Ortofotos: MAGA 2006
Datos de inundación: USGS, NASA, 2017



Lám. 12.

Áreas inundadas post evento Stan (2005) en la parte baja de la cuenca del río Sis-Icán.

La influencia de la tormenta Stan y otros fenómenos meteorológicos asociados durante los primeros diez días de octubre se reflejó en las lluvias y las inundaciones en este territorio. En la parte alta de la cuenca Sis-Icán se tuvo un acumulado de 672 milímetros de lluvia, muy similar a lo registrado en la estación Retalhuleu que fue de 681.6 milímetros (que se ubica fuera de la cuenca, pero las más cercana y con más registros históricos). De acuerdo con los registros de INSIVUMEH en la estación Retalhuleu, el promedio acumulado mensual para octubre es de 412.5 mm desde 1977 hasta el 2008, y sólo en los primeros diez días de octubre de 2005 este promedio fue superado en un 65%.

El nivel promedio del río Sis registrado por la estación hidrométrica La Máquina de INSIVUMEH, para este período de influencia de Stan fue de 3.84 metros, que contrasta con el promedio diario de mayo a septiembre de 2005 que estuvo en 0.99 metros. El nivel crítico del río Sis para posibles desbordamientos del río está estimado en de 2.25 metros, umbral que fue superado durante la influencia de la tormenta Stan (INSIVUMEH, 2018).

3.5.2.5 Inundaciones de 2010 asociadas a la tormenta Agatha

La tormenta Agatha es considerada como uno de los últimos eventos más importantes que impactó el territorio, especialmente por su influencia en las lluvias y detonante de inundaciones (tabla 14 y lámina 13). En este apartado se utilizó como fuente de datos una imagen satelital ASTER con resolución de 15 por 15 metros una fuente fina de información.

Tabla 14. Características de las inundaciones que afectaron las tres comunidades priorizadas en la parte baja de la cuenca del Sis-Icán por efecto de la tormenta Agatha.

Nombre del poblado	Afectación (áreas inundadas) basada en datos de imagen satelital	Afectación (áreas inundadas) basada en el conocimiento local (experiencia de las personas)
Aldea San José Churirín, Mazatenango	<p>La zona norte de la comunidad colindante con el ecosistema manglar fue afectada de nuevo por inundaciones. Así mismo se observó áreas afectadas muy cercanas al cauce del río Sis-Icán.</p>	<p>Las personas confirmaron lo demostrado por los datos de la imagen satelital, indican que la zona que se inundó es la adyacente al ecosistema manglar (al norte de la comunidad). Las viviendas aledañas al cauce principal del Sis-Icán fueron afectadas por incremento del nivel de agua.</p>
Línea B20, San José La Máquina	<p>Los datos demuestran que las inundaciones afectaron en varias zonas de la comunidad, observándose el impacto en áreas agrícolas y de viviendas.</p> <p>Se destaca que la Escuela Oficial Rural Mixta (utilizada como albergue) de la comunidad no fue afectada. Además de algunas viviendas ubicadas en la parte alta de la comunidad.</p> <p>Otra zona afectada es la colindante al cauce del río Icán, en su lado oeste, un tramo desde puente B14 hasta la comunidad B20.</p>	<p>En el taller comunitario confirmaron que este evento extremo afectó casi a toda la comunidad.</p> <p>Considerada como el segundo evento más fuerte en la historia de la comunidad, superior a los efectos de Mitch y en menor grado que Stan (ver lámina 12 y 13).</p> <p>El desbordamiento se dio en ambos ríos, por el lado oeste el Sis y en lado este, el Icán. Se dio una inundación súbita en el centro del poblado y con una alta carga de sedimentos y, escombros que se acumularon en la zona de viviendas y otras áreas. Las inundaciones presentaron un rango de profundidad entre 0.5 a 2.5 metros de altura. La inundación tuvo una duración 2 - 4 días.</p>



<p>Comunidad Agraria La Vega, Mazatenango</p>	<p>En el poblado se observa acumulación de agua en pequeñas áreas por efecto de lluvias locales, que no son significativas o perjudiciales. También se observan áreas agrícolas de la comunidad acumulación de agua en zonas con depresión topográfica.</p>	<p>Algunas casas ubicadas muy cercanas a corrientes pequeñas (zanjones o riachuelos) se vieron perjudicadas por el incremento en caudal de estos afluentes terciarios derivado de la constante lluvia local.</p> <p>Se mencionó que en áreas agrícolas (parcelas agrícolas) se acumula agua por depresiones topográficas y afluentes intermitentes que incrementa su caudal debido a lluvias locales.</p>
---	---	---

El acumulado de lluvias registrado para el período de 26 al 31 de mayo en la parte alta de la cuenca (Mazatenango) fue cuantificada en 565.6 milímetros (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, 2010) y en otra localidad, Samayac, Suchitepéquez, al noreste de la cuenca se registraron 512 milímetros. Estas lluvias generaron un incremento del nivel del río Sis para el 29 de mayo en 3.40 metros, superando el umbral crítico que indica INSIVUMEH por desbordamiento del río Sis.

Inundaciones influenciadas por la tormenta tropical Agatha (2010) en la parte baja de la cuenca Sis_Icán.



Leyenda

-  Sistema focal Sis-Icán
-  Áreas inundadas por influencia de Agatha (2010)

Proyecto: Resiliencia a inundaciones en Guatemala
 Arregio: Pablo Yax López
 Datum: WGS84
 Shape de cuencas: Maga 2009
 Ortofotos: MAGA 2006
 Datos de inundación: USGS, NASA, 2017



Lám. 13.

Áreas inundadas post-evento tormenta tropical Agatha (2010) en la parte baja de la cuenca del río Sis-Icán.

Parte de la evidencia de la inundación provocada en la cuenca Sis-Icán se muestra en la lámina 14. La vivienda del Sr. Menchú que aún presenta vestigios del nivel alcanzado (arcilla y limo impregnada en la pared), cuantificada para ese punto en específico en 2.05 metros sobre el nivel del suelo.



Lám. 14. Vivienda del Sr. Menchú en comunidad Línea B20 señalando el nivel de la inundación influenciada por Agatha en la parte baja de la cuenca Sis-Icán.

En la tabla 15 se observa la extensión de las inundaciones en la parte baja de la cuenca Sis-Icán, resaltando la magnitud del evento provocado por Stan en el año 2005. En segundo lugar, se presenta las inundaciones provocadas por Agatha.

Tabla 15. Resumen de las áreas sin datos o información, áreas inundadas y no inundadas en la cuenca Sis-Icán.

Año	Área inundada (has)	Área No inundada (has)	Cuerpos de agua permanente (has)	Área sin datos por nubosidad, sombras y vacíos (has)
11/06/2010	1,252	18,160	461	5,479
12/10/2005	2,968	15,948	557	5,880
09/11/1998	883	19,788	557	4,124
05/11/1988	972	23,874	507	0
16/09/1988	1,038	23,808	507	0

3.5.3 Comparativo de áreas inundadas en ambas zonas de estudio

En este apartado se aborda las inundaciones desde una perspectiva de la recurrencia de áreas de impacto o la alternancia de las inundaciones en áreas diferentes.

3.5.3.1 Parte baja de la cuenca Achiguate

Para el período 18 de septiembre a 5 de noviembre de 1988, un acumulado de 43 días, se logró dimensionar que 1,193 hectáreas fueron áreas recurrentes de inundación. Aunque se cuantificaron 957 hectáreas que fueron zonas diferentes de inundación en el territorio de estudio (tabla 16). En el caso de las zonas recurrentes, es fuertemente observable que es la delimitación el cauce principal del río Achiguate. Sin embargo, se observan otras áreas específicas de recurrencia al norte del Caserío Lolitas. Por el otro extremo, al oeste, se observan otra zona de recurrencia, muy cercano al límite con la cuenca del río Acomé.

El interés en analizar en este apartado las zonas de recurrencia de inundaciones y las zonas simétricamente diferentes entre eventos extremos es para proveer a los interesados, decisores y población en el territorio, información útil para la gestión de riesgo de inundaciones, especialmente para los agricultores y personas que residen en zonas del Pacífico de Guatemala.

Respecto a estas zonas simétricamente diferentes de inundación entre eventos de inundación extremo estudiado se considera que es debido a cinco posibles razones. La primera sea la fecha en que se capturó la imagen satelital y el máximo nivel de inundación, 2) la segunda razón es por puntos diferentes de desbordamientos, esta situación se observó en las inundaciones de 1988, 3) por circunstancias de las depresiones topográficas y la combinación con la intensidad de lluvia local y, 4) colmatación del cauce de los ríos y finalmente, 5) por acciones específicas humanas que puedan influir en la dinámica del río, como canales de riego.

Al comparar el evento de inundación de noviembre de 1988 contra el evento de noviembre de 1998, se logró estimar una zona de recurrencia de inundación de 581 hectáreas, en su mayoría tramos del cauce principal del Achiguate y afluentes secundarios.

Tabla 16. Resumen de áreas recurrentes y simétricamente diferentes de impacto entre eventos extremos de inundación en el periodo 1988-2018 en la parte baja de la cuenca Achiguate.

Año de inundación	18/09/1988		05/11/1988		09/11/1998		12/10/2005		11/06/2010	
	ARI	ASDI	ARI	ASDI	ARI	ASDI	ARI	ASDI	ARI	ASDI
18/09/1988	--	----	1193	957						
05/11/1988					581	2195				
09/11/1998							1580	5580	849	2379
11/06/2010	663	2738								

ARI: Área recurrente de inundación

ASDI: Área simétricamente diferente de inundación

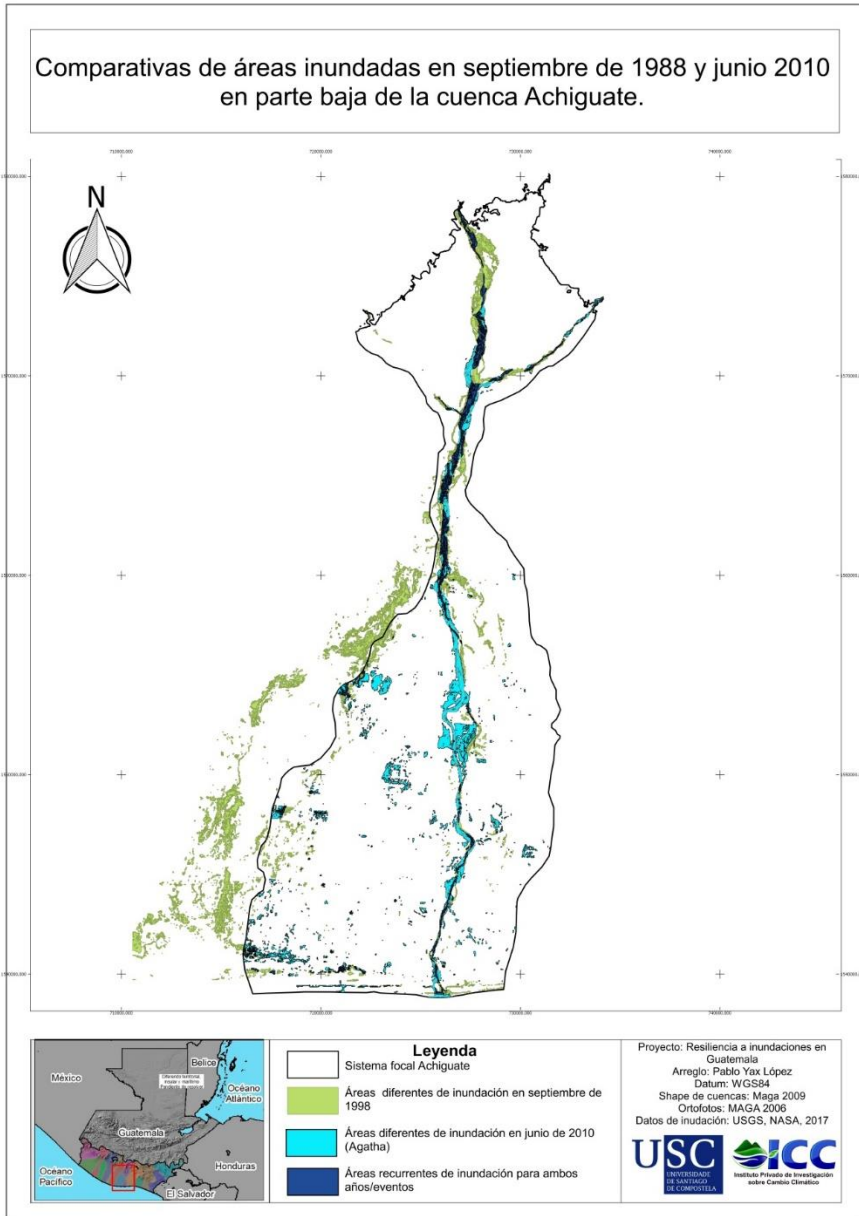
Las áreas simétricamente diferentes de inundación se cuantificaron en 2,195 hectáreas. Especialmente se refiere a cambios importantes en el ancho del Achiguate en tramos de la parte alta del sistema focal en estudio, y por la movilidad lateral del cauce principal en un tramo (parte media) de 8 kilómetros hacia el oeste de la ubicación en 1988. Además, otras áreas puntuales se inundaron por las condiciones topográficas,

lluvias locales y puntos diferentes de desbordamiento del Achiguate, especialmente al norte de la Caserío Lolitas. Para 1988, el punto de desbordamiento hacia la cuenca Acomé, condujo volumen de agua que impactó en áreas en lado oeste del Achiguate, situación que ya no ocurrió a partir de 1998.

A través de un análisis específico para el río Achiguate, se detectó una situación importante en la dinámica de las inundaciones, que a partir de 1997 el desbordamiento del Achiguate hacia la cuenca Acomé cesó. En función de la disponibilidad de imágenes satelitales para este período, se logró identificar que el desbordamiento del río Achiguate y consecuentemente inundaciones hacia el Acomé se mantuvo desde 1986 hasta 1997, con diferentes magnitudes de inundación.

La comparación de áreas inundables para los eventos ocurrido en 1998 y 2005, mostraron un área de recurrencia 1,580 hectáreas, principalmente en varios tramos del río Achiguate, afluentes secundarios (río Limón entre otros) y otras zonas en la parte final de cuenca Achiguate muy cercano al ecosistema manglar. Respecto a las zonas simétricamente diferentes de inundación, resaltan las extensiones de desbordamiento del río Achiguate y otras zonas en lado oeste de la cuenca. Sin embargo, es importante recordar que la fuente de información para el 2005 es de baja resolución y es posible que se haya sobredimensionado las áreas inundables.

Como parte del análisis también se efectuó la comparación entre el evento más antiguo, septiembre de 1988, y el evento Agatha en 2010, el último de los eventos extremos (ver tabla 16). Se mantienen como áreas recurrentes de inundación un total de 663 hectáreas, que corresponden a una proporción del tramo final del cauce del río Achiguate y otros tramos cortos río arriba. Otras zonas cercanas al ecosistema manglar en el lado oeste de la cuenca son áreas de recurrencia de inundación (ver lámina 15).



Lám. 15. Comparación de áreas de inundación para los eventos de septiembre de 1988 y junio de 2010 (Agatha) en la parte baja de la cuenca Achiguate.

En cuanto a las áreas diferentes de inundación en el periodo de 1988 – 2010 se calcularon un total de 2,738 hectáreas. Dichas áreas corresponden fundamentalmente a una reducción del ancho y/o cambio en el curso del río Achiguate antes de unirse con el río Guacalate (afluente). Esta situación se ha dado principalmente por el material volcánico que transporta el río y que va depositándose en el lecho (que tiene baja inclinación), que convierte al río en una categoría de trezado. Otra zona diferente destacable de inundación es al norte del caserío Lolitas, que en el 1988 era una zona de recurrencia de inundación por desbordamiento del río Achiguate.

Se destaca otro cambio del curso del Achiguate en un tramo de 8 kilómetros en la parte media de la zona de estudio, además de otras zonas al oeste de la cuenca, cercana a la divisoria con la cuenca Acomé, los detalles de cambios en el cauce del río Achiguate se aborda en el siguiente capítulo.

Otra zona diferente de inundación, aunque la zona de impacto no se encuentra en el Achiguate, fue la zona inundada en la cuenca del río Acomé a partir del desbordamiento del Achiguate en 1988. Esta situación ya no ocurrió desde 1998 y en 2010 se efectuó la construcción de diques longitudinales por parte del Estado guatemalteco. Desde el evento de 1998, influenciado por el huracán Mitch, hasta la fecha ya no se observaron desbordamientos del Achiguate hacia el Acomé.

3.5.3.2 Parte baja de la cuenca Sis-Icán

Al proceder a la comparación de los dos eventos de inundación en septiembre y noviembre de 1988, se logró determinar un estimado de 653 hectáreas del territorio fueron las mismas áreas afectadas durante los dos eventos (tabla 17). Estas áreas representan el tramo final del cauce del río Sis-Icán, así como áreas periféricas de lagunas y otras con depresiones topográficas, como el caso de la parte baja de la comunidad Línea B20 (faja 21).

Un detalle que resalta en la comparativa, a pesar de que ambos eventos ocurrieron en 1988, se estimaron 705 hectáreas del territorio

que fueron áreas simétricamente diferentes de inundación. Las áreas diferentes se ubican en el lado oeste de la cuenca; principalmente en zonas con depresiones topográficas, áreas cercanas a cuerpos de agua y del río Icán. Es muy probable que las lluvias máximas se hayan dado en la subcuenca del río Icán que impactó directamente en planos inundables en el extremo oeste de la cuenca.

Tabla 17. Comparativo de áreas recurrentes y simétricamente diferente de inundación entre eventos (de inundación) en la parte baja de cuenca hidrográfica del río Sis-Icán.

Año de inundación	05/11/1988		09/11/1998		12/10/2005		11/06/2010	
	ARI	ASDI	ARI	ASDI	ARI	ASDI	ARI	ASDI
18/09/1988	653	705						
05/11/1988			394	1067				
09/11/1998					504	2843		
12/10/2005							994	2232

ARI: Área recurrente de inundación

ASDI: Área simétricamente diferente de inundación

Se determinó que el área recurrente de inundación al comparar los eventos provocados por Mitch y Stan, fueron estimados en 504 hectáreas. Que corresponde al tramo final del río y áreas con depresiones topográficas. En cuanto a las áreas simétricamente diferentes de inundación se estimaron 2,843 hectáreas. Esta diferencia radicó sobre dos factores; el primero, que Stan fue el evento de mayor impacto (conocimiento local) en el área y que eso generó mayor extensión de impacto, y el segundo debido a una posible sobredimensión de área inundable para el evento Stan por la utilización de una fuente gruesa de información, MODIS, la única fuente satelital disponible para la fecha.

Para el caso de las inundaciones provocadas por Stan versus Agatha, se estimaron un total de 994 hectáreas recurrentes de inundación, ubicados principalmente en ambos flancos del río Icán, en un tramo de 7.5 kilómetros desde la comunidad Línea B20 hacia el norte. Aunque con tendencia de mayor impacto en lado oeste del cauce

del Icán. Otras áreas recurrentes de inundación se observan a los lados del río Sis y depresiones topográficas.

Las áreas simétricamente diferentes radicaron en función de la magnitud de las inundaciones de Stan, que fueron de mayor extensión y con una duración varios días en el territorio. Esto sucedió desde la unión de los ríos Sis e Icán hacia el norte, en cada uno de los flancos de los dos ríos Sis e Icán. Posteriormente de la unión de ambos ríos (al sur) y en lado este se ubica otra zona muy importante de impacto que no se detectó durante Agatha.

3.5.3.3 *Comparación entre las dos zonas de estudio*

De acuerdo con la caracterización efectuada de los cinco eventos de inundación de mayor impacto en ambos territorios de estudio para el período de 1988-2018 y abordados con mucho detalle en las dos subsecciones anteriores, demuestra que existe una tendencia de mayor extensión territorial de afectación por los eventos más recientes de 2005 y 2010 para ambas cuencas hidrográficas. Para la cuenca hidrográfica Achiguate, resalta que la cobertura territorial del evento de inundación influenciado por la tormenta tropical Stan incrementó un 300% y por influencia de la tormenta Agatha fue del 29%, comparando con el promedio de área inundada provocado por tres eventos de inundación ocurrido en los años 80's y 90's. En el caso de la cuenca hidrográfica Sis-Icán, el incremento de área inundada por influencia de Stan se cuantificó en 207.8% y por influencia de Agatha fue 29.8% ambos comparados con el promedio de área inundada de tres eventos de los años 80's y 90's.

Considerando que existe una diferencia de 84 km² de superficie territorial entre ambas zonas bajo estudio, mucho mayor la superficie de la parte baja del Achiguate, y bajo las condiciones de información y la metodología utilizada para este estudio, se estableció que los promedios de superficie de inundación son diferentes a un nivel de significancia estadística. Las áreas de inundación en la cuenca hidrográfica del Achiguate son mayores que en la zona del Sis-Icán con una diferencia promedio (por evento de inundación) de 1,440 hectáreas.

Es muy probable que las inundaciones en la cuenca Achiguatate estén siendo magnificadas por el material volcánico proveniente del volcán de Fuego, fenómeno que no ocurre en la cuenca hidrográfica Sis-Icán. Ponce (1972) citado por Escobar (2013), afirmó que las inundaciones generadas en la región del volcán de Fuego en 1971 fueron provocadas por el material volcánico (proveniente del volcán de Fuego) acumulado en las barrancas y generaron principalmente lahares. Esta situación vuelve a confirmarse por Ferrés y Escobar (2018), derivado de la erupción 03 de junio de 2018 del volcán de Fuego, la exposición a amenaza de lahares e inundaciones es alta, especialmente en los municipios de Siquinalá, Escuintla y Santa Lucía Cotzumalguapa.

También existen otros factores que influyen la dinámica del sistema fluvial y de las inundaciones, tal como lo indican Charlton (2008) y Bierman y Montgomery, (2013) que existen variables que actúan como reguladores de todo un sistema fluvial, entre los que destacan el clima, la tectónica, la geología, la topografía, las actividades humanas, el material del cauce del río, los suelos y la vegetación. El Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, (2012), sugiere que la longitud de las corrientes, la forma de la cuenca, la elevación media, el perfil longitudinal del cauce, el uso del suelo y la pendiente media del terreno influyen en la respuesta hidrológica de una cuenca en particular.

La literatura que relaciona la cobertura forestal y su influencia sobre la inundación señala lo siguiente. Bormann *et al* (1974) citado por Sánchez *et al.* (2005), encontraron en una cuenca deforestada que la cantidad de sedimentos producidos por la erosión hídrica no se incrementaron hasta 22 meses después de la tala de los árboles. Estos autores reportan que durante el primer año la escorrentía aumentó 45% con respecto a la cuenca experimental con bosque natural, mientras que en el segundo año consecutivo fue mayor en 187%.

Una cantidad de estudios encuentran un vínculo fuerte entre la cubierta forestal y la reducción de la incidencia de inundaciones, sin embargo, otros estudios de todo el mundo han desafiado esta noción

tradicional del papel protector de la cubierta forestal (Bhattacharjee y Behera, 2018).

Los efectos de los bosques sobre la hidrología local varían mucho en función del tipo y la edad del bosque, la geomorfología, la forma de la cuenca y las condiciones del suelo (Bosch y Hewlett, 1982 citado por Brookhuis y Hein, 2016).

En un estudio efectuado por Bhattacharjee y Behera, (2018) en la India vinculando la cobertura forestal y su influencia sobre las inundaciones, sugiere que la cubierta forestal tiende a reducir la extensión de los daños por inundaciones y, por lo tanto, tiene la capacidad de proteger vidas y propiedades humanas durante las inundaciones.

De acuerdo con Filoso *et al.* (2017) a través de un meta-análisis de investigaciones de restauración forestal, encuentran que un 82% de los estudios presentan datos de picos de flujo de corriente o frecuencia de inundaciones, resaltando que las inundaciones o picos de flujo disminuyen con la expansión de cobertura forestal

Tabla 18. Dinámica de la cobertura forestal en las cuencas hidrográficas del Achiguate y Sis-Icán, periodo 1991-2016.

Cuencas	Cobertura forestal 1991 (km ²)	Cobertura forestal 2010 (km ²)	Cobertura forestal 2016 (km ²)	Reducción/incremento neto 1991-2016 (%)
Achiguate	316.86	235.298	248.73	-5.5
Sis-Icán	58.97	100.53	132.8	7.17

En un contexto cercano a Guatemala y en condiciones tropicales y del río Usumacinta, Horton *et al.* (2021) señalan el potencial de los bosques tropicales para desempeñar un papel clave en la mitigación de grandes inundaciones y el impacto que la deforestación continua puede tener efecto sobre la magnitud y frecuencia de futuras inundaciones en los trópicos.

Al explorar el impacto de la conversión forestal (reducción) sobre los caudales del río Usumacinta Horton *et al.*, (2021),_encontraron tendencias estadísticamente significativas de aumento en los caudales (anuales) mínimo, promedios y máximos. Con un incremento en el promedio mensual de caudal entre el 7 y el 75% con las pasadas décadas. Sus resultados indican que la conversión a gran escala (cuencas con más 100 km² de superficie) de bosques a la agricultura ha intensificado los caudales extremos, y que es probable que la conversión continua agrave las inundaciones fluviales en el futuro.

Con relación al papel o efecto de los bosques ribereños o riparios, en pequeñas cuencas, Bagnold, (1966) citado por Singh *et al.* (2018) señala que a través de su efecto sobre la velocidad de los flujos de ribera, la revegetación de la llanura aluvial también tiene la capacidad de reducir la potencia de la corriente (es decir, la tasa de gasto de energía a lo largo de la corriente) a nivel local y en tramos río abajo.

En la misma línea del papel forestal, se presenta la tabla 18, en ambas cuencas de acuerdo con INAB *et al.* (2019) y para el periodo de 1991-2016, se observaron incrementos y reducciones de la cobertura forestal en diferentes partes de las cuencas. En cuanto a incrementos se observó en mayor grado en las partes medias y altas en ambas cuencas. A nivel de todo el territorio de la cuenca del río Achiguate, la reducción de la cobertura se estimó en 5.5 % de pérdida neta, y 7.17% de incremento neto en cuanto a la cuenca del río Sis-Icán.

Brookhuis y Hein (2016), indicaron que los impactos de los bosques en la hidrología río abajo dependen de la ubicación del bosque (cerca del curso del río, en la ladera media o ascendente, etc.) en una cuenca determinada. Se puede esperar una respuesta no lineal del servicio de control de inundaciones (a mayor cobertura forestal no se puede esperar un control total de las inundaciones), ya que los procesos hidrológicos a menudo no son lineales. Confirmándose dicha situación con el estudio efectuado en Trinidad y Tobago (cuencas tropicales) por Brookhuis y Hein, (2016), donde la relación entre la cubierta forestal de la parte alta y los costos de daños por inundaciones no es lineal.

Además, señalan que el valor de servicio de control de inundaciones de un bosque no existe. Este valor es en efecto una función no solo de los suelos, la geomorfología, patrones de lluvias, forma y tamaño de la cuenca, y de la cubierta forestal restante en la cuenca.

En cuanto a las zonas recurrentes de inundación entre los cinco eventos estudiados, se puede afirmar que para el caso del Achiguate que existe un promedio de 1050 hectáreas que son comparativamente recurrentes entre eventos. Se observa una reducción en área recurrente entre el evento de septiembre 1988 y 1998 (Mitch) cuantificado en 581 hectáreas, que probablemente sea inducido por el cambio en la dinámica de las inundaciones en el Achiguate, que se da a partir del año 1997. En los siguientes eventos, 1998-2005 y 2005-2010 se cuantifica un incremento.

En relación con la cuenca Sis-Icán se determinó que el promedio de áreas recurrentes entre los cinco eventos de inundación fue de 636 hectáreas. Se observó una reducción de área recurrente entre los eventos de septiembre de 1988-1998 y 1998-2005, pero se incrementó al comparar los dos últimos eventos Stan-Agatha en el territorio. Esta variabilidad de las áreas recurrentes sea debido a factores como la cantidad de lluvia durante los eventos y su punto de distribución en el territorio y, otros factores biofísicos de respuesta hidrológica de la cuenca Sis-Icán.

Otro elemento identificado con este estudio son los cambios en la cobertura espacial o superficial inundada en ambos territorios entre cada evento de inundación analizado, denominado en este documento como zonas simétricamente diferentes. En este sentido, y para el caso de la cuenca hidrográfica Achiguate se observa una tendencia a incremento del porcentaje de áreas simétricamente diferentes entre eventos analizados, pasando de un 44% para los eventos de 1988 a 80.32% para los eventos Stan - Agatha. También se efectuó la comparativa entre el primer evento (septiembre 1988) y Agatha (el último evento importante), cuantificando un total de 1,565 hectáreas

que se consideran “nuevas áreas” para el año 2010, y que no fueron impactadas en 1988.

En la cuenca Sis-Icán se observa una tendencia de incremento (en porcentaje) de áreas simétricamente diferentes entre los eventos extremos analizados. Para los eventos de 1988's se cuantificó un 52% (705 has) de áreas simétricamente diferentes y el máximo porcentaje alcanzado fue para los eventos Mitch-Stan, cuantificado en 84.9%. Lo anterior demuestra la variabilidad que existe entre los eventos de inundación en su cobertura espacial.

3.6 CONCLUSIONES

Uno de los hallazgos del estudio, indica que la dinámica de las inundaciones en la parte baja de la cuenca del Achiguate ha tenido un cambio importante en área de impacto. Los datos disponibles muestran una dinámica de inundaciones para el período de 1986-1997, en que parte del volumen de agua del Achiguate se desbordaba hacia la cuenca Acomé, afectando a comunidades y áreas agrícolas de este territorio. Los eventos más importantes de inundación (1988) para dicho período presentaron una extensión superficial de 1,866 y 845 hectáreas de extensión. A partir de 1998 hasta 2018 se observó otra dinámica de inundaciones y los desbordamientos del río Achiguate hacia el Acomé cesan, quedando cómo zona de impacto el tramo final del Achiguate.

En los últimos 30 años las inundaciones influenciadas por fenómenos meteorológicos extremos, en la parte baja de la cuenca Achiguate, han impactado en extensión en un rango de 1,507 a 6,892 hectáreas. Resaltando que el evento de mayor cobertura de impacto fue influenciado por la tormenta tropical Stan en el 2005.

En el caso de la cuenca Sis-Icán, las inundaciones de mayor extensión en los últimos 30 años han estado en un rango de 883 a 2,968 hectáreas, el de mayor impacto ocurrido en el 2005 con influencia de la tormenta tropical Stan.

Bajo las condiciones y métodos del estudio, se confirma que las inundaciones en la parte baja de la cuenca de Achiguate son mayores, en promedio por eventos estudiados y con un nivel de significancia estadística. Se cuantificó que poseen 1,440 hectáreas de mayor superficie de cobertura comparada con los eventos de la cuenca del río Sis-Icán, representando 101% de diferencia superficial. Esta diferencia radica muy probablemente por el proceso de transporte-sedimentación del material volcánico que se origina del volcán de Fuego (activo) que va colmatando el cauce del Achiguate, además de las características biofísicas de las cuencas en estudio y las condiciones climáticas.

En cuanto a las áreas recurrentes y las simétricamente diferentes se observa una tendencia al incremento para los últimos eventos de inundación para ambas áreas de estudio. El promedio de área recurrente entre eventos de inundación para el Achiguate fue de 1,050 hectáreas y para la cuenca Sis-Icán fue cuantificado en 636 hectáreas. Respecto a las áreas simétricamente diferentes se cuantificó un promedio entre los cinco eventos estudiados de 3,714 y 1,711 hectáreas para las cuencas Achiguate y Sis-Icán, respectivamente.

Este capítulo aporta para a este estudio un entendimiento y una base de la dinámica de los eventos extremos de inundación que han impactado durante el período 1988-2018. Por ejemplo, para el Achiguate se comprobó que se tenía una dinámica diferente de inundación para el período 1986-1997, frecuentemente parte del volumen del río Achiguate se conducía en territorio de la cuenca del río Acomé. Pero, a partir de 1998 se observa otra dinámica donde el caudal del río impacta en territorio de la propia cuenca hidrográfica. A partir de la construcción de las bordas longitudinales por parte del Estado de Guatemala entre el 2010-2011, se observó otra dinámica de las inundaciones fluviales, especialmente en comunidades como Caserío Botón Blanco y Caserío Lolitas. Además, se comprueba que existe una variabilidad natural entre los diferentes eventos de inundación, situación que implica que nuevas áreas puedan verse afectado en el futuro y generando las condiciones de exposición a esta amenaza. En términos de resiliencia, esta caracterización de los eventos de

inundación se convierte en un insumo importante para analizar a mayor profundidad la resiliencia de las comunidades rurales y principalmente de los hogares, y correlacionarlo con los impactos económicos y físicos de las inundaciones sobre los medios de vida.

4 Exposición de asentamientos humanos y zonas agrícolas ante inundaciones en las partes bajas de las cuencas Achiguate y Sis-Icán.

4.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se abordará otro componente del riesgo, específicamente la exposición de ambos territorios en estudio ante las inundaciones generadas por lluvias inducidas/influenciadas por eventos hidrometeorológicos extremos.

La exposición se define como el número de personas y activos que puede ser directamente impactados por una amenaza (Wisner *et al.*, (2004); Lee y Jones (2004) citados por Guerra, 2010).

Otra definición de la vulnerabilidad que no estaría en conflicto con la mayoría de los estudiosos del desastre sería: la predisposición de una sociedad, o parte de ella, de sufrir daño o pérdida cuando se expone a eventos físicos naturales o inducidos socialmente, y enfrentar dificultades para recuperarse de ellos (Basada en Lavell, (2000); Blaikie *et al.*, (1996); Cardona, (2004); Alexander, (2000); citados por Guerra, 2010)

Existe un fuerte interés en cuantificar y mapear la vulnerabilidad como una herramienta de planificación y toma de decisiones (Wisner *et al.*, 2004; Adger, 2006; Birkmann, 2006 citados por Guerra, 2010).

En esta sección se analizó la dinámica del cauce del río Achiguate en el período 1973 – 2017 y en el caso del Sis-Icán en el lapso de 1974-2017, tomando en consideración esa propiedad de la memoria histórica espacial que tienen los sistemas fluviales y que se convierte en una zona de riesgo, y que muchas veces las personas o comunidades emigrantes desconocen al habitar o radicarse en una nueva zona y que puede estar expuesta a la amenaza inundación.

Además de las viviendas o asentamientos expuestos, la agricultura que es uno de los principales medios de vida de las comunidades en ambas áreas de estudio, también se encuentra expuesta a dicho fenómeno.

Aunado a esta movilidad espacial de los cauces de ambos ríos, se consideraron las zonas históricas inundables desde 1988 hasta el último evento de gran magnitud, cómo la tormenta tropical Agatha en el 2010, para obtener una zona histórica acumulada de inundaciones. Estas zonas se pueden considerar con probabilidad de que sufran de inundaciones en el futuro, especialmente para el territorio de la parte baja de la cuenca Sis-Icán.

4.2 OBJETIVOS

4.2.1 *Objetivo general*

Determinar la exposición de poblaciones humanas y actividades agrícolas ante eventos de inundación en las partes bajas de las cuencas hidrográficas del Achiguate y del Si-Icán.

4.2.2 *Objetivos específicos*

Evaluar la exposición de las poblaciones humanas a eventos de inundación en las dos últimas décadas.

Elaborar mapas y determinar el riesgo de inundación en localidades en ambas cuencas bajo estudio.

4.3 MÉTODOS

4.3.1 *Evaluar la exposición de los asentamientos humanos y áreas agrícolas a eventos de inundación en las dos últimas décadas*

4.3.1.1 *Análisis de cambios morfológicos del cauce principal de los ríos Achiguate y Sis-Icán en el período 1973 (marzo) – 2017 (marzo).*

Para la delimitación del cauce principal de los ríos en ambas áreas de estudio se utilizaron imágenes satelitales LANDSAT desde el período de 1973 a 2017.

Se utilizaron la mayoría de las técnicas de recopilación de datos, pre-procesamiento de imágenes, fotointerpretación y de análisis del capítulo III (caracterización de inundaciones). Así mismo, se emplearon los programas informáticos MultiSpec y Quantum Gis (QGIS) para la parte del sistema de información geográfica.

A través del programa MultiSpec se efectuaron recortes de manera separadas de las dos áreas específicas de estudio a partir de las escenas de imágenes Landsat. Posteriormente, estas imágenes fueron desplegadas en QGIS para la delimitación del cauce principal de los ríos Achiguate y Sis-Icán.

La mayoría de las imágenes utilizadas fueron de la época no lluviosa en territorio guatemalteco, para tener una mejor visualización del cauce principal. En la época lluviosa una limitante es la nubosidad y la influencia de la misma acumulación de agua que puede generar alguna especie de ruido al momento de la delimitación.

En el caso del río Sis-Icán se midieron los siguientes parámetros morfológicos: línea central del cauce, longitud del eje del meandro (A), longitud de cuello de meandro (L), longitud del flujo de agua (S), sinuosidad (C), donde sinuosidad está calculado por la ecuación: $C=S/L$. La longitud del río en la zona de estudio fue dividida en 22 meandros de análisis.

Los cambios en los meandros fueron identificados de acuerdo con modelos de cambios en meandros de Hook'es (1984) citado en Yousefi et al. (2017)). Este modelo de cambios en meandros se basa en una clasificación visual y espacial de cambios en los meandros.

Los parámetros morfométricos del río Sis-Icán (para los 22 meandros) entre 1985 a 2018 fueron medidos con herramientas de

QGIS. Posteriormente se efectuó una organización estadística de los datos a través de tablas y una prueba estadística de T-pareada.

Con relación al río Achiguate y por sus características particulares, un río trezando - anastomosado y la constante recepción de material volcánico, no se midieron parámetros meándricos. Por tales razones únicamente se cuantificó el ancho del río en el mismo punto durante el período 1973 – 2017, complementando con una organización de datos para una estadística descriptiva y una prueba T-pareada para los años 1998 y 2010.

4.3.1.2 Exposición de poblados y áreas de cultivo ante las inundaciones más importantes en el período 1988 – 2018.

Las condiciones de vulnerabilidad dependen directamente de los impactos físicos (exposición y sensibilidad), como también de los indirectos y quizás impactos intangibles (fragilidad socioeconómica y falta de resiliencia) de eventos de amenazas potenciales (Birkmann, 2006).

La medición de la exposición de asentamientos humanos y áreas agrícolas estuvo en función de los datos disponibles (satelitales y datos demográficos oficiales).

Para la delimitación de asentamientos humanos, debido a la baja resolución de las imágenes a mediados de los 80's- 2000's no fueron considerados. Se tuvo acceso para el 2006 a las ortofotos publicadas por MAGA (con una resolución de 0.5 x 0.5 metros) y para el 2018 se utilizaron imágenes satelitales de la plataforma Google Earth Engine.

Con el apoyo de QGIS y basado en la información de dichas fuentes de información (imágenes) se delimitaron (poligonizaron) los asentamientos humanos ubicados dentro de los dos sistemas focales bajo análisis.

Como una fase posterior se traslapó las zonas inundables durante eventos hidrometeorológicos extremos y los asentamientos humanos para los años 2006 y 2018, utilizando como insumos las áreas delimitadas por inundación abordadas en el capítulo III.

4.3.1.3 Elaboración de mapas y evaluación del riesgo de inundación en dos localidades en ambas cuencas bajo estudio

Los elementos considerados en riesgo fueron las áreas de cultivos y casas (asentamientos humanos).

El mapeo de riesgo basado en el conocimiento local consistió en talleres con grupos focales a nivel comunitario. En mapas con información de las cuencas hidrográficas, zonas inundadas por eventos extremos en el pasado y comunidades de las dos zonas de estudio fue un insumo para identificar las áreas vulnerables a inundación (Basado en Guerra, 2010).

Con los talleres comunitarios se aprovechó para corroborar y validar de las zonas inundadas delimitadas con información de imágenes satelitales para los eventos de mayor impacto en dichos territorios, especialmente en seis comunidades priorizadas, tres por área de estudio.

4.4 RESULTADOS Y SU DISCUSIÓN

4.4.1 Evaluar la exposición de los asentamientos humanos y áreas agrícolas a eventos de inundación en las dos últimas décadas

4.4.1.1 Cambios morfológicos del cauce principal de los ríos Achiguate y Sis-Icán en el período 1973 (noviembre) – 2017 (enero).

4.4.1.1.1 Cuenca Achiguate

Por sus condiciones particulares, el río Achiguate, especialmente en los últimos 50 kilómetros de recorrido hasta su desembocadura, presenta características de un río trenzado (braided channels) y algunas secciones como un río anastomosado, que condicionaron que se midiera únicamente cambios en el ancho del río y una descripción de su

desplazamiento lateral. De acuerdo con Bierman y Montgomery (2013), los procesos físicos que determinan la morfología y dinámica de un cauce son similares a través de las diferentes regiones, pero la importancia de los factores locales y la influencia del agua y, el sedimento sobre el cauce río abajo, guía a una amplia variedad de tipos de canales.

Los ríos de montaña en la parte baja generalmente tienen una provisión o suministro de sedimentos que es igual o excede su capacidad de transporte (Bierman y Montgomery, 2013). En el caso del Achiguate, aunado a los sedimentos por erosión también los sedimentos volcánicos provenientes del volcán de Fuego influyen drásticamente en la dinámica del río.

Los ríos trezados están formados por múltiples y activos flujos de agua en todo el ancho del canal o cauce, y presentan una baja sinuosidad. Esta serie de flujos de agua poco profundos y de bajo caudal, divergen y convergen dando el patrón distintivo de un río trezado. Mientras que un río anastomosado presenta un patrón complejo y canales (cauces más pequeños) individuales que se bifurcan y se unen de nuevo alrededor de una isla típicamente estable y con vegetación (Bierman y Montgomery, 2013)

Destaca la tabla 19, que el 100 % de las 22 secciones transversales (a lo ancho del río) estudiados cambiaron durante el período de estudio, es decir, se mantienen bajo un constante dinamismo, entre cambio de posición del cauce, reducción y aumento en la anchura. Entre mayor es el espacio temporal comparativo, mayor es el dinamismo o cambio que ocurre (para las condiciones del Achiguate). En el caso de 1985 – 2017 y 1973 – 2017 se observan los mayores cambios, contabilizándose que el 100% de las secciones cambiaron para 2017.

La comparativa del cauce entre 1973 – 2017 (tabla 19), muestra cambios muy importantes, a partir de la sección transversal 7 al 12, un tramo de 12 kilómetros, el río sufre un proceso de avulsión drástica en

su cauce, trasladándose hacia el oeste, a excepción de un tramo corto de aproximadamente 1.9 kilómetros (ver lámina 16).

Tabla 19. Comparativo de cambios en el ancho o posición de 22 secciones transversales (porcentaje) en el río Achiguate durante el período de 1973 a 2017.

	Tipo de cambio	Ene - 1976	Mar - 1985	Ene - 1998	Dic - 1998	Ene - 2010	Dic - 2010	Ene - 2017
Nov - 1973	Sin Δ	45.5						0
	Δ Incremento*	31.8						18.2
	Δ Disminución*	13.6						81.8
	Desplazamiento lateral	9.1						0
Ene-1976	Sin Δ		4.5					
	Δ Incremento*		18.2					
	Δ Disminución*		72.7					
	Desplazamiento lateral		4.5					
Mar-1985	Sin Δ			13.6				0
	Δ Incremento*			18.2				50
	Δ Disminución*			68.2				40.9
	Desplazamiento lateral			0				9.1
Ene-1998	Sin Δ				27.3			
	Δ Incremento*				63.6			
	Δ Disminución*				9.1			
	Desplazamiento lateral				0			
Dic-1998	Sin Δ					18.2		
	Δ Incremento*					50		
	Δ Disminución*					31.8		
	Desplazamiento lateral					0		
Ene-2010	Sin Δ						18.2	
	Δ Incremento*						81.8	
	Δ Disminución*						0	

	Desplazamiento lateral						0	
Dic-2010	Sin Δ							4.5
	Δ Incremento*							9.1
	Δ Disminución*							81.8
	Desplazamiento lateral							4.5

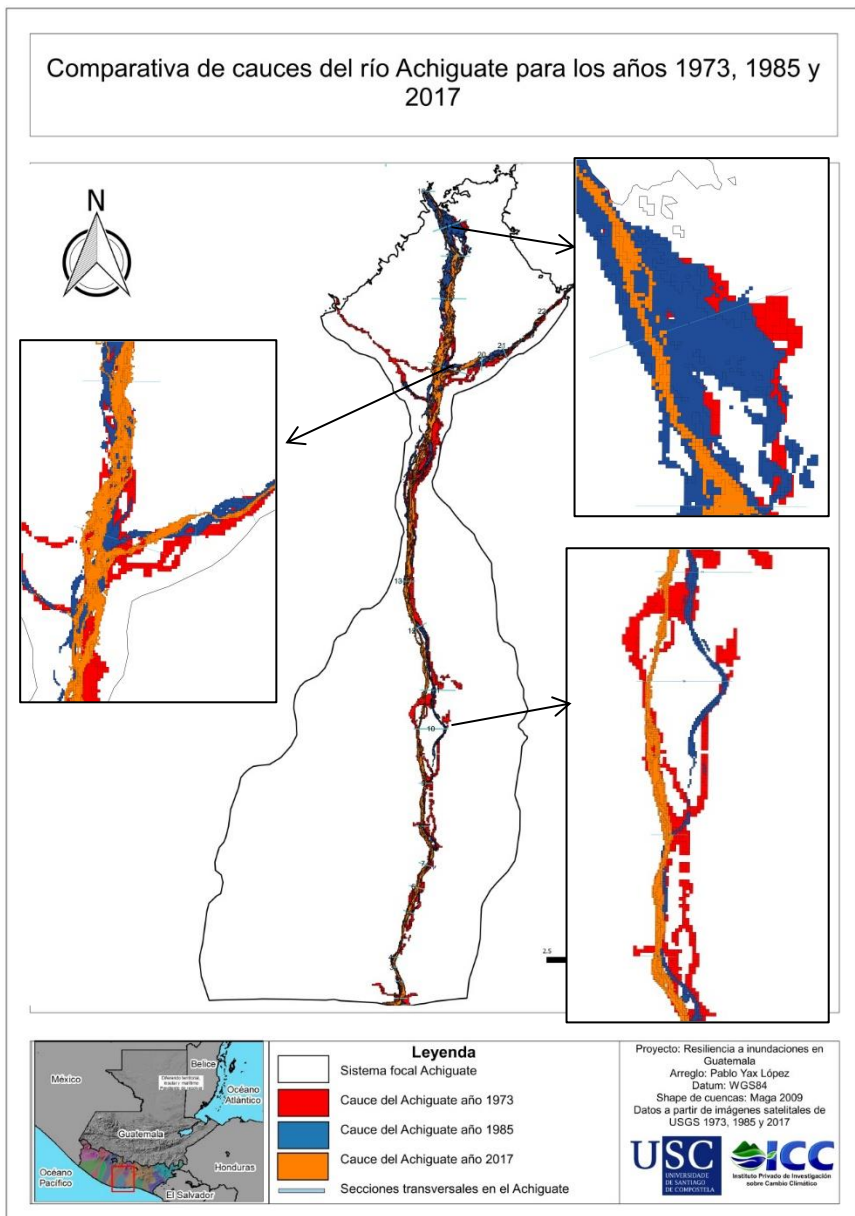
La sección transversal número 14, que 1985 es el punto de unión o confluencia de los ríos Achiguate y Guacalate. Para 2017 muestra un desplazamiento de 570 metros hacia el oeste y, la anulación de una ramificación del Guacalate (afluente del Achiguate). Otra sección que cambia drásticamente es la número 17, la anchura se reduce un 82 % en 2017 comparado con el año 1973 (lámina 16).

La comparación entre el cauce del Achiguate para los años 1985 - 2017, muestra que el tramo ubicado entre la sección 9 y 12, se desplaza hacia el oeste. También se observa otro tramo entre la sección transversal 13 a 14, que en 1985 se le observan varias ramificaciones del río Achiguate, típico de un río anastomosado. En el 2017, estas ramificaciones desaparecen y se confinan en un solo canal y con características de un río trenzado. Es probable que este confinamiento del cauce del río en dicho tramo (año 2017), se deba a la construcción de diques longitudinales por parte del Estado guatemalteco entre el año 2010 y 2011, para mitigar en parte las inundaciones. Aunado al transporte y deposición del material volcánico en lecho del río, limitaron el movimiento lateral drástico (similar a otros años) del cauce confinándolo.

La forma y el comportamiento del cauce están gobernados primariamente por sus sedimentos, su caudal, la composición de su lecho, la ribera y la vegetación que crece adyacente al río. Muchos de esos factores interactúan en una forma compleja con las modificaciones humanas. (Bierman y Montgomery, 2013).

Durante el período 1986-1997, en un punto del tramo entre las secciones 13 - 14, parte del caudal del río Achiguate se conducía fuera del territorio de la cuenca hacia el oeste a través de dos cauces secundarios. Dicha situación generaba todas las condiciones para inundaciones repentinas en el lado oeste (los eventos más importantes que fueron caracterizados y discutidos en el capítulo III de esta tesis). Se infiere que este fenómeno se deba a dos factores principales. El primero, la cantidad de material volcánico procedente del volcán de Fuego superó la capacidad de transporte del río Achiguate, sedimentándose buena parte de dicho material en el lecho del río (en los 50 kilómetros del río bajo análisis) y provocando la formación de cauces secundarios en lado oeste, por donde se derivó parte del caudal del Achiguate. Segundo, intervenciones humanas de aprovechamiento de agua o mecanización agrícola, posiblemente, combinado con el primer factor facilitaron la erosión y la formación de estos cauces. Bierman y Montgomery, (2013), mencionan que algunos cauces están compuestos de material cohesivo que resisten la erosión de la orilla (bank), tal como rocas o arcillas, mientras que algunas están hechas de material más erosionable, tal como arena y gravas, que son rápida y frecuentemente movilizadas por el flujo del río.

En toda la longitud del río bajo análisis, se observaron varios y constantes cambios, pero, se resaltan los más importantes o dominantes en este apartado. Entre esos, se pueden mencionar la unión de los ríos Achiguate y Guacalate, en el 2017 se observa un desplazamiento hacia el suroeste, aproximadamente 390 metros de su posición en 1985. Dingle *et al.* (2019), mencionan que un sistema con alta provisión de sedimentos, planos inundables más erosionables y con una alta variabilidad en su caudal, la unión o confluencia de grandes ríos puede tener una alta movilidad. Situación que se confirma para el caso del Achiguate y Guacalate.



Lám. 16. Comparativa del cauce del río Achiguate para los años 1973, 1985 y 2017.

El ancho del Achiguate en la sección transversal 17 muestra una tendencia de reducción en su anchura de manera drásticamente. Esto lo confirman Ferrés y Escobar (2018), que los lahares pueden provocar la modificación y llenado de los cauces, de forma que en algunas zonas y puntos críticos pueden generar la migración de los canales de un cauce a otro cercano.

La comparativa entre enero y diciembre de 1998 (tabla 19) se efectuó para observar la influencia del huracán Mitch (evento hidrometeorológico extremo) sobre el cauce del río Achiguate, especialmente cambios en el curso del río. En este sentido, no se observaron cambios drásticos, se estimó que el 73 % de las 22 secciones bajo estudio mostraron cambios en el transcurso de diez meses. Dichos cambios consistieron principalmente en incrementos del ancho del río en las secciones definidas para el estudio. A través de una prueba estadística de t-pareada, se determinó que con un nivel altamente significativo se dieron cambios en la anchura y posición de las secciones transversales de estudio. Aunque es imposible separar totalmente la influencia del evento extremo y la temporada de lluvias y otros factores externos que influyeron en su momento en el canal o cauce del Achiguate.

También se analizaron los cambios del cauce del Achiguate durante el período enero y diciembre de 2010. Con el objeto de estimar los cambios que probablemente hayan sido generados por la tormenta Agatha (mayo de 2010). Se observó que el 82 % de las secciones en el cauce del río Achiguate, cambiaron. Comparado con el período enero-diciembre de 1998, se observó un incremento de 9 % de secciones afectadas. Con un nivel altamente significativo se observaron cambios en las secciones transversales analizadas en Achiguate para ambas fechas definidas. Según Ferrés y Escobar (2018), los lahares asociados a precipitaciones abundantes e intensas detonados o influenciados por tormentas tropicales, generan fluidificación de depósitos de derrubios emplazados en las barrancas debido a deslizamientos de las laderas inestables de la parte alta del volcán de Fuego. Estos lahares son altamente erosivos en los tramos superiores de las barrancas donde la

pendiente es mayor y depositan materiales cuando encuentran una reducción de la pendiente, donde el flujo se ensancha y sale del canal inundando los terrenos adyacentes.

Otros factores que influyen en el cambio de cauces, son: 1) las fluctuaciones en la entrada, volumen y tamaño de grano de los sedimentos, 2) capacidad de transporte de sedimentos, que es afectado por cambios en la frecuencia, magnitud y duración de eventos de alta descarga (volumen), 3) vegetación que afecta la estabilidad de las orillas del río (Bierman y Montgomery, 2013).

La mayoría de los cauces trenzados tienen una dinámica natural donde el sistema permite mantener un equilibrio en las condiciones de transporte bajo condiciones de alta provisión de sedimentos (Dingle *et al.*, 2019).

4.4.1.1.2 Cuenca Sis-Icán

Los ríos tropicales están típicamente caracterizados por cambios fuertes estacionales en la precipitación, grandes cargas de sedimentos y altas tasas de migración lateral del canal o cauce a través de un gradiente bajo del plano inundable (Dingle *et al.*, 2019).

Las características del río Sis-Icán, permitieron la medición de cuatro parámetros meándricos para poder identificar los cambios que han ocurrido a través del tiempo (Desde 1974 hasta 2017). Además, se hizo una descripción cualitativa de estos cambios.

Los cauces sinuosos son bastantes comunes porque tan pronto como se forma un pequeño banco de materiales en uno de los lados del río (cauce o canal), guía o dirige el flujo de agua que viene río arriba hacia el banco opuesto, donde el flujo comienza a excavar una piscina a medida que choca y erosiona en la orilla del río (Bierman Montgomery, 2013).

En la tabla 20 se presenta un resumen del porcentaje de los meandros que han modificado su índice de sinuosidad durante el

período de 1974-2017, comparativas específicas para 1974-1985, 1985-1998, enero - diciembre 1998, 1998-2010 y 2010-2017.

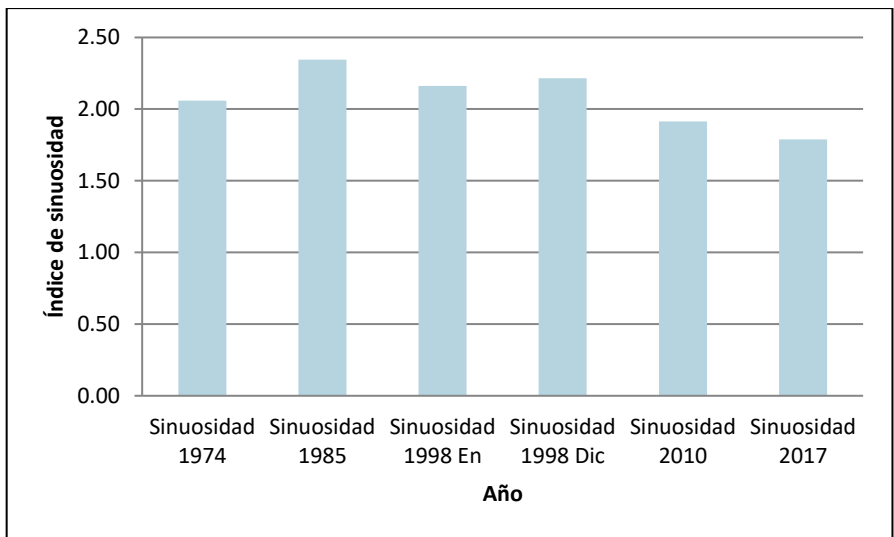
Tabla 20. Cambios en la sinuosidad en 22 meandros (porcentaje) del río Icán (cuenca Sis-Icán).

Año	Tipo de cambio	Marzo 1985	Enero 1998	Diciembre 1998	Febrero 2010	Enero 2017
Febrero 1974	Sin Δ	18.2				
	Δ Incremento*	54.5				
	Δ Disminución*	27.3				
Marzo 1985	Sin Δ		0			4.5
	Δ Incremento*		36.4			13.6
	Δ Disminución*		63.6			81.8
Enero 1998	Sin Δ			9.1		
	Δ Incremento*			63.6		
	Δ Disminución*			27.3		
Diciembre 1998	Sin Δ				4.5	
	Δ Incremento*				45.5	
	Δ Disminución*				50	
Febrero 2010	Sin Δ					9.1
	Δ Incremento*					40.9
	Δ Disminución*					50

La evolución de un cauce meándrico está caracterizado por tres procesos básicos: 1) la continua elongación del eje axial, 2) migración de los meandros río abajo y 3) la ocurrencia de eventos estrangulamiento o corte de los meandros (Prajapati *et al.*, 2017).

La sinuosidad es un parámetro muy útil para mostrar los cambios que pueden ocurrir en el cauce o canal de un río. De acuerdo con Yousefi *et al.* (2017), la sinuosidad está en función de dos parámetros meándricos como la longitud de cuello del meandro (meander neck length) y la longitud del flujo dentro de la curva (water flow length).

Para el período 1974-1985, se destaca que el valor del índice de sinuosidad se mantiene para los meandros 2, 19, 20 y 21, a pesar de que existen pequeños cambios físicos en posición o desplazamiento. Se observan incremento de la sinuosidad en el 54 % de los meandros para 1985, y una disminución de la sinuosidad para el resto de los meandros estudiados, lo que genera que el índice general del río incremente comparado con el año 1974 (ver lámina 17). A través de la prueba estadística T-pareada, se determinó que existe un cambio altamente significativo entre los 22 meandros estudiados del río Sis-Icán para ambos años mencionados, representado un incremento de la sinuosidad para el año 1985.



Lám. 17. Índice de sinuosidad del río Sis-Icán a través del tiempo (años 1974, 1985, 2010 y 2017)

Respecto a la comparación entre 1985-1998 (enero), todos los meandros sujetos de estudio han modificado sus valores de sinuosidad

(ver tabla 20). Se observa una reducción en el 63.6 % de los meandros, implicando una disminución en el índice de sinuosidad general del río a un valor de 2.16 (lámina 17).

Otra comparación efectuada fue para el período enero y diciembre de 1998, con el objetivo de estimar la influencia del evento hidrometeorológico extremo Mitch (que ocurrió en noviembre) sobre el cauce del río Sis-Icán. Se estimó que el 89.1 % de los meandros modificaron su valor de sinuosidad durante dicho período. En un lapso menor a un año la sinuosidad general del río tuvo un cambio de 0.05 (ver lámina 17). De acuerdo con la prueba estadística de T-pareada este cambio fue altamente significativo, comparando el cauce del mes de enero y diciembre. Como indican Bierman y Montgomery, (2013), que el clima regional es una influencia dominante en el flujo de agua y que los eventos de alto caudal movilizan grandes volúmenes de sedimentos y generalmente gobiernan los procesos que dramáticamente le dan una nueva forma a los cauces.

La comparación entre el año 1998 (diciembre) y 2010, muestran que el 95 % de los meandros estudiados mostraron un cambio en su valor de sinuosidad. En el caso de 2010-2017 se cuantificó que el 91 % de los meandros se modificaron. Todo lo anterior se confirma con el valor general de la sinuosidad para el río Sis-Icán que disminuye para el 2010 y 2017 comparándolos con los otros años de estudio (lámina 17).

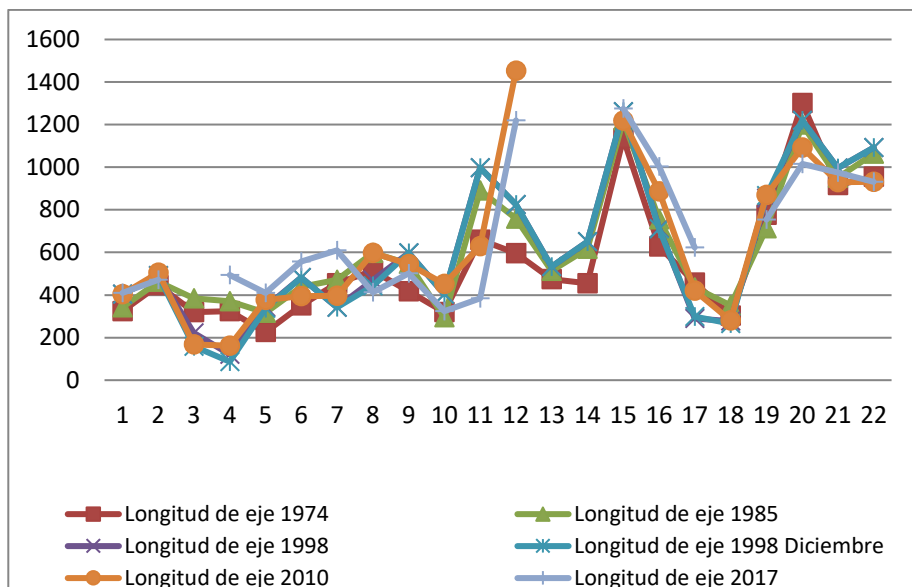
Esta disminución en el valor general de la sinuosidad fue debido a procesos de cortes (cutoff) de los meandros número 12 y 13 en el año 2010 y, para el 2017 en los meandros 3 y 18. Afectando principalmente el cauce para 2017 con un acumulado de cuatro meandros que se anularon. Tal como lo confirma Camporeale *et al.* (2008), que la ocurrencia de eventos de corte de meandros, aunque esporádicos, es un componente clave en la dinámica de los ríos meándricos, ya que elimina meandros más antiguos, limitando la complejidad geométrica del río, y genera una interferencia intermitente que puede influir en la dinámica espacio-temporal del conjunto del río.

Esta disminución de la sinuosidad concuerda con el incremento en la elongación promedio de la longitud del cuello de los meandros para el 2010 y 2017, cuantificado en 1,103 y 1,238 metros respectivamente, comparado con el promedio de diciembre de 1998 que fue de 912 metros. Esta elongación también influyó en la reducción de la sinuosidad del cauce total para dichos años.

La máxima sinuosidad alcanzada por cauce del río Sis-Icán para el período en estudio fue en el año 1985 (ver lámina 17), estimado en 2.31 y fue reduciéndose en los siguientes años, correlacionándose con la anulación de cuatro meandros para en el 2017. A pesar de esta reducción de la sinuosidad del cauce del río, sigue permaneciendo dentro de una categoría meándrica, Bierman y Montgomery, (2013) indican que un cauce meándrico tiene un valor igual o superior a 1.5.

Respecto a la anulación de cuatro meandros en el 2017, es relevante mencionar que la influencia en la dinámica planimétrica del río es a corto y largo plazo. A medida que el proceso de corte de meandro elimina una porción del cauce del río, se genera una ola o interferencia que evidentemente afecta río abajo, debido a la dependencia del flujo aguas arriba con la sección río abajo, aunado de otras propiedades geométricas locales y no locales (Camporeale *et al.*, 2008).

Otro papel importante de los meandros son sus efectos en el caudal y la disipación de la energía en las condiciones de flujo de agua dentro del río (Chougale y Sapkale, 2017). Debido a la anulación de estos meandros mencionados (3, 13 y 14) es probable que la energía del flujo de agua (stream power), que ya no es disipada pueda afectar directamente a los meandros 12, 17 y el tramo superior antes de alcanzar el meandro 2. Aunque, como lo indica Camporeale *et al.*, (2008); existen efectos geométricos sin linealidad a largo plazo sobre los meandros, por lo que el efecto puede ocurrir en cualquier punto del tramo bajo estudio.

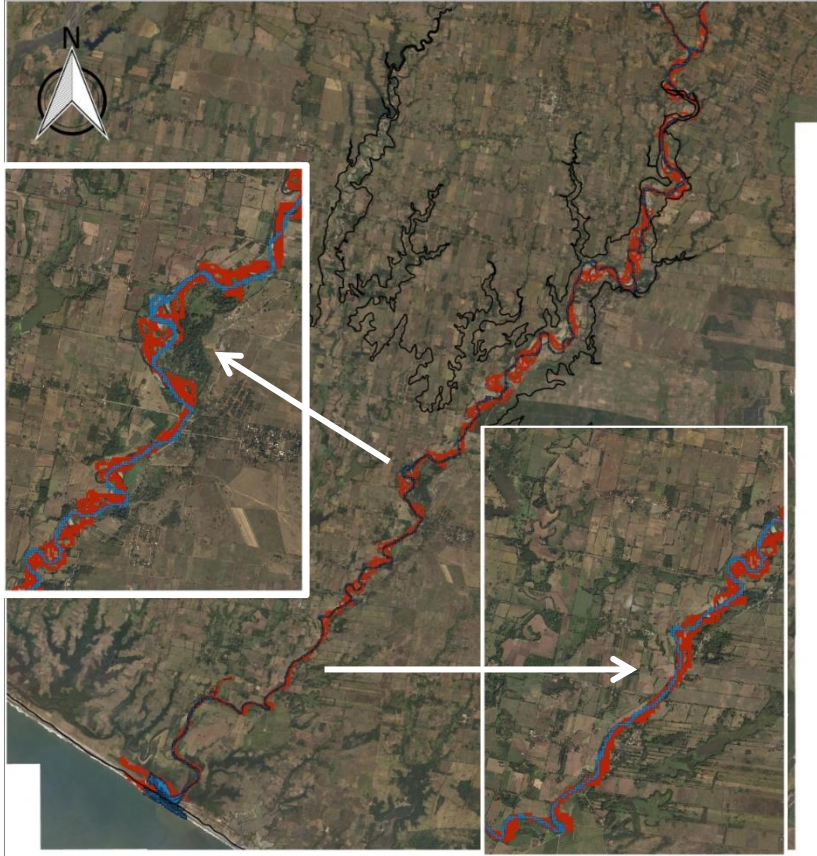


Lám. 18. Longitud del eje de meandro para los 22 meandros definidos, gráfica eje x: número de meandro y eje “y” longitud en metros.




Otra variable meándrica estudiada fue el eje axial o amplitud de meandro en los 22 meandros (lámina 18), que representa las fluctuaciones transversales o laterales del río. De manera general los meandros 1 y 2 presentaron una mayor estabilidad a través de los 43 años de análisis y sufrieron cambios pequeños. En el caso del meandro 3 se observa reducción en la longitud para los años 1998 y 2010, hasta que se anula en el año 2017. Los meandros 4, 5 y 6 incrementan en su longitud axial para el año 2017. También se observa una reducción la longitud para el año 2017 en los meandros 8, 9, 10 y 11.

En el caso del meandro 12, es un caso especial, ya que debido a la anulación de los meandros 13 y 14 (río arriba), la influencia y los nuevos ajustes en la amplitud del cuello de meandro afectó la posición de ubicación del eje central del meandro y consecuentemente en un incremento en longitud de su eje axial.

Amplitud histórica del cauce del río Sis-Icán 1974-2017



Leyenda

-  Sistema focal Sis-Icán
-  Amplitud del cauce del río Sis-Icán (1974-2017)
-  Cauce del río Sis-Icán 2017

Proyecto: Resiliencia a inundaciones en Guatemala
Arreglo: Pablo Yax López
Datum: WGS84
Shape de cuencas: Maga 2009
Datos a partir de imágenes satelitales de USGS 1973, 1985 y 2017



Lám. 19.

Amplitud histórica del cauce del río Sis-Icán para el período 1974-2017.

Para los meandros 15, 16 y 17 se observa un ligero incremento, especialmente de los dos últimos meandros mencionados. El meandro número 18 de manera general se mantuvo estable desde 1974 hasta 2010, pero en 2017 sufre una anulación por un proceso de corte de meandro. Para los restantes meandros (19, 20, 21 y 22) se observa una disminución en la longitud de su eje axial.

Los sistemas fluviales en su dinámica espaciotemporal retienen o mantienen una memoria espacial de eventos pasados, algunos se remontan a una larga historia de cauces. A largo plazo la influencia de eventos pasados es a veces referida como un vestigio histórico que afecta la dinámica y planimetría de un río (Charlton, 2008; Camporeale *et al.*, 2008). Considerando este fenómeno, se conjuntaron todos los cauces del río Sis-Icán para el período 1974-2017 (lámina 19) para delimitar esa memoria espacial para dicho período.

El rango de amplitud histórica espacial del cauce del río Sis-Icán fue estimado entre el rango de 43 y 618 metros. La sección de máxima amplitud espacial alcanzada durante este período de estudio fue de 618 metros (lámina 19).

Este último dato de la máxima amplitud debe considerarse como un elemento para la gestión de riesgo para las áreas de cultivo o viviendas ubicadas en esta zona de estudio, ya que representa la posible movilidad lateral del cauce.

Cambios en la cobertura han sido demostrados que fortalece las tasa de la movilidad lateral del cauce a través de la reducción de la fuerza de cizallamiento del banco y cambios en la presión del agua por capilaridad (Dingle *et al.*, 2019).

Los cauces son formados por el flujo y la carga de sedimentos que ellos transportan, la fuerza cohesiva del material en sus orillas (ribera), la pendiente de su flujo río abajo y las rocas que va cortando en ella (Bierman y Montgomery, 2013).

4.4.2 Exposición de poblados y áreas de cultivo ante las inundaciones más importantes en el período 1988 – 2018.

En el capítulo III se abordó la amenaza inundaciones con mucha profundidad, sus particularidades y características de los eventos de inundación provocados por lluvias influenciadas por el paso de fenómenos hidrometeorológicos extremos, que consistió en el estudio de la amenaza. En este capítulo se abordará el otro componente del riesgo, específicamente la exposición física de ambos territorios ante las inundaciones fluviales y pluviales (lluvia local) generadas por lluvias extremas inducidas por eventos hidrometeorológicos extremos.

La medición de la vulnerabilidad no es una tarea fácil y está limitada por la falta de datos del mundo real (Turner *et al.*, 2003 citado por Guerra, 2010). Los principales procesos de medición y mapeo de la vulnerabilidad necesitan de un enfoque transdisciplinario, la realización de la vulnerabilidad como un proceso de diferenciación y la consideración de las dimensiones temporales (Hilhorst y Bankoff, 2004, citado por Guerra, 2010).

Ninguna metodología de evaluación de la vulnerabilidad es adecuada y capaz de capturar todas las diversas características de vulnerabilidad relacionadas con diferentes grupos sociales, sectores económicos y servicios ambientales (Guerra, 2010).

El mapeo de riesgos generalmente se divide entre mapeo de amenazas y vulnerabilidad. El mapeo de riesgos se ha realizado ampliamente y está significativamente más desarrollado que el mapeo de vulnerabilidades y, según Birkmann (2006), ha sido el paradigma predominante en el mapeo de riesgos.

La evaluación de la vulnerabilidad y el mapeo son temas de interés y debate recientes importantes. Birkmann (2006), afirma que la capacidad de medir (y mapear) la vulnerabilidad es un requisito previo esencial para reducir el riesgo de desastres y que la medición busca

discutir y desarrollar métodos para traducir el concepto abstracto de vulnerabilidad en herramientas prácticas para ser aplicadas en el campo.

Ya sea como un elemento contenido en la vulnerabilidad o separado de ella, la exposición es de suma importancia. Esto, a su vez, depende del tipo de peligro en cuestión. En realidad, los diversos componentes de la exposición deben desglosarse y considerarse por separado. Se compone de dos componentes generales, activos fijos, estáticos o permanentes (por ejemplo, edificios; el daño puede ocurrir independientemente del momento) y activos móviles o temporales (por ejemplo, humanos, modos de transporte; el grado de daño varía con el momento del evento) (Lee y Jones, 2004 citado por Guerra, 2010).

Se estimaron un total 9,673 hectáreas de zona acumulada histórica (lámina 20) afectada por inundaciones en el periodo 1988-2010 en el sistema focal Achiguate, representando el 29 % del territorio que ha sufrido alguna vez de inundaciones durante dicho periodo. Aunque se mencionó en el capítulo III, que una parte del volumen de agua del Achiguate durante 1988 -1997 afectaba el territorio de la cuenca Acomé en el lado oeste, con una zona de impacto máximo de 1,866 hectáreas.

De acuerdo con la delimitación de zona inundable en el sistema focal Achiguate post Stan y una sobreposición de asentamientos humanos (Viviendas o infraestructura) del 2006, se estimó un total 140.8 hectáreas afectadas temporalmente en el sistema focal de estudio. La afectación es temporal debido a que las inundaciones alcanzan un nivel o pico máximo, y conforme el transcurso del tiempo va reduciéndose el nivel de agua. A partir de una muestra de hogares de tres comunidades priorizadas en el sistema focal, se determinó que el 69 % perdieron enseres del hogar. Un 56.8 % reportaron daños leves en sus viviendas, el 90.5 % indicaron daños en su sistema de abastecimiento de agua (pozos artesanales) y el 84 % informo problemas de piel o gastrointestinales debido a la acumulación de agua. Estas dos últimas afectaciones pueden ser de mayor relevancia y un detonante negativo para la salud de los integrantes de las familias. Tal como lo indica CEPAL (1999) en el informe post Mitch 1998, la

destrucción de sistemas de agua y letrina, la contaminación de pozos y las aguas estancadas generaron un serio problema sanitario.

Posterior a los impactos de la tormenta tropical Agatha, año 2011, finalizó la construcción de diques longitudinales que iniciaron en 2009 por parte del Estado Guatemalteco para dicho río y territorio. De acuerdo con el grupo focal de la comunidad Botón Blanco, que no se tuvo inundaciones en la comunidad y otras alledañas durante el evento de Agatha, debido a la construcción de dichos diques río arriba. Aunque en el tramo final del río no estaba aún finalizada y provocó que la comunidad Campamento La Barrita y otras áreas alledañas sufrieran inundaciones, de acuerdo con información del grupo focal.

Esta obra de ingeniería ha generado un confinamiento del río Achiguate desde su construcción (2009) hasta que finalizaron las actividades relacionadas en el 2011. Esto es positivo desde la lógica de reducción (desastres) de las inundaciones para las comunidades y áreas agrícolas, que esa es una de las razones o propósitos de su construcción. Hasta 2019 no ha ocurrido otro evento hidrometeorológico extremo que detone en inundaciones de la envergadura de Stan o Agatha, por lo que se desconoce totalmente la efectividad de esta obra de ingeniería. Aunado a la vida útil de diseño de la obra, que por el momento ya son alrededor de 10 años desde su construcción.

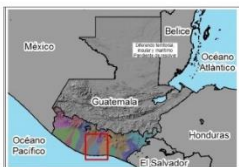
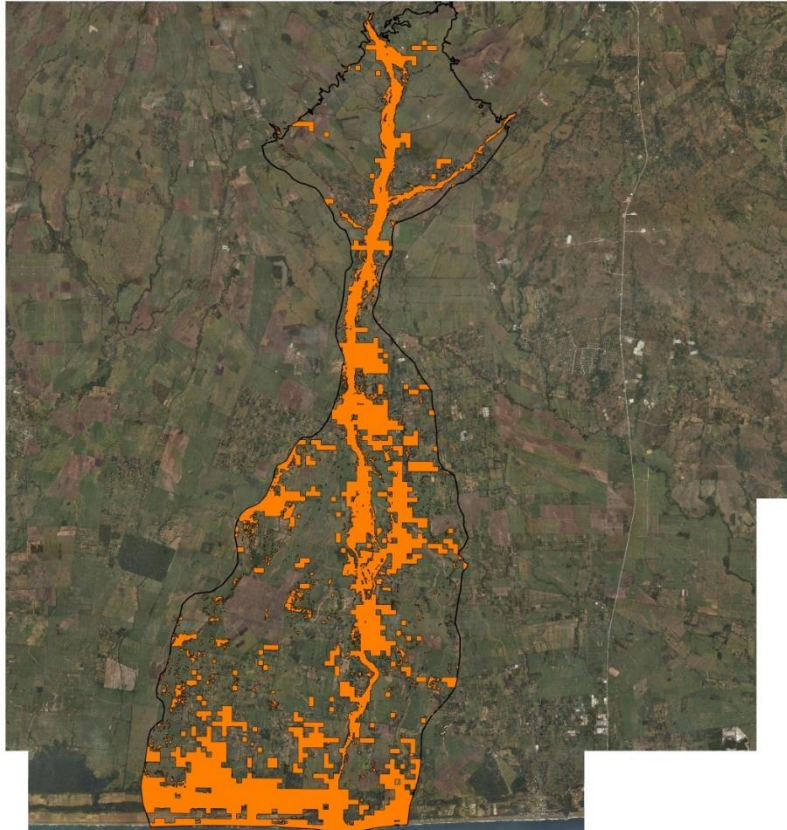
Por otro lado, esta construcción ha modificado la dinámica *natural* del Achiguate y es muy probable que cumpla su propósito de evitar o reducir las inundaciones y consecuentemente modificar los territorios que son recurrentemente impactados por inundaciones parcial o totalmente. Otro elemento muy importante de gran influencia en la dinámica del río Achiguate y las inundaciones son los sedimentos, en este caso particular, los sedimentos volcánicos procedentes del volcán de Fuego. De acuerdo con Bierman y Montgomery (2013), mencionan que la distribución del tamaño del material sedimentario transportado por el río es un factor importante en la morfología del cauce del río.

Estos sedimentos volcánicos (volcán de Fuego) generados desde 1974 - 2018 siguen siendo transportados por el río Achiguate y otros afluentes secundarios y depositándose en el cauce en los últimos 50 kilómetros hasta su desembocadura. Ferrés y Escobar (2018), estiman que existen más de 50 millones de metros cúbicos de material piroclástico emplazado en el edificio volcánico de volcán de Fuego y las barrancas adyacentes debido a la erupción del 03 junio de 2018.



El material volcánico sigue siendo transportado como lahares, y buena parte continuará depositándose en el lecho del río en los siguientes años, fenómeno que depende mucho de las lluvias intensas en la zona de emplazamiento de estos materiales volcánicos. Dicho proceso está generando la colmatación del lecho del río y la consecuencia es en la reducción de la profundidad del lecho del río Achiguate y pueda detonar en desbordamientos e inundaciones locales al momento de superar la altura de los diques longitudinales o que estos últimos cedan ante la potencia del flujo. Guerra (2010) identificó que los datos de precipitación en dos estaciones meteorológicas muy cercanas al territorio del Achiguate (Camantulul y Puerto de San José) para el período de 1979 - 2009, mostraron una tendencia de incremento de las lluvias extremas en el percentil 99 y 95.

Aunque los diques longitudinales en la zona de estudio siguen funcionando, se consideró cómo área probable de inundaciones la zona histórica afectada por estos eventos en dicho territorio para el periodo 1988-2010 y sobreponiendo los datos de asentamientos humanos del 2018. Asumiendo que los diques longitudinales no eviten las inundaciones ante un evento extremo, se estimó un total de 215 hectáreas de asentamientos humanos que podrían ser impactados en el futuro. Respecto al sector agrícola, considerando los datos hasta 2016, se estima que podría impactar en 5,131 hectáreas de distintos cultivos.

Zona de riesgo a inundaciones en el sistema focal Achiguate



Leyenda

-  Sistema focal Achiguate
-  Zona de riesgo a inundaciones

Proyecto: Resiliencia a inundaciones en Guatemala
Arreglo: Pablo Yax López
Datum: WGS84
Shape de cuencas: Maga 2009
Ortofotos: Maga2005
Datos de inundación: USGS, NASA, 2017



Lám. 20. Zona de exposición a inundación en el sistema focal Achiguate.

En cuanto al mapeo local de inundaciones históricas en las tres comunidades priorizadas para el sistema focal Achiguate, las personas informaron que las delimitaciones efectuadas con las imágenes satelitales coinciden con la cobertura de inundaciones, especialmente para el evento Stan en el territorio. A excepción de una persona de la tercera edad en la localidad Botón Blanco, un alto porcentaje de los participantes en los talleres no tienen en memoria los impactos de inundaciones en el año 1988.

En cuanto al sistema focal Sis-Icán, se estimaron un total 4,272 hectáreas de zona acumulada histórica afectada por inundaciones en el periodo 1988-2010, representando el 16.8% del territorio que ha sufrido alguna vez de inundaciones durante dicho periodo.

Basado en el evento de mayor superficie de cobertura de impacto, provocado por la tormenta tropical Stan (ver capítulo III) y una trasposición de asentamientos humanos (datos del 2006), se estimaron 68 hectáreas de asentamientos humanos afectados. De acuerdo con los datos recopilados a una muestra de hogares en tres comunidades priorizadas en dicho territorio, se determinó que un 50% de los hogares informaron que ha perdido enseres al momento de una inundación. Un 47.8% reportaron daños leves en las viviendas y el 64.4 % reportaron daños en sus sistemas de agua para consumo humano.

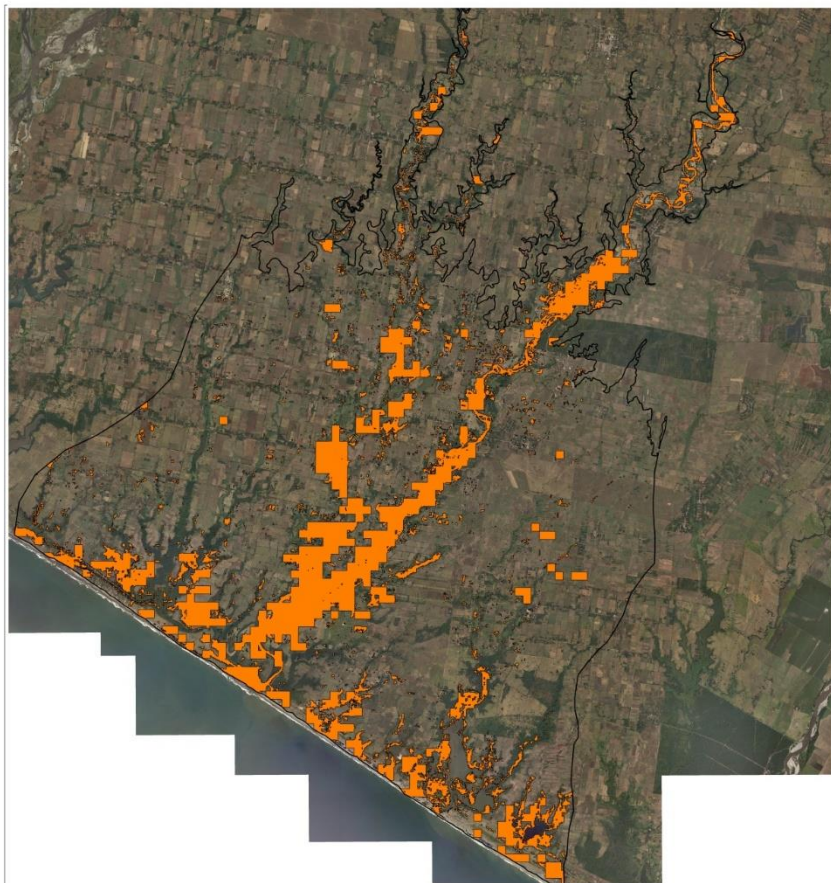
Tomando como base la zona histórica que ha sufrido inundaciones (lámina 21) y consecuentemente esta predisposición a la amenaza inundaciones, se proyecta para el futuro que 95 hectáreas de asentamientos humanos y 2,570 hectáreas de áreas agrícolas puedan estar en distinto niveles de riesgo a inundación.

El área agrícola que está en riesgo ante la probabilidad de un cambio en el cauce del río y que se enmarque en la zona de amplitud histórica del río Sis-Icán, independientemente de algún evento de inundación, sino más por procesos morfológicos locales, está estimado en 408 hectáreas. Respecto a asentamientos humanos, asumiendo que



se mantiene constante la superficie para el 2018, se espera impacto en 0.45 hectáreas.

El mapeo comunitario de inundaciones en las tres comunidades priorizadas (ver detalles en capítulo III). Para el caso de San José Churirín, se indicó que para el evento Stan se tuvo acumulación de agua en la mayor parte de la comunidad debido a una combinación de lluvias locales y el incremento del manto freático, coincidiendo con la delimitación efectuada con las imágenes satelitales. Pero que en general no fue de mucho impacto, a excepción de algunas casas al norte adyacentes al ecosistema manglar. En la comunidad B20, se validó la información delimitada con la imagen satelital, que algunas pequeñas áreas no fueron detectadas como zona inundada, muy cercanas a la Escuela Oficial Rural Mixta de La Línea B20. Por último, para el caso de la Comunidad Agraria La Vega, se validó y coincidió con la información satelital, que es un sitio con nula o muy baja exposición a las inundaciones.

Zona de riesgo a inundaciones en el sistema foca Sis-Icán



Leyenda

-  Sistema focal Sis_Icán
-  Zona de riesgo a inundaciones

Proyecto: Resiliencia a inundaciones en Guatemala
Arreglo: Pablo Yax López
Datum: WGS84
Shape de cuencas: Maga 2009
Ortofotos: Maga2005
Datos de inundación: USGS, NASA, 2017



4.5 CONCLUSIONES

Los hallazgos del estudio indican que el cauce del río Achiguate ha cambiado en un 100% de las secciones estudiadas en anchura y posición durante el período de 1973 - 2017. La literatura enfatiza que el aporte y transporte de sedimentos representa un factor importante de cambio morfológico de los ríos. En el caso del Achiguate los grandes aportes de materiales volcánicos procedentes del volcán de Fuego han incidido en la morfología del Achiguate desde los años 70's, inclusive desde el inicio del siglo XX. Los principales cambios se han dado un tramo central durante el 1985-1998 con avulsiones fuertes.

En cuanto a la influencia de los eventos hidrometeorológicos extremos sobre cambios en el cauce del río debido a grandes volúmenes de agua que se conducen en ella. Los fundamentos teóricos indican que un proceso externo de influencia es el caudal del río, y otros factores internos relacionados al anterior como la velocidad del flujo de agua y la variabilidad del caudal, influyen en la morfología del río y los eventos de inundación. En este sentido se determinó un cambio estadísticamente altamente significativo en las secciones transversales evaluadas para el año 1998 (enero-diciembre) y 2010 (enero-diciembre), pre y post evento Mitch y Agatha, respectivamente.

De acuerdo con este estudio, se ha visto una reducción de la sinuosidad del río Sis-Icán desde 1985 hasta el 2017. A pesar de ello, continúa siendo un río meándrico. Las implicaciones de esta reducción de la sinuosidad y especialmente el corte de cuatro meandros (anulación) en 2017, en función de la literatura, es la eliminación de mecanismos de disipación o reducción de la energía del río. Que posteriormente puede desencadenar efectos en los meandros río abajo y con posibles efectos sobre los eventos de inundación a nivel local.

Los sistemas fluviales en su dinámica espacio - temporal retienen una memoria espacial de eventos pasados, algunos se remontan a una larga historia de cauces que afecta la dinámica y planimetría de un río. Considerando este fenómeno, se conjuntaron todos los cauces del río Sis-Icán para el período 1974-2017, para delimitar esa memoria

espacial para dicho período. Generándose un rango de amplitud histórica espacial del cauce del río Sis-Icán entre 43 y 618 metros. Esta información se convierte en un insumo de utilidad para la gestión de riesgo de las zonas agrícolas y medios de vida expuestos en este territorio, cuantificado en 707.6 hectáreas.

La probabilidad de agravarse las inundaciones en el futuro, aunado a un crecimiento de la población en zonas propensas a inundaciones, resulta necesario realizar esfuerzos para diseñar medidas apropiadas para controlar las presiones demográficas en dicha área. Por lo tanto, junto con estrategias efectivas de manejo de inundaciones, controlar la presión demográfica en las zonas propensas a inundaciones es crucial para reducir los daños por inundaciones y pérdidas de vidas humanas en el futuro.

5 Análisis de la resiliencia y evolución de los principales medios de vida de comunidades ubicadas en las partes bajas de los ríos Achiguate y Sis-Icán.

5.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se aborda el tema central de esta tesis doctoral, la resiliencia y específicamente, la comunitaria y de los medios de vida de los hogares ante los eventos de inundación. Se presenta la estimación de la resiliencia de hogares ubicados en dos cuencas de la vertiente del Pacífico de Guatemala (Achiguate y Sis-Icán), ambas con características bio-físicas distintas, principalmente, en la dinámica morfológica de los cauces de los principales ríos. El análisis está basado en el uso de información a una resolución de hogar, recopilada a través de la aplicación de una encuesta en 2018-2019 y en función de la utilización de un proxi se estimó la resiliencia. Además, se analizó la tendencia de la resiliencia comunitaria en función de modelación conceptual y matemática de cada territorio.

En los capítulos anteriores se analizaron con mucha profundidad los eventos históricos de inundación, considerado como el disturbio principal para el sistema, y la exposición de los asentamientos humanos y áreas agrícolas comunitarias en ambas zonas de estudio ante dicha amenaza natural.

Como lo sugieren Walker *et al.*, (2006); Resilience Alliance (2010), el siguiente paso después de la identificación de una perturbación que afecta un sistema, es dar respuesta a las interrogantes ¿Resiliencia de qué? Y ¿Resiliencia a qué?, aspectos abordados en el tercer y cuarto capítulo, se convierten en insumos relevantes para el análisis de la resiliencia. El análisis de la resiliencia permite identificar variables de control y procesos que gobiernan la dinámica del sistema.

Una de las maneras de definir la resiliencia, y adoptada para el presente estudio, es la capacidad de los sistemas sociales, económicos y ambientales de afrontar un suceso, tendencia o perturbación peligrosa

respondiendo o reorganizándose de modo que mantengan su función esencial, su identidad y su estructura (IPCC, 2014). La resiliencia también se refiere a la capacidad de individuos, grupos sociales o SE para acomodarse a estrés o disturbio, para auto-organizarse, para aprender y mantener o mejorar esencialmente su estructura básica y forma de funcionamiento (Ifejika Speranza *et al.*, 2014).

Existe un fuerte interés en operacionalizar las teorías o propuestas metodológicas para medir cualitativa o cuantitativamente la resiliencia, fundamentalmente, en sistemas socioecológicos. Ifejika Speranza *et al.*, (2014), señalaron que la resiliencia es compleja de medir y, dado a que es un concepto normativo y en evolución, tiene que ser inferido. Por lo que debe confiar en proxis para representar la resiliencia. En el contexto de esta investigación doctoral se persigue responder la pregunta de investigación ¿Cómo ha cambiado la resiliencia de los medios de vida a las inundaciones en hogares y comunidades ubicadas en ambos territorios de estudio?

La propuesta metodológica empleada es la de Ifejika Speranza *et al.*, (2014), que incluye tres grandes dimensiones (proxis) para estimar la resiliencia: a) capacidad de amortiguamiento, b) capacidad de aprendizaje y c) autoorganización. Cada dimensión contempla una serie de variables indicadoras, que para el estudio se seleccionaron 24 de las 31 propuestas recomendadas. Dicha propuesta metodológica fue adoptada por el contexto rural y agropecuario de los asentamientos estudiados, y la escala de medición se basó en una escala de Likert de aporte a la resiliencia.

Este capítulo examina seis casos específicos de comunidades con diferentes niveles de exposición a los eventos de inundación. A través de la captura de los atributos de las tres dimensiones que componen el proxi de resiliencia para un contexto rural guatemalteco y de Latinoamérica.

5.2 OBJETIVO

Evaluar la resiliencia y evolución de los principales medios de vida de las comunidades ubicadas en las partes bajas de las cuencas Achiguate y Sis-Icán ante eventos de inundación.

5.3 MÉTODOS

Los métodos para responder las preguntas planteadas de investigación combinan herramientas de ciencias sociales como entrevistas y encuestas a jefes de hogares, y de ciencias naturales como análisis de áreas inundadas basado en sensores remotos y sistemas de información geográfica. Además, emplea herramientas de modelación para el análisis de las tendencias de la resiliencia comunitaria ante eventos de inundación y como podrían ser impactadas en el futuro, considerando tres escenarios con distintas condiciones y supuestos.

Con el propósito de contar con una comparativa entre comunidades que sufren de inundaciones contra otras sin afectación por dicho fenómeno, se tomaron en consideración cuatro comunidades que están expuestas a los impactos de las inundaciones (dos por zona de estudio) y otras dos que presentan nula o baja exposición ante inundaciones.

Parte baja de la cuenca del Achiguate:

Aldea Campamento La Barrita, San José, Escuintla

Caserío Botón Blanco, San José Escuintla

Caserío Lolitas, aldea Cuyuta, Masagua, Escuintla

Parte baja de la cuenca del Sis-Icán:

Aldea San José Churirín, Mazatenango, Suchitepéquez

Línea B-20, San José La Máquina, Suchitepéquez.

Comunidad Agraria La Vega, Mazatenango, Suchitepéquez

En el caso de las comunidades o asentamientos que presentan nula o baja exposición a inundaciones en la parte baja del Achiguate, se consideró a la comunidad Caserío Botón Blanco, San José Escuintla, que a partir del 2010 ya no ha sufrido de inundaciones debido a la

construcción de diques longitudinales río arriba. Para el otro territorio, cuenca del Sis-Icán, se consideró a la Comunidad Agraria La Vega, Mazatenango Suchitepéquez que no sufre del impacto directo de las inundaciones en su territorio.

5.3.1 Impactos de las inundaciones sobre medios de vida de seis comunidades y análisis de la resiliencia a nivel comunitario.

En el contexto guatemalteco y países similares la falta de datos oficiales resulta una limitante en muchos campos de investigación. Por lo que resultó necesario utilizar otros mecanismos o medios para coleccionar información primaria y que sean insumos valorables para el análisis. Turner *et al.*, (2003) citado por Guerra (2010), menciona que la medición de un fenómeno es una tarea fácil y contrasta por la falta de datos.

La evaluación de la resiliencia de los medios de vida de comunidades que sufren de inundaciones se basó principalmente en datos sistematizados a través de un formulario de recolección de información aplicada en seis comunidades (nombrados anteriormente), tres por cuenca de estudio.

Siguiendo la metodología que propone Ifejika Speranza *et al.*, (2014), se recoge información importante para caracterizar y dimensionar la resiliencia de las comunidades a través de variables indicadoras. Dicha metodología sugiere la inclusión de tres dimensiones o proxis: a) capacidad de amortiguamiento, b) auto-organización y c) capacidad de aprendizaje, que en conjunto generan una cuantificación ordinal de la resiliencia. Cada una de estas dimensiones o proxis se conforman de diferentes indicadores (que son descritos en las siguientes páginas) y, estos últimos por variables indicadoras de resiliencia.

Estas dimensiones y sus respectivas variables indicadoras son abordadas en la tabla 21. Ifejika Speranza *et al.* (2014), propone que la escala de medición a utilizar es la de puntos de Likert que puede capturar las contribuciones de resiliencia. Establecida de la siguiente

manera: 0= ninguno; 1= muy bajo; 2= bajo; 3= promedio, 4= alto y 5= muy alto.

Además, se recopila información relacionada a otros impactos de las inundaciones en los medios de vida y características de recursos e integrantes de los hogares, que permiten mayor fundamento y discusión de los resultados.

Tabla 21. Marco conceptual y analítico para caracterizar resiliencia de medios de vida.

Dimensión o proxi de resiliencia	Indicadores	VARIABLES INDICADORAS
<i>Capacidad de amortiguamiento</i>	Capital humano	1. Nivel de educación 2. Experiencia del territorio 3. Habilidades o competencias 4. Condiciones de salud de la familia.
	Capital natural	5. Acceso a tierra o terreno para cultivo
	Capital financiero	6. Ingresos agrícolas 7. Ingresos semanales por familia 8. Ahorros 9. Gastos semanales 10. Ratio de dependencia
	Capital social	11. Beneficio por pertenencia o participación en un grupo o red 12. Labor de apoyo a miembros de grupo
	Capital físico	13. Maquinaria y equipo 14. Herramientas
<i>Autoorganización</i>	Cooperación y redes sociales	15. Membresía en grupo o red
	Estructura de las redes	16. Confianza en pedir y dar dinero 17. Labor de apoyo
	Confianza en propios recursos	18. Confianza en sus propios recursos
<i>Capacidad de aprendizaje</i>	Conocimiento de amenazas y oportunidades	19. Conocimiento y habilidad para analizar amenazas y oportunidades

	Compromiso de aprendizaje	20. Compromiso para el aprendizaje
	Experimentación	21. Experimenta con nuevos métodos o técnicas con relación a sus medios de vida
	Capacidad de intercambio de conocimiento	22. Número de hogares que brindan información o nuevos métodos relacionados a medios de vida a otros hogares
	Capacidad de transferencia de conocimiento	23. Nuevas ideas o prácticas que han aprendido de otros hogares
	Mecanismos de retroalimentación de aprendizaje	24. Visitas de asesoría o capacitaciones de organizaciones externas relacionadas a los medios de vida

Fuente: (Ifejika Speranza *et al.*, 2014)

La información de cada variable indicadora empleada para las dimensiones de resiliencia fue recopilada (generada) mediante la aplicación de un formulario a nivel de comunidades (asentamientos). Esta encuesta fue aplicada a una muestra de 162 hogares de las seis comunidades bajo estudio, durante marzo y mayo de 2018. Se basó en un muestro estratificado al azar (considerando como estrato a cada comunidad), con una afijación óptima y un nivel de confianza del 95% y, con un error de estimación del 7%.

Para el estudio se utilizó el de marco de Medios de Vida (Obrist *et al.*, 2010, citado por Ifejika Speranza *et al.*, (2014)), indican que dicho marco lleva implícito el pensamiento resiliente, por ejemplo, se enfoca en cómo las capacidades, activos y actividades de las personas, transforman las estructuras y procesos que guíen resultados positivos como ingresos, incremento del bienestar o mejorar la seguridad alimentaria.

Los listados de hogares y jefes de hogar fueron recopilados a través de cada Concejo Comunitario de Desarrollo (COCODE) de cada

comunidad sujeto de estudio, con datos de 2018. A quienes se les informó del propósito del estudio y se les solicitó autorizaron para efectuar la encuesta.

El diseño de la encuesta consistió en 64 grandes aspectos (ítems) y una serie de sub-ítems que recogen información sobre medios de vida y aspectos relacionados a las inundaciones y variables indicadoras de resiliencia.

La encuesta o instrumento fue organizado con las siguientes secciones: a) identificación del entrevistado y otros datos relevantes de los hogares, b) actividades principales del hogar, c) capital humano, d) habilidades sobre medios de vida y habilidades para el manejo de inundaciones, e) gestión de riesgos, f) capital o activo social, g) capital natural, h) capital financiero i) capital físico y h) perspectivas y percepciones de futuro.

Con posterioridad al diseño de la encuesta, se procedió a definir el listado final de hogares donde se aplicaría el formulario. Se contó con el apoyo de representantes de COCODEs para diseñar rutas y ubicaciones de los hogares donde se aplicaría la encuesta. Se lograron aplicar las encuestas a través de cuatro personas que efectuaron estas diligencias durante tres meses.

Para la sistematización o digitalización de los datos recopilados a través de la encuesta se necesitó de dos digitalizadores para trasladar la información a una hoja electrónica Excel. Tras la digitalización se procedió a la identificación de datos faltantes en los formularios, que fue de un 15% del total aplicado, y que requirió de visitas o llamadas telefónicas adicionales a los hogares.

Un paso posterior fue la revisión minuciosa de los datos digitalizados “cleaning the data”, en la búsqueda de errores, datos faltantes, distribución bajo la curva de la normalidad de los datos, frecuencia y distribución de las variables principales.

Los resultados fueron organizados en gráficas, tablas y correlaciones para poder analizar y discutir los principales hallazgos, y así como para la retroalimentación de la información colectada a nivel comunitario. Los principales resultados fueron validados a nivel comunitario a través de grupos focales en las seis comunidades sujeto de estudio.

5.3.2 Escenarios y posibles tendencias de la resiliencia comunitaria ante inundaciones.

El primer paso en la evaluación de la resiliencia fue definir los límites espaciales y temporales de ambos sistemas socioecológicos (SSE) bajo análisis. Dentro los criterios utilizados se enlistan los siguientes: utilización de la delimitación oficial de las cuencas hidrográficas del Achiguatú y Sis-Icán, particularmente el parteaguas en lado oeste y este en el tramo final de la cuenca; la zona de recurrencia y de mayor cobertura de eventos históricos de inundación, y la curva sobre el nivel del mar de 140 y 30 metros, respectivamente.

Una vez definidos los límites espaciales fue necesario identificar los componentes clave y su naturaleza, e identificar un patrón espacial de los fenómenos de relevancia en el sistema (Walker *et al.*, 2006; Resilience Alliance, 2010).

Para la construcción del modelo (conceptual) requirió determinar los principales componentes de ambos SSE's, identificando y seleccionando las relaciones existentes entre las distintas partes o componentes, específicamente, los mecanismos por las cuales las partes interactúan. Además permiten la identificación de información faltante y explorar el comportamiento del modelo (Heemskerk *et al.*, 2003).

A través del programa Stella© se elaboraron los modelos conceptuales de ambos sistemas socioecológicos. De acuerdo con (Heemskerk *et al.*, 2003), los modelos conceptuales o cualitativos son típicamente dibujos como diagramas con cajas y flechas que muestran los principales elementos y flujos de material, información y causalidades que definen el sistema.

Aunque la representación formal de un modelo conceptual puede ser considerada como uno de los últimos pasos del análisis de sistemas, y en cierta manera como uno de los productos finales, la representación del diagrama del modelo conceptual usualmente se realiza en forma simultánea con los pasos anteriores.

Para la construcción de ambos modelos conceptuales de SSE's fue necesaria la utilización de aportes de interesados (stakeholders) de cada sistema. Así mismo, se efectuaron consultas a expertos y revisión de literatura en relación con algunos fenómenos relacionados al objeto de estudio. De acuerdo con Walker *et al.* (2006), estos son insumos importantes para la identificación de algunas variables de control que actúan sobre los fenómenos, bienes y servicios de los ecosistemas clave.

Los dos modelos conceptuales generados de ambos SSE's fueron transformados (parametrización) a modelos matemáticos a través del programa Stella©. Para la parametrización se emplearon datos recolectados de campo, aplicación de encuestas, la literatura y algunos supuestos.

Posteriormente, ambos modelos matemáticos fueron utilizados para las simulaciones (con 100 repeticiones), un experimento de cara al futuro para ambos SES's utilizando el programa Stella©. El objetivo fue simular el comportamiento del sistema para el 2100.

En dicho paso se examinaron los disturbios externos (eventos de inundación) y los efectos en los SSE's en relación con las pérdidas económicas y la evolución de los niveles de resiliencia. Se plantearon dos modificaciones al modelo matemático tendencial (datos de 2018-2019), permitiendo la generación de tres escenarios: a) Escenario resiliencia tendencial "E1", b) Escenario de resiliencia "E2", donde se duplicó la probabilidad de frecuencia de los eventos extremos de lluvia y c) Escenario "E3" modificación de variables indicadoras de capital social (auto-organización y otras de capacidad de amortiguamiento).

Los datos generados sobre resiliencia, eventos de inundación y los efectos en los ingresos fueron analizados a través de una prueba de medias y el empleo de estadísticos descriptivos.

5.4 RESULTADOS Y SU DISCUSIÓN

Esta sección está estructurada en tres subsecciones. La primera aborda el modelo conceptual de cada sistema focal sujeto de estudio, las partes bajas de las cuencas hidrográficas Achiguate y Sis-Icán. Cada modelo representa los subsistemas, elementos, y sus respectivas interrelaciones entre el fenómeno de inundación y la resiliencia a nivel comunitario. Se consideraron los elementos naturales o fenómenos particulares de cada territorio bajo estudio.

En la segunda subsección se presentan los principales hallazgos de la aplicación de la encuesta a nivel comunitario (datos del año 2018-2019) y su respectivo análisis en lo relativo los medios de vida y la resiliencia que poseen las seis comunidades priorizadas para ambos territorios ante los eventos de inundación.

La última subsección mantiene una estrecha relación con las dos subsecciones anteriores, ya que utiliza mucha información y elementos de estas y presenta información generada mediante simulaciones acerca de la dinámica de la resiliencia comunitaria para el periodo de 1950-2100.

5.4.1 Modelo conceptual de los sistemas focales Achiguate y Sis-Icán.

El modelo conceptual facilita el entendimiento de cómo los cambios del sistema ocurren a través del tiempo, si existe algún patrón de cambio cíclico. La mayoría de los sistemas son dinámicos y cambian a través del tiempo, a menudo siguen un patrón de cuatro fases: crecimiento, conservación (acumulación), colapso y reorganización (Resilience Alliance, 2010).

El modelo conceptual tiene por objeto crear una representación abstracta de una situación bajo investigación o más preciso, la forma en que los usuarios lo piensan (Thalheim, 2011).

5.4.1.1 Perfil histórico SES' Achiguate

Con base en el sistema socioecológico, el recurso tierra, como bien natural, interacciona de distintas maneras con los subsistemas económico, natural, social e institucional (IARNA-URL, 2009). Para el sector privado y el componente de producción agrícola, significa soporte y fuente de nutrientes para la producción agropecuaria y forestal. Además, para el subsistema social, es soporte físico de asentamientos humanos y provee agua a través de su función de almacenamiento en los mantos freáticos.

De acuerdo al Instituto Geográfico Nacional, (2000), en una visita efectuada en 1830 en Escuintla el territorio estaba cubierto de bosque denso, muy distinta en la actualidad. Loening y Marckussen, (2003), citado por IARNA-URL (2012), mencionan que de 1950 a 1980 la deforestación en el país fue provocada por la expansión de la frontera agrícola, donde políticas de Estado vieron en la agricultura una vía de crecimiento económico.

La parte baja de la cuenca del Achiguate pertenece a la zona 12 de medios de vida (agroindustria de exportación y granos básicos), que se caracteriza por el cultivo de caña, con alta migración poblacional proveniente de todo el país en época de zafra y por la cosecha de palma africana, banano, plátano y frutales (SESAN *et al.*, 2010).

Existen otros tipos de productores como los agricultores familiares de infra-subsistencia y los de subsistencia, que generalmente se desempeñan como jornaleros (SESAN *et al.*, 2010; Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, 2016). El primer grupo no producen lo suficiente para su consumo familiar y tiene poco acceso a recursos productivos. El segundo grupo tiene limitada posesión de tierras, producen para el autoconsumo e intercambian o vende localmente una pequeña parte de su producción.

El 93% de superficie está dedicado a la agricultura y el porcentaje restante lo ocupa bosques naturales, espacios abiertos, zonas urbanas y cuerpos de agua (INAB *et al.*, 2019).

En cuanto a la población humana dentro del territorio de estudio. Tal como lo indica IARNA-URL, (2009), el crecimiento poblacional involucra una demanda creciente de bienes naturales, tales como agua, suelo (para habitación) y otros bienes (cómo alimentos).

El SSE Achiguate pertenece parcialmente a áreas político-administrativos del departamento de Escuintla y los siguientes municipios: Masagua, Escuintla, San José, La Democracia y Sipacate. Entre los principales asentamientos humanos dentro del sistema pertenecen a Masagua y San José.

A principios del siglo XXI la tasa de crecimiento de la población en Guatemala se ha mantenido relativamente constante en 2.5% anual (IARNA-URL, 2009). En el último periodo intercensal, 2002-2018, la tasa de crecimiento anual se redujo a 1.8%, confirmándose la tendencia de reducción (Instituto Nacional de Estadística, 2019).

Tabla 22. Resumen de habitantes para los municipios dentro del sistema focal en estudio.

No.	Municipio	Población según datos de censos nacionales				
		1,955	1,973	1,994	2,002*	2018
1	Masagua	4,375	18,312	21,818	17,239	45,313
2	San José	7,965	19,662	18,125 (rural)	10,778	62,801
3	La Democracia	5,722	11,835	8,733 (rural)	871	23,017
4	Escuintla**	---	---	---	1,573	156,313

Fuente: (Instituto Geográfico Nacional, 2000); (Instituto Nacional de Estadística, 1996), (Instituto Nacional de Estadística, 2019)

* Por disponibilidad de información, los datos son específicos para el sistema focal. Los otros datos son datos para todo el municipio.

** Se agregó información del municipio de Escuintla, aunque no se dispone de información de población histórica dentro del territorio del sistema focal, para todo el municipio si se cuenta con datos.

En 1955 en todo el municipio de Masagua Escuintla se indicó que vivían 4,375 personas y conformaban 1,135 familias (tabla 22). En 1973 se cuantificó un total 18,312 personas para todo el municipio (Instituto Geográfico Nacional, 2000).

Es evidente que a través del tiempo (tabla 22) la población ha ido incrementando en el territorio bajo estudio. Esta situación ha generado una expansión de asentamiento humanos y ubicándose en algunos casos en planos expuestos a inundaciones (ver capítulo IV).

Otro elemento relevante para el SSE Achiguate es el volcán de Fuego. Por varias décadas dicho volcán ha estado expulsando diferentes tipos de materiales y ha sido un factor determinante en la forma del cauce del río Achiguate y afluentes secundarios como el Guacalate y el Cenizas. De acuerdo con INSIVUMEH (2012), en el año 1974 el volcán de Fuego tuvo una fuerte erupción que afectó la agricultura y otros elementos en su periferia.

La actividad eruptiva del volcán de Fuego ha sido documentada desde principios del siglo XVI en varias fuentes de información histórica y compilada en diferentes catálogos. En el catálogo del Programa Volcanismo Global (GVP, por sus siglas en inglés), reporta al menos 36 erupciones confirmadas entre los siglos XVI a XIX, a las cuales se asignó un Índice de Explosividad Volcánica de 2; similares a la mayoría de las erupciones observadas en las últimas décadas (Ferrés y Escobar, 2018).

En la época de lluvia se forman flujo de lodo y escombros que arrastran el material volcánico depositado en las laderas. Estos materiales pueden llegar a depositarse aguas abajo gran cantidad de sedimentos, viajando a gran velocidad y extenderse por los cauces de ríos principales (INSIVUMEH, 2012).

Los lahares, además de modificar la morfología de los cauces, producen cambios en la dinámica fluvial aguas abajo, aportando mayor carga de sedimento a los cursos de agua (Ferrés y Escobar, 2018).

Todo este aporte de material de origen volcánico (Fuego) ha impulsado y estará influenciado el cauce del Achiguate y afluentes secundarios a una nueva configuración. Aunado al efecto del mismo volumen de agua que se transporta el cauce puede llegar a generar una configuración inestable del patrón del lecho del Achiguate (tema que se abordó en el capítulo cinco de esta tesis).

5.4.1.2 Perfil histórico SES del Sis-Icán

Para la segunda zona de estudio, Sis-Icán, se estimó una extensión territorial del sistema focal de 253.53 kilómetros cuadrados.

Como se indicó en la sección del territorio del Achiguate, para el período de 1950 a 1980 la deforestación en el país fue provocada por la expansión de la frontera agrícola, dónde políticas de Estado vieron en la agricultura una oportunidad crecimiento económico (Loening y Marckussen (2003), citado por IARNA-URL, 2012).

En los años 50's el territorio contaba con una cobertura boscosa nativa muy densa y con una alta biodiversidad en fauna y flora. Además de una red de ríos secundarios y terciarios permanentes e intermitentes (información de taller focal).

En los años 60-70's se establece la Zona de Desarrollo Agrario y los parcelamientos Centro 1 y 2 (Instituto Geográfico Nacional, 2000). A partir de este proceso de desarrollo agrario, el territorio inicia su transformación hacia la agricultura. Por el otro lado, el territorio (lado Este) pasa a formar parte propiedad privada de migrantes españoles y cambia el uso de la tierra de bosques a producción ganadera vacuna y cultivo de algodón. Que posteriormente por insostenibilidad económica para la producción de algodón fue permutado por producción ganadera. En los años 90's parte de este territorio (lado este) forma parte de un proceso de adjudicación de tierras por parte del Estado guatemalteco beneficiando a población sin acceso al recurso tierra. Dicha situación provocó que personas y familias de otras localidades del país migraran hacia la zona por este beneficio.

Respecto al uso actual de la tierra dentro de este sistema focal, comparte características similares a la primera zona de estudio (Achiguate). De acuerdo con SESAN *et al.*, (2010), se tiene identificado que forma parte de la zona 12 de medios de vida, basado en la producción agrícola de exportación y la producción de granos básicos. Así mismo, existen productores comerciales y agricultores familiares excedentarios.

El 79% de superficie está dedicado a actividades agropecuarias y el porcentaje restante es cubierto por bosques naturales, espacios abiertos, zonas urbanas y cuerpos de agua (INAB *et al.*, 2019).

Como se ha indicado dentro del territorio bajo análisis se ubican el Parcelamiento Agrario La Máquina, Centro Uno (Departamento de Suchitepéquez) y Centro 2 (Departamento de Retalhuleu), dos zonas alta relevancia para la producción de granos básicos.

Se estima que 79% (para año 2010) de la superficie territorial es utilizada para actividades agropecuarias con la siguiente distribución: 52% dedicado a agricultura anual, 14% para pastizales, 9% para caña de azúcar, 8% para bosques y 4% de cuerpos de agua (INAB *et al.*, 2019).

En función de los registros de pérdidas o impactos por la tormenta Stan sistematizados por MAGA para el departamento de Suchitepéquez, se reportaron más 3,000 hectáreas dañadas y 316 has en el caso del cultivo de banano. Para el caso de la caña de azúcar se reportaron 157 has dañadas.

La población muestra un crecimiento (tabla 23) en el territorio bajo estudio. Situación que sucede para todo el país, IARNA-URL, (2009) menciona que el ritmo de crecimiento de la población en Guatemala a principios del siglo XXI se mantuvo en 2.5% anual. Para el periodo intercensal 2002-2018 se reporta una tasa de 1.8% (Instituto Nacional de Estadística, 2019).

Tabla 23. Resumen de habitantes para los municipios dentro del sistema focal en estudio.

No.	Municipio	Población según datos de censos nacionales				
		1,955*	1,973*	1,994*	2,002**	2018
1	Cuyotenango	4909 (rural)	17,711 (rural)	26,154 (rural)	602	18287*** (rural)
2	San Andrés Villaseca	5,771 (rural)	20,797 (rural)	26,291 (rural)	3,145	36057 (rural)
3	Mazatenango	7,088 (rural)	13,729 (rural)	15,121 (rural)	6,474	s.d.
4	San Lorenzo Suchitepéquez	1,873 (rural)	3,705 (rural)	6,138 (rural)	60	8619
5	Santo Domingo Suchitepéquez	6,909 (rural)	15,052 (rural)	25,114 (rural)	2,252	34,713

Fuente: (Instituto Geográfico Nacional, 2000); (Instituto Nacional de Estadística, 2002), (Instituto Nacional de Estadística, 2019)

* Por falta de datos específicos para las diferentes comunidades (censos antiguos), se utilizaron datos totales de áreas rurales (ya que las cabeceras municipales no se ubican dentro del sistema en estudio), no solamente los ubicados en el sistema focal.

** Por disponibilidad de información, los datos son específicos para el sistema focal.

***Datos que corresponden a San José La Máquina, nuevo municipio creado, que era parte de Cuyotenango.

5.4.1.3 Modelo del sistema socio-ecológico focal Achiguate

El territorio del SSE focal Achiguate pertenece a la región fisiográfica Llanura Costera del Pacífico. Esta provincia fisiográfica, está comprendido por material aluvial cuaternario que cubre los estratos de la plataforma continental. Los ríos que corren desde el altiplano volcánico, al cambiar de pendiente, han depositado grandes cantidades de materiales que han formado esta planicie de poca ondulación y de aproximadamente cincuenta kilómetros de ancho y a lo largo de la costa del Pacífico (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2001).

Los principales subsistemas y componentes considerados como los más importantes que representan el sistema y sus diferentes interacciones se visualizan en la lámina 22. Entre estos subsistemas o componentes se enlistan: población, financiero, clima, el río Achiguate, disturbios-inundaciones, capacidad de amortiguamiento, capacidad de aprendizaje, auto-organización y finalmente resiliencia (lámina 22).

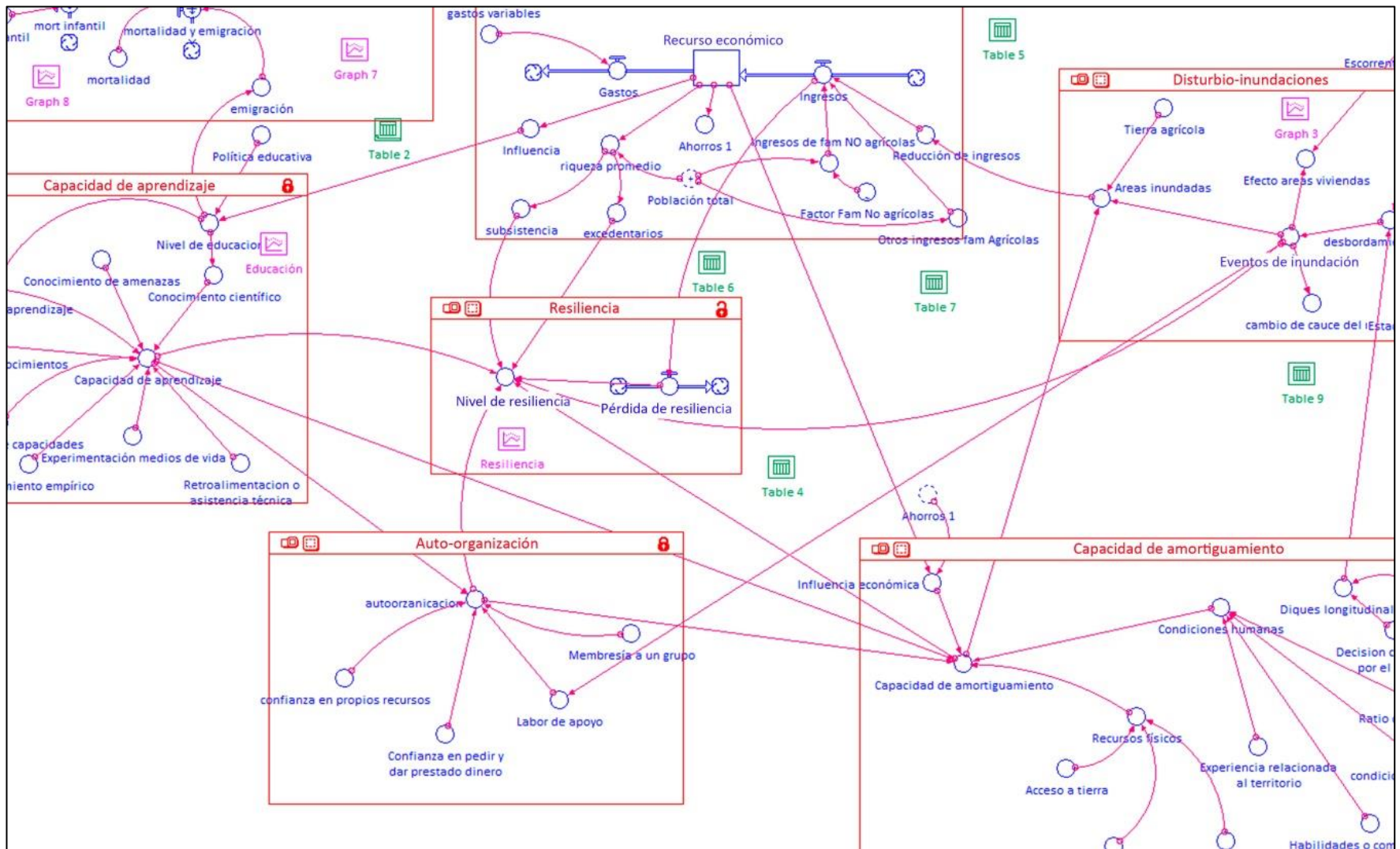
Dichos subsistemas están compuestos por diferentes elementos o factores y sus respectivas interacciones. Además, estas interacciones se consideraron las conexiones entre los diferentes subsistemas y las retroalimentaciones (feedbacks) existentes, que le confieren esta característica dinámica al modelo.

En el SSE Achiguate el volcán de Fuego (factor externo al sistema) mantiene una influencia en la dinámica geomorfológica del río. A través del constante aporte de material piroclástico (sedimentos) al sistema y transportada por las lluvias y los afluentes secundarios y finalmente por el río Achiguate. Van Westen y Daag (2005), citado por Kuethe y Watson (2019), confirman que los volcanes activos son altamente dinámicos y por lo tanto el movimiento del material fuerza aún más los cambios dinámicos en el paisaje donde se ubican.

La erupción del volcán de Fuego del 03 de junio de 2018, emitió un estimado 50 millones de metros cúbicos de material piroclástico sobre el edificio volcánico y por emplazamiento de flujos piroclásticos hacia las barrancas Seca, Ceniza y Las Lajas, en un rango de 20 a 85 millones m³ (Escobar 2018, citado por Ferrés y Escobar, 2018).

Ya se observan efectos de la sedimentación en afluentes del Achiguate. Ferrés y Escobar (2018), afirman que el río Ceniza también tiene varios sectores donde el azolvamiento por sedimentación de los canales puede provocar la rotura de sus márgenes, el desplazamiento y la captura de corrientes cercanas.

Se incluyeron como subsistemas las dimensiones de la resiliencia y sus variables indicadoras, enlistadas en la tabla 21 en la sección 5.3.1.



Lám. 22. Sección del modelo conceptual del sistema socioecológico (SSE) parte baja de la cuenca Achiguate.

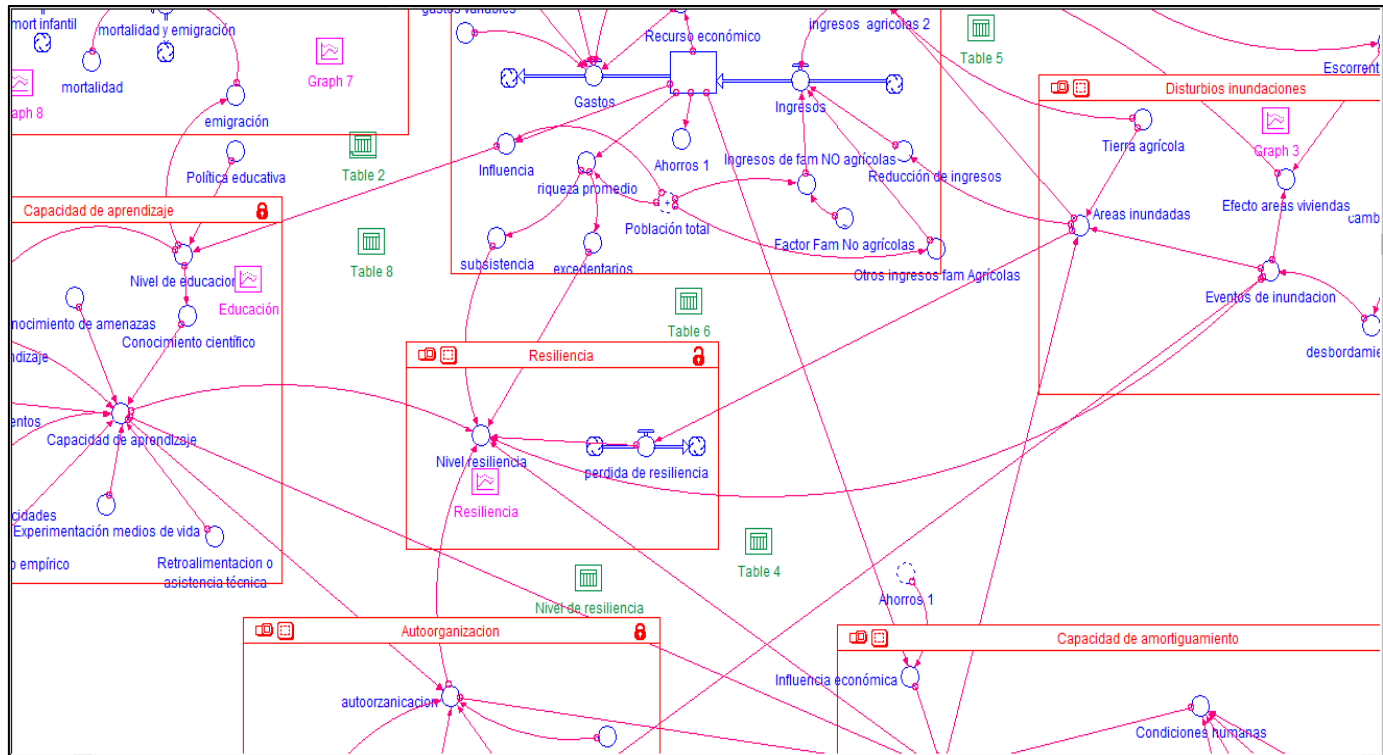
5.4.1.4 *Modelo del sistema focal Sis-Icán*

El SSE focal de la parte baja del Sis-Icán se ubica en la región fisiográfica Llanura Costera del Pacífico y específicamente dentro el Gran Paisaje: Llanura Aluvial de los ríos Icán –Nahualate - Madre Vieja, caracterizada por una topografía plana a ligeramente ondulara, ocasionando un palio-relieve correspondiente a tovas y corrientes de lodo en mayor o menor grado de meteorización. El patrón de drenaje es de tipo meándrico debido a la topografía plana (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2001).

A diferencia del SSE del Achiguatate, en el territorio del Sis-Icán no posee un volcán activo que sea una fuente de sedimentos, a excepción de los aportes debido a procesos de erosión de suelos de las partes altas y material proveniente de deslizamientos.

En el modelo conceptual se consideraron los siguientes subsistemas y sus interrelaciones entre elementos y otros subsistemas: Población, financiero, clima, río Sis-Icán, capacidad de aprendizaje, capacidad de amortiguamiento, auto-organización y resiliencia (lámina 23).

En el capítulo V de esta tesis se abordó la característica meándrica del río Icán y presentó una alta dinámica y que probablemente influye en los eventos de inundación. Dicho fenómeno fue representado en el modelo con un factor en la dinámica de los eventos de inundación.



Lám. 23. Sección del modelo conceptual del sistema socioecológico parte baja de la cuenca Sis-Icán.

5.4.2 Medios de vida y su resiliencia ante eventos de inundación en las cuencas Achiguate y Sis-Icán

Las principales características socioeconómicas de los hogares que fueron entrevistados en ambos territorios bajo estudio se resumen en las tablas 24 y 25. Al comparar la proporción de hogares que dependen directamente de la producción agropecuaria para sus ingresos, resalta que en la cuenca del río Sis-Icán, el 79% de los hogares obtienen sus ingresos directamente de estas actividades agropecuarias. Esto contrasta con la situación en la cuenca del río Achiguate, donde la proporción fue del 45.9%. En relación con el ahorro (en general o para emergencia) de los hogares, la proporción en ambas áreas fue baja, 6.76 y 13.33%, respectivamente. Se identificó que el 100% de los hogares en ambas zonas se abastecen de agua a través de pozos.

Tabla 24. Características generales de los hogares en el sistema focal Achiguate (N=74).

Característica	Promedio o %	D.E.	Min	Max
Tamaño de hogar	4.08	1.91	1	9
Ingresos mensuales por actividades agropecuarias (%)				
Q250 - Q500	35.1			
Q501 - Q1000	2.7			
Q1001- Q2000	4.0			
Más de Q 2000	4.0			
Sin ingresos por actividades agropecuarias (%)	54.05			
Gastos semanales	498.11	343.60	80	2500.00
Ahorros (%)	6.76			
Acceso a vivienda propia (%)	83.78			
Tamaño de terrenos (tierra en mz)	1.63	4.71	0	28
Acceso de agua a través de pozos (%)	100			

Mz= manzanas= 7000 metros cuadrados

Tasa de cambio 12 de enero 2020: 1 USD= Q 7.79620

En cuanto al acceso a vivienda, se observa que más del 78% de los hogares manifestaron contar con vivienda propia en ambas zonas de estudio. En relación con el acceso a tierra, para la cuenca Achiguate el 52.7% de los hogares tienen acceso a dicho recurso con un promedio de área superficial de 1.63 manzanas. Para la cuenca del Sis-Icán, el 86.7% de los hogares tienen acceso al recurso tierra con un área superficial promedio de 1.98 manzanas.

En cuanto al promedio de integrantes por hogar, se contabilizaron 4.08 y 4.40 personas para Achiguate y Sis-Icán, respectivamente. De acuerdo al Instituto Nacional de Estadística (2019), el promedio nacional de integrantes por hogar para el 2018 fue estimado en 4.5 personas, valor que está cercano a lo reportado para los hogares para ambas zonas de estudio.

Tabla 25. Características generales de los hogares en el sistema focal Sis-Icán (N=90).

Característica	Promedio o %	D.E.	Min	Max
Tamaño de hogar	4.40	1.89	1	10
Ingresos mensuales por actividades agropecuarias (%)				
Q250-500	74.4			
Q501- Q1000	3.3			
Q1001- Q2000	1.1			
Más de Q 2000	0.0			
Sin ingresos por actividades agropecuarias (%)	21.1			
Gastos semanales	359.11	311.71	100	3000
Ahorros (%)	13.33			
Acceso a vivienda propia (%)	78.89			
Tamaño de terrenos (tierra en mz)	1.98	2.45	0.0	17.00
Acceso de agua a través de pozos (%)	100			

Mz= manzanas= 7000 metros cuadrados= 0.7 hectáreas.

Tasa de cambio 12 de enero 2020: 1 USD= Q 7.79620

5.4.2.1 *Parte baja de la cuenca Achiguate*

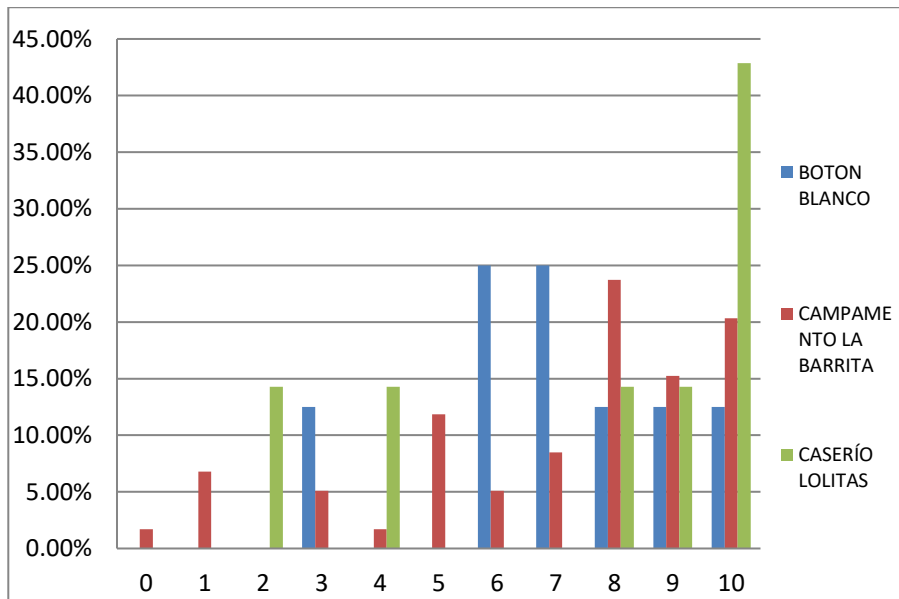
En función de las tres comunidades priorizadas para este territorio y las condiciones de 2018-2019, se encontró que el 40.5% de los hogares tienen como medio de vida la agricultura, mientras que el 4.05% se dedican a una combinación de actividades agrícolas y pecuarias (agropecuarias) y un 2.7% solamente a actividades pecuarias. Un 8% de hogares tienen exclusivamente como medio de vida la pesca, pero existe un 19% del total de hogares que combinan la pesca con otras actividades. Otra actividad muy importante como medio de vida para el 40% de los hogares es el jornaleo (venta de mano de obra).

El 67.57 % de los hogares en la parte baja del Achiguate creen fuertemente que se encuentran en un alto grado de riesgo (nivel 7-10) a inundación (ver lámina 24). Las percepciones sobre el grado de riesgo a inundaciones se basaron en el conocimiento del territorio y de los eventos de inundación que han experimentado los hogares. Así mismo, se contabilizaron un promedio de cinco eventos (extremos y pequeños) de inundación por hogar durante el período comprendido entre 1940 a 2018.

En el caso de la comunidad de Botón Blanco, más del 62.5% de los hogares perciben alto grado de riesgo, a pesar de no sufrir inundaciones a partir de 2010, cuando se construyeron los diques longitudinales en tramos al norte del río Achiguate (período 2009-2011). Dichas obras de ingeniería evitaron que fueran impactados en 2010 por las inundaciones influenciadas por la tormenta tropical Agatha. Por su parte, la comunidad Caserío Lolitas, el 71.43 % del total de hogares indicaron estar en alto riesgo. Agregaron, que el dique longitudinal fue superado por las aguas detonadas por influencia de la tormenta tropical Agatha, aunque el impacto fue menor comparado con los impactos del huracán Mitch y la tormenta tropical Stan.

La percepción de alto riesgo para la comunidad Campamento La Barrita fue indicada por el 67.8% de los hogares, proporción que es similar a las condiciones reportadas por las anteriores comunidades.

El reporte de afectación por la tormenta Stan (2005) sobre viviendas para el departamento de Escuintla, que incluye al territorio en estudio, fue contabilizado en 3,086 y el 82% ubicadas en el área rural (Naciones Unidas y CEPAL, 2005).



Lám. 24. Proporción (%) de hogares y el riesgo percibido por inundaciones del nivel 0 (nulo) a 10 (alto) en la parte baja de la cuenca hidrográfica del Achiguate.

Los efectos bio-físicos temporales de las inundaciones en los hogares y territorios de las comunidades presentan diferentes tipologías como: pérdidas agrícolas, pérdidas de animales de traspatio, daños en viviendas y daño en pozos (tabla 26). Mertz *et al.* (2010) citado por Amirebrahimi *et al.* (2015) manifiestan que el propósito de investigaciones a nivel micro es estimar el potencial directo de los daños tangibles que son causados inmediatamente después del impacto de las inundaciones.

El 36.5% de hogares de las tres comunidades reportaron pérdidas de cosecha (tabla 26), resaltando que las mayores pérdidas (de manera proporcional) son mayores en las comunidades de Lolitas y Botón

Blanco, con 62.5% y 42.9% de hogares, respectivamente. El promedio estimado de pérdidas económicas de cosechas agrícolas por eventos de inundación fue estimado en Q 6,829.7/hogar equivalente a 876 dólares estadounidenses.

Otro impacto reportado por el 36.5 % de los hogares en las comunidades del Achiguate fueron las pérdidas de animales de traspatio. Se estimaron un promedio de Q 4,178.00/hogar en pérdidas económicas. Respecto a daños en viviendas, el 68.9% de los hogares reportaron algún tipo de daño, que fue estimado en Q 8,302.00/hogar. Naciones Unidas y CEPAL (2005) reportaron que el 18% de viviendas en el departamento (provincia) de Escuintla fueron afectadas por la tormenta tropical Stan.

Tabla 26. Pérdidas reportadas por los hogares por comunidad y tipo de pérdidas provocadas por las inundaciones.

COMUNIDADES		Pérdidas de cosecha		Pérdidas de animales		Pérdidas/daños en vivienda		Otros tipos de daños*	
		No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí
CASERÍO	Recuento	3	5	4	4	5	3	8	0
BOTÓN BLANCO	% del total de hogares por comunidad y clase de pérdida	37.5%	62.5%	50.0%	50.0%	62.5%	37.5%	100%	0.0%
CAMPAMENTO LA BARRITA	Recuento	40	19	39	20	14	45	56	3
	% del total de hogares por comunidad y clase de pérdida	67.8%	32.2%	66.1%	33.9%	23.7%	76.3%	94.9%	5.1%
	Recuento	4	3	4	3	4	3	7	0

CASERÍO LOLITAS	% del total de hogares por comunidad y clase de pérdida	57.1%	42.9%	57.1%	42.9%	57.1%	42.9%	100%	0.0 %
TOTAL	Recuento	47	27	47	27	23	51	71	3
	% del total de hogares de las 3 comunidades por clase de pérdida	63.5%	36.5%	63.5%	36.5%	31.1%	68.9%	95.9%	4.1 %

* Daños en pozos e inversión en actividades para la limpieza y restauración de esta fuente de agua.

La relación entre los eventos de inundación y las pérdidas económicas que han experimentado las comunidades fue analizada. Se encontró que el 30% de los datos presentan una asociación significativa entre la cantidad de eventos de inundación y las pérdidas totales generadas por dichos eventos (tabla 27) para los hogares. Un 12% de los hogares indicaron que han sufrido entre 2 a 4 eventos de inundación, pero no reportan pérdidas en ninguna de las cuatro categorías definidas.

Tabla 27. Prueba de correlación Spearman para las variables inundaciones y pérdidas económicas por inundaciones.

			Inundaciones	Pérdidas (sumatoria)
Rho de Spearman	Inundaciones	Coeficiente de correlación	1.000	.297*
		Sig. (bilateral)	.	.010
		N	74	74
	Pérdidas (sumatoria)	Coeficiente de correlación	.297*	1.000
		Sig. (bilateral)	.010	.
		N	74	74

* La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

5.4.3 Indicadores de resiliencia en Achiguate

Los datos analizados de la resiliencia comunitaria ante inundaciones, para la parte baja de la cuenca Achiguate y, basada en las tres dimensiones, muestran un nivel muy bajo de resiliencia en el territorio del Achiguate (tabla 28). El nivel de resiliencia para las comunidades se encuentra entre 1 y 2 (*muy bajo* y *bajo*, respectivamente).

Tabla 28. Resumen de las dimensiones de resiliencia en comunidades estudiadas de la parte baja de la cuenca Achiguate.

Comunidad	Capacidad de amortiguamiento	Autoorganización	Capacidad de aprendizaje	Resiliencia
Aldea Campamento La Barrita	1	1	1	1
Caserío Lolitas	2*	1	1	1
Caserío Botón Blanco	2*	1	2	2
Parte baja de la cuenca Achiguate	1	1	1	1

*Estos valores a nivel comunitario fueron aproximados a un número entero.

La escala de medición utilizada fue de puntos de Likert que captura la contribución a la resiliencia: 0= ninguna; 1= muy bajo; 2= bajo; 3= medio; 4= alto y 5= muy alto.

La dimensión (proxy) capacidad de amortiguamiento está definida operacionalmente por Ifejika Speranza *et al.*, (2014), como la capacidad de un sistema para amortiguar cambios y aprovechar las oportunidades emergentes durante un disturbio. Esta dimensión fue estimada en función de 14 variables indicadoras que aportan en la medición de la resiliencia de los medios de vida. Al comparar la capacidad de amortiguamiento entre las comunidades de estudio (tabla 28), se nota que las comunidades Caserío Lolitas y Caserío Botón Blanco presentan una resiliencia categorizada como *baja*, en contraste con la comunidad Campamento La Barrita que tiene una capacidad de amortiguamiento *muy baja*, es decir, un grado inferior a las dos comunidades anteriores. El nivel promedio estimado de esta dimensión para las tres comunidades fue cuantificado como *muy baja* (1).

Las diferencias que se observan en los niveles de capacidad de amortiguamiento entre comunidades contrastan entre los hogares con medio de vida agrícola y los hogares que no la practican. Los primeros cuentan con acceso al recurso tierra y equipo agrícola, que influyen positivamente en las mediciones de variables indicadoras para el Capital Natural y Físico. De acuerdo con los datos recopilados para las comunidades ubicadas en la parte baja de la cuenca del Achiguate, el 47.3% (promedio) de los hogares tienen como medio de vida la agricultura, ya sea como una actividad exclusiva o en combinación con otras. En lo particular, los caseríos Lolitas y Botón Blanco, el 71.4% y 62.5 % de los hogares señalaron como medio de vida la agricultura, respectivamente. En menor proporción (33.9%) los hogares de la aldea Campamento La Barrita indicaron dedicarse a la agricultura.

El 80% de los hogares que se dedican a la agricultura en el caserío Botón Blanco cuentan con equipo de riego, lo cual se convierte en un factor importante para el capital físico (variables de la dimensión capacidad de amortiguamiento) de los hogares. En las otras dos comunidades el porcentaje de hogares con equipo de riego es bajo o nulo, 14.2% para la aldea Campamento La Barrita y cero por ciento para el caserío Lolitas, dichas condiciones de estas últimas comunidades aportan poco para el Capital Físico. Este recurso podría interpretarse

poco relevante al momento de un evento de inundación, pero al contar con ello representa una oportunidad para las familias para producir en época no lluviosa y generar ingresos en un período donde el riesgo a inundación es bajo o nulo, comparado con los agricultores dependientes de la época lluviosa y donde existen mayores probabilidades que eventos hidrometeorológicos extremos generen impacto. El Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (2012), señala que en función de una modelación hidrológica para la cuenca Achiguate, la probabilidad de que se inunden las tres comunidades en estudio es de 0.5, una sección del caserío Botón Blanco tiene un grado menor cuantificado en 0.1.

Otro de los recursos relacionados a la actividad agrícola es el recurso tierra, que posee una influencia en el Capital Natural, sí los hogares poseen acceso a ello. El 71.44% y 62.5% de los hogares de los caseríos Lolitas y Botón Blanco indicaron mayor acceso, respectivamente. En una proporción menor están los hogares de la aldea Campamento La Barrita con 42.4%.

En cuanto al capital humano, DFID (1999), indica que está representa las aptitudes, conocimientos, capacidades laborales y buena salud que en conjunción permiten a las poblaciones entablar distintas estrategias y alcanzar sus objetivos en materia de medios de vida. En la dimensión de capacidad de amortiguamiento el capital humano fue el de mayor nivel alcanzado en el territorio del Achiguate (tres comunidades). Aunque este nivel fue cuantificado como *bajo* (valor 2, ver tabla 28), a pesar de ubicarse en dicha categoría, ha sido uno de los mejores calificados y cuenta con grandes oportunidades de mejora, especialmente en la diversificación de habilidades no agropecuarias de los integrantes de los hogares, que consecuentemente influirá el capital humano de cara al futuro.

Otra de las variables indicadoras considerada para el Capital Humano fue el nivel de estudios (alfabetización), en este sentido, a nivel general del sistema focal del Achiguate, se cuantificó un 72.2% de la

población tiene estudios de primaria hasta diversificado¹. La Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (2015), informó que la tasa de alfabetización de personas guatemaltecas entre 15 y 24 años fue del 81.7 por ciento.

Otro elemento considerado en el capital humano fue la experiencia, Folke (2006) y Bhattacharya-Mis y Lamond (2014), manifiestan que la memoria es descrita como la acumulación de experiencia basado en la historia de un sistema. Además, se gana información valiosa de localidades que previamente se han inundado a partir del conocimiento individual, y archivado informalmente. Esta experiencia fue dimensionada en función de los años que llevan establecido los jefes de hogar en las localidades o territorios. Se estimó que el promedio para la parte baja del Achiguate fue de 46 años de permanencia en el territorio, a partir de un rango de 1- 110 años.

El capital financiero de las comunidades en la parte baja de la cuenca del Achiguate muestra un *nivel bajo* de aporte a la resiliencia. Una de las variables indicadoras utilizadas fue el ahorro de las familias, encontrándose que sólo existe un 6.76% de hogares que poseen ahorros, lo que significa que en una mayoría no cuenta con capacidades de ahorro y consecuentemente con recursos al momento de una situación de choque o de crisis. Situación que limita las posibilidades de inversión para la recuperación económica o de los diferentes medios de vida que desarrollan estos hogares.

Los ingresos económicos de los hogares fue otra variable indicadora empleada para representar el capital financiero. Se estimaron Q 692.3 (88.9 USD) en promedio de ingresos/semanales por hogar para los hogares del sistema focal del Achiguate, en un rango de Q27.5 a Q2,000.0. Alrededor del 59% de los hogares del Achiguate tienen ingresos económicos menores al monto sugerido de la canasta básica de alimentos para Guatemala. De acuerdo a Instituto Nacional de

¹ En Guatemala los estudios definidos por el Ministerio de Educación para población inician por el nivel primario (1° a 6° grado), seguido por ciclo básico (1° a 3°) y diversificado (4° a 6°).

Estadística, (2020), el monto establecido para diciembre de 2019 fue Q 2,585.00 mensuales para la cobertura energética diaria en calorías para 4.77 integrantes.

Respecto a los ingresos por actividades agropecuarias, el promedio general para los hogares del Achiguate fue estimado en Q 16,099.26 al año, esto bajo condiciones “normales” de la época lluviosa. Ambas fuentes de recursos económicos permiten el soporte de los gastos de los hogares, regularmente para el acceso de alimentos y otros gastos particulares definidos por los hogares.

El capital social fue uno de los capitales con menor ponderación para la dimensión capacidad de amortiguamiento, estimado en un nivel *muy bajo* de aporte a la resiliencia. Sólo el 28.4% de los hogares informaron pertenecer a algún grupo formal/organización local u otros tipos de redes. Del total de hogares que integran alguna red social u organización comunitaria, el 71.4% lo hacen con organizaciones de tipo religioso (Iglesia Católica y diferentes iglesias evangélicas).

La pertenencia a grupos y asociaciones puede ampliar el acceso de los pueblos a otras instituciones. Es el que está más estrechamente conectado con las *estructuras* y *procesos* de transformación. Este capital ejerce un impacto importante sobre la eficacia de las relaciones económicas, al contribuir en un aumento de ingresos y tasas de ahorros de los pueblos. También facilitan la innovación, el desarrollo de conocimientos y la transferencia de los mismos (DFID, 1999).

Los datos demuestran que no existen organizaciones o asociaciones de agricultores, a pesar de que el 47% de los hogares en la parte baja del Achiguate tienen como medio de vida la agricultura. DFID (1999) e Ifejika Speranza *et al.*, (2014), indican que la pertenencia a un grupo o red permite beneficios como: la participación en investigaciones participativas, probar tecnologías, acceso a ahorros y créditos entre otros al ser miembros.

En cuanto a organizaciones relacionadas a la gestión de riesgo de desastres (a las inundaciones) se mencionó la pertenencia a COLRED (Coordinadora Local para la Reducción de Desastres). De acuerdo con Gobierno de Guatemala (2016), para el cumplimiento de los objetivos de la CONRED y su descentralización ejecutiva, fue necesario el establecimiento de las coordinadoras locales para la reducción de desastres - COLRED. Los hallazgos indican que dichas coordinadoras están establecidas la aldea Campamento La Barrita y Botón Blanco. Además de dicha estructura organizacional relacionada a gestión de desastres, en las comunidades también están establecidos los Consejos Comunitarios de Desarrollo (COCODE). El Gobierno de Guatemala (2002), señalan que los COCODEs tienen como atributo la organización y coordinación de la administración pública. Aunque en la práctica depende mucho del liderazgo genuino del alcalde municipal y de los representantes de COCODEs para lograr beneficios para el desarrollo de sus propias comunidades.

La auto-organización es otra dimensión o proxy utilizada para el análisis de la resiliencia a nivel comunitario, basada en argumentos y factores sociales. De acuerdo con Ifejika Speranza *et al.*, (2014) a nivel de sistema se refiere a la espontaneidad de re-creación de una sociedad (en reglas, normas, valores y organización). Pero también puede ser entendido desde un sentido de auto-organización autónoma, que se refiere al estado donde los actores determinan sus propias reglas, especialmente bajo condiciones de crisis e inestabilidad.

La auto-organización en sistemas agrícolas (agricultores) es como la habilidad de un grupo de agricultores para lograr una red social flexible e involucrada en lo social, económico, y ambiente institucional más allá de la escala local (Ifejika Speranza *et al.*, 2014).

En función de los datos, se estimó un nivel *bajo* (uno en escala de Likert) de auto-organización a nivel de comunidades y de sistema focal del Achiguate, es decir con poco aporte a la resiliencia. Como se mencionó anteriormente, esta dimensión está estrechamente vinculada con el capital social y varios de sus factores.

Los datos demuestran que en el territorio del Achiguate existe un tejido social débil, evidenciado por la existencia de pocas organizaciones a nivel local, ya sean estas de índole agrícola, de desarrollo comunitario o de gestión de riesgo de desastres. Dicha condición genera una influencia directa en el grado de auto-organización en el seno de cada una de las comunidades y especialmente en la resiliencia. Orbrist *et al.* (2010) citado por Ifejika Speranza *et al.* (2014), indican que la auto-organización resalta las capacidades humanas, capacidad adaptativa, el poder y la interacción social que forman la resiliencia social. Vaneekhaute *et al.* (2017) afirman que los procesos de desarrollo comunitario tienen un papel clave en el fortalecimiento de la resiliencia de la comunidad, que conduzca al fortalecimiento de capitales intangibles y tangibles. Además, de lograr la transformación de agentes sociales primarios a agentes corporativos.

Esta situación de baja organización a nivel comunitario se refleja en otras localidades del país. Por ejemplo, Naciones Unidas y CEPAL (1999), indican que en comunidades del oriente de Guatemala están caracterizadas como de cultura “individualista”, con poca participación en organizaciones comunitarias. En contraste con las comunidades de altiplano occidental de Guatemala que están más orientadas hacia la toma colectiva de decisiones. Además, agregan que la construcción social en grupos que carecen de ello debe medirse en décadas y la creación de normas de cooperación y de participación cívica, probablemente sea aún más lenta.

Como parte de esta dimensión auto-organización se utilizó la variable indicadora dependencia de recursos locales, muy aplicable a los hogares que practican actividades agro-pecuarias. El 24.3 % de los hogares en el territorio del Achiguate utilizan algunos recursos locales, como semillas nativas y abono orgánico, que no requieren de inversión. De manera general para el territorio y los hogares, el aporte es casi nulo en la resiliencia. Compas (2007) citado por Ifejika Speranza *et al.*, (2014), afirma que la confianza en recursos propios o locales reduce la dependencia de recursos externos y ahorra tiempo.

Otra variable indicadora contemplada en la dimensión auto-organización, fue la confianza en pedir y dar prestado dinero. El aporte en la resiliencia se cuantificó en un valor 2, categorizado como *bajo*, encontrándose que el 66.2% de los hogares indicaron tener nula o muy baja confianza en pedir o prestar dinero a otros hogares en la comunidad. A pesar del nivel bajo, dentro de esta dimensión fue la mejor valorada. La situación anterior vuelve a confirmar un débil capital social, tal como lo afirma DFID (1999), la redes y conexiones aumentan la confianza y habilidad de las poblaciones para trabajar en grupo. Además, esas relaciones de confianza, la reciprocidad e intercambios facilitan la cooperación.

Derivado de los efectos e impactos de los eventos de inundación en el territorio, se logró identificar que el 47.3% de los hogares en el Achiguate, han cambiado su proceder a partir de la experiencia al enfrentar estos eventos, manifestaron que colaboran más con otros afectados durante la ocurrencia de las inundaciones. Esta es una característica deseable para una construcción del capital social, aunque es inevitable mencionar que probablemente sea reactiva durante dichos eventos. Se espera a mediano y largo plazo que este comportamiento pueda institucionalizarse en el seno comunitario y pueda dar mejores ventajas y apoyo a los distintos hogares, lo que consecuentemente se convertiría en un aporte valioso para la resiliencia. Resilience Alliance, (2010), destaca que el manejo de la resiliencia requiere de la cooperación entre los interesados en el sistema socio-ecológico de estudio. Bhattacharya-Mis y Lamond (2014), argumentan que existe una típica necesidad de cambiar de una situación usual de respuesta reactiva a una más proactiva en cuestiones de gestión de riesgo de desastres.

La capacidad de aprendizaje es otra de las dimensiones empleadas para estimar la resiliencia. Ifejika Speranza *et al.*, (2014), argumentan que dicha dimensión conlleva un manejo adaptativo e implica incorporar la experiencia previa en el sistema de estudio en las acciones actuales y por consiguiente contar con una memoria. Se estimó en promedio para las comunidades del territorio de la parte baja del

Achiguate un nivel muy *bajo* en capacidad de aprendizaje. Fiol y Lyles (1993), citado por Ifejika Speranza *et al.* (2014), definen el aprendizaje como el desarrollo de ideas, conocimiento y asociaciones entre las acciones pasadas, para la efectividad de esas acciones y futuras acciones.

En función de las variables indicadoras empleadas en la dimensión de capacidad de aprendizaje, resaltan los niveles alcanzados en a) compromiso para el aprendizaje y b) capacidad de intercambio de conocimiento con otros hogares, que fueron dimensionados con un valor *bajo* en aporte a la resiliencia. A pesar de dicho nivel alcanzado, fueron de los máximos valores dentro de las seis variables evaluadas. En esta dimensión vuelve a reflejarse la influencia del bajo nivel del capital social, en crear y brindar mejores condiciones para un mejor aprendizaje. Ifejika Speranza *et al.*, (2014), argumentan que el aprendizaje no es un proceso automático, las condiciones que facilitan el aprendizaje han sido estudiados en el aprendizaje organizacional.

De acuerdo con los datos y en el marco de la dimensión de capacidad de aprendizaje se evidenció la poca frecuencia de visitas de extensionistas o técnicos de organizaciones relacionadas a los medios de vida de los hogares para asesoría técnica y capacitaciones específicas, especialmente, las relacionadas a la agricultura. El aporte fue categorizado como *ningún* en aporte a la resiliencia.

Respecto a las diferencias entre comunidades en esta dimensión de capacidad de aprendizaje, destaca la comunidad caserío Botón Blanco (ver tabla 28), que alcanzó un grado mayor aporte en resiliencia relacionado a las otras comunidades. Se observó que existen mayores capacidades de transferencia de conocimiento entre los hogares y un mayor grado de experimentación en sus medios de vida, en contraste con las otras comunidades.

En cuanto al elemento central de esta investigación, la resiliencia, se puede observar en la tabla 28, que a nivel de territorio de la parte baja del Achiguate, los datos indican que los hogares cuentan con un grado

muy bajo de resiliencia. Cumming (2011) citado por Ifejika Speranza *et al.*, (2014), argumenta que en esencia el concepto de resiliencia captura los factores que hacen posible el funcionamiento del sistema bajo condiciones adversas. Bajo dicha consideración, y lo descrito en cada una de las dimensiones o proxis que conforman la resiliencia, el sistema del Achiguate posee poca capacidad para hacer frente a las inundaciones, condicionada especialmente, por el bajo acceso que tienen la mayoría de los hogares a los activos en los diferentes capitales de medios de vida.

Como lo indica DFID (1999), el conjunto de activos y recursos que tienen a disposición las personas, influyen positivamente las estrategias de medios de vida y el alcance de las metas. Los datos reflejan para la cuenca del Achiguate, la existencia de limitaciones para los hogares para acceder a los diferentes activos en cantidad y calidad para lograr sus metas particulares y colectivas.

La información capturada a través de las diferentes variables indicadoras empleadas en las tres dimensiones de la resiliencia y, las relacionadas al aspecto social, denotan un bajo capital social por parte de las comunidades en el territorio de la cuenca del Achiguate.

Es muy probable que esta capacidad de resiliencia esté erosionándose debido a los impactos de eventos de inundación que han ocurrido en el pasado. Resilience Alliance (2010), expresa que cuando ocurre una crisis a escala de pequeña o gran sistema, ellos pueden señalar o acompañar un pérdida de resiliencia a escala focal.

Adicionalmente existen otros factores que generan efectos al sistema, DFID (1999), indica que los medios de vida y los activos se ven fundamentalmente afectados por tendencias críticas, choques y por el carácter de temporalidad de ciertas variables. Walker *et al.* (2006), agrega que la capacidad futura de las personas es crucial para el involucramiento organizacional del sistema y la trayectoria de resiliencia que el sistema eventualmente pueda seguir.

Así mismo existen otros factores y situaciones complejas estructurales históricas en la sociedad guatemalteca que han condicionado el potencial de desarrollo de las comunidades y hogares, fundamentalmente, en la construcción de un capital social genuino y operativo a nivel comunitario. United States Agency for International Development (2020), afirma que los altos niveles de violencia e inseguridad, y la desigualdad histórica en Guatemala han contribuido al incremento de la tasa de crimen, altos nivel de pobreza y uno de los más bajos de indicadores de desarrollo en Latinoamérica.

Walker *et al.* (2006), señala que la resiliencia puede ser perdida a través cambios graduales en variables lentas.

En términos comparativos, el caserío Botón Blanco tiene una puntuación o grado más de resiliencia, comparado con las otras dos comunidades estudiadas en el territorio de la parte baja del Achiguate.

Con relación a la dimensión auto-organización, es evidente que existe poco capital social a lo interno de las comunidades en el territorio del Achiguate. Como se mencionó en párrafos anteriores la existencia de baja organización comunitaria, se refleja en el grado de auto-organización.

Un detalle identificado entre los hogares agrícolas (con el medio de vida agricultura) y no agrícolas, es la diferencia en su nivel de resiliencia. Se identificó un mayor grado en el caso del primer grupo. Los datos sistematizados denotan un mayor grado de capital social, y fundamentalmente en el acceso a activos físicos y naturales por parte de los hogares que tiene el medio de vida agrícola. En discrepancia con los hogares no agrícolas, que carecen de estos activos, esencialmente en el acceso al recurso tierra. Debido a lo anterior, la dimensión de capacidad de amortiguamiento es diferenciado entre las comunidades evaluadas en el territorio de la cuenca del Achiguate.

En la dimensión capacidad de aprendizaje se observan diferencias entre las comunidades. Se ha cuantificado mayor aporte en resiliencia

para los hogares dedicadas a la agricultura, valoradas entre *bajo* y *medio*. En tanto, los hogares no agrícolas su capacidad de aprendizaje fue medida entre *nulo* a *muy bajo* en aporte de resiliencia.

Como una forma de relacionar los resultados del proxy resiliencia y la percepción de recuperación de los hogares (ver la tabla 29), se observa que existe un total de 27.0% de las familias que manifestaron una recuperación de los impactos, ya sea económica o física. Este grupo de hogares que manifestaron que se recuperaron, resalta que la mayor parte (16.2%) no poseen acceso al recurso tierra y no practican la agricultura. Aunque, su capacidad de resiliencia en función de las diferentes variables indicadoras, señalan que poseen un nivel *muy bajo*.

En los hogares dedicados al medio de vida agricultura se identificó una proporción (10.8%) que indicaron que se han recuperado de los impactos de las inundaciones. Además de un 17.6% que manifestaron que su recuperación ha sido parcial.

Casi un tercio del total de hogares en el Achiguate indicaron que no se han recuperado de los efectos o impactos de los eventos de inundación, independientemente si son o no agricultores.

Los bajos precios de los productos agrícolas y su inestabilidad en el mercado nacional y el incremento en los precios de muchos insumos agrícolas, no ha permitido la rentabilidad deseable por parte de los hogares. Entre otros argumentos que manifestaron los hogares para recuperarse ante los eventos de inundación.

Tabla 29. Tabla cruzada entre el acceso a tierra y la recuperación por impactos de inundaciones en hogares de la parte baja de la cuenca del Achiguate.

		Se ha recuperado de los impactos				Total
		Sí se ha recuperado	Regular	No se ha recuperado	No aplica	
Acceso a tierra	No Recuento	12	9	11	7	39
	% del total	16.2%	12.2%	14.9%	9.4%	52.7%
	Sí Recuento	8	13	11	3	35
	% del total	10.8%	17.6%	14.9%	4.0%	47.3%
Total	Recuento	20	22	22	10	74
	% del total	27.0%	29.7%	29.7%	13.5%	100.0%

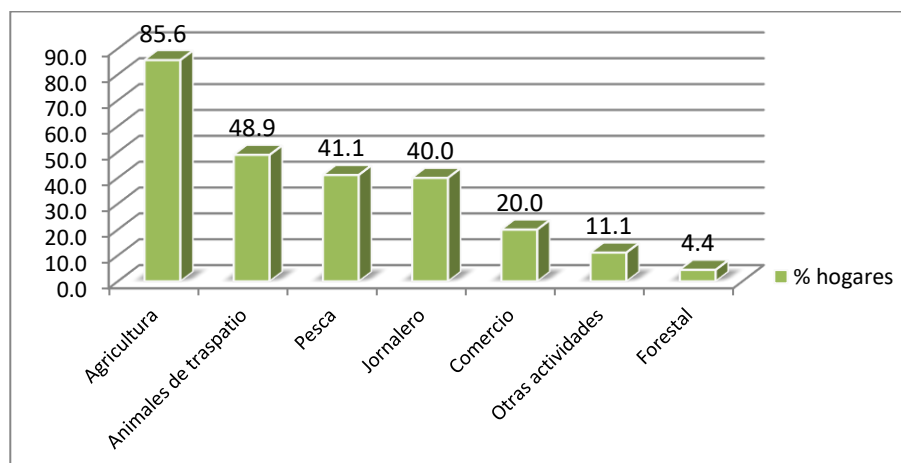
5.4.3.1 Parte baja de la cuenca Sis-Icán

Uno de los puntos de partida para el análisis de resiliencia consistió en la identificación de los principales medios que utilizan las familias para ganarse la vida en las comunidades o espacios territoriales.

Dentro de los hallazgos que se identificaron en las comunidades de la parte baja de la cuenca hidrográfica del Sis-Icán, destaca que el 86% de los hogares tienen como actividad principal la agricultura, ya sea como actividad única (19%) o combinada (67%) con otras actividades reportadas en la lámina 25.

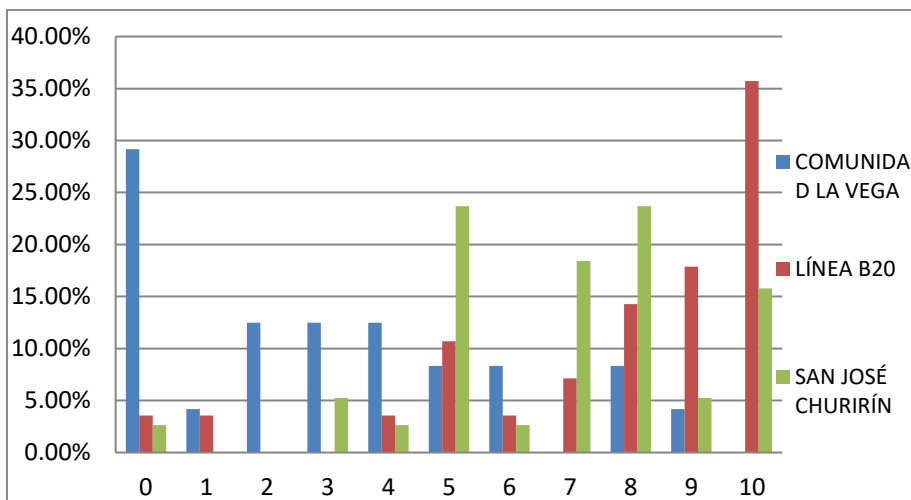
Más del 40% de los hogares reportaron como actividades relevantes la producción de animales de traspatio (especies menores), la pesca y el jornaleo (lámina 25). Dichas actividades dependen de los recursos naturales en el territorio y estos a su vez de las condiciones edafo - climáticas particulares en esta zona.

El 11% de los hogares indicaron que efectúan otras actividades diferentes y con menor dependencia de los recursos naturales en el rubro de servicios que les permiten generar ingresos económicos y otro tipo de oportunidades.



Lám. 25. Proporción (%) de hogares y sus diferentes medios de vida en la parte baja de la cuenca hidrográfica del Sis-Icán.

Se sistematizó la percepción sobre al grado de riesgo a inundaciones que poseen los hogares al ubicarse en el sistema focal del Sis-Icán (lámina 26). El 53% de los hogares creen fuertemente estar en alto nivel de riesgo (grado 7-10, lámina 26).



Lám. 26. Proporción (% en el eje: y) de hogares y el riesgo percibido por inundaciones (eje x) del nivel 0 (nulo) a 10 (alto) en la parte baja de la cuenca hidrográfica del Sis-Icán.

De manera específica por comunidad, los datos indican que el 75% de los hogares de la Comunidad Línea B20 manifestaron estar en alto riesgo (nivel 7-10). El resto de los hogares se distribuyen en una categoría de menor riesgo (lámina 26).

En el caso de la Comunidad de San José Churirín el 63% de los hogares creen estar un alto riesgo a inundación. En el taller de validación con grupos focales en dicha comunidad, confirmaron que las viviendas con mayor exposición a las inundaciones se ubican al norte de la comunidad y aledañas a la zona manglar.

En cuanto a la Comunidad Agraria La Vega, el 12% de los hogares reportaron estar en alto de riesgo (nivel 7-10) ante inundaciones. Aunque la delimitación de áreas inundadas para eventos extremos de inundación (capítulo III), demostró pocas áreas afectadas por inundación en dicha comunidad, situación que se confirmó con la validación a nivel comunitario de los resultados de la encuesta y del mapa de áreas inundables. En dicha validación, se aclaró que los efectos de ciclones tropicales en la comunidad fue la constante lluvia que detonó en alta humedad y afectó buena parte los cultivos, condición que

fue reportada por los hogares como pérdidas, la cual consideraron como riesgo.

5.4.3.1.1 Impactos o pérdidas por las inundaciones

Los hogares ubicados, en la parte baja de la cuenca Sis-Icán reportan impactos diferenciados por los eventos de inundación (tabla 30). Las pérdidas de cosechas agrícolas es uno de los impactos más comunes en el 75.6 % de los hogares, fundamentalmente, las comunidades Línea B20 y San José Churirín presentan los valores más altos con 96.4% y 76.3%, respectivamente.

En la comunidad Agraria La Vega, el 50% de los hogares reportaron pérdidas de cosechas, pero dichas pérdidas fueron generadas principalmente por el exceso de humedad en el ambiente, perjudicando los principales cultivos, y no directamente por inundaciones fluviales, que fue en el caso de las dos comunidades citadas anteriormente.

En cuanto a pérdidas de animales de traspatio (especies menores), nuevamente, las comunidades y hogares de la Línea B20 y San José Churirín reportaron las mayores pérdidas, 35.7% y 34.2% respectivamente del total de hogares por comunidad.

Respecto a las pérdidas o daños en viviendas más del 80% de los hogares de la comunidad la Línea B20 reportaron este tipo de efectos, seguido por la comunidad de San José Churirín con 42% de los hogares y en menor grado los hogares de la Comunidad Agraria La Vega (4.2%). La tabla 30 provee más detalles de las respuestas de los hogares en las tres comunidades de la parte baja de la cuenca del Sis-Icán.

Como se ha mencionado en párrafos anteriores, deliberadamente se seleccionaron dos comunidades con alta exposición a eventos de inundación y otra con menor o nula exposición para contar con más elementos de contraste y discusión en la temática de la resiliencia a nivel comunitario. Esta situación se confirmó con los datos expuestos en la tabla 30, donde los diferentes impactos de las inundaciones se reflejan en mayor proporción en los hogares de las comunidades Línea

B20 y San José Churirín, principalmente en la primera, coincidiendo con los resultados y hallazgos del capítulo III en la delimitación de zonas inundadas por los principales eventos extremos de inundación en el territorio estudiado.

Tabla 30. Pérdidas reportadas por los hogares por comunidad y tipo de pérdidas por inundaciones.

COMUNIDADES		Pérdidas de cosecha		Pérdidas de animales		Pérdidas/daños en vivienda		Otros tipos de daños	
		No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí
COMUNIDAD AD	Recuento	2	12	22	2	23	1	24	0
AGRARIA LA VEGA	% del total de hogares por comunidad y clase de pérdida	50.0%	50.0%	91.7%	8.3%	95.8%	4.2%	100%	0.0%
LÍNEA B20	Recuento	1	27	18	10	5	23	26	2
	% del total de hogares por comunidad y clase de pérdida	3.6%	96.4%	64.3%	35.7%	17.9%	82.1%	92.9%	7.1%
SAN JOSÉ CHURIRÍN	Recuento	9	29	25	13	22	16	36	2
	% del total de hogares por comunidad y clase de pérdida	23.7%	76.3%	65.8%	34.2%	57.9%	42.1%	94.7%	5.3%

TOTAL	Recuento	22	68	65	25	50	40	86	4
	% del total de hogares de las 3 comunidades por clase de pérdida	24.4%	75.6%	72.2%	27.8%	55.6%	44.4%	95.6%	4.4%

El análisis de correlación de Spearman (tabla 31) muestra, muy significativamente, que existe una fuerte asociación entre las variables cantidad de inundaciones y las pérdidas que sufren los hogares en la parte baja del Sis-Icán. Dicha relación fue identificada como positiva, es decir, sí incrementaran las inundaciones de igual forma las pérdidas económicas para los hogares.

Tabla 31. Prueba de correlación Spearman para las variables inundaciones y pérdidas económicas por inundaciones.

			Cantidad de inundaciones	Pérdidas económicas total
Rho de Spearman	Cantidad de inundaciones	Coefficiente de correlación	1.000	.657**
		Sig. (bilateral)	.	.000
		N	89	89
	Pérdidas económicas total	Coefficiente de correlación	.657**	1.000
		Sig. (bilateral)	.000	.
		N	89	90

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

5.4.4 Indicadores de resiliencia en la cuenca Sis-Icán

Basado en la propuesta metodológica de Ifejika Speranza *et al.*, (2014), que configura el concepto de resiliencia en tres grandes dimensiones (atributos) identificados como: la capacidad de amortiguamiento; auto-organización y capacidad de aprendizaje. Cada una de estas dimensiones o proxys se conforman de diferentes indicadores (que son descritos en la sección de metodología) y, estos últimos por variables indicadoras de resiliencia.

Fundamentado en la serie de variables indicadoras para las diferentes dimensiones de resiliencia, se logró determinar el *estado* del sistema focal Sis-Icán en cuanto a su resiliencia (tabla 32).

Tabla 32. Resumen de las dimensiones de resiliencia en comunidades estudiadas de la parte baja de la cuenca Sis-Icán.

Comunidad	Capacidad de amortiguamiento	Auto-organización	Capacidad de aprendizaje	Resiliencia
Comunidad Línea B20	2	1	3	2
Aldea San José Churirín	2	1	2	2
Comunidad Agraria La Vega	2	1	2	2
Parte baja de la cuenca Sis-Icán	2	1	2	2

La escala de medición utilizada fue de puntos de Likert que captura la contribución a la resiliencia: 0= ninguna; 1= muy bajo; 2= bajo; 3= medio; 4= alto y 5= muy alto.

La capacidad de amortiguamiento es definida por Ifejika Speranza *et al.*, (2014), como la capacidad de un sistema para amortiguar cambios y aprovechar las oportunidades emergentes por el impacto de un disturbio. Las variables indicadoras empleadas para la dimensión capacidad de amortiguamiento demuestran que las comunidades poseen un nivel *bajo* (valor 2) en aporte de la resiliencia (tabla 32), categorización que se mantiene en promedio para todo el territorio del Sis-Icán.

Las diferencias que resaltan entre las comunidades y las distintas variables empleadas en la capacidad de amortiguamiento, es en el capital social, las comunidades Línea B20 y San José Churirín categorizados en un nivel *bajo*, y la Comunidad Agraria La Vega con nivel *muy bajo*. La ausencia o el débil capital social influye en dicha dimensión, algunos casos entre un capital social fuerte y un débil son mencionados por Adger *et al.*, (2005), por ejemplo, en la Florida con una resiliencia social de instituciones fuertes, sistemas de alerta temprana y, alta capacidad para tratar con la crisis, controlaron los impactos en proporciones manejables; mientras que otro caso de áreas afectadas en Bangladesh y con una vulnerabilidad social causó un desastre a gran escala.

En cuanto a capital físico, otro componente de la dimensión capacidad de amortiguamiento, la comunidad Línea B20 fue categorizada con nivel *promedio* en aporte de resiliencia, lo que significa mayor acceso a equipo de riego y herramientas, en contraste con las otras comunidades con un nivel por debajo de la mencionada. El mayor acceso a estos recursos por parte de los hogares de la comunidad Línea B20 les brinda ventajas y oportunidades para producir en época seca, donde la probabilidad de inundaciones es baja o nula y, con mayores posibilidades de ingresos económicos, comparándola con los hogares de las otras dos comunidades que dependen en mayor grado a la época lluviosa.

En relación con el capital natural, las comunidades Líneas B20 y Comunidad Agraria La Vega poseen mayor acceso al recurso natural “tierra”, repercutiendo en el valor promedio de aporte en resiliencia para dicha variable. Esta situación de acceso a tierra es confirmada por (Consejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Cuyotenango y Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (2010), que indican que en 1954 se adjudicaron tierras a varias familias y dio paso a la creación del Parcelamiento La Máquina (área geográfica a la cual pertenece la comunidad Línea B20). Dicha situación provocó un flujo migratorio hacia la zona, en su mayoría de la región oriental del país. En el caso de la aldea San José Churirín se cuantificó con un valor

bajo de aporte a la resiliencia, situación que refleja limitaciones por parte de los hogares en acceso y cantidad del recurso “tierra”.

Se observó condiciones similares entre las comunidades en relación con el capital humano y capital financiero, evaluadas con nivel *bajo* y *muy bajo*, respectivamente. DFID (1999), resalta que el capital humano es necesario para poder hacer uso de cualquiera de los otros tipos de activos. Por ello, es necesario, aunque no se basta por sí solo, para el logro de los resultados positivos en materia de medios de vida. Con relación al capital financiero, es un activo que suele estar menos disponible para los menos favorecidos. De hecho, otros tipos de capital son tan importantes para ellos por la carencia de capital financiero que sufren los menos favorecidos.

De manera general el valor promedio de capacidad de amortiguamiento para el territorio de la parte baja del Sis-Icán (incluyendo todas las comunidades), refleja un nivel *bajo* en aporte de resiliencia. Citadas condiciones limitan las capacidades de las comunidades para reducir el impacto de las inundaciones a mediano y largo plazo. En cuanto a los indicadores que componen la capacidad de amortiguamiento, el de menor grado fue el capital financiero, estimado como *muy bajo*. Tal como se ha mencionado en párrafos anteriores, el capital financiero puede utilizarse para el logro de objetivos en medios de vida. DFID (1999), sugiere que el capital financiero puede ser fortalecido mediante un aumento de la productividad de los ahorros y flujos financieros eficaces y a la medida de los menos favorecidos.

Se identificó para el total de hogares en la parte baja de la cuenca Sis-Icán, que el 13% manifestó contar con ahorros. El ahorro es relevante para la recuperación de los hogares ante cualquier choque o disturbio que puedan sufrir. En este sentido, solamente el 2 % hogares están asociados con disponer de ahorros y su recuperación ante los impactos de las inundaciones. Otro 4% de los hogares que cuentan con ahorro manifestaron una recuperación intermedia. Se encontró que alrededor del 7% de hogares que manifestaron contar con ahorros y no

lograron recuperarse, es posible que el monto no sea lo suficiente para lograr un nivel de recuperación o bien fue destinado para otros motivos.

En los capitales humano, social, físico y natural, son cuantificados con un valor *bajo*, promediando todas las variables indicadoras del total de hogares. Las condiciones indicadas a nivel comunitario se reflejan de manera general para el territorio de la cuenca del Sis-Icán. Dichos niveles muestran posibilidades de crecimiento y fortalecimiento en beneficio de los hogares en este territorio.

En cuanto a la dimensión auto-organización queda evidente que a nivel de territorio y de las comunidades, el nivel es *muy bajo* en aporte de resiliencia. A través de las diferentes variables indicadoras se logró cuantificar que sólo el 1% de los hogares mencionó pertenecer a una asociación de vecinos.

Se identificó que el 34% de los hogares mencionaron ser miembros de grupos religiosos (Iglesia Católica o Evangélicas). Otro 4 % de hogares indicaron pertenecer a un grupo de mujeres o COCODE. Esta última organización, como un mecanismo de organización institucionalizado por el Estado guatemalteco a través de la Ley de COCODE. La única organización local por iniciativa propia de las personas en las comunidades fue mencionada en la Comunidad Agraria La Vega.

El 62% de los hogares manifestaron no pertenecer a ninguna organización local que apoye en algunos de los aspectos del desarrollo comunitario. Dicha situación refleja un capital social muy débil y consecuente en efectos negativos en la resiliencia. *Ifejika Speranza et al.*, (2014), afirma que la presencia de grupos locales, organizaciones y cuerpos gubernamentales puede mejorar o limitar las capacidades adaptativas de los actores (interesados) y son cruciales para la construcción de la resiliencia.

En la línea de las organizaciones locales, pero vinculadas a las inundaciones, el 13% de los hogares indicaron pertenecer a CONRED

o al mecanismo de descentralización a nivel local denominado COLRED. Gobierno de Guatemala (2016), señala que para los efectos de control administrativo y eficaz cumplimiento de sus objetivos, la CONRED, basada en el principio de centralización normativa y descentralización ejecutiva contará con CORRED, CODRED, COMRED y COLRED, coordinadoras locales.

La labor de apoyo fue otra variable indicadora empleada en la dimensión auto-organización. A partir de los efectos e impactos de los eventos de inundación, parte de los hogares han cambiado su proceder y manifestaron que colaboran más con otros afectados por la ocurrencia de las inundaciones. Por ejemplo, la comunidad Línea B20 resalta por el alto porcentaje (75%) de hogares que manifestaron que brindan apoyo a otros afectados por inundación. Seguido por la aldea San José Churirín con un 44.7% de hogares que brindan dicho apoyo. En el caso de la Comunidad Agraria La Vega, ningún hogar confirmó que brindaba algún tipo de apoyo. Con dichos datos queda evidente que las comunidades que tiene mayor exposición y que ha tenido experiencias de inundaciones, son más “sensibles” e invierten en labor de apoyo a otros hogares o personas. Las Naciones Unidas & CEPAL (1999), manifiestan que las formas particulares de reciprocidad en una comunidad pueden diferir, basadas en el parentesco de los grupos locales.

Otro de los elementos que aportan a la auto-organización es la confianza o dependencia en sus propios recursos comunitarios, aplicable fundamentalmente a los hogares agricultores, Compas (2007) citado por Ifejika Speranza *et al.* (2014), afirma que la confianza en sus propios recursos reduce la dependencia en recursos externos y ahorra tiempo. A nivel comunitario, resalta que el 39% de los hogares de la comunidad Línea B20 utilizan algunos recursos como semillas nativas y abonos orgánicos. Las otras dos comunidades utilizan los mismos recursos en menor proporción (16 -20%). El aporte en resiliencia de dicha variable para todas las comunidades fue categorizado como *muy bajo*.

Las condiciones anteriores son confirmadas a través de otra variable, compras de insumos productivos por los hogares, el 82% de los hogares informaron que compran la mayoría de los insumos agropecuarios. Otro 13% de los hogares informaron que no son agricultores y no necesitan la compra de estos insumos.

La confianza en pedir y dar prestado dinero fue otra de las variables indicadoras empleada para dimensiones la resiliencia. Desde el enfoque territorial, se logró determinar que el 55% de hogares expresaron no tener confianza en dar y prestar dinero. DFID (1999), indica que las relaciones de confianza, reciprocidad e intercambios facilitan la cooperación, reducen los costes de las transacciones y proporcionan la base para crear redes de seguridad informales entre los menos favorecidos. El porcentaje restante de hogares indicaron un nivel *medio* a *muy alto* en pedir o prestar dinero, situación que se resalta a pesar del bajo grado de organización o capital social que existen en las diferentes comunidades.

La dimensión de capacidad de aprendizaje para el territorio de la cuenca Sis-Icán fue estimado con un valor 2, que significa un nivel *bajo* de aporte en resiliencia. Dicha cuantificación demuestra que existen condiciones débiles por parte de los hogares en términos experiencia, habilidades y conocimiento vinculados a medios de vida y las inundaciones. Una baja organización social impide que existan procesos de intercambio de información, acceso a recursos y oportunidades de colaboración (Ifejika Speranza *et al.*, 2014).

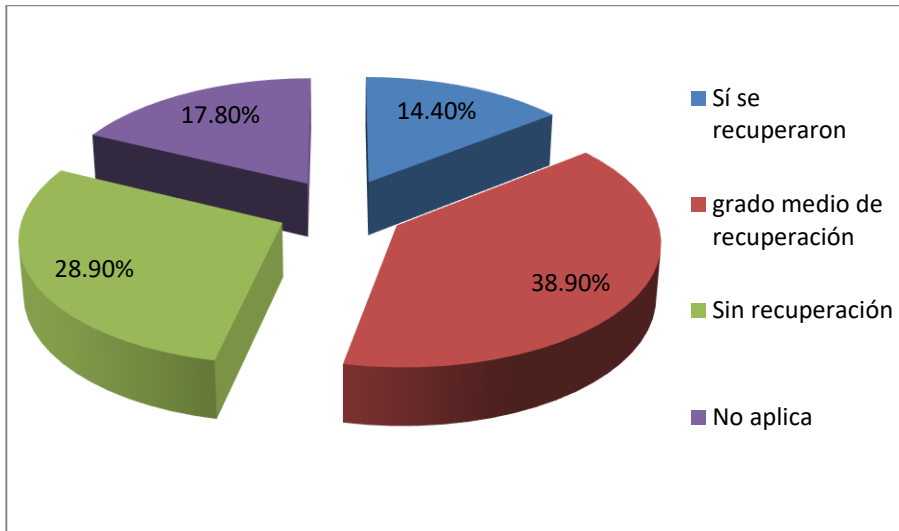
De manera desagregada por asentamiento humano destaca que la comunidad Línea B20 posee un nivel *medio* (3) en capacidad de aprendizaje, superando a las otras dos comunidades. Aunque no es una categorización ideal, si les permite a la comunidad y los hogares contar con mejores opciones u oportunidades para hacer frente a los impactos de las inundaciones. Godschalk (2003) citado por Kerr (2018), menciona que el aprendizaje y la organización en sistemas o comunidades generan una mejor preparación para enfrentar un amplio espectro de potenciales choques (disturbios) en el futuro.

La desagregación de las variables indicadoras que aportan a la capacidad de aprendizaje permitió denotar que existen mejores condiciones en capacidad de intercambio y transferencia de conocimientos por parte de los hogares de la comunidad Línea B20, estimado en un nivel *alto* en aporte a la dimensión de capacidad de aprendizaje, superando a la Comunidad Agraria La Vega en ambas variables (que obtuvo un nivel *intermedio*). En tanto, la aldea San José Churirín fue superada únicamente en la capacidad de intercambio de conocimientos y en cuanto a capacidad de transferencia de conocimientos fue valorado en *alto* en aporte de resiliencia, al igual que la comunidad de Línea B20.

En cuanto a experimentación de nuevas técnicas o métodos relacionados a sus medios de vida (fundamentalmente en la agricultura), la comunidad de Línea B20 presentó un nivel *bajo* (2) y las otras comunidades categorizadas con nivel *muy bajo* (1). Chiva *et al.*, (2007) en Ifejika Speranza *et al.*, (2014) indican que la experimentación o el grado en que nuevas ideas o sugerencias son consideradas, ofrece oportunidades para adaptar las estrategias de medios de vida a condiciones dinámicas.

Dichas condiciones muestran una bajo interés u oportunidades para la experimentación de nuevos métodos relacionados a los medios de vida por parte de los integrantes de los hogares. En sistemas donde existe un alto capital social facilitan la innovación, el desarrollo de conocimientos y la transferencia de estos. Existe por ello una relación estrecha entre el capital social y el humano (DFID, 1999). Aunado a dicho factor, se logró identificar que existe un nivel *bajo* en la variable mecanismo de retroalimentación, que consiste en la frecuencia de interacción de extensionistas o técnicos de organizaciones gubernamentales y no gubernamentales relacionados a los medios de vida de los hogares. Se encontró que sólo 32% de los hogares interactúan con técnicos o extensionistas de 13 organizaciones, muy vinculadas con la agricultura (incluye la visita técnica de empresas de agroquímicos).

Uno de los datos sistematizados de los hogares, fue su percepción de recuperación ante los eventos de inundación (lámina 27), considerándola como una recuperación de tipo económica o física por daños en infraestructura.



Lám. 27. Proporción (%) de hogares de la parte baja de la cuenca hidrográfica Sis-Icán y su percepción de recuperación ante los eventos de inundación.

El 14.4% de los hogares en el territorio de estudio (parte baja de la cuenca) afirmaron que se han recuperado de los impactos a inundaciones. Este grupo en su mayoría está caracterizado por dedicarse al medio de vida agricultura. Otra distinción importante, casi la mitad de estos hogares que manifestaron recuperación pertenecen a la aldea San José Churirín.

Se determinó que alrededor del 39% de los hogares indicaron que han tenido una recuperación media, es decir, que no han alcanzado una recuperación total. En este grupo se concentra el 71% de los hogares que pertenecen a la comunidad Línea B20, todos con el medio de vida agricultura. Es seguido por el 31.6% de los hogares de la aldea San José Churirín, la mayoría relacionados a la agricultura. Sólo un 12.5% de los

hogares de la Comunidad Agraria La Vega indicaron estar en dicha categoría.

El 28.9% del total de hogares en el territorio de la cuenca Sis-Icán manifestaron no haberse recuperado de los impactos de las inundaciones. La mayoría de los hogares que respondieron pertenecer a esta categoría se ubican en la aldea San José Churirín (39.5% del total de hogares en la comunidad). En el caso de total de hogares dentro de la comunidad Línea B20 se confirmó que un 17.9% no se han recuperado de los efectos de las inundaciones. Respecto a la Comunidad Agraria La Vega un cuarto del total de los hogares indicaron nula recuperación.

Aunado a lo anterior, los hogares agrícolas argumentaron nula recuperación debido a otros factores externos, como los bajos precios de venta de los productos agrícolas en el mercado nacional y el incremento de los insumos agrícolas que torna la producción agrícola poco rentable.

Un detalle importante que añade más elementos de la baja exposición a inundaciones del territorio de la Comunidad Agraria La Vega, es la existencia de un grupo de hogares que indicaron nula afectación por inundaciones, a nivel de comunidad representa el 66.67% y para todo el territorio representa el 17.8%. Es importante reiterar, que una proporción de los hogares de dicha comunidad asumieron que las pérdidas reportadas fueron por las inundaciones, pero fue el exceso de humedad que generó efectos negativos en los cultivos, situación que fue confirmado a través del taller focal desarrollado a nivel comunitario.

En la tabla 33 se presenta la relación que existe entre el estado de recuperación (percepción) y el acceso que tienen los hogares al recurso tierra. Se observa una tendencia de asociación significativa (tabla 34) entre el acceso al recurso tierra y la condición de recuperación intermedia (regular) de los hogares ante los eventos de inundación. Bajo las condiciones del territorio de la parte baja de la cuenca Sis-Icán, es

evidente la influencia al acceso al recurso tierra por parte de los hogares y su grado recuperación parcial (regular) ante los eventos de inundación. Aunque existe otra proporción de hogares (26.7%) que tienen acceso a dicho recurso y no se han recuperado de los impactos de este fenómeno en el territorio y sus medios de vida.

La mayoría de los hogares (8.9% de todo el territorio del Sis-Icán) que no tienen acceso al recurso tierra, manifestaron que no se han visto afectados por eventos de inundación (tabla 33) y se ubican en las comunidades: aldea San José Churirín y Comunidad Agraria La Vega. El 2.2% de hogares que no poseen acceso al recurso tierra indicaron que no se han recuperado de los efectos de inundaciones.

Tabla 33. Tabla cruzada entre la variable acceso a tierra y la tipología de percepción de recuperación para los hogares de la parte baja de la cuenca hidrográfica Sis-Icán.

			Se ha recuperado de los impactos				Total
			Sí se ha recuperado	Regular	No se ha recuperado	No aplica	
Acceso a tierra	Sin acceso	Recuento	1	1	2	8	12
		% del total	1.1%	1.1%	2.2%	8.9%	13.3%
	Sí tiene acceso	Recuento	12	34	24	8	78
		% del total	13.3%	37.8%	26.7%	8.9%	85.6%
Total	Recuento	13	35	26	16	90	
	% del total	14.4%	38.9%	28.9%	17.8%	100.0%	

Tabla 34. Pruebas de chi-cuadrado entre la percepción de recuperación de los hogares ante las inundaciones y el acceso a la tierra.

	Valor	df	Significación asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	14.433 ^a	3	.002
Razón de verosimilitud	13.922	3	.003
Asociación lineal por lineal	.875	1	.350
N de casos válidos	90		

a. 3 casillas (37.5%) han esperado un recuento menor que 5. El recuento mínimo esperado es 1.44.

5.4.5 Comparativa de medios de vida y su resiliencia entre las dos zonas de estudios: Parte baja de las cuencas hidrográficas del Achiguate y Sis-Icán.

En función de las características y variables indicadoras que componen cada dimensión de la resiliencia y estos últimos conforman el proxy de resiliencia (tabla 35), se observan que los hogares de la cuenca Sis-Icán poseen ligeramente mejores condiciones en capacidad de amortiguamiento y capacidad de aprendizaje. Aunque, el nivel no se encuentra en las condiciones ideales u óptimas, superan a las comunidades en el territorio del Achiguate.

Las diferencias entre los hogares en ambos territorios en función de los elementos para la dimensión de capacidad de amortiguamiento resaltan positivamente en el capital físico y capital natural para los hogares del Sis-Icán. En dicho territorio los hogares tienen mayor acceso a recursos físicos como un sistema de riego y recurso tierra, que les permiten producir en condiciones de bajo riesgo a inundaciones.

Un elemento físico (capital físico) que ha evitado inundaciones en ciertas áreas del territorio del Achiguate son los diques longitudinales. Dichas estructuras construidos en el período 2009 -2011, han

modificado para algunas secciones y áreas del Achiguate la frecuencia de eventos de inundación al evitar o reducir el desbordamiento del río en algunos tramos en ambos flancos del cauce principal. Esta construcción fue efectuada como una inversión estatal para mitigar los efectos de las inundaciones en el territorio. Tal como se mencionó en el capítulo IV, la comunidad caserío Botón Blanco se benefició de esta infraestructura y anuló totalmente el efecto de las inundaciones para el evento Agatha en el 2010. En el caso del caserío Lolitas, sus beneficios fueron parciales para el fenómeno Agatha ya que se inundaron, pero no fue a la magnitud de los eventos pasados. Para la comunidad aldea Campamento La Barrita, los impactos de Agatha fueron perjudiciales temporalmente, ya que aún no estaba la construcción de dicha infraestructura. Aunque son alrededor de 10 años desde su construcción y se desconoce su estado actual desde un enfoque técnico-estructural y su capacidad para un evento hidrometeorológico extremo, es decir, existe incertidumbre sobre su funcionalidad en la actualidad y sus condiciones de estado de cara al futuro. Pero podría sumar en la reducción del riesgo comunitario ante inundaciones y la frecuencia de eventos de inundación que afectan las comunidades ubicadas en el territorio del Achiguate, comparado al territorio del Sis-Icán que carece de dicha infraestructura.

Los diques de altura no son usualmente construidos uniformemente y esto debido la variedad de prioridades de protección de tierras urbanas o agrícolas, y a menudo reciben mantenimiento por segmentos o tramos. Una alteración de las condiciones en esos segmentos podría agravar las condiciones de inundación (Sanyal, 2017).

Las variables que generan la diferencia en la dimensión capacidad de aprendizaje entre los hogares en ambos territorios, radica en la capacidad de experimentación de nuevos métodos o técnicas en sus medios de vida, fundamentalmente en la actividad agrícola, beneficiando en mayor grado a los hogares en el territorio del Sis-Icán. En dicho territorio, manifestaron mejores condiciones y apertura para adquirir y compartir conocimientos relacionados a medios de vida entre los diferentes hogares. De acuerdo con los datos, existe un mayor grado

de visitas y frecuencia de técnicos de organizaciones gubernamentales y no gubernamentales para la asistencia técnica para algunos medios de vida.

En cuanto a la dimensión de auto-organización, se estimaron condiciones muy similares, un nivel muy bajo en ambos territorios, situación que fue abordada con mucho detalle en las secciones anteriores. Los datos demuestran que existen pocas organizaciones locales y otros mecanismos de organización comunitaria, condiciones que no aportan en la construcción de la resiliencia y demuestran un capital social muy débil. En contraste, Kerr, (2018), indica que los hogares con nivel alto de capital social probablemente son más participativos en organizaciones comunitarias e iniciativas de ONG's diseñadas para fortalecer la resiliencia.

Le Blanc (2015), ha identificado que la resiliencia depende de la calidad de la coordinación entre los interesados o actores, a partir de la cooperación y del grado de familiaridad (relación y conocimiento) entre estos actores. En la práctica, la meta de la resiliencia es la inversión en la educación pública y la instalación de una dinámica para el intercambio de conocimientos, confianza y cooperación. Aldrich (2010) citado por Kerr (2018), llama el capital social como el “núcleo del motor de recuperación” y argumenta que el capital social es uno de los mejores predictores de recuperación del estado de los productos socioeconómicos.

En un estudio de Consoer y Milman (2016) citado por Kerr (2018), observaron “el rol del capital social en Vermont después de la tormenta tropical Irene, donde la organización de grupos informales de recuperación fue impulsada por el capital social en algunas de las comunidades”. Estas comunidades disfrutaron de capital social en proliferación y acceso a recursos de alto valor.

En términos de capacidad de amortiguamiento, es un hecho, que a nivel comunitario es bajo. La poblaciones vulnerables y marginadas son las menos resilientes, no solo porque tienden a vivir en vecindarios y

edificios más expuestos, sino porque carecen de los recursos necesarios para absorber y hacer frente a las consecuencias (Wisner *et al.*, (2003), citado por Kerr, 2018).

En cuanto a los niveles de resiliencia, se nota una puntuación más alta para los hogares del territorio del Sis-Icán comparado con los hogares en el Achiguate (tabla 35). A pesar de estas diferencias entre ambos territorios, estos niveles están categorizados como *bajo* (2) y *muy bajo* (1), respectivamente. Como se abordó en detalle en la sección anterior, dichos niveles resiliencia no permiten las condiciones adecuadas para que las comunidades (sistemas) puedan hacer frente a condiciones adversas e inhiben propiamente esta resiliencia o capacidad de los hogares y comunidades.

Tabla 35. Resumen de las dimensiones de resiliencia en los territorios de las cuencas: Achiguate y Sis-Icán.

Comunidad/Área total	Capacidad de amortiguamiento	Auto-organización	Capacidad de aprendizaje	Resiliencia
Parte baja de la cuenca Sis-Icán	2	1	2	2
Parte baja de la cuenca Achiguate	1	1	1	1

Adger *et al.* (2005), resaltan la influencia de la auto-organización sobre la resiliencia en sistemas adaptivos complejos, versus la falta de organización u organización forzada por factores externos, y el grado en que el sistema puede construir capacidad para el aprendizaje y adaptación.

Aunque es importante reconocer que capturar la complejidad de un sistema y sus múltiples factores, subsistemas y retroalimentaciones a distintas escalas es una tarea difícil que se traduce un dinamismo constante. Birkmann (2006), en el campo de la vulnerabilidad, indica que es un reto de representar la complejidad de la vulnerabilidad a través de un juego de indicadores y criterios que facilitan una estimación de la vulnerabilidad, y podría ser reconocido.

En la tabla 36 recoge la percepción de los hogares para ambos territorios en cuanto el estado de su recuperación ante las inundaciones.

Tabla 36. Resumen de la percepción de recuperación de los hogares ante las inundaciones en los territorios de las cuencas: Achiguate y Sis-Icán.

		Se ha recuperado de los impactos				Total
		Sí se ha recuperado	Regular	No se ha recuperado	No aplica	
Cuencas hidrográficas	Sis-Icán Recuento	13	35	26	16	90
	% del total por cuenca	14.4%	38.9%	28.9%	17.8%	100.0%
	Achiguate Recuento	20	22	22	10	74
	% del total por cuenca	27.0%	29.7%	29.7%	13.5%	100.0%

El componente social interactúa con el componente ecológico a múltiples niveles e influyen a los sistemas socioecológicos. Se sabe que dichos componentes tienen mecanismos que evitan cambios a otras configuraciones (Walker *et al.*, 2006; Resilience Alliance, 2010).

El papel o aporte de los diferentes sistemas ecológicos dentro los sistemas focales de estudio y a escala territorial de cuencas hidrográficas sobre la resiliencia comunitaria ante inundaciones se aborda a continuación.

En cuanto al papel de la vegetación con relación a los eventos de inundación, aspecto que no fue abordado en la presente tesis, pero la

literatura nos demuestra que la biomecánica de la vegetación (por ejemplo, la rugosidad) puede reducir la velocidad de la corriente, lo que resulta en una reducción de las inundaciones aguas abajo (Singh *et al.*, 2018). A través de su efecto sobre la velocidad de los flujos de ribera, también tiene la capacidad de reducir la potencia de la corriente (Bagnold, 1966 citado por Singh *et al.*, (2018). Sin embargo, agrega la comprensión de como la revegetación de la llanura aluvial puede influir en la profundidad de la inundación y el poder de las corrientes de agua se ha limitado a la idiosincrasia de unos pocos tramos, y no está claro como influencia a lo largo de múltiples tramos en general y a diferentes escalas espaciales.

Julian *et al.*, (2016) afirman que los corredores riparios, especialmente en los grandes sistemas de llanura aluvial, representan un equilibrio entre los procesos fluviales (erosión, deposición, patrones de flujo) y la dinámica de la vegetación. Singh *et al.*, (2018) a través de un estudio de modelación, señala que la vegetación “natural” (por ejemplo, bosques) a lo largo del corredor ribereño proporciona un servicio de ralentización de la escorrentía, lo que permite la infiltración y la actualización de nutrientes. Además, las llanuras de inundación conectadas permiten la disipación de energía durante los flujos de inundación, lo que genera que el agua se infiltre y los nutrientes disueltos y ligados a partículas queden atrapados en las llanuras de inundación.

En el sistema focal del Achiguate, debido a la fuerte dinámica de movilización lateral y amplitud/reducción de la corriente principal (discutido en el capítulo IV), un paisaje dominado por la agricultura e influenciado por otros factores socioeconómicos en el territorio, se observan pocas áreas con bosques riparios y muy dispersos y con un alto grado de fragmentación espacial, incluso en cobertura forestal para la zona de estudio, INAB *et al.* (2019), reportan para la zona focal del Achiguate (333.84 km²), un total de 6.56 km² de cobertura forestal para el 2016, que representa el 2% del área superficial de esta zona en específico, ubicado en su mayoría en el tramo final del río y dominado por especies de mangle. En un comparativo para el período 1991-2016,

observan una reducción de la cobertura forestal, que se estiman 12.73 km² de pérdida de cobertura forestal, que representa el 3.8% del todo el territorio de la cuenca del río Achiguate.

Para el territorio del Sis-Icán, que su uso es principalmente para agricultura, INAB *et al.* (2019) reportan 16.5 km² de cobertura forestal para el 2016 que representa el 6.5% de todo el sistema bajo estudio, dominado fuertemente por el ecosistema manglar ubicado en el litoral del Pacífico. Además, estimaron 4.8 km² (1.9% de la superficie de análisis) de pérdida de cobertura boscosa en una comparativa para el período de 1991-2016. Debido a la relativa estabilidad del cauce en principal del río Icán y los intereses de algunos propietarios se observan más zonas riparias comparado con la otra zona del Achiguate. Aunque, la fragmentación espacial de las pocas zonas que no forman parte de ecosistema manglar es fuerte.

Una situación que resalta en el sistema focal del Sis-Icán y vinculado con ecosistema manglar y, muy probablemente esté favoreciendo a la comunidad de San José Churirín, es la reducción del impacto directo de los eventos de inundación, en su magnitud, frecuencia, tiempo de inundación y otros atributos del flujo del río, a través del servicio ecosistémico de protección. Aunque, la comunidad y los hogares no estén conscientes de dicha función. Barth y Döll (2016) afirman que una de las funciones principales de un bosque ribereño es la regulación de la escorrentía directa. Otra función adicional del ecosistema es su influencia significativamente menor es en la reducción de un pico de inundación.

En la misma línea del papel forestal, pero enfocado a la dinámica a nivel de toda la cuencas hidrográfica, INAB *et al.* (2019) estimaron para la cuenca del río Achiguate 248.7 km² de cobertura forestal (20.1 % de toda la cuenca) en 2016. En el caso de la cuenca del río Sis-Icán se estimó 132.8 km² que representa el 12.9% del territorio.

En ambas cuencas, se observan incrementos y reducciones de la cobertura forestal para el periodo de 1991-2016. Sin embargo, en el

Achiguate resalta una pérdida del 13.8% de la cobertura forestal que existía en 1991. En tanto, en el Sis-Icán, se observa una reducción 3.5%, pero se cuantifica un 10.65 % de incremento que en 2016 no contaban con superficie forestal. Bruijnzeel (2004), sobre el efecto de la cobertura sobre el agua en una cuenca, señala que en varios estudios que se refieren principalmente a pequeñas áreas de captación de cabeceras (generalmente <1 km²) que implican un cambio unilateral en la cobertura tiene efectos sobre el rendimiento de agua. Aunque, estos experimentos brindan una imagen clara y consistente de un mayor rendimiento de agua después de reemplazar la vegetación alta por una más corta y viceversa, tales efectos a menudo son más difíciles de discernir en cuencas de captación más grandes que generalmente tienen una variedad de tipos de uso de la tierra y cambios temporales en las mismas. Además, existen complicaciones donde las lluvias presentan una fuerte variabilidad espacial y las extracciones de agua para fines municipales, agrícolas e industriales son grandes, como ocurre en muchas zonas de tierras bajas tropicales densamente pobladas.

En cuanto a los efectos a nivel cuenca, Horton *et al.* (2021) afirman que los bosques juegan un papel importante en el control de la frecuencia y magnitud de las inundaciones en los trópicos húmedos del sureste de México. Los resultados indican que la conversión a gran escala de bosques a agricultura intensifica las descargas extremas y que es muy probable que la conversión continua agrave las inundaciones en el futuro. Agregan, si bien el volumen total de agua que llega a la red fluvial después de la tala de bosques durante la temporada más húmeda puede no modificarse tan significativamente, como durante la temporada más seca, el momento y la magnitud de las descargas máximas pueden cambiar como resultado de una mayor generación de escorrentía debido a una menor infiltración del suelo.

Con relación a los suelos y su relación con los eventos de inundación. Para la cuenca del río Achiguate, de acuerdo con el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (2005), está fuertemente dominado, 18% y 73%, por texturas francas y sus diferentes combinaciones (con arcilla, arena, limo), respectivamente.

En términos de su capacidad de drenaje, el 71 % de los suelos posee un buen drenaje, predominantemente ubicado en la parte alta de la cuenca, que podría considerarse por su función (servicio) para atenuar las inundaciones. Por otro lado, el 3.5 % y 10 % de la superficie territorial está catalogada con drenaje lento y drenaje malo, respectivamente. Ambas categorías ubicadas mayoritariamente en el sistema focal de estudio. De acuerdo con Bruijnzeel (2004), los suelos con una conductividad hidráulica tan pobre, generan un gran escorrentía superficial incluso en condiciones boscosas.

Para el territorio del río Sis-Icán, los suelos superficiales predominantes (61.5%) tienen texturas arcillosas, seguidos por los que tienen combinaciones de textura franca con otros tamaños de partículas (arcilla, arena, limo) en un 36%. El sistema focal de estudio casi en su totalidad son suelos arcillosos, y con un drenaje moderado, condiciones que pueden influir en la evacuación y generar escorrentía superficial (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, 2005).

Al comparar los resultados de resiliencia del presente estudio con otros similares efectuados alrededor del mundo, por ejemplo, Avila-Foucat y Martínez (2018), en cuatro comunidades evaluadas encuentran diferencias en capacidades para recuperarse después de un huracán. También encuentran que una de las comunidades, Vainilla, fue la más expuesta a los daños y los hogares se han recuperado. Situación ligeramente similar ocurre en las 6 comunidades evaluadas en Guatemala, especialmente en la comunidad Línea B20, una de las más expuestas a las inundaciones y con mayor grado de riesgo (percepción) a inundación, pero ligeramente con mayor puntuación de resiliencia a eventos de inundación.

De acuerdo con datos de Avila-Foucat y Martínez (2018), una de las comunidades más resilientes en su estudio fue Barra Navidad, la que ha sido menos afectada y cuenta con más diversificación de medios de vida y con los ingresos promedios más alto. Dicha situación contrasta con las comunidades evaluadas en Guatemala, especialmente con Comunidad Agraria La Vega, con baja o nula exposición a eventos de

inundación. Sin embargo, posee puntuación de resiliencia muy similar a las otras dos comunidades dentro del cuenca Sis-Icán. Además, sus ingresos económicos y condiciones sociales relativamente son similares a las otras dos comunidades.

Otra situación similar entre ambos estudios es el papel de las remesas, que no fueron calificadas como factores importantes en la recuperación de las comunidades. Aunque, el porcentaje es mucho menor que en el estudio efectuado en México (58 % de hogares en Vainilla y el más bajo fue de 22 % reportado por Avila-Foucat y Martínez (2018)), en el Achiguate el 14.9% de los hogares reportan que al menos tienen un miembro que ha migrado a los Estados Unidos de América y manifestaron contar con este tipo de ingresos y en el Sis-Icán fue estimado en 17%.

En otro estudio efectuado en Sudáfrica por Kotzee y Reyers (2016), encontraron que las comunidades rurales mostraron una fuerte red de vínculos sociales y valoraron dicha condición como una fuerte resiliencia social, esto debido al mayor tiempo dentro del territorio y una mayor interacción comunitaria y lazos personales más fuertes. En el caso de las comunidades estudiadas en Guatemala los hallazgos revelan que presentan muy baja organización y agencia comunitaria, y su cohesión colectiva es débil y muy reactiva durante los momentos críticos (inundación). La única comunidad que presentó una puntuación 3 (nivel medio) es la que presenta mayor exposición a los eventos de inundación

5.4.6 Tendencias y escenarios de resiliencia comunitaria ante inundaciones

Los sistemas socioecológicos se caracterizan por ser complejos debido a las múltiples interacciones entre sus elementos y por respuestas no lineales (Costanza *et al.*, 1993). Su complejidad determina que no sean fáciles de comprender y analizar desde la perspectiva tradicional de las ciencias ya que las relaciones no son unidireccionales.

Simonsen *et al.* (2014) citado por Dey *et al.* (2017), sugieren la necesidad de una constante experimentación para considerar los riesgos de modo que diferentes tipos de conocimientos sobre los sistemas puede contribuir al desarrollo de escenarios de resiliencia de sistemas socio-ecológicos.

Los escenarios representan un rango de resultados para factores ambiguos e incontrolables, y que son impulsores (drivers) de las variables del sistema. Aunque, no está libre de juicio de valores, ellos son consistentes con la información disponible y representan un rango de posibles resultados (Walker *et al.*, 2006).

Debido a la complejidad de los sistemas socioecológicos y la imposibilidad técnica, económica y/o temporal de experimentar, los escenarios se convierten en una herramienta muy útil que genera insumos valiosos para el análisis de la resiliencia.

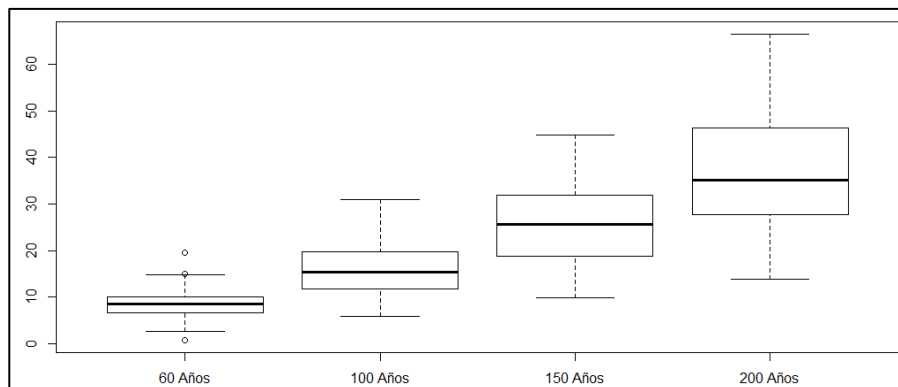
El término escenario puede definirse como una exploración plausible del futuro, para ser utilizado en combinación con otros para explorar la robustez de diversos modelos y selecciones (Wack 1985; van der Heijden 1996; Carpenter 2002, citados por Walker *et al.*, 2006).

5.4.6.1 Sistema socioecológico focal Achiguate

Una forma de abordar los sistemas socio-ecológicos es mediante el uso de modelos dinámicos y de simulaciones para evaluar posibles respuestas ante modificaciones en algunos de los parámetros de interés. En este sentido se efectuaron dos modificaciones al modelo matemático a) generado en función de los datos obtenidos a nivel comunitario (subsección anterior). Dichas modificaciones consistieron en: b) incremento de la probabilidad de ocurrencia de eventos extremos de lluvia y c) cambios en los parámetros de la dimensión auto-organización (niveles óptimos).

Uno de los resultados (output) del modelo matemático de resiliencia comunitaria, fue el acumulado de eventos de inundación para los períodos 1950-2010; 1950-2050; 1950-2100 y 1950 – 2150 (lámina

28).



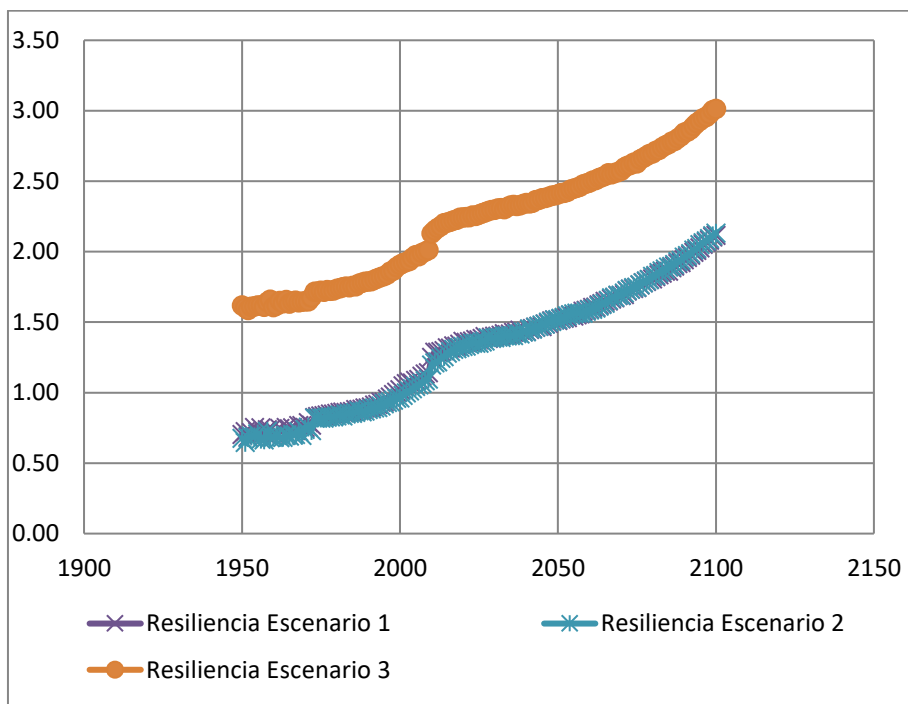
Lám. 28. Acumulado de eventos extremos de inundación (eje “y”) generados por el modelo de resiliencia comunitaria para la parte baja de la cuenca Achiguate.

El modelo de resiliencia estimó un acumulado de eventos de inundación para el periodo 1950-2010 (lámina 28), el 50% de los datos se encuentran en el rango de 6.6 a 9.9 y una mediana 8.6 eventos. Contrastando los datos del modelo contra los eventos extremos reportados por los hogares de las comunidades del territorio del Achiguate, se reportan 7 eventos extremos desde 1966, destacándose posteriormente los eventos en los años 1967, 1968, 1998, 2002, 2005 y 2010.

Para el período 1950–2050, el modelo estima que el 50% de los datos de acumulado de eventos extremos se encuentra en el rango de 12 a 19.5 eventos (lámina 28) y una mediana de 15.3 eventos; concentrándose los datos en la parte inferior a la mediana y media (15.9) de eventos extremos de inundación. En una comparativa del acumulado promedio de eventos extremos de inundación entre los periodos de 1950-2010 y 1950-2050, se observa que existe una diferencia en promedio 7.3 eventos de inundación, es decir, que existe la probabilidad que ocurran 7 eventos para los últimos 40 años (2011-2050).

Además, se consideró una estimación de eventos extremos de inundación para el periodo 1950-2100. El modelo estimó que el 50% de los datos de acumulado de eventos extremos de inundación y, en

función de las 100 repeticiones de simulación, se encuentran en el rango de 19 a 31.8 eventos y un promedio acumulado estimado de 26.11 eventos para los 150 años. Aunque es importante considerar que entre más lejano se simula un sistema, mayor es la incertidumbre. Di Baldassarre (2012), afirma que los modeladores de inundaciones son conscientes que una aproximación significativa afecta los resultados de sus modelos.



Lám. 29. Comportamiento de la resiliencia comunitaria (nivel eje "y") de los tres escenarios contemplados para el sistema focal Achiguate.

Con relación a la dinámica de la resiliencia comunitaria ante eventos de inundación para las comunidades de la parte baja del Achiguate (lámina 29), específicamente para el escenario "E1", donde se basa en las condiciones socioeconómicas tendenciales de 2017-2019, estima un incremento de 0.7 de puntuación en la escala de Likert de resiliencia para el 2010. De manera específica se observa una tendencia

de incremento de la resiliencia en función del período definido para los escenarios.

En el caso del escenario “E2”, que de manera deliberada se duplica (incremento) la probabilidad de frecuencia de las inundaciones para el territorio en estudio. En este escenario se observa que la resiliencia ligeramente es reducida (lámina 29) en los primeros 75 años y posteriormente su comportamiento es similar al escenario “E1”. La prueba estadística Kruskal-Wallis (tabla 37) confirma que las medias de resiliencia de ambos escenarios estadísticamente no son significativamente diferentes.

Tabla 37. Prueba Kruskal Wallis (H-test) para los tres diferentes escenarios de resiliencia comunitaria ante inundaciones en la parte baja de la cuenca Achiguate.

Variable	Escenarios	N	Medias	D.E.	Mediana	H	P
Nivel de resiliencia	E1	151	1.31	0.415	1.38	223.64	<0.0001
Nivel de resiliencia	E2	151	1.29	0.432	1.35		
Nivel de resiliencia	E3	151	2.20	0.417	2.27		

Tratamiento	Ranks
E2	159.44 A
E1	164.51 A
E3	357.05 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Para el tercer escenario “E3”, que deliberadamente se modificaron algunas características sociales, es decir, mejorando el capital social, la resiliencia comunitaria podría incrementarse a condiciones aceptables (intermedio= 3, escala de Likert) al finalizar el 2100. A pesar de la ocurrencia de los eventos extremos de inundación. En la sección

anterior de medios de vida y resiliencia se abordó la relevancia y el aporte del capital social para la resiliencia comunitaria.

Los resultados del tercer escenario evidencian la influencia positiva del capital social sobre el grado de resiliencia comunitaria a inundaciones, sí las condiciones a nivel local alcanzaran un nivel óptimo. Kerr (2018), indica que el capital social tiene un poder explicatorio para el abordaje del nivel de resiliencia a nivel comunitario. La principal forma en que el capital contribuye a la resiliencia es su impacto para la recuperación, posibilita a las comunidades organizarse posteriormente a un desastre. Esto es particularmente cierto en grupos que exhiben un puente fuerte de capital social, porque ellos a menudo tienen redes que alcanzan las áreas de los desastres, por lo tanto, les brindan acceso a muchos recursos de apoyo necesario para una rápida recuperación. Aldrich (2010) citado por Kerr (2018), enfatiza que el capital social es el núcleo del motor de recuperación.

El reto que existe es la construcción genuina del capital social en el territorio del Achiguate, no es nada fácil, ya que son procesos con resultados a mediano y largo plazo. Además de tener en cuenta el alto grado de complejidad que tiene el subsistema social. Putman (2000) citado por Kerr (2018), enfatiza que la vinculación del capital social se gana a través de las relaciones en entornos más aislados, típicamente entre grupo de personas más homogéneas. Esto ayuda a fomentar una fuerte identidad y una gran lealtad entre los miembros del grupo.

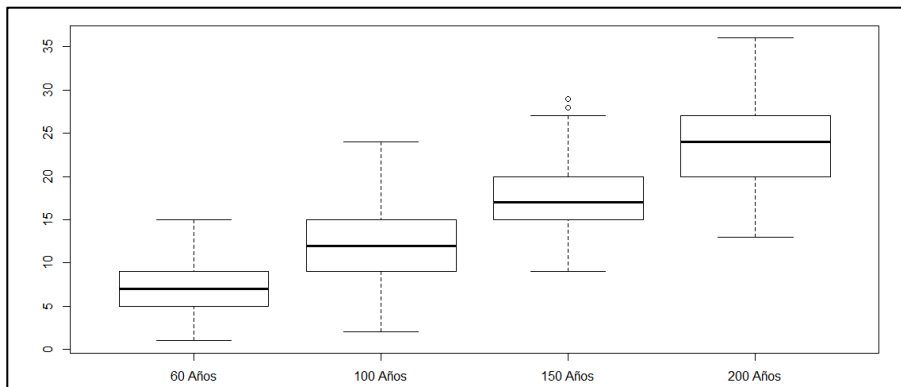
El capital social no necesita limitarse al intercambio o potencial de intercambio de recursos, sino puede tomar forma de facilitar algún acción, ya se orientada a los recursos o más abstracto (Kerr, 2018).

5.4.6.2 *Sistema socioecológico focal Sis-Icán*

Para el sistema focal Sis-Icán el modelo estima el acumulado probable de eventos extremos de inundación que puede ocurrir en dicho territorio.

Para el periodo de 1950-2010 el modelo estimó un promedio acumulado de 7 eventos extremos de inundación (lámina 30), considerando el 50% de los datos se agrupan en el rango de 5 a 8.5 eventos y una mediana de 7.29 eventos. Dicho promedio de eventos extremos de inundación concuerda con lo reportado por los hogares en dicho territorio para los años: 1958, 1968, 1998, 2005, 2006, 2009 y 2010.

Para el período 1950-2050, el modelo estima que el 50% de los datos de acumulado de eventos extremos de inundación se encuentra entre el rango 8.5 y 16.5, y un promedio de 12 eventos para dicho periodo. En una comparativa de promedio con el periodo 1950-2010, se estima que 5 eventos extremos podrían ocurrir en los últimos 40 años (2011-2050).



Lám. 30. Acumulado de eventos extremos de inundación (eje “y”) generados por el modelo de resiliencia comunitaria para la parte baja de la cuenca Sis-Icán.

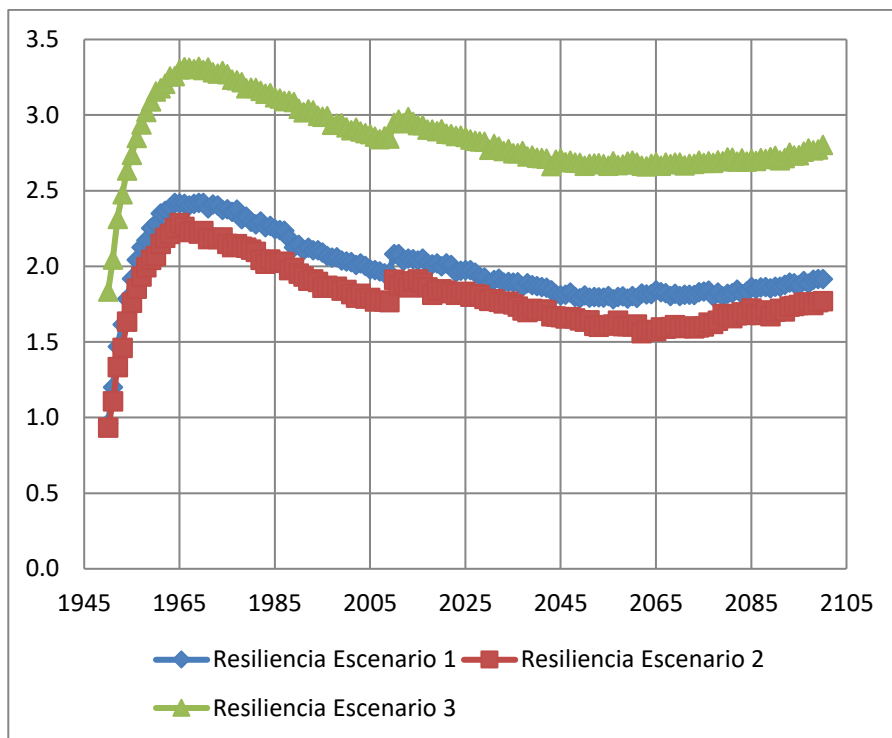
En el periodo 1950-2100 el modelo estima que podrían ocurrir un promedio de 17 eventos extremos de inundación, considerando y restando los 7 eventos que han ocurrido para el periodo 1950-2010, se espera un total de 10 eventos extremos para los últimos 80 años.

Las disparidades en el nivel resiliencia comunitaria para el territorio de la parte baja del Sis-Icán son evidentes para los tres

escenarios establecidos para el análisis. Este es ilustrado por las tendencias o comportamiento del nivel de resiliencia a través de los años (lámina 31). Considerando que el nivel de resiliencia comunitaria para el escenario “E2” se ve afectada negativamente (reducida), comparada con la tendencia del escenario “E1”, especialmente y notable desde los años 60’s. En función de la resiliencia estimada con datos proporcionados por los hogares en 2017-2019 (formulario aplicado en campo), en la sección de medios de vida y su resiliencia, se estimó un nivel de resiliencia 2, que coincide con el nivel estimado por el modelo para el escenario tendencial (E1) para el referido año.

Los resultados del escenario tendencial “E1” estima que el nivel de resiliencia para el territorio de Sis-Icán se verá afectada ligeramente en el futuro, alcanzando su nivel más bajo de 1.8 entre los años 2042-2085.

El comportamiento del nivel de resiliencia bajo condiciones de los escenarios “E1” y “E2” muestran una tendencia de crecimiento desde 1950 hasta mediados de los 60’s. Luego se presentan una ligera estabilización y posteriormente un descenso en el nivel en los siguientes años del periodo de análisis. Una de las razones del incremento fue el acceso que tuvieron las familias al recurso tierra derivado de la Reforma Agraria en 1954, accediendo a ello. Además, existían otras condiciones de recursos naturales en el área que permitían que las familias y población en general accedieran a recursos de bosques, ríos y del mar como medios de vida de manera más “libre”. Dicha situación va modificándose con el tiempo por el crecimiento poblacional y la sobreexplotación de algunos recursos naturales.



Lám. 31. Comportamiento de la resiliencia comunitaria (nivel eje “y”) para los tres escenarios formulados para el sistema focal Sis-Icán.

Con relación al comportamiento del nivel de la resiliencia en el escenario “E3” (al modificar y contar con mejores condiciones de capital social), el modelo estima un incremento en la capacidad de resiliencia comunitaria para el territorio del Sis-Icán. La prueba de Kruskal-Wallis (tabla 38) confirma que los promedios para los tres escenarios son significativamente diferentes y en el caso de “E3” es el que presenta mayor nivel de resiliencia a través de los años y cerrando con mejores condiciones al final de siglo XXI. Sin embargo, las estimaciones del modelo muestran mejores condiciones de resiliencia comparado con los otros dos escenarios, pero no se alcanzan los niveles óptimos, debido a la influencia de otros factores en la resiliencia. Laurien *et al.*, (2020) argumentan que para entender y medir la resiliencia de una comunidad a las inundaciones, debe considerarse que

los sistemas o procesos específicos se benefician de tener un buen desarrollo de los capitales: humano, financiero, natural, social y físico

El capital social debe ser un proceso constructivo entre la población y los diferentes interesados en dicho territorio, y con resultados planteados a mediano y principalmente a largo plazo. Portes (1998) citado por Kerr (2018), argumenta que el capital social debe ser construido a través de estrategias de inversión orientadas a la institucionalización de las relaciones grupales, utilizable como fuente confiable de otros beneficios. Vaneekhaute *et al.* (2017) afirman que los agentes activos y la agencia son considerados junto a los recursos comunitarios, factores importantes que guían la resiliencia.

Los lazos y la confianza social que se asocian con un fuerte capital social promueven la acción colectiva que es necesario para que una comunidad se una para organizarse y adaptarse. Hogares con mayores niveles de capital social tienen más probabilidades de participar en organizaciones comunitarias e iniciativas de ONG diseñadas para fortalecer la resiliencia (Kerr, 2018).

Tabla 38. Prueba Kruskal-Wallis (H-test) para los promedios anuales de resiliencia de los tres diferentes escenarios de resiliencia comunitaria ante inundaciones en la parte baja de la cuenca Sis-Icán.

Variable	Grupos	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Nivel de resiliencia	E1	151	1.98	0.23	1.92	320.45	<0.0001
Nivel de resiliencia	E2	151	1.8	0.22	1.77		
Nivel de resiliencia	E3	151	2.86	0.24	2.8		

Trat.	Ranks		
E2	114.13	A	
E1	190.53		B
E3	376.34		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

5.5 CONCLUSIONES

Los resultados del estudio afirman un impacto diferenciado de los eventos de inundación sobre los hogares y sus diferentes medios de vida, resaltando que un tercio de los hogares reportaron con mayor relevancia las enfermedades gastrointestinales y de piel, seguido por las pérdidas de cosechas, falta de alimentos y daños en viviendas (en menor proporción), pero no se reportan pérdidas de vidas humanas. Aunque, la base de datos EM-DAT (2020), reporta para toda Guatemala un total acumulado de 40,949 muertes para el periodo de 1900-2020 (hasta marzo). Destacándose el evento del año de 1949 con 40,000 pérdidas de vidas humanas reportadas para varias localidades del país. Se reportan 65 muertes para varias localidades que incluyen a los departamentos de Escuintla, Retalhuleu y Suchitepéquez, pero no existe un dato específico para dichos territorios.

Los hallazgos reflejan un nivel de resiliencia *muy bajo y bajo* para los hogares de los territorios del Achiguate y Sis-Icán, respectivamente. Las diferencias entre los territorios radican en condiciones más favorables para las dimensiones capacidad de amortiguamiento y capacidad de aprendizaje para los hogares del Sis-Icán y repercute a escala total resiliencia para este territorio comparado con el Achiguate.

El análisis muestra una fuerte evidencia de un capital social débil en las seis comunidades de los territorios del Achiguate y Sis-Icán. En donde cada territorio presenta diferentes matices en las respectivas variables indicadoras de cada dimensión de resiliencia. Kerr (2018), argumenta que el capital social brinda varios tipos de beneficios y oportunidades, ya que contribuye en la resiliencia y su impacto en la recuperación. En la literatura que han sistematizado casos que resaltan ejemplos de asentamientos o comunidades con mayor organización local que condujo a un mayor capital social y accesos a recursos permitiéndoles una mejor recuperación o en otros casos con menos impactos por perturbaciones en el sistema.

Otro elemento identificado en las dos áreas de estudio es la escasa intervención o respuestas de los hogares y algunas organizaciones gubernamentales, que han sido más de tipo reactivo.

Al comparar los resultados de las dimensiones de resiliencia entre las comunidades del Achiguate y del Sis-Icán con alta y baja/nula exposición a eventos de inundación, estas presentan condiciones muy similares. Aunque, resalta ligeramente el caso de la comunidad de Línea B20 del Sis-Icán, con mayor exposición a inundaciones, ha presentado mejores condiciones de capacidad de aprendizaje, y era de esperarse por la experiencia de eventos de inundación, tal como lo señalan Vaneekhaute *et al.* (2017), el aprendizaje social en el contexto de la resiliencia comunitaria se refiere a un proceso donde los miembros de la comunidad desarrollan capacidades aprendiendo de experiencias pasadas. Los resultados del escenario tendencial indican que las comunidades en dicho territorio han estado perdiendo su capacidad de resiliencia y, si la tendencia continúa, se espera una reducción a mediano y largo plazo.

En el territorio del Achiguate, destaca que la comunidad Caserío Botón Blanco presenta mejores condiciones de resiliencia comparada con las otras comunidades. Aunque, la diferencia no es contundente, si muestra un grado más de condiciones en capacidad de amortiguamiento y de aprendizaje. Aunado, a la reducción de la frecuencia de eventos de inundación con la construcción de las obras de ingeniería (diques longitudinales) por parte del Estado de Guatemala para dicho territorio. Basado en los datos de campo, se puede indicar que las inundaciones en el territorio del Achiguate han influenciado en la erosión de la resiliencia comunitaria en las comunidades que más sufren de inundaciones. Aunque, el modelo matemático proyecta a mediano y largo plazo un ligero incremento en el nivel de resiliencia para dicho territorio.

Bajo el supuesto de condiciones de mayor frecuencia de eventos extremos de inundación (Escenario E2), para el territorio del Sis-Icán, se espera que la resiliencia disminuya probablemente a mediano y largo

plazo. Considerando que el cambio climático pueda incrementar la frecuencia de los eventos hidrometeorológicos extremos en el futuro, a pesar de la complejidad y la incertidumbre alrededor del cambio climático a mediano plazo. Para las comunidades del Achiguate, el modelo proyecta una tendencia a incremento de la resiliencia comunitaria a mediano plazo.

6 Conclusiones

La evidencia sugiere una alta dinámica de las inundaciones influenciadas por eventos extremos en las dos cuencas hidrográficas de estudio. El promedio de área recurrente de inundación para la parte baja de la cuenca del río Achiguate, fueron estimadas en 1,050 hectáreas para los últimos cinco eventos extremos y, en relación con las áreas no recurrentes (diferentes) de impacto fueron estimadas dentro del rango de 957 a 5,580 hectáreas inter-evento. Esta variabilidad se encuentra en función de factores geológicos de toda la cuenca hidrográfica y elementos geomorfológicos del cauce principal del río, la magnitud de las lluvias, puntos de desbordamiento del río, obras de protección (diques), condiciones topográficas en áreas circundantes al cauce principal, algunas actividades humanas y el aporte de material volcánico del volcán de Fuego ubicado en la parte media de dicha cuenca.

En cuanto a la cuenca del Sis-Icán se estimaron en promedio 636 hectáreas de área recurrente de inundación inter-eventos, detonados por los mismos eventos hidrometeorológicos extremos en la otra zona de estudio. La variabilidad de áreas no recurrentes (diferentes) de afectación inter-evento se estimó entre el rango de 705 a 2,843 hectáreas.

Los eventos de inundación influenciados por la tormenta tropical Stan fueron las de mayor envergadura (extensión superficial) en ambas zonas de estudio, afectando a 6,892 hectáreas en el territorio del Achiguate y 2,968 hectáreas en la cuenca del Sis-Icán, perjudicando zonas pobladas y agrícolas.

Se identificaron dos regímenes de inundaciones en la parte baja de la cuenca del río Achiguate. El primero para el periodo de 1986-1997, donde una proporción del volumen de agua del río Achiguate se desbordaba hacia la cuenca del río Acomé, afectando a comunidades y áreas agrícolas en dicho territorio. A partir de 1998 hasta el 2018, los desbordamientos y las inundaciones hacia la cuenca del río Acomé cesan o se reducen drásticamente y, la afectación es particularmente en

el tramo final de la cuenca del Achiguate con impactos en asentamientos humanos y áreas agrícolas.

La variabilidad de áreas de impacto por inundación entre los eventos analizados es alta en ambas zonas y, presentan implicaciones en áreas agrícolas expuestas y especialmente los asentamientos humanos (zonas pobladas), que podrían verse afectadas por eventos futuros de inundación (aspecto abordado en el capítulo IV). Además, hay generación de riesgo que podría construirse a partir de nuevos asentamientos humanos en áreas expuestas a los eventos de inundación.

Las dos corrientes importantes en ambas zonas de estudio durante el periodo 1973-2017 han modificado sus cauces principales, tal como se ha presentado en el capítulo IV. Para el caso del río Achiguate, el 100% de las secciones analizadas han cambiado en anchura y/o posición en una comparativa efectuada para el periodo 1973-2017. Se identificaron cambios drásticos y avulsiones fuertes (cambio de cauce) para el periodo de 1985 - 1998 en el tramo central del cauce del río Achiguate. Sin embargo, en el 2017 retoma una trayectoria similar que ocupaba en 1973. Otro tramo con cambios fuertes es la parte alta de la zona de estudio (sistema focal), observándose una reducción drástica en la anchura del río, estimado en un 87% de reducción para el 2017.

El río Sis-Icán, clasificado como un río meándrico, presentó una reducción de su sinuosidad, disminuyendo su índice de 2.06 a 1.79, para el período 1985-2017. Dicha situación puede estar generando una retroalimentación en los procesos geomorfológicos del río con consecuencias aguas abajo (sección intermedia y final del río), especialmente, en la dinámica hidrológica, la frecuencia y magnitud de los eventos de inundación, además de las zonas de posibles cambios en las zonas históricas de impacto.

El territorio del Achiguate presentó un incremento de superficie de asentamientos humanos establecidos en áreas con exposición a eventos de inundación, estimado en 74 hectáreas (140.8 a 215). Para la otra zona de estudio, la cuenca del río Sis-Icán, se estimaron 27 hectáreas de

incremento (68 a 95) de asentamientos humanos que se encuentran en exposición a inundaciones.

Las superficies agrícolas que se encuentran expuestas a los eventos de inundación en el territorio del Achiguate, se estimaron en 5,131 hectáreas. En la cuenca Sis-Icán, se estimaron un total de 2,570 hectáreas de superficie agrícola expuestas a eventos de inundación.

El enfoque principal de la presente tesis fue analizar el estado de la resiliencia ante eventos de inundación a través de variables indicadoras y proxis. La pregunta principal de investigación planteada fue ¿Cómo ha cambiado la resiliencia a las inundaciones en hogares y comunidades ubicadas en ambos territorios de estudio?

La evidencia empírica en un contexto rural guatemalteco y representativo de Centroamérica, discutida en el capítulo V, muestra la existencia de niveles considerados *muy bajo* y *bajo* de resiliencia de los hogares y comunidades ante los eventos de inundación. Para las comunidades en general dentro del territorio de la cuenca del río Achiguate, se estimó un nivel *muy bajo* de resiliencia ante eventos de inundación, condición similar en las tres comunidades estudiadas. Si bien, los niveles de resiliencia de las comunidades y hogares son muy bajos, un 27.0 % de los hogares, en función de su percepción, manifestaron una recuperación económica y/o física ante los eventos de inundación más recientes.

El promedio general de la resiliencia para las comunidades de la cuenca del río Sis-Icán fue estimada en un nivel *bajo*. Basado en los 24 indicadores empleados y a su vez agrupados en tres grandes dimensiones, las tres comunidades muestran los mismos niveles en las dimensiones de capacidad de amortiguamiento y capacidad de aprendizaje. A excepción de la Comunidad Línea B20, categorizada con un nivel *medio* en capacidad de aprendizaje, que se vincula, porque los hogares tienen mayor exposición a las inundaciones y mayor memoria histórica.

Un hallazgo con relación a la Comunidad Agraria La Vega, ubicada en cuenca del río Sis-Icán, seleccionada deliberadamente por su matiz de baja exposición a los eventos de inundación, presentó un nivel *bajo* de resiliencia. Las condiciones particulares del territorio en estudio reflejan que no necesariamente las comunidades (hogares) que más afrontan inundaciones sufren una degradación/erosión de su resiliencia o viceversa, sino que se fortalecen, observado primordialmente en el territorio del Sis-Icán. Más bien, es probable que existan otros tipos de perturbaciones o choques que estén afectando el sistema comunitario, aunado, al tipo de respuesta de los hogares ante situaciones de estrés y efectos de problemas socioeconómicos estructurales históricos del país.

Los resultados de los escenarios de resiliencia, la tendencial E1, muestran que las comunidades del Achiguate presentan una tendencia de un ligero incremento de su resiliencia desde 1985 hasta el 2018, situación que se mantendría a mediados del Siglo XXI. En el caso de las comunidades del Sis-Icán, la tendencia es una ligera disminución de la resiliencia para el mismo período, y proyectándose una reducción al 2050.

Otro de los hallazgos del capítulo V, es la fuerte evidencia de un capital social débil en las seis comunidades estudiadas (Achiguate y Sis-Icán). Cada territorio presenta diferentes matices en las respectivas variables indicadoras de cada dimensión de resiliencia. Sin embargo, se identificó que la estructura social es débil y poco organizada para dar respuesta a las inundaciones y otros factores socioeconómicos y ambientales para el desarrollo comunitario. Además, se requiere mayor profundización en la investigación del capital y los mecanismos sociales que contribuyan al fortalecimiento y debilitamiento de la resiliencia.

La combinación de variables de ahorro y su percepción de recuperación y, una segunda opción, entre el nivel educativo del jefe de hogar y su percepción de recuperación, sugiere que no existe asociación entre la recuperación ante los eventos de inundación y su capacidad de ahorro o nivel educativo (jefe del hogar). Por esto, resulta necesario

identificar y evaluar otros factores socioecológicos que influyen en la resiliencia de los sistemas.

Basado en los resultados, el presente estudio contribuye a dimensionar la resiliencia, brindando detalles de su atributo en un contexto de asentamientos (comunidades) rurales de Centroamérica y Latinoamérica, con medios de vida basados en la agricultura. Aunado, a condiciones de escasa o nula información. Los hogares y comunidades en ambos territorios estudiados poseen un nivel *bajo* y *muy bajo* de resiliencia, condición que no les permite enfrentar adecuadamente con los impactos de los eventos de inundación. Además, permite generar conocimiento vinculado a la resiliencia y ponerlo a disposición de la comunidad científica relacionada alrededor del mundo. Reconociendo que la mayor productividad en este campo es generada Estados Unidos de América y otros países desarrollados con absoluta ventaja

Aunado a lo anterior, el presente estudio aporta a esta disciplina de la resiliencia a través de la operacionalización de una propuesta metodológica, en este caso la propuesta de Ifejika Speranza et al. (2014) con un enfoque de sistemas socio-ecológicos.

6.1.1 Aportes del estudio al campo a la teoría de la resiliencia y sus limitaciones.

La estimación de la resiliencia a nivel local, fundamentalmente en un contexto rural, y en condiciones de escasa información, se convierte en un reto para esta disciplina científica, así también para cualquiera de las otras disciplinas.

En un análisis de 2,286 artículos publicados en el periodo 1967 al 2005 en el campo de la resiliencia, vulnerabilidad y adaptación, la mayoría de las publicaciones han sido generadas por investigadores (primer autor) afiliados a centros de investigación ubicados en países desarrollados, destacando los países más productivos a Estados Unidos de América, Reino Unido y Canadá, seguidos por Australia, Holanda, Suecia, Alemania, Francia, Sudáfrica e India (Janssen *et al.*, 2006).

En otro estudio más reciente y específico sobre el campo de la resiliencia para el periodo de 1997 al 2017, muestra que los artículos fueron publicados en 89 revistas y se contabilizaron 441 investigadores de 37 países diferentes. La distribución de las publicaciones muestran que los países más productivos son Estados Unidos de América, Canadá, Reino Unido y Australia (Fraccascia et al., 2018). Xue *et al.* (2018), en otro análisis confirma que la investigación en la ciencia de la resiliencia está extremadamente concentrada en pocos países, Estados Unidos con una absoluta ventaja en dicho campo de investigación.

La necesidad de generar conocimiento sobre el grado y comportamiento de la resiliencia a nivel local (comunitario) y, bajo condiciones de comunidades rurales de Guatemala y, representativas de Latinoamérica, fue una de las razones que motivó esta investigación doctoral. Además de la oportunidad de ampliar los límites de esta disciplina científica en este tipo de contexto de países en vías de desarrollo. Guerra (2010), menciona que existe una obligación para expandir los límites de la ciencia y crear nuevo conocimiento y métodos.

Aunado a lo anterior, el presente estudio aporta a esta disciplina de la resiliencia a través de la operacionalización de un método, en este caso la propuesta metodológica de Ifejika Speranza *et al.* (2014). Fraccascia *et al.* (2018) argumentan que del número de teorías desarrolladas sobre la resiliencia en cada campo de investigación aún carece de operacionalización y de pruebas (testeo). Esto es especialmente cierto para el área de investigación de ciencias ambientales - ecología, que es la mayor trayectoria en este campo.

El enfoque metodológico empleado para la presente tesis se alinea con los métodos utilizados en los artículos analizados por Fraccascia *et al.* (2018), que encontraron que las metodologías adoptadas en los artículos en cada área de investigación de la resiliencia está basada en 1) casos de estudio, 2) modelos conceptuales, 3) simulación, 4) encuestas y 5) modelos analíticos. En promedio el modelo conceptual

fue la metodología más adoptada, seguido por los estudios de caso. El 51.06% de los artículos científicos en las ciencias ambientales y la ecología emplearon la metodología de modelos conceptuales, seguido por los estudios de caso con 34.04 % y las simulaciones con 11.70%.

Basado en los resultados, el presente estudio contribuye a dimensionar la resiliencia, brindando detalles de sus atributos en un contexto de asentamientos (comunidades) rurales de Centroamérica y Latinoamérica, con medios de vida basados en la agricultura. Se encontró que los hogares y comunidades en ambos territorios poseen un nivel *bajo* y *muy bajo* de resiliencia, condición que no les permite enfrentar adecuadamente los impactos de los eventos de inundación y la condición de vida puede ir degradándose a través del tiempo.

A través de este estudio se confirmó que la resiliencia es una propiedad intrínseca de los sistemas que es compleja de medirla directamente, y que es el resultado de una combinación de factores ambientales y socioeconómicos de los grupos humanos y elementos físicos de los territorios dónde estos últimos están ubicados. Lo que le confiere un alto grado de dificultad y complejidad de capturar un valor de la resiliencia.

Dentro de los hallazgos del estudio, las inundaciones en ambas áreas bajo análisis, Achiguate y Sis-Icán, no han causado directamente pérdidas de vidas humanas, hasta la fecha, aunque se reportan otros tipos de efectos. En ambos territorios, en promedio, el 32.8% de los hogares creen que el efecto más grave derivado de las inundaciones son las enfermedades gastrointestinales y de piel.

En el caso del territorio del Achiguate, el 15.07% de los hogares creen que la falta de alimentos y daños en viviendas son los efectos más importantes de las inundaciones. En contraste el territorio del Sis-Icán, el 22.73% de los hogares reportan las pérdidas de cosecha como lo más grave de las inundaciones, seguido por la falta de alimentos (17.05% de los hogares).

Se combinaron y utilizaron tres metodologías para el análisis de la resiliencia, entre estos el modelo conceptual, el estudio de caso y la aplicación de encuestas. Como se resaltó en párrafos anteriores, son las de mayor aplicabilidad y permitieron en un contexto con baja disponibilidad de información generar detalles de los atributos de las dimensiones del proxi resiliencia a una resolución de hogar en dos territorios con contextos bio-físicos diferentes.

El modelo conceptual como metodología fue una valiosa herramienta para incorporar los componentes (subsistemas) de mayor influencia en la dinámica de resiliencia en los sistemas, fundamentalmente, los ríos y, el volcán de Fuego en lo particular para el territorio del Achiguate. Los modelos conceptuales generados permitieron proyectar a mediano plazo el comportamiento probable de la resiliencia comunitaria para los territorios Achiguate y Sis-Icán, bajo tres escenarios posibles.

Los enfoques de evaluación cualitativa miden la resiliencia del sistema o diseñan el índice de evaluación que se puede utilizar para medir el nivel de resiliencia del sistema (Speranza *et al.* 2014, citado en Xue *et al.*, 2018).

Se efectuó una correlación para las variables: hogares que reportaron ahorro y su percepción de recuperación y, una segunda opción, entre el nivel educativo del jefe de hogar y su percepción de recuperación. Los resultados revelan una nula correlación entre su recuperación ante los eventos de inundación y su capacidad de ahorro o nivel educativo (jefe del hogar). En el contexto de ambos territorios, los datos confirman que los hogares tienen limitaciones de ingresos, y consecuentemente en su capacidad de ahorro.

Los hallazgos brindan orientación a los formuladores de políticas de gestión de riesgo a desastres y planificación territorial. Esto puede aportar a nivel nacional, regional en Guatemala o de cuencas hidrográficas y, especialmente, local (comunidades) sobre dónde orientar la ocupación de territorio y evitar asentamientos en áreas que

históricamente ha estado expuesto a eventos de inundación o que pertenezcan a zonas de movilidad de los cauces de los principales ríos en ambas cuencas de estudio, es decir zonificación de áreas expuesta a inundaciones. Dichas políticas y acciones reducirían las pérdidas de bienes y activos humanos, pero especialmente, pérdidas de vidas humanas en el futuro, que hasta la fecha no se reportan fallecidos a causa de inundaciones en las áreas de estudio.

Los resultados del presente estudio pueden guiar a las propias comunidades y las distintas organizaciones gubernamentales o no gubernamentales a diseñar acciones y/o inversiones que conduzcan hacia mejores condiciones de resiliencia comunitaria ante perturbaciones como las inundaciones. Además, los hallazgos del estudio pueden apoyar a las comunidades a conducirse hacia un genuino desarrollo comunitario atendiendo y alineándose a las políticas y agendas internacionales en desarrollo sostenible y cambio global. Con la consigna de reducir la cantidad de pérdidas por inundaciones y promover la construcción de comunidades humanas más resilientes a las inundaciones a lo largo de la costa del Pacífico de Guatemala, no solo en términos de ahorros económicos, sino también, para evitar pérdidas humanas en el futuro, situación que no se reporta en la actualidad.

Dentro de las recomendaciones pragmáticas en la línea de mejorar la resiliencia comunitaria, los esfuerzos de las comunidades y organizaciones dentro de cada uno de los territorios debe enfocarse a desarrollar y mejorar la competencia comunitaria (capital social), ya que los resultados del presente estudio (detalles en el capítulo V) revelan una capacidad comunitaria (capital social) muy débil. Se debe considerar un trabajo arduo en crear, fortalecer o modificar la organización social (estructura social) y la agencia comunitaria (fortalecer o crear agentes sociales genuinos) para conducir a la acción social y a la autoorganización para crear sistemas sociales más resilientes. Vaneckhaute *et al.* (2017) sugieren que los procesos de desarrollo comunitario pueden tener un papel clave en el fortalecimiento de la resiliencia de la comunidad. Dichos procesos,

pueden utilizarse para mejorar los recursos comunitarios, reconfigurar estructuras sociales o crear agentes corporativos.

6.1.2 Limitaciones del estudio:

La metodología empleada está enfocada más en el análisis de los hogares con medios de vida agrícola, lo que no permitió capturar algunos elementos de los hogares que no practican actividades agropecuarias, sub-dimensionando el nivel de resiliencia de dichos hogares, al no contemplar otros elementos o estrategias de medios de vida para lidiar con las inundaciones.

La resiliencia es una propiedad de los sistemas socioecológicos compleja de medir y dado a que es un concepto normativo y en proceso de construcción y evolución, tiene que ser inferido y no puede ser directamente observado o medido (Ifejika Speranza *et al.*, 2014).

La falta de datos históricos sobre las variables indicadoras a nivel comunitario no permitió efectuar un comparativo más preciso de la evolución de los medios de vida y se tuvo que confiar en los resultados del modelo matemático de resiliencia para cada área estudiada, lo que conlleva mayor incertidumbre sobre las condiciones pasadas de los hogares y la estimación del comportamiento a mediano plazo y largo plazo.

A pesar de que se recopiló información relacionada a familiares que han migrado a otras áreas del país y, especialmente a los Estados Unidos de América, los resultados muestran que el aporte, especialmente económico, no ha sido determinante para los ingresos económicos de los diferentes hogares. Aunque, la variable empleada presenta limitaciones de información, aunado a lo sensible de consultar este tipo de información a nivel de hogar en el contexto de estudio por sus posibles repercusiones de seguridad de los integrantes de las familias e información que podrían emplear grupos delictivos en el territorio.

Resilience Alliance (2010), sugiere que el primer paso para la evaluación de la resiliencia es definir los límites del sistema socioecológico que sería sujeto de evaluación. Esos límites son espaciales y temporales y, resulta necesario identificar un problema principal para su evaluación. Agrega, que no existe una manera perfecta para definir los límites de un sistema.

Un manejo de un sistema socioecológico requiere por tanto un entendimiento de que está pasando a múltiples escalas y cualquier sistema es influenciado por factores externos al sistema focal. Además, como responde el sistema focal por las limitaciones impuestas de un sistemas más grande o de una innovación de sistemas a escalas más pequeñas anidadas dentro del sistema focal (Resilience Alliance, 2010).

Otra de las limitantes del estudio fue desarrollar un análisis robusto de la relación más precisa entre las diferentes coberturas del territorio, geología y otros aspectos geomorfológicos sobre la frecuencia y magnitud de los eventos de inundación. Una de las principales razones es la ausencia de datos e información precisa sobre dichos aspectos en ambos territorios de estudio.

Los vacíos y la baja densidad de datos climáticos y registros de cobertura de los eventos de inundación limitaron la identificación de señales de tendencias de los eventos de inundación y factores más precisos que detonan o magnifican su impacto. Por lo tanto, tiene efectos sobre los resultados del presente estudio, especialmente en la frecuencia y magnitud de las inundaciones de cara al futuro, y especialmente el aporte en incremento o reducción del flujo de agua por cambios de uso de la tierra.

En aspectos de economía, políticas nacionales en Guatemala, la influencia del mercado regional (guatemalteco) y la globalización tampoco fueron considerados dentro del estudio. Wagner (2001) citado por Guerra (2010), señala que Guatemala ha sido afectada fuertemente (de alguna forma) por la globalización desde la conquista en 1524. Desde entonces, su economía ha sido parte de las cadenas mundiales de

productos básicos y ha dependido de ellas, especialmente después de la independencia.

7 Referencia bibliográfica

Adger, W., Hughes, T., Folke, C., Carpenter, S. y Rockström, J. (2005) "Social-Ecological Resilience to Coastal Disasters", *Science (New York, N.Y.)*, 309, pp. 1036–9. doi:10.1126/science.1112122.

Aldeghi, Carn, Escobar-Wolf y Groppelli, G. (2019) "Volcano Monitoring from Space Using High-Cadence Planet CubeSat Images Applied to Fuego Volcano, Guatemala", *Remote Sensing*, 11, p. 2151. doi:10.3390/rs11182151.

Aldunce, P., Beilin, R., Howden, M. y Handmer, J. (2015) "Resilience for disaster risk management in a changing climate: Practitioners' frames and practices", *Global Environmental Change*, 30, pp. 1–11. doi:10.1016/j.gloenvcha.2014.10.010.

Amirebrahimi, S., Rajabifard, A., Mendis, P. y Ngo, T. (2015) "A framework for a micro-scale flood damage assessment and visualization for a building using BIM-GIS integration", *International Journal of Digital Earth*, 9. doi:10.1080/17538947.2015.1034201.

Anderies, J. M., Walker, B. H. y Kinzig, A. P. (2006) "Fifteen Weddings and a Funeral: Case Studies and Resilience-based Management", *Ecology and Society*, 11(1). doi:10.5751/ES-01690-110121.

Avila-Foucat, V. S. y Martínez, A. F. (2018) "Households' Resilience to Hurricanes in Coastal Communities of Oaxaca, Mexico", *Society & Natural Resources*, 31(7), pp. 807–821. doi:10.1080/08941920.2018.1443236.

Barth, N.-C. y Döll, P. (2016) "Assessing the ecosystem service flood protection of a riparian forest by applying a cascade approach", *Ecosystem Services*, 21, pp. 39–52. doi:10.1016/j.ecoser.2016.07.012.

Berkes, F. y Ross, H. (2013) "Community Resilience: Toward an Integrated Approach", *Society & Natural Resources*, 26(1), pp. 5–20. doi:10.1080/08941920.2012.736605.

Beven, J.L. (2010) "Tropical Cyclone Report: Tropical Storm Agatha". Disponible en: https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/EP012010_Agatha.pdf (Consultado: el 19 de noviembre de 2018).

Bhattacharjee, K. y Behera, B. (2018) "Does forest cover help prevent flood damage? Empirical evidence from India", *Global Environmental Change*, 53, pp. 78–89. doi:10.1016/j.gloenvcha.2018.09.004.

Bhattacharya-Mis, N. y Lamond, J. (2014) "Socio-economic Complexities of Flood Memory in Building Resilience: An Overview of Research", *Procedia Economics and Finance*, 18. doi:10.1016/S2212-5671(14)00920-4.

Biehl, L. (2016) "MultiSpec Flood Tutorial". Disponible en: https://engineering.purdue.edu/~biehl/MultiSpec/tutorials/MultiSpec_Flood_Tutorial.pdf (Consultado: el 4 de diciembre de 2018).

Bierman, P.R. y Montgomery, D.R. (eds.) (2013) *Key concepts in geomorphology*. United States of America: WH Freeman and Company Publishers.

Bin Rahman, A. N. M. R. y Zhang, J. (2016) "Flood and drought tolerance in rice: opposite but may coexist", *Food and Energy Security*, 5(2), pp. 76–88. doi:<https://doi.org/10.1002/fes3.79>.

Birkmann, J. (ed.) (2006) *Measuring vulnerability to natural hazards: towards disaster resilient societies*. Tokyo, Japan: United Nations University Press.

le Blanc, A. (2015) "10 - Resilience, Memory and Practices", en Reghezza-Zitt, M. y Rufat, S. (eds.) *Resilience Imperative*. Elsevier, pp. 187–199. doi:10.1016/B978-1-78548-051-5.50010-3.

Borsekova, K., Nijkamp, P. y Guevara, P. (2018) "Urban resilience patterns after an external shock: An exploratory study", *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 31, pp. 381–392. doi:10.1016/j.ijdr.2018.05.012.

Brand, F. y Jax, K. (2006) "Focusing the Meaning(S) of Resilience: Resilience as a Descriptive Concept and a Boundary Object", *Ecology and Society*, 12. doi:10.5751/ES-02029-120123.

Brookhuis, B. J. y Hein, L. G. (2016) "The value of the flood control service of tropical forests: A case study for Trinidad", *Forest Policy and Economics*, 62, pp. 118–124. doi:10.1016/j.forpol.2015.10.002.

Bruijnzeel, L. A. (2004) "Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees?", *Environmental Services and Land Use Change: Bridging the Gap between Policy and Research in Southeast Asia*, 104(1), pp. 185–228. doi:10.1016/j.agee.2004.01.015.

Camporeale, C., Perucca, E. y Ridolfi, L. (2008) "Significance of cutoff in meandering river dynamics", *J. Geophys. Res.*, 113. doi:10.1029/2006JF000694.

Carpenter, S., Walker, B., Anderies, J. M. y Abel, N. (2001) "From Metaphor to Measurement: Resilience of What to What?", *Ecosystems*, 4(8), pp. 765–781. doi:10.1007/s10021-001-0045-9.

Castellanos, E. y Guerra, A.A. (2009) "El cambio climático y sus efectos sobre el desarrollo humano en Guatemala". Serigráfica. Disponible en: http://uvg.edu.gt/investigacion/ceab/cea/doc/otras%20publicaciones/C_C_y_desarrollo_humano_PNUD_E_Castellanos_A_Guerra.pdf.

CEPAL (1999) *Guatemala: Evaluación de los daños ocasionados por el huracán Mitch 1998*. México, p. 135.

Chambers, R. y Conway, G. (1992) "Sustainable rural livelihoods: practical concepts for the 21st century", *IDS Discussion Paper*, 296.

Charlton R. (2008) *Fundamentals of fluvial geomorphology*. New York, NY 10016: Routledge.

Chougale, S. y Sapkale, Dr. J. (2017) "Effect of sinuosity on flood disaster: A Study of Kadvi river channel, Maharashtra", *Disaster Advances*, 10, pp. 11–20.

Consejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Cuyotenango y Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (2010) "Plan de Desarrollo Cuyotenango 2011-2025".

Costanza, R., Wainger, L., Folke, C. y Mäler, K.-G. (1993) "Modeling Complex Ecological Economic Systems: Toward an Evolutionary, Dynamic Understanding of People and Nature", *Ecosystem Management*, 43, pp. 545–555. doi:10.1007/978-1-4612-4018-1_15.

Cutter, S. L., Barnes, L., Berry, M., Burton, C., Evans, E., Tate, E. y Webb, J. (2008) "A place-based model for understanding community resilience to natural disasters", *Local evidence on vulnerabilities and adaptations to global environmental change*, 18(4), pp. 598–606. doi:10.1016/j.gloenvcha.2008.07.013.

Dey, A., Gupta, A. y Singh, G. (2017) "Modelling Challenges for Climate and Community Resilient Socioecological Systems", en *Mathematical Advances Towards Sustainable Environmental Systems*, pp. 239–259. doi:10.1007/978-3-319-43901-3_11.

DFID (1999) "Hojas orientativas sobre los medios de vida sostenibles". Disponible en: <https://www.enonline.net/dfidsustainableliving>.

Di Baldassarre, G. (2012) *Floods in a Changing Climate: Inundation Modelling*. Cambridge: Cambridge University Press (International Hydrology Series). doi:10.1017/CBO9781139088411.

Díaz B., RE y Alfaro M., EJ (2015) "El impacto social de los Ciclones Tropicales en América Central durante el siglo XX a través del análisis de fuentes hemerográficas", *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 14, pp. 14–28.

Dingle, E., Paringit, E., Tolentino, P., Williams, R., Hoey, T., Barrett, B., Long, H., Smiley, C. y Stott, E. (2019) "Decadal-scale

morphological adjustment of a lowland tropical river", *Geomorphology*, 333. doi:10.1016/j.geomorph.2019.01.022.

EM-DAT (2020) *The Emergency Events Database*. Brussels, Belgium: Université catholique de Louvain (UCL) - CRED, D. Guha-Sapir. Disponible en: <https://public.emdat.be/>.

Escobar W., R. (2013) *Volcanic processes and human exposure as elements to build a risk model for Volcan de Fuego, Guatemala*. Michigan Technological University. Disponible en: <https://digitalcommons.mtu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1638&context=etds>.

Ferrés, D. y Escobar W., R. (2018) *Informe técnico: Volcán de Fuego*. Técnico. Guatemala: ACH y AECID, p. 171. Disponible en: file:///C:/Users/Pabloyax/Downloads/VOLCANdeFUEGO2019LR_190306.pdf.

Filoso, S., Bezerra, M. O., Weiss, K. C. B. y Palmer, M. A. (2017) "Impacts of forest restoration on water yield: A systematic review", *PLOS ONE*, 12(8), p. e0183210. doi:10.1371/journal.pone.0183210.

Folke, C. (2006) "Resilience: The emergence of a perspective for social–ecological systems analyses", *Resilience, Vulnerability, and Adaptation: A Cross-Cutting Theme of the International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change*, 16(3), pp. 253–267. doi:10.1016/j.gloenvcha.2006.04.002.

Folke, C., Biggs, R., Norström, A. V., Reyers, B. y Rockström, J. (2016) "Social-ecological resilience and biosphere-based sustainability science", *Ecology and Society*, 21(3). doi:10.5751/ES-08748-210341.

Fraccascia, L., Giannoccaro, I. y Albino, V. (2018) "Resilience of Complex Systems: State of the Art and Directions for Future Research", *Complexity*. Editado por M. De Domenico, 2018, p. 3421529. doi:10.1155/2018/3421529.

Gobierno de Guatemala (2002) "Reglamento de la Ley de Consejos de Desarrollo Urbano y Rural".

Gobierno de Guatemala (2016) "Ley y Reglamento: Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres".

Gobierno de Guatemala, BID, Banco Mundial, CEPAL, FMI, Fondo de Población de las Naciones Unidas, PNUD, Sistema de Naciones Unidas y Facilidad Global para la Reducción de Desastres y Recuperación (2010) "Evaluación de daños y pérdidas sectoriales y estimación de necesidades ocasionados por desastres naturales en Guatemala entre mayo septiembre de 2010". Disponible en: https://www.gfdr.org/sites/default/files/Evaluacion_de_danos_y_perdidas_AGATHA_Y_PACAYA_oct_8_2010_reduced.pdf.

Guerra, A.A. (2010) *Climate-related disaster risk in mountain areas: the Guatemalan highlands at the start of the 21st Century*. Doctoral. Oxford University. Disponible en: <https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2016/12/Climate-related-disaster-risk-in-mountain-areas.pdf>.

Guiney, J. L. y Lawrence, M. B. (1999) "Preliminary Report Hurricane Mitch". Disponible en: https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL131998_Mitch.pdf.

Hazarika, N., Barman, D., Kumar Das, A., Sarma, A. y Borah, S. (2016) "Assessing and mapping flood hazard, vulnerability and risk in the Upper Brahmaputra River valley using stakeholders' knowledge and Multi-Criteria Evaluation (MCE)", *Journal of Flood Risk Management*. doi:10.1111/jfr3.12237.

Heemskerk, M., Wilson, K. y Pavao-Zuckerman, M. (2003) "Conceptual Models as Tools for Communication Across Disciplines", *Ecology and Society*, 7(3). Disponible en: <https://www.ecologyandsociety.org/vol7/iss3/art8/>.

Horton, A. J., Nygren, A., Diaz-Perera, M. A. y Kummu, M. (2021) "Flood severity along the Usumacinta River, Mexico: Identifying the anthropogenic signature of tropical forest conversion", *Journal of Hydrology X*, 10, p. 100072. doi:10.1016/j.hydroa.2020.100072.

IARNA-URL (2009) *Perfil Ambiental de Guatemala 2008-2009: las señales ambientales críticas y su relación con el desarrollo*. Guatemala (Perfil ambiental de Guatemala, 11). Disponible en: <http://www.infoiarna.org.gt/wp-content/uploads/2017/11/Perfilambiental2008-2009DocumentoCompleto.pdf>.

IARNA-URL (2012) *Análisis sistémico de la deforestación en Guatemala y propuesta de políticas para revertirla*. Guatemala (Técnica, 38).

Ifejika Speranza, C., Wiesmann, U. y Rist, S. (2014) "An indicator framework for assessing livelihood resilience in the context of social-ecological dynamics", *Global Environmental Change*, 28, pp. 109–119. doi:10.1016/j.gloenvcha.2014.06.005.

INAB, CONAP, MAGA, MARN, UVG, y URL (2019) "Cobertura forestal de Guatemala 2016 y dinámica de cobertura forestal 2010-2016". Guatemala.

INSIVUMEH (2012) "Volcán de Fuego". Disponible en: http://www.insivumeh.gob.gt/folletos/folleto_fuego.pdf.

INSIVUMEH (2018) *Base de datos de caudal La Máquina*. Guatemala.

Instituto Geográfico Nacional (2000) *Diccionario geográfico Nacional de Guatemala*. 2da. Edición. Guatemala.

Instituto Nacional de Estadística (1996) "Censo de 1994: Características generales de la población", en. Guatemala. Disponible en:

https://www.wikiguate.com.gt/w/images/a/a9/Censo_1994_Caracteristicas_Generales_de_la_Poblacion.pdf.

Instituto Nacional de Estadística (2002) "Censo 2002 XI Censo Nacional de Población y VI de Habitación 2002".

Instituto Nacional de Estadística (2019) "Principales resultados Censo 2018".

Instituto Nacional de Estadística (2020) "Canasta Básica Alimentaria (CBA) y Canasta Ampliada (CA) Diciembre de 2019".

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (2005) "Resumen del impacto asociado al huracán "Stan" en Guatemala". Disponible en: http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/Informe_STAN.pdf.

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (2010) "Resumen del impacto meteorológico tormenta tropical Agatha mayo 2010". Disponible en: <http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/agatha.pdf>.

Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (2012) "Estudio hidrológico de la cuenca del río Achiguate". Disponible en: <https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2017/07/Estudio-Hidrologico-Achiguate-mini.pdf>.

Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (2018) *Informe de labores 2017*. Labores. Guatemala: Serviprensa, p. 93. Disponible en: <https://icc.org.gt/es/informe-de-labores-2017/>.

IPCC (2014) "Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad – Resumen para responsables de políticas".

Janssen, M. A., Schoon, M. L., Ke, W. y Börner, K. (2006) "Scholarly networks on resilience, vulnerability and adaptation within the human dimensions of global environmental change", *Resilience, Vulnerability, and Adaptation: A Cross-Cutting Theme of the International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change*, 16(3), pp. 240–252. doi:10.1016/j.gloenvcha.2006.04.001.

Julian, J. P., Podolak, C. J. P., Meitzen, K. M., Doyle, M. W., Manners, R. B., Hester, E. T., Ensign, S. y Wilgruber, N. A. (2016) "Chapter 2 - Shaping the Physical Template: Biological, Hydrological, and Geomorphic Connections in Stream Channels", en Jones, J. B. y Stanley, E. H. (eds.) *Stream Ecosystems in a Changing Environment*. Boston: Academic Press, pp. 85–133. doi:10.1016/B978-0-12-405890-3.00002-6.

Kerner, D. A. y Thomas, J. S. (2014) "Resilience Attributes of Social-Ecological Systems: Framing Metrics for Management", *Resources*, 3(4), pp. 672–702. doi:10.3390/resources3040672.

Kerr, S. E. (2018) "Chapter 22 - Social Capital as a Determinant of Resilience: Implications for Adaptation Policy", en Zommers, Z. y Alverson, K. (eds.) *Resilience*. Elsevier, pp. 267–275. doi:10.1016/B978-0-12-811891-7.00022-0.

Kotzee, I. y Reyers, B. (2016) "Piloting a social-ecological index for measuring flood resilience: A composite index approach", *Ecological Indicators*, 60, pp. 45–53. doi:10.1016/j.ecolind.2015.06.018.

Kuethé, J. R. y Watson, I. (2019) "Dynamic factors that drive lahar generation on Volcán Fuego, Guatemala and indicators for predicting such generation", en.

Laurien, F., Hochrainer-Stigler, S., Keating, A., Campbell, K., Mechler, R. y Czajkowski, J. (2020) "A typology of community flood resilience", *Regional Environmental Change*, 20(1), p. 24. doi:10.1007/s10113-020-01593-x.

Lawrence, M.B. y Gross, J. M., (1989) "Annual Summaries. Atlantic Hurricane Season of 1988.". Disponible en: http://sunburn.aoml.noaa.gov/hrd/hurdat/mwr_pdf/1988.pdf.

Lehner, B., Doell, P., Alcamo, J., Henrichs, T. y Kaspar, F. (2006) "Estimating the Impact of Global Change on Flood and Drought Risks

in Europe: A Continental, Integrated Analysis", *Climatic Change*, 75, pp. 273–299. doi:10.1007/s10584-006-6338-4.

Magis, K. (2010) "Community Resilience: An Indicator of Social Sustainability", *Society & Natural Resources*, 23(5), pp. 401–416. doi:10.1080/08941920903305674.

Marchese, D., Reynolds, E., Bates, M. E., Morgan, H., Clark, S. S. y Linkov, I. (2018) "Resilience and sustainability: Similarities and differences in environmental management applications", *Science of The Total Environment*, 613–614, pp. 1275–1283. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.09.086.

Matarrita-Cascante, D., Trejos, B., Qin, H., Joo, D. y Debner, S. (2017) "Conceptualizing community resilience: Revisiting conceptual distinctions", *Community Development*, 48(1), pp. 105–123. doi:10.1080/15575330.2016.1248458.

Miller, F., Osbahr, H., Boyd, E., Thomalla, F., Bharwani, S., Ziervogel, G., Walker, B., Birkmann, J., van der Leeuw, S., Rockström, J., Hinkel, J., Downing, T., Folke, C. y Nelson, D. (2010) "Resilience and Vulnerability: Complementary or Conflicting Concepts?", *Ecology and Society*, 15(3). doi:10.5751/ES-03378-150311.

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (2005) "Clasificación de reconocimiento de los suelos de Guatemala a escala 1:250000". Guatemala.

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (2015) "Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra, a escala 1:50,000 de la República de Guatemala año 2010". Guatemala.

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (2016) "Política agropecuaria 2016-2020". Disponible en: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/FAO-countries/Guatemala/Publicaciones/Política_Agropecuaria_BAJA-.pdf.

Ministerio de Agricultura y Ganadería (2001) "Mapa fisiográfico-geomorfológico de la República de Guatemala, a escala 1:250,00". Disponible en: http://web.maga.gob.gt/wp-content/blogs.dir/13/files/2013/widget/public/mapa_fisiografia_memoria_2001.pdf.

Ministerio de Agricultura y Ganadería (2005) *Cuantificación de Daños Provocados por la Tormenta Stan al Sector Agropecuario, Forestal e Hidrobiológico, octubre 2005*. Guatemala: MAGA.

Ministerio de Agricultura y Ganadería (2009) "Mapa de Cuencas Hidrográficas a escala 1:50,000, República de Guatemala, Método Pfafstetter". Disponible en: http://web.maga.gob.gt/wp-content/blogs.dir/13/files/2013/widget/public/memoria_cuencas_50000.pdf.

Molina C., J. (2005) *De trapiche a ingenio: La aventura de una empresa familiar*. Guatemala: Galería Guatemala de Fundación G&T Continental.

Naciones Unidas y CEPAL (1999) "Construyendo capital social comunitario una experiencia de empoderamiento rural en Guatemala". Disponible en: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6262/S9900089_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Naciones Unidas y CEPAL (2005) "Efectos en Guatemala de las lluvias torrenciales y la tormenta tropical Stan, octubre de 2005". CEPAL. Disponible en: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/25777-efectos-guatemala-lluvias-torrenciales-la-tormenta-tropical-stan-octubre-2005>.

National Oceanic and Atmospheric Administration (2018) *Historical Hurricane Tracks, Historical Hurricane Tracks*. Disponible en: <https://coast.noaa.gov/hurricanes/>.

Notti, D., Giordan, D., Calò, F., Pepe, A., Zucca, F. y Galve, J. (2018) "Potential and Limitations of Open Satellite Data for Flood Mapping", *Remote Sensing*, 10. doi:10.3390/rs10111673.

Pasch, R.J. y Roberts, D.P. (2006) "Tropical Cyclone Report Hurricane Stan". Disponible en: https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL202005_Stan.pdf (Consultado: el 13 de noviembre de 2018).

Prajapati, K., Yadav, S. y Waikhom, S. (2017) "TEMPORAL CHANGE STUDY ON TAPI RIVER MEANDER USING REMOTE SENSING AND GIS", en.

Programa de Naciones Unidas (2020) *Guatemala, El PNUD en Guatemala*. Disponible en: <https://www.gt.undp.org/content/guatemala/es/home/countryinfo/> (Consultado: el 30 de marzo de 2021).

Purdue Research Foundation (2011) "An introduction & reference for MultiSpec". Disponible en: https://engineering.purdue.edu/~biehl/MultiSpec/MultiSpec_Intro_9_11.pdf (Consultado: el 5 de diciembre de 2018).

Purdue Research Foundation (2015a) "MultiSpec Tutorial 1". Disponible en: https://engineering.purdue.edu/~biehl/MultiSpec/tutorials/MultiSpec_Tutorial_1.pdf (Consultado: el 4 de diciembre de 2018).

Purdue Research Foundation (2015b) "MultiSpec Tutorial 3". Disponible en: https://engineering.purdue.edu/~biehl/MultiSpec/tutorials/MultiSpec_Tutorial_3.pdf (Consultado: el 4 de diciembre de 2018).

Purdue Research Foundation (2018) *MultiSpec*©. Disponible en: <https://engineering.purdue.edu/~biehl/MultiSpec/description.html> (Consultado: el 26 de noviembre de 2018).

Resilience Alliance (2010) "Assessing resilience in social-ecological systems: Workbook for practitioners. Version 2.0.". Disponible en: <http://www.resalliance.org/3871.php>.

Salvati, P., Petrucci, O., Rossi, M., Bianchi, C., Pasqua, A. A. y Guzzetti, F. (2018) "Gender, age and circumstances analysis of flood and landslide fatalities in Italy", *Science of The Total Environment*, 610–611, pp. 867–879. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.08.064.

Sánchez, O., Peters, E., Márquez Huitzil, R., Vega, E., Portales, G., Valdez, M. y Azuara, D. (2005) *Temas sobre Restauración ecológica*.

Sanyal, J. (2017) "Uncertainty in levee heights and its effect on the spatial pattern of flood hazard in a floodplain", *Hydrological Sciences Journal*, 62(9), pp. 1483–1498. doi:10.1080/02626667.2017.1334887.

Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (2015) "Informe final de cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo del Milenio".

Serrat, O. (2017) "The Sustainable Livelihoods Approach", en Serrat, O. (ed.) *Knowledge Solutions: Tools, Methods, and Approaches to Drive Organizational Performance*. Singapore: Springer Singapore, pp. 21–26. doi:10.1007/978-981-10-0983-9_5.

SESAN, USAID, MFEWS y FAO (2010) *Guatemala: perfiles de medios de vida*. Guatemala. Disponible en: http://fews.net/sites/default/files/documents/reports/gt_profile_es.pdf.

Singh, N. K., Wemple, B. C., Bomblies, A. y Ricketts, T. H. (2018) "Simulating stream response to floodplain connectivity and revegetation from reach to watershed scales: Implications for stream management", *Science of The Total Environment*, 633, pp. 716–727. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.03.198.

Sterk, M., van de Leemput, I. A. y Peeters, E. T. (2017) "How to conceptualize and operationalize resilience in socio-ecological

systems?", *Sustainability governance*, 28, pp. 108–113. doi:10.1016/j.cosust.2017.09.003.

Thalheim, B. (2011) "The Theory of Conceptual Models, the Theory of Conceptual Modelling and Foundations of Conceptual Modelling", en, pp. 543–577. doi:10.1007/978-3-642-15865-0_17.

Thapa, S., Marshall, F. y Stagl, S. (2010) "Understanding Peri-urban Sustainability: The role of the resilience approach", p. 46.

UNISDR (2011) *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction – Revealing risk, Redefining Development*. Geneva.

United States Agency for International Development (2020) *Where we work, Usaid Guatemala*. Disponible en: <https://www.usaid.gov/guatemala>.

USGS (2018) *Landsat Collections / Landsat Missions*. Disponible en: <https://landsat.usgs.gov/landsat-collections> (Consultado: el 25 de noviembre de 2018).

Vaneekhaute, L. E., Vanwing, T., Jacquet, W., Abelshausen, B. y Meurs, P. (2017) "Community resilience 2.0: Toward a comprehensive conception of community-level resilience", *Community Development*, 48(5), pp. 735–751. doi:10.1080/15575330.2017.1369443.

Vaughn, D. M. (2000) "Unit VI Unsupervised Classification Example". Disponible en: https://www.academia.edu/37271834/9.2.1_RS202_Unit_VI_Unsupervised_Classification_Example.

Voigt, S., Kemper, T., Riedlinger, T., Kiefl, R., Scholte, K. y Mehl, H. (2007) "Satellite Image Analysis for Disaster and Crisis-Management Support", *IEEE T. Geoscience and Remote Sensing*, 45, pp. 1520–1528. doi:10.1109/TGRS.2007.895830.

Walker, B., Carpenter, S., Anderies, J., Abel, N., Cumming, G., Janssen, M., Lebel, L., Norberg, J., Peterson, G. y Pritchard, R. (2006)

"Resilience management in social-ecological systems: a working hypothesis for a participatory approach", *Conserv. Ecol.*, 6.

Walker, B., Holling, C. S., Carpenter, S. R. y Kinzig, A. (2004) "Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems", *Ecology and Society*, 9(2). doi:10.5751/ES-00650-090205.

Wang, C., Zhang, Y., Yang, Y., Yang, Q., Kush, J., Xu, Y. y Xu, L. (2016) "Assessment of sustainable livelihoods of different farmers in hilly red soil erosion areas of southern China", *Ecological Indicators*, 64, pp. 123–131. doi:10.1016/j.ecolind.2015.12.036.

Wang, Y. (2004) "Using Landsat 7 TM data acquired days after a flood event to delineate the maximum flood extent on a coastal floodplain", *International Journal of Remote Sensing*, 25, pp. 959–974. doi:10.1080/0143116031000150022.

Xu, H. (2006) "Modification of Normalized Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery", *International Journal of Remote Sensing*, 27, pp. 3025–3033. doi:10.1080/01431160600589179.

Xu, L. y Kajikawa, Y. (2018) "An integrated framework for resilience research: a systematic review based on citation network analysis", *Sustainability Science*, 13(1), pp. 235–254. doi:10.1007/s11625-017-0487-4.

Xu, L., Marinova, D. y Guo, X. (2015) "Resilience thinking: a renewed system approach for sustainability science", *Sustainability Science*, 10(1), pp. 123–138. doi:10.1007/s11625-014-0274-4.

Xue, X., Wang, L. y Yang, R. J. (2018) "Exploring the science of resilience: critical review and bibliometric analysis", *Natural Hazards*, 90(1), pp. 477–510. doi:10.1007/s11069-017-3040-y.

Young, N.E., Anderson, R. S., Chignell, S.M., Vorster, A.G., Lawrence, R. y Evangelista, P. H. (2017) "A survival guide to Landsat preprocessing", *Ecology*.

Yousefi, S., Mirzaee, S., Keesstra, S., Piegay, H. y Pourghasemi, H. R.
(2017) *Geomorphological Impacts of an extreme Flood in Karoon
River, Iran.*



La sociedad mundial se encuentra en una era de rápidos cambios globales, pero, con efectos locales, que implican desafíos para una respuesta rápida y flexible de los diferentes sistemas socioecológicos. Se propuso responder ¿Cómo ha cambiado la resiliencia a las inundaciones en hogares y comunidades ubicadas en las partes bajas de las cuencas de los ríos Sis-Icán y Achiguate? A través de diferentes técnicas de sistemas de información geográfica y la aplicación de encuesta a jefes de hogares basado en una serie de indicadores de resiliencia. Se encontró una alta dinámica de las inundaciones en las dos cuencas de estudio. Aunado, a la evidencia empírica en un contexto rural centroamericano de la existencia de niveles de muy bajo y bajo de resiliencia de los hogares y comunidades ante eventos de inundación.