

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



**PROPUESTA PARA LA GENERACIÓN DE UNA
METODOLOGÍA PARA IDENTIFICAR ZONAS
VULNERABLES A DESASTRES NATURALES EN LA
CUENCA DEL RÍO ACHIGUATE (2007)**

M.Sc. Gricelda Lily Gutiérrez Álvarez
Coordinadora

M.Sc. Edwin Guillermo Santos Mansilla
Investigador

M.Sc. Hugo Antonio Tobías Vásquez
Investigador

Ing. Amado Adalberto López
Auxiliar de Investigación

Br. Renato de León
Auxiliar de Investigación

Índice General

	Pag.
I. RESUMEN	1
II. INTRODUCCIÓN	2
III. ANTECEDENTES	3
IV. JUSTIFICACIÓN	5
V. OBJETIVOS	7
VI. MARCO TEÓRICO	8
6.1 Definición de catástrofe o desastre natural	8
6.2 Tipos de desastres naturales	10
6.3 Qué es el fenómeno de “El Niño”, Oscilación del Sur (ENSO)?	13
6.4 Modelo	14
6.5 Simulaciones	14
6.6 Sistemas de Información Geográfica (SIG)	15
VII. METODOLOGÍA	19
A. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA	19
7.1 Recurso hídrico	19
7.2 Balance Hídrico	21
7.3 Clima	21
7.4 Uso de la tierra	24
B. IDENTIFICACIÓN DE ZONAS VULNERABLES A DESASTRES NATURALES	25
VIII. RESULTADOS	27
8.1 Localización del área de estudio	27
8.2 Ubicación político-administrativa y vías de acceso	28
8.3 Demografía	28
8.4 Educación	30
8.5 Características Biofísicas	31
8.5.1 Clima	31
8.5.2 Zonas de Vida	42
8.5.3 Recurso Hídrico	44
8.5.4 Aspectos de relieve	47
8.5.5 Tipos de Suelos	49
8.5.6 Uso y cobertura de la tierra	51
8.5.7 Áreas susceptibles a deslizamientos	54
8.5.8 Áreas susceptibles a sequías	56
IX. CONCLUSIONES	58
X. REFERENCIAS	59

Índice de Cuadros

Cuadro No.		Pag.
1	Pasos para la evaluación de riesgos a desastres naturales.	10
2	Escala de huracanes de Saffir-Simpson	12
3	Matriz de riesgo a deslizamientos en la cuenca del Río Achiguate.	25
4	Población total en la cuenca del Río Achiguate.	29
5	Población de la cuenca del Río Achiguate por grupos etareos	29
6	Nivel educativo por género de la población en la cuenca del Río Achiguate	30
7	Orden de corrientes dentro de la Cuenca del Río Achiguate.	44
8	Uso actual de la tierra en la cuenca del Río Achiguate.	52

Índice de Figuras

Fig. No.		Pag.
1	Pérdidas por sector provocadas por el Huracán Stan	6
2	Área afectada pro deslizamiento por el Huracán Stan	6
3	Probabilidad de ocurrencia de un fenómeno	8
4	Municipios y comunidades afectadas por Stan	11
5	Modelo de precipitación de acuerdo a la altitud	22
6	Modelo de evapotranspiración de acuerdo a la altitud.	23
7	Ubicación de la Cuenca del Río Achiguate.	27
8	Mapa de precipitación de la Cuenca del Río Achiguate.	32
9	Mapa de evapotranspiración de la Cuenca del Río Achiguate.	34
10	Comportamiento del clima en la Estación Balanyá.	35
11	Comportamiento del clima en la Estación Suiza Contenta.	36
12	Comportamiento del clima en la Estación San Martín Jilotepeque.	36
13	Comportamiento del clima en la Estación Alameda ICTA.	37
14	Comportamiento del clima en la Estación Sabana Grande.	37
15	Comportamiento del clima en la Estación Camantujul.	38
16	Comportamiento del clima en la Estación Tiquisate.	39
17	Comportamiento del clima en la Estación Puerto San José.	39
18	Mapa de Balance Hídrico de la Cuenca del Río Achiguate	41
19	Mapa de Zonas de Vida de la Cuenca del Río Achiguate	43
20	Mapa de Órdenes de Corrientes de la Cuenca del Río Achiguate.	45
21	Relación entre el orden de corriente y número de corrientes	46
22	Relación entre longitud y orden de corriente.	46
23	Mapa de Pendientes de la Cuenca del Río Achiguate.	48
24	Mapa de Taxonomía de Suelos de la Cuenca del Río Achiguate	50
25	Mapa de Uso de la Tierra de la Cuenca del Río Achiguate.	53
26	Mapa de Áreas Vulnerables a Deslizamiento en la Cuenca del Río Achiguate.	55
27	Mapa de Áreas Vulnerables a Sequía en la Cuenca del Río Achiguate.	57

XI. RESUMEN

A través de este estudio se identificaron zonas vulnerables a desastres naturales en la cuenca del Río Achiguate, auxiliándose de Sensores Remotos y Sistemas de Información Geográfica (SIG). Dentro de la amplia gama de desastres naturales esta investigación se enfocó básicamente en deslizamientos y sequías. Las zonas vulnerables a deslizamientos se identificaron usando principalmente las variables de cobertura, pendiente y profundidad del suelo. Las zonas con amenaza a sequía parten de los mapas de precipitación y evapotranspiración que fueron generados con modelos creados a partir de datos de las estaciones meteorológicas del INSIVUMEH (Instituto de Sismología, Vulcanología e Hidrología). Luego estos modelos fueron sustituidos en los modelos de elevación digital de la base de datos del MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación).

Los resultados más importantes son; **(i)** Posibilidad de sustituir modelos de diferentes variables biofísicas en modelos de elevación digital para generar una distribución confiable de la variable de estudio. Este resultado es valioso debido a que en la mayoría de los proyectos de investigación no se cuenta con datos de la variable de interés para toda el área bajo estudio, por lo general únicamente se dispone de algunos datos que a través de este proceso es posible extrapolar a toda el área de estudio. **(ii)** Generación de un mapa de zonas de alta, media y baja vulnerabilidad a deslizamientos en la Cuenca del Río Achiguate que se constituye en una herramienta útil para: Primero, planificar obras de contención en aquellas áreas de mayor susceptibilidad. Segundo, tomar en cuenta esta zonificación para realizar un ordenamiento territorial adecuado. **(iii)** Generación de un Mapa de Zonas de Amenaza a Sequía en la Cuenca del Río Achiguate lo que permite a los decisores locales: Primero, tomar las medidas de prevención necesarias para evitar la aparición de la desertificación. Segundo, contribuir a la seguridad alimentaria del país.

XII. INTRODUCCIÓN

Guatemala presenta gran diversidad en la configuración de su superficie debido a un complejo proceso geológico sumado a una continua actividad sísmica. Como respuesta a esta diversidad de paisajes se observa gran variabilidad de microclimas y una amplia diversidad de desastres naturales que causan alteraciones intensas en las personas, los bienes, los servicios y el ambiente que, en la mayoría de los casos, exceden la capacidad de respuesta de las comunidades afectadas.

En el país, debido a la creciente demanda de materias primas y habilitación de tierras para cultivos limpios, se ha dado un acelerado deterioro de los recursos naturales que ha provocado el desaparecimiento de muchos bosques protectores. En consecuencia, en las cuencas se ha disminuido la capacidad de retención de humedad de los suelos, provocando: Primero, que en época de lluvias se observen deslizamientos e inundaciones que dificultan las actividades de planificación a mediano y largo plazo en el sector industrial, agrícola y de la construcción. Segundo, que en época de verano se acentúe más la escasez de agua colocando en peligro la seguridad alimentaria de la población más vulnerable.

Actualmente se reconoce la interrelación de las variables biofísicas y los niveles de riesgo a desastres naturales para la población y la infraestructura. Sin embargo, en muchos casos, estos conocimientos no han sido aplicados durante el proceso de planificación del uso de la tierra. En Guatemala el uso de sensores remotos y SIG para identificar zonas vulnerables a desastres naturales está limitado a pocas organizaciones y en casos excepcionales son de aplicación a nivel municipal.

El proceso de descentralización en Guatemala se ha estado fomentando desde hace varios años. El papel de las municipalidades como gestores de sus recursos naturales es reconocido y se promueve cada vez más su participación en la administración de su territorio. A pesar de la importancia de la identificación y delimitación de zonas de peligro a sufrir desastres naturales, este tema, suele estar ausente durante el proceso de planificación a nivel nacional y a nivel municipal. La mayoría de planificadores no cuentan con información espacial que les auxilie en el proceso de ordenamiento territorial. Generalmente las autoridades locales no disponen de planes o pronósticos de riesgo que contribuyan a la reducción de la vulnerabilidad a desastres naturales en su jurisdicción. Con este estudio se pretende contribuir a la generación de información que sea de utilidad para las autoridades locales en el proceso de planificación territorial tendientes a la reducción de los efectos de desastres naturales como inundaciones y sequías.

XIII. ANTECEDENTES

Los movimientos de ladera o deslizamientos involucran una serie de formas y procesos de movimientos de masas en laderas que abarca el transporte de suelo y material de roca ladera abajo y constituyen una de las principales amenazas en el país debido a la presencia de áreas montañosas y volcánicas. Aunque los deslizamientos, pueden no ser tan espectaculares, como otras amenazas naturales, si tienen una mayor presencia en el país y en conjunto causan enormes pérdidas económicas y en muchas ocasiones también pérdidas de vidas humanas.

Para que se presenten los deslizamientos, deben de conjugarse al menos dos elementos: Relieve escarpado y un acelerador (lluvias, actividad volcánica, actividad antrópica). Los movimientos de ladera se pueden clasificar de acuerdo al tipo de movimiento y al tipo de material (rocas, lodo, suelo, etc.). Según el tipo de movimiento pueden ser; (i) Caídas: Generadas a partir del desprendimiento de suelo o roca provocando la caída del material a través del aire. (ii) Deslizamientos: Movimientos de masas de suelo o roca que ocurre por la saturación de agua. Flujos: Movimientos de lodo o de escombros que se comportan como fluidos viscosos, son conocidos como correntadas. Estos son los más peligrosos ya que pueden ser repentinos, de grandes velocidades y por su poder de arrastre pueden desprender grandes rocas o arrastrar casas o vehículos. Debido a sus características un flujo es capaz de moverse por áreas relativamente llanas o de poca inclinación. En la mayoría de los casos los flujos comienzan como pequeños deslizamientos de suelo que luego se licuan y aceleran a grandes velocidades. Si se originan varios deslizamientos al final convergen, ganan volumen y terminan moviéndose a grandes distancias. Por lo general la lluvia es el agente disparador de los deslizamientos (3,15,20,24)

A pesar de que los tasas de cambio de cobertura vegetal por deslizamientos son menores que por deforestación, se considera que tienen un gran impacto en los ecosistemas, por su influencia sobre la vegetación y el suelo (15).

Durante el huracán Mitch el mayor número de deslizamientos ocurrieron en los bordes de los ríos al Este de Guatemala, se presentaron dos tipos de deslizamientos: Menores de 15 ha que se movieron hacia flujos grandes y los de mayor extensión entre 15 y 25 ha, que generaron flujos de escombros que ocasionaron el mayor daño y número de muertes (1,2,15,25).

Los deslizamientos afectan aquellos ecosistemas montañosos que presentan elevadas precipitaciones, escaso drenaje y actividad sísmica, favorecida por actividades antrópicas como, deforestación, urbanización, prácticas agrícolas y de infraestructura inadecuadas.

Durante el Huracán Mitch las altas precipitaciones provocaron flujo de escombros ocurriendo aproximadamente 11,500 deslizamientos en un área de 10,000 km² con promedio de uno a 120 deslizamientos /km² (1,2,15,25). Las intensas lluvias

ocasionadas por el huracán afectaron alrededor de un tercio del territorio nacional en 10 departamentos (Chimaltenango, Escuintla, Huehuetenango, Retalhuleu, Sacatepéquez, San Marcos, Santa Rosa, Sololá, Suchitepéquez y Totonicapán). Por otra parte, los deslizamientos ocurridos durante el huracán Stan mostraron que la mayoría de las comunidades afectadas estaban asentadas sobre abanicos aluviales dentro de corrientes aluviales y altamente vulnerables a flujos de detritos que generan flujos de lodo y escombros (3).

Por otra parte en el año 2001, el Gobierno de Guatemala declaró el estado de Emergencia Nacional en Jocotán y Camotán, dadas las graves condiciones de miseria y muerte provocada, en la mayoría de casos, por desnutrición. El caso de la sequía es más complejo que el de deslizamiento debido a lo escaso de la información generada en relación a esta amenaza.

Cuando la sequía es severa, las bases de la vida se ven seriamente afectadas debido a la vulnerabilidad de los cultivos de subsistencia a la escasez de agua. El fenómeno de la sequía, en los últimos años, se ha tornado en un problema grave, con consecuencias sociales y económicas significativas para el país. Se estima que 49,000 Km² están afectados por sequía severa en el país, mencionándose como los más afectados los departamentos de El Progreso, Zacapa, Chiquimula, Baja Verapaz, Jalapa, Jutiapa y Petén.

De allí, que en 1998 mediante el Decreto 13-98 Guatemala firma la Convención Marco de Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación y Sequía. En 2007 se creó la Unidad de Lucha contra la Desertificación y la Sequía en Guatemala con el fin de coordinar todas las instancias de ambiente y recursos naturales para la implementación de la Convención Marco, así como del Programa de Acción Nacional de Lucha Contra la Desertificación y la Sequía en Guatemala (PROANDYS). Todas las acciones están encaminadas a enfrentar la desertificación y mitigar los efectos de la sequía, con medidas de recuperación de tierras degradadas y la restauración, prevención, conservación y manejo de ecosistemas naturales en las áreas semiáridas y subhúmedas.

XIV. JUSTIFICACIÓN

La información sobre desastres naturales a nivel local es escasa. La mayoría de municipalidades no disponen de información apropiada ni de las herramientas necesarias para hacer más efectiva su gestión en cuanto a prevención de desastres naturales como deslizamientos y sequías.

Sin embargo, uno de los factores de mayor incidencia en la gestión municipal es la alta vulnerabilidad a desastres naturales. El hecho que Guatemala, por su ubicación geográfica, esté expuesta a una alta ocurrencia de desastres naturales obliga a reforzar los métodos de prevención de desastres naturales y mejorar los procesos de planificación del uso del suelo. En esta tarea, los Sistemas de Información Geográfica han probado ser una herramienta útil que permite generar información en cuanto a zonas vulnerables a desastres naturales que con la participación de técnicos y decisores posibilita simular diferentes escenarios en el caso de ocurrencia de un desastre natural y las medidas de mitigación pertinentes. Con la identificación de zonas vulnerables a desastres naturales se pretende contribuir a la generación de propuestas de prevención y/o de mitigación de parte de las municipalidades.

Las pérdidas en vidas humanas y económicas son de alto impacto para la sociedad guatemalteca, de consecuencias inconmensurables. Se estima que el huracán Mitch provocó daños por un monto aproximado de 5,230 millones de quetzales. Dentro de los sectores productivos, el mayor impacto fue en el sector primario, principalmente el sector agrícola, lo que además repercute fuertemente en la balanza comercial del país, al estimarse un efecto negativo por mayores importaciones y menores exportaciones de alrededor de 3,110 millones de quetzales en el período 1998-2000. Se prevé que se dejaron de exportar productos por un monto de 2,150 millones de quetzales y se requirieron mayores importaciones por un valor de 960 millones. Los daños del sector de infraestructura se estimaron en 810 millones de quetzales, que comprendía fundamentalmente carreteras y puentes dañados (2).

Stan, el último huracán que azotó Guatemala en los primeros días del mes de Octubre del 2005, afectó directamente a 14 de los 22 departamentos del país, causando pérdidas aproximadas de 7,470 millones de quetzales (2). Stan causó daños al sector social (salud, educación y vivienda) por 660 millones de quetzales y pérdidas por 610 millones en el sector productivo (agricultura, ganadería, comercio, industria y turismo). En infraestructura, los daños ascendieron a 2,200 millones y daños al medio ambiente y al patrimonio cultural por 1,010 millones.

El altiplano guatemalteco se vio seriamente afectado, alrededor del Lago de Atitlán Stan causó considerables pérdidas de vidas humanas, daños a infraestructura y pérdidas en agricultura. Las Aldeas de Panabaj y Tzanchaj fueron completamente soterradas bajo aproximadamente 5 m de lodo. El huracán provocó la muerte de aproximadamente 2,000 personas, más de 130,000 personas quedaron sin vivienda, 3 millones quedaron sin electricidad, agua potable y demás servicios básicos. Los

cultivos y el ganado fueron destruidos, los deslizamientos dañaron aproximadamente 5,000 km de carreteras. Se cortó virtualmente la comunicación con varios departamentos, entre ellos el de San Marcos. Sumado a estas pérdidas, luego del desastre aparecen además problemas serios de salud y hambre.

El impacto del huracán Stan provocó pérdidas totales, según la CEPAL, de aproximadamente 7,511.5 millones de quetzales como se puede apreciar en la siguiente gráfica.

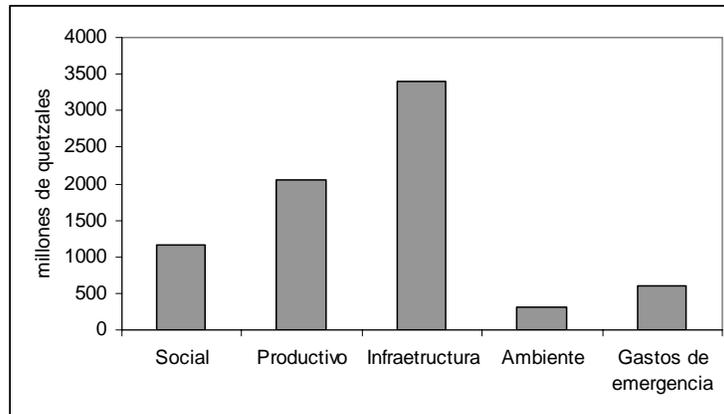


Figura 1. Pérdidas por sector provocadas por el Huracán Stan

El Huracán Stan generó graves deslizamientos en el altiplano del país que evidencian la vulnerabilidad acumulada por la gestión inapropiada de las cuencas, la exposición de laderas por procesos productivos inadecuados y deforestación, e índices de pobreza y desarrollo humano por debajo del promedio nacional antes del desastre (Ver gráfica 2).

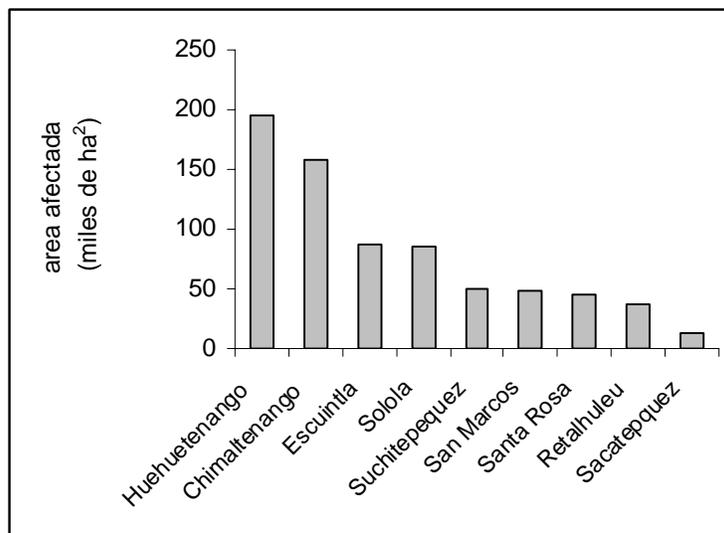


Figura 2. Área afectada pro deslizamiento por el Huracán Stan

XV. OBJETIVOS

General

Identificar zonas de riesgo a sufrir deslizamientos y áreas amenazadas con sequía en la Cuenca del Río Achiguate.

Específicos

1. Caracterizar la Cuenca del Río Achiguate.
2. Determinar las variables biofísicas de mayor incidencia en la identificación de zonas de riesgo a deslizamientos dentro de la cuenca.
3. Identificar la forma de generar la distribución de variables de interés, con limitación de datos, para toda la cuenca.
4. Generar un mapa de zonas de alta, media y baja vulnerabilidad a deslizamientos de la Cuenca del Río Achiguate.
5. Generar un mapa de amenazas a sequía en la Cuenca del Río Achiguate.

XVI. MARCO TEÓRICO

6.1 Definición de catástrofe o desastre natural

Catástrofe es un suceso que causa alteraciones intensas en las personas, los bienes, los servicios y el medio ambiente, excediendo la capacidad de respuesta de la comunidad afectada. En pocas palabras es el producto, tanto de un fenómeno natural extremo, como de una inadecuada relación del hombre con su medio (20, 24).

Existen varios conceptos básicos en el análisis de desastres naturales (24):

- Amenaza: Probabilidad de ocurrencia de un evento destructivo.
- Vulnerabilidad: Grado de pérdida de un elemento en riesgo cómo resultado de la ocurrencia de un fenómeno de determinada magnitud.
- Elementos en Riesgo: Población, edificios, obras de ingeniería, actividades económicas, infraestructura en riesgo.
- Riesgo específico: Grado de pérdida esperado debido a un evento particular.

Un ejemplo de la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno es la representación gráfica sobre la probabilidad de un desastre asociada a un período de retorno que puede ser de 10, 50, 100 hasta 500 años como se puede observar en la figura 3.

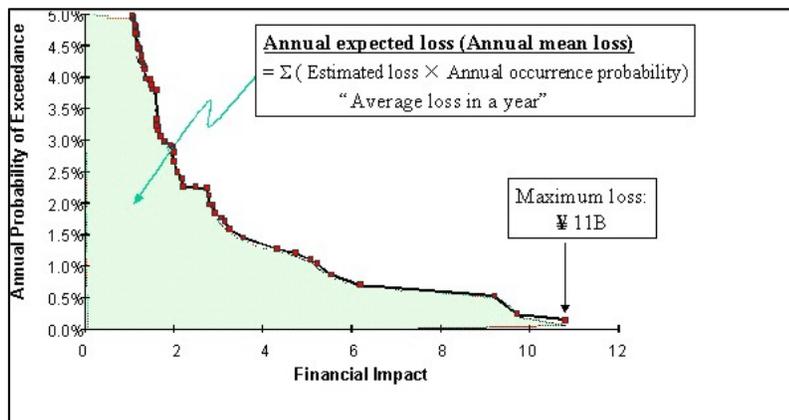


Figura 3. Probabilidad de ocurrencia de un fenómeno

Un *desastre natural* es una ruptura extrema del funcionamiento de una sociedad que origina pérdidas de vidas humanas, materiales o daños medioambientales a gran escala, que superan la capacidad de la sociedad afectada para hacer frente a la situación utilizando únicamente sus propios recursos. Sucesos como terremotos, inundaciones y ciclones no se consideran, por sí mismos, como desastres. Se convierten en desastres cuando afectan adversa y gravemente a vidas humanas, bases de subsistencia y pertenencias (20, 24).

Un peligro o amenaza hace referencia a la ocurrencia potencial, en un intervalo de tiempo y un área geográfica específicos, de un fenómeno natural, que puede tener un efecto negativo sobre vidas humanas, pertenencias o actividades, hasta el punto de causar un desastre (24).

La materialización de un peligro (terremoto, inundación, ciclón, etc.) se convierte en un desastre cuando de él se derivan daños, pérdidas de vidas humanas o bases de subsistencia, desplazamientos o pérdida de hogares y/o destrucción y daños de infraestructuras y pertenencias (20, 24).

- La vulnerabilidad estructural o física describe el grado hasta el cual una estructura es susceptible de ser dañada o alterada en una situación de peligro. Se indica como valor desde 0 (no daños) hasta 1 o 100 (destrucción total).
- La vulnerabilidad humana es la falta relativa de capacidad de una persona o comunidad para prever un peligro, hacerle frente, resistirlo y recuperarse de su impacto.

Entre los factores que incrementan la vulnerabilidad humana a los desastres se encuentran la urbanización excesivamente rápida, el crecimiento demográfico, la falta de conocimientos acerca de cómo hacer frente a los efectos de los desastres, y la pobreza. De todos los factores, es probable que la pobreza constituya el origen de la vulnerabilidad de la mayoría de la gente al impacto de la mayoría de los peligros (24).

Elementos bajo riesgo: Son todos los elementos físicos (edificios, contenido de edificios, personas, líneas de transporte, redes de vida) y no físicos (actividades económicas, características de personas y comunidades) que pueden ser afectados por un fenómeno natural (20, 24).

- Riesgo específico hace referencia a las pérdidas potenciales, en un intervalo de tiempo y un área geográfica específicos, de un fenómeno natural.
- Riesgo total hace referencia al total de las pérdidas potenciales (victimas, personas heridas, desplazadas, daños a propiedades, destrucción de actividades económicas), en un intervalo de tiempo y un área geográfica específica.
- $\text{Riesgo} = \text{Probabilidad} * \text{Vulnerabilidad} * \text{Costos}$

Para la mitigación y contingencia de un desastre natural es necesario conocer el ciclo de la preparación del fenómeno y los pasos para evaluar el riesgo a un desastre natural. Estos pasos van desde la evaluación de peligros hasta la preparación para el desastre, es necesario tomar en cuenta cada uno de ellos para la organización de las comunidades vulnerables (24)

Cuadro 1. Pasos para la evaluación de riesgos a desastres naturales.

1. Evaluación de peligros, riesgos y vulnerabilidad	2. Mecanismos y estrategias de intervención	3. Planificación de la preparación para desastres
4. Coordinación	5. Gestión de la información	6. Sistemas de alerta anticipada
7. Movilización de recursos	8. Educación de la población, capacitación y ensayos	9. Preparación para desastres basada en la comunidad

Entre los factores que agravan los desastres naturales están (20, 24):

- La posición en una región de alta actividad sísmica (terremotos y vulcanismos)
- El clima lluvioso y tempestuoso inestable
- Intervención antropogénica fuerte sobre el ambiente
- Crecimiento urbano sin control
- Flujo poblacional desde las zonas rurales hacia las urbanas

6.2 Tipos de desastres naturales

Se puede categorizar principalmente tres tipos de desastres naturales (24):

- Erosión (volcánica, fluvial, kárstica, marina, glacial, eólica, biótica, hídrica)
- Sismos (terremotos y maremotos)
- Huracanes, ciclones, tornados (deslizamientos, inundaciones, derrumbes, etc.)

Huracanes, ciclones, tornados (deslizamientos, inundaciones, derrumbes, etc.)

Con poderosos vientos y lluvias torrenciales, más de 60 huracanes se forman en los océanos tropicales cada año, girando en grandes trayectorias curvas hacia los continentes. Con alturas que pueden llegar hasta los 10 km y cubriendo miles de kilómetros cuadrados, el huracán gira alrededor de un relativamente tranquilo ojo central como un trompo gigante. Las inundaciones representan aproximadamente el 40% de las víctimas de los desastres naturales. Esto es reforzado por el hecho de que más de la mitad de la población mundial vive en las costas y a lo largo de ríos y estuarios. Con excepciones de los desiertos más grandes, muy pocas regiones del mundo son absolutamente inmunes a inundaciones (24).

Las instituciones gubernamentales desarrollan una serie de medidas de protección que pueden clasificarse como estructurales e institucionales. Las medidas estructurales están constituidas por obras hidráulicas destinadas a controlar inundaciones: 1)

Cuadro 2. Escala de huracanes de Saffir-Simpson

ESCALA DE HURACANES DE SAFFIR-SIMPSON			
Intensidad	Viento (Km/hora)	Marea por encima de lo normal (m)	Estimación de posibles daños
1 (Débil)	119 – 153	1.5	Ningún daño efectivo a los edificios. Algunos daños a viviendas frágiles, arbustos y árboles. Algunas inundaciones de carreteras y daños leves a muelles.
2 (Moderado)	154 – 177	2 - 2.5	Daños en tejados, puertas y ventanas de los edificios. Daños considerables a la vegetación, viviendas frágiles y muelles. Las carreteras costeras se inundan de dos a cuatro horas antes de la entrada del centro del huracán. Pequeñas embarcaciones sin protección rompen sus amarras.
3 (Fuerte)	178 – 209	2.6 - 3.7	Daños estructurales a pequeñas viviendas y construcciones auxiliares con pequeñas fisuras en los muros de revestimiento. Destrucción de viviendas frágiles. Las inundaciones cerca de la costa destruyen las estructuras más pequeñas y los escombros flotantes dañan a las mayores. Los terrenos planos debajo de 1.5 m pueden resultar inundados hasta 13 km de la costa o más.
4 (Muy fuerte)	210 – 249	3.8 - 5	Provoca fisuras más generalizadas en los muros de revestimiento con derrumbe completo de la estructura del techo en viviendas pequeñas. Erosión importante de las playas, daños graves en los pisos bajos de las estructuras cercanas a la costa. Inundaciones de los terrenos planos abajo de 3 m situados hasta 10 km de la costa.
5 (Devastador)	Superiores a 250	Mayor a 5	Derrumbe total de los techos en muchas viviendas y edificios industriales. Algunos edificios se desmoronan por completo y el viento se lleva las construcciones auxiliares pequeñas. Daños graves en los pisos bajos de todas las estructuras situadas a menos de 4.6 m por encima del nivel del mar y a una distancia de hasta 460 m de la costa.

Aunque es posible conocer en términos generales las rutas de los huracanes, sus trayectorias reales presentan variaciones considerables. La mayoría de las predicciones proporcionan un aviso con aproximadamente 24 horas de anticipación. Por estos motivos, los efectos destructivos de los huracanes solamente pueden mitigarse realizando acciones de prevención: mejorando el diseño y la localización de las edificaciones expuestas y tomando medidas de respuesta ante el aviso oportuno de la llegada de un huracán (20).

6.3 Qué es el fenómeno de “El Niño”, Oscilación del Sur (ENSO)?

Se conoce con el nombre de El Niño a la aparición de corrientes oceánicas en las costas del Océano Pacífico de América del Sur, durante el verano del hemisferio Sur. La aparición de aguas cálidas fue identificada por los pescadores peruanos siglos atrás, quienes le dieron el nombre de El Niño, porque se observaba a finales de diciembre, cerca de Navidad. Este fenómeno, que se presenta a intervalos de dos a siete años, se caracteriza porque la superficie del mar y la atmósfera sobre el, presentan una condición anormal durante un período que va de doce a dieciocho meses (24).

El fenómeno se inicia en el Océano Pacífico Tropical, cerca de Australia e Indonesia, donde la temperatura de las aguas superficiales se eleva unos cuantos grados por encima de lo normal. Gradualmente este máximo de temperatura se desplaza hacia el Este y, alrededor de seis meses después, alcanza la costa de América del Sur, en el extremo Este del Pacífico. El desplazamiento del máximo va acompañado de un enfriamiento relativo en el Pacífico Occidental, es decir, cerca de Asia (24).

Mientras esto sucede en el océano, en la atmósfera se produce una alteración del patrón de la presión atmosférica, que baja en el lado Este del Pacífico y sube en el Oeste. A la aparición y desplazamiento del máximo de temperatura se le ha nombrado más recientemente "episodio cálido" y al sube y baja de la presión, Oscilación del Sur. Modernamente se nombra al fenómeno ENSO (en inglés), acrónimo de El Niño, Oscilación del Sur, denotando con ello el conjunto de alteraciones en los patrones normales de circulación del océano y la atmósfera (24).

Durante el ENSO se altera la presión atmosférica en zonas muy distantes entre sí, se producen cambios en la dirección y la velocidad del viento y se desplazan las zonas de lluvia de la región tropical. En el océano, la contracorriente ecuatorial, que desplaza las aguas frías de la corriente del Perú hacia el Oeste, se debilita, favoreciendo el transporte de aguas cálidas hacia la costa de América del Sur (24).

El fenómeno de El Niño afecta a Centroamérica fundamentalmente de tres formas (24):

- Calentamiento de las aguas superficiales en todo el litoral del Océano Pacífico (1 a 4 grados) y ligero aumento del nivel del mar en este litoral.
- Disminución muy pronunciada de las lluvias en el litoral Pacífico de Centroamérica.
- Excesos de lluvia en el litoral del Caribe sobre todo en la parte Sur del Istmo.

La disminución de las lluvias en el litoral del Pacífico llega a producir disminuciones acumuladas de lluvia entre mayo y octubre que pueden ir desde 30% hasta 60% en las zonas más afectadas (24).

Los excesos de lluvia en el litoral del Caribe de Centroamérica llegan a superar en 100% las lluvias de meses como mayo, julio y agosto, dando como consecuencia pérdidas en infraestructura, agricultura y vidas humanas.

6.4 Modelo

Un modelo es una descripción física o matemática de un sistema físico, incluyendo la interacción con el mundo que lo rodea, que puede utilizarse para simular el efecto de los cambios en el sistema mismo, o el efecto de los cambios en las condiciones impuestas sobre el. En el desarrollo de un modelo matemático, puede distinguirse los siguientes elementos (5, 17):

- Definición de objetivos del modelo
- Esquematización de modelos
- Ecuaciones y condiciones de frontera
- Solución de algoritmos
- Software
- Recolección de datos
- Calibración y verificación del modelo

6.5 Simulaciones

La simulación es un proceso que duplica la esencia de un sistema o actividad, sin reproducir la realidad de sí mismo. Los planificadores han utilizado la simulación, debido a que a menudo es el único método efectivo para lograr resolver largos y complejos sistemas que desafían una solución analítica o que no puede ser reproducida por experimentación en los sistemas actuales. La simulación hidrológica es una técnica para analizar respuestas de sistemas físicos siendo una manera muy útil para resolver problemas de diversa índole, en algunos casos se puede representar en un Sistema de Información Geográfica (SIG). Esta técnica se ha desarrollado muy rápido en lo que es la investigación en el análisis de sistemas, asociados a los avances de la electrónica computacional. La síntesis de sistemas hidrológicos, involucra la selección de un modelo hidrológico apropiado y la operación de tal modelo por medio de un análisis (5, 17).

La simulación es útil en el cálculo de escorrentía a partir de datos de precipitación. Su mayor utilidad puede estar en el análisis de los cambios que sucedan dentro de la cuenca. Las consecuencias de un aumento en la precipitación, puede simularse comparando los caudales calculados a partir de los datos históricos aumentados por medio de algún procedimiento apropiado. Así, también se pueden calcular los efectos de cambios en el patrón del uso de la tierra a través de un período largo de tiempo, mediante la modificación adecuada de los parámetros (5, 17).

6.6 Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Un SIG es una tecnología moderna por medio de la cual los usuarios hacen consultas y encuentran respuestas de una fuente de datos espacial y tabular. Un SIG o GIS es un sistema computarizado de adquisición, almacenamiento, análisis y despliegue de datos geográficos. Un SIG es un tipo especial de sistema de información en el cual la base de datos consiste en observaciones de características espacialmente distribuidas, actividades y/o eventos, los cuales pueden ser definidos por puntos, líneas o áreas; y procedimientos para recolectar, archivar, recuperar, analizar y desplegar datos geográficos. De una forma realista, los datos de un SIG, ya sea que se encuentren codificados en una pieza de papel o en forma digital, deben ser concebidos como representaciones de modelos del mundo real. Ya que estos datos pueden ser accedidos, transformados y manipulados interactivamente dentro del SIG, los mismos pueden servir como un campo de pruebas para el estudio de procesos ambientales, para el análisis de tendencias o para anticiparse a los posibles resultados de una determinada decisión. Es posible que los planificadores puedan tomar decisiones en un rango de posibles escenarios y obtener una idea de las consecuencias de una determinada acción antes de que los errores hayan sido irreversiblemente cometidos en el terreno mismo (5,17,21).

Componentes de un SIG

Los SIG tienen cuatro componentes importantes (5, 17)

- Equipo computarizado (Hardware),
- Programas generalmente en forma de módulos (Software),
- Datos
- Y un apropiado contexto organizacional.

Los módulos están compuestos por módulos de despliegue, base de datos espacial, sistemas de digitalización, sistemas de manejo de base de datos, sistema de análisis geográfico, sistema de proceso de imágenes y análisis estadístico (5, 17)

La diferencia entre los distintos programas de SIG que hay en el mercado es la forma como se representan los datos de un mapa en formato digital (5, 17).

- Formato Vectorial: En la presentación tipo vector, las fronteras de cualquier característica del mapa están definidas por una serie de puntos que cuando se unen por medio de líneas rectas, forman la representación gráfica de la característica. Dichos puntos están codificados por un par de coordenadas geográficas y sus características y atributos son almacenados en DBASE, FOXPRO, etc. La estructura de los archivos vectoriales varían dependiendo de lo que se necesita representar y los programas a utilizar pero la mayoría utiliza líneas, puntos y polígonos.

- Formato Cuadrícula: En los sistemas de representación tipo cuadrícula o raster, la representación gráfica de las características y sus atributos están unidos en un solo archivo de datos. Es más, no se definen características del todo. El área de estudio es definido por la cuadrícula fina o píxel del monitor o también se les puede llamar celdas. Cada celda en un mapa tiene un atributo que representa alguna característica cualitativa o cuantitativa. El sistema de cuadrícula posee una mayor capacidad de análisis para la generación de modelos idealizados por lo tanto son idóneos para el estudio de características espaciales como el uso de la tierra, geología, cuencas, poblados, ríos y otros.

La organización de la base de datos en capas no es simplemente por razones de claridad en la organización. Más bien, es para proveer rápido acceso a los elementos de datos requeridos, análisis geográfico y elaboración de modelos. Por lo tanto, la razón de ser de un SIG es proveer un medio de análisis geográfico. Las principales herramientas de un SIG son las siguientes (5, 17):

- Consulta a la base de datos: Abarca el acceso a la base de datos de información en forma tabular y espacial.
- Algebra de mapas: Es la combinación de capas de mapas de manera matemática. La modelación requiere que se pueda combinar matemáticamente de acuerdo a los diferentes modelos.
- Operadores de distancia: Es un grupo de técnicas usadas en los análisis donde la distancia es un factor clave.
- Operadores de contexto: Conocidos como operadores de vecindad u operadores locales. Se crean nuevos mapas basados en la información de un mapa existente y el contexto en el cual se encuentra cada característica.

Aplicaciones de los SIG

Los usos que puede darse a los SIG en los distintos componentes que involucra el manejo de recursos naturales comprenden un rango amplio de aplicaciones tanto en los procesos de planificación y ejecución, como en los de evaluación y monitoreo de los mismos. Los componentes de un SIG pueden servir de apoyo en sectores públicos, privados o semigubernamentales y organismos internacionales. Entre los ejemplos de aplicaciones podemos citar los siguientes (5,17,21):

- Determinación de zonas agroclimáticas
- Planificación del uso de la tierra
- Adjudicación o concesión de tierras para desarrollo
- Caracterización y cuantificación de recursos naturales
- Manejo forestal
- Manejo de áreas protegidas y biodiversidad
- Monitoreo y evaluación

- Prevención de desastres
- Planeamiento urbano rural
- Centro de información y otros

Entre los SIG más conocidos que realizan esta operación están ARCINFO, ARCVIEW, ARCGIS e IDRISI. Este último posee aproximadamente 160 módulos de trabajo con diferentes aplicaciones que van desde despliegue de información, análisis, edición hasta impresión (5, 17).

Productos comerciales (Software)

Los productos comerciales más difundidos en Guatemala son los siguientes (5, 17):

- IDRISI: Trabaja con formatos vectoriales y raster. Tiene buena capacidad de análisis de información espacial y tabular .
- ARCVIEW, ARCINFO y PC-ARCINFO: Tiene aproximadamente 3000 comandos. Trabaja en formato vector y raster. Posee una alta capacidad de análisis es dinámico es decir, puede recibir información de satélites.
- ILWIS: Sistema especial para análisis raster y tratamiento de imágenes de satélite.
- ERDAS IMAGINE: Sistema de tratamiento de imágenes de satélite.

Estado actual y tendencias de desarrollo de los SIG.

En la mayoría de casos las instituciones utilizan el sistema para análisis, modelamiento, planificación, investigación, planificación urbana y manejo de recursos naturales. En Canadá dio inicio el desarrollo de los SIG entre 1962 a 1963. En este país se pretende a partir del año 2000 la instalación de SIG en todas las instituciones educativas. El programa más difundido es ARCINFO, IDRISI y SOFTMAP (5,17,18,21,23).

En Estados Unidos de América ocurre el mayor desarrollo actual de la tecnología de SIG. El programa utilizado en las instituciones privadas y estatales es ARCINFO. Pero en universidades también se utiliza IDRISI. ARCINFO es el mayor avance cartográfico tecnológico en Estados Unidos y a nivel mundial (5,17,18,21,23).

Costa Rica es el país centroamericano más avanzado en la utilización de los Sistemas de Información Geográfica en las distintas actividades productivas del país así como en la planificación y manejo sostenible de sus recursos naturales.

En Guatemala a través del MAGA y con el apoyo de CATIE, se implementó un SIG para la generación de bases de datos espaciales y tabulares de la información sobre temas de investigación agrícola y del uso de los recursos naturales.

Por otro lado, con la coordinación interinstitucional, a través del Sistema Nacional de Información Geográfica (SNIG), se pretende la creación de la base de datos digital a escala 1:250,000 y 1:50,000 de las hojas cartográficas de la República. La Universidad

de San Carlos de Guatemala, por medio de la Unidad de Sistemas de Información Geográfica de la Facultad de Agronomía, ha trabajado información específica de algunas áreas de la República, en la elaboración de tesis y estudios puntuales en análisis de cuencas, capacidad de uso de la tierra, intensidad de uso y otros.

En el país, los programas más utilizados son, ARCVIEW, ARCINFO, ERDAS, IDRISI, ATLASGIS, MAPMAKER, etc. Instituciones privadas se dedican al ingreso de información cartográfica actualizándola y venden sus productos.

XVII. METODOLOGÍA

A. CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA

Como primer paso se inició con la recopilación de la información existente sobre la cuenca de estudio. De tal modo, en la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se recopiló la base de datos en formato digital y mapas de curvas a nivel, ríos, caminos y poblados del área de estudio. En el Instituto Geográfico Nacional se obtuvo información cartográfica digital de la cuenca del Río Achiguate. Se gestionó la base de datos de mapas temáticos del MAGA correspondiente al área de estudio. Se obtuvo la información hidrológica y climática del INSIVUMEH de las estaciones meteorológicas correspondientes a la cuenca del Río Achiguate (estaciones de Balanyá, Suiza Contenta, San Martín Jilotepeque, Alameda ICTA, Sabana Grande, Camantujul, Puerto San José y Tiquisate). Además se recopilaron los diagnósticos municipales de los municipios que integran la cuenca, tipos de suelo y datos socioeconómicos del último Censo de Población.

Asimismo se sostuvieron reuniones de coordinación con el Director de la Comisión de Reducción de Desastres (CONRED) e investigadores de ERIS de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala; Técnicos de CONRED en Escuintla; Personal de CONRED de la cuenca del Río Achiguate; Técnicos de las Oficinas Municipales de Planificación de Escuintla, Puerto San José, Masagua y Aguas Calientes.

El análisis espacial de información biofísica se realizó con el software ERDAS y ArcGis, que tienen capacidad de realizar operaciones matemáticas con los mapas básicos y temáticos. De esta forma se identificaron las zonas con peligro a desastres naturales.

Luego del análisis y depuración de la información obtenida se ingresó al computador digitalizando los datos para alimentar la base de datos de la Cuenca del Río Achiguate en formato DBASE (dbf) para asociarla al mapa y permitir integrar los datos para su análisis espacial.

Cada variable biofísica de interés fue estudiada en forma detallada como a continuación se especifica.

7.5 Recurso hídrico

Para el análisis de la variable hídrica se inició con la delimitación de la cuenca, determinación de su área y su forma. Se realizó el análisis y trazado de los ríos y curvas de nivel con apoyo del Modelo de Elevación Digital de la base de datos del MAGA y hojas cartográficas usando la extensión Hydrology en ArcGis. Con los resultados obtenidos de la digitalización se hizo una separación y corrección de los ríos considerando el orden y el tipo de corriente para cada uno.

Se determinó la clase y orden de corrientes y se midió su longitud. Se analizó la relación entre el orden de corrientes y su número, y densidad de corrientes.

Para el desarrollo de los estudios morfométricos hay variaciones en los límites considerados en el trazo del parte aguas de la cuenca, dependiendo del nivel de detalle con el que se trabaje, en este caso se utilizó las bases de datos a escala de semidetalle.

Para el estudio del Río Achiguate, se analizó el mapa de corrientes delimitándose microcuencas para determinar las zonas de mayor área de captación y puntos de desborde de las corrientes que alimentan el cauce principal definiendo así la ubicación de los puntos estratégicos de muestreo. Para el levantado de las secciones transversales se usó la nivelación taquimétrica con una estación central que permitiera observar el transecto del río. Se midieron: Los hilos (superior, medio e inferior), ángulos azimutales y ángulos verticales y nivel del espejo del agua. Cada punto se geoposicionó con un navegador satelital (GPS). Los puntos de muestreo se ubicaron en la salida del río en el poblado de San Miguel Dueñas, Sacatepéquez (parte alta de la cuenca); Alotenango, Sacatepéquez (parte media); La Democracia, Escuintla (parte media-baja); Y Masagua, Escuintla (parte baja). Se analizaron las cuatro secciones transversales del Río Achiguate determinando su ancho y profundidad. Además se elaboró el perfil de la sección del río en los cuatro puntos muestreados.

Aspectos Lineales

Se refieren fundamentalmente al dimensionamiento de las corrientes o canales de drenaje natural dentro de una cuenca, por lo que se consideraron todas las corrientes señaladas e identificadas dentro de la cuenca del Río Achiguate.

Los tipos de corrientes fueron determinados en forma visual a través de las hojas cartográficas de la cuenca. Se identificaron tres tipos de corrientes superficiales: i) Permanentes: Son corrientes que permanecen toda la época del año; ii) Intermitentes: Permanecen únicamente en época de invierno; iii) Efímeras: Son corrientes que aparecen exclusivamente durante una lluvia, especialmente cuando es intensa. Debido a que este tipo de corrientes no aparece en las hojas cartográficas únicamente se trazaron con base en la interpretación de las curvas de nivel.

Orden de corrientes: Es la medida de las ramificaciones del cauce principal en una cuenca hidrográfica y proporciona una idea del tamaño de la cuenca, debido a que mientras más grande es el orden mayor es la extensión de la misma. El número de orden va en relación al número de bifurcaciones de una corriente y se determinó en forma visual con base al Mapa de Corrientes generado.

El Radio de bifurcación medio se calculó de acuerdo a la metodología citada por Herrera (1,995). Las relaciones de bifurcación dentro de una cuenca, tienden a ser de la misma magnitud; Generalmente valores entre 2 y 5 con un valor promedio de 3.5.

Longitud media de corrientes: Es el indicador de pendientes de tal cuenta que las cuencas con corrientes con longitudes cortas reflejan pendientes muy escarpadas y las cuencas con longitudes largas van a reflejar pendientes suaves o planas. La longitud de las corrientes fue calculada usando ArcGis.

Aspectos Superficiales

El análisis de superficie se realizó en un plano bidimensional de la cuenca, con el cual se obtuvo información que combinada con los aspectos lineales proporcionaron una clara idea de las características generales de la cuenca.

El área de la cuenca fue obtenida usando ArcGis 9.1.

La Forma de la cuenca fue calculada de acuerdo al método de Horton citado por Herrera (1,995).

Aspectos de Relieve

Los aspectos de relieve se refieren al comportamiento altitudinal lineal y de superficie de una cuenca. La configuración topográfica es uno de los factores que determinan la hidrografía de una cuenca ya que el relieve tiene más influencia sobre la respuesta hidrológica que la forma misma.

El mapa de pendientes fue elaborado en ArcGis 9.1 auxiliándose del Modelo de Elevación Digital (DEM) de la base de datos del MAGA.

La Pendiente media de la cuenca fue obtenida según el método propuesto por Alvord citado por Herrera (1,995).

La Pendiente del cauce principal se determinó siguiendo el método analítico descrito por Herrera (1,995).

7.6 Balance Hídrico

Para el cálculo del balance hídrico se utilizaron los datos de las estaciones meteorológicas de Balanyá, Sabana Grande, San José, Alameda ICTA, Suiza Contenta, San Martín Jilotepeque y Camantujul. Se realizó una operación de resta de mapas de precipitación y de evapotranspiración, con el apoyo de modelos de elevación y ArcGis 9.1 tratando de minimizar los errores y que los datos fueran representativos del área de trabajo.

7.7 Clima

Para analizar el clima del área de estudio se realizó un climadiagrama para la parte alta, media y baja de la cuenca con las estaciones Balanyá, Suiza Contenta, San Martín Jilotepeque y Alameda ICTA (parte alta), Sabana Grande (parte media),

Camantujul (parte media-baja), y las estaciones de Puerto San José y Tiquisate (parte media baja).

Para generar el Mapa de Precipitación Pluvial Anual de la cuenca de estudio fue necesario generar un modelo que fue alimentado con datos climatológicos de las estaciones meteorológicas del INSIVUMEH correspondientes al área de estudio.

Estos datos consistían en registros mensuales para un periodo de 15 años, calculándose el promedio para obtener la precipitación total anual de cada estación. Se plotearon los puntos de precipitación versus la altitud, analizando su distribución y se determinó que presentaba una dispersión polinomial de tercer orden como se aprecia en la figura 5. Se generó el modelo siguiente:

$$y = 4E-07x^3 - 0.002x^2 + 1.9891x + 2226.2$$

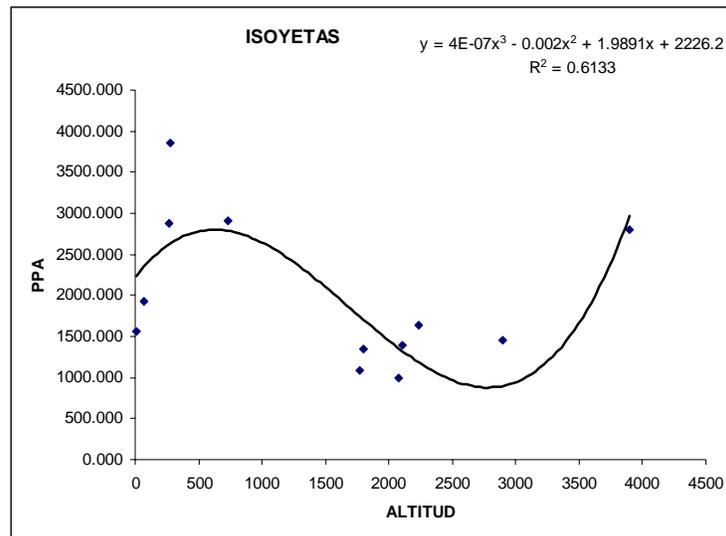


Fig. 5. Modelo de precipitación de acuerdo a la altitud.

Existe una correlación entre la precipitación y su distribución en distintos pisos altitudinales expresada en un coeficiente de correlación aceptable ($R^2=0.61$), lo que permitió modelar un mapa de precipitación para toda la cuenca. Utilizando un modelo de elevación digital a escala 1:50,000 de la base de datos del MAGA y auxiliados de Spatial Analyst (Análisis Espacial de ArcGis) se ingresó el modelo de regresión para que sustituyera el dato de altura, así cada píxel obtuvo un valor de precipitación, dando una modelación de precipitación y su distribución dentro de la cuenca. Se hicieron percentiles de 200 mm clasificando los datos de precipitación en 12 categorías.

Siguiendo un procedimiento similar se generó el modelo de evapotranspiración de la cuenca de estudio como se puede apreciar en la figura 6.

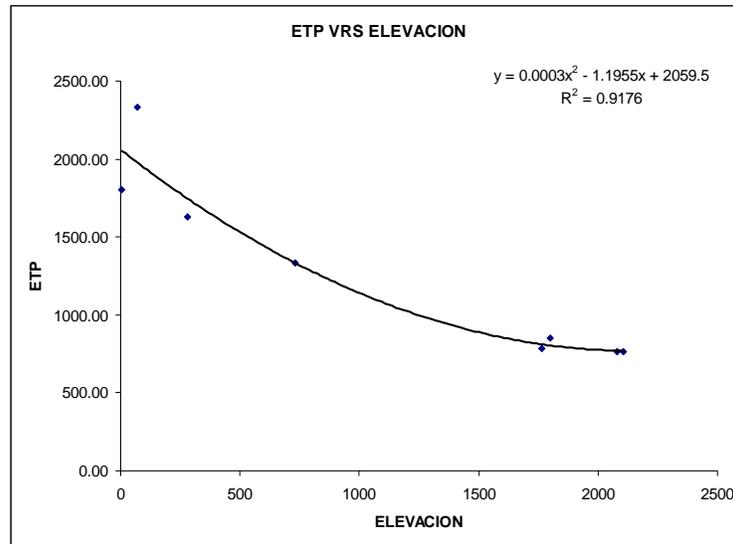


Fig. 6. Modelo de evapotranspiración de acuerdo a la altitud.

Como se observa, existe una relación cuadrática de segundo orden entre la evapotranspiración y la elevación. Esto indica que a mayor altura menor es la evapotranspiración, la cual se estabiliza aproximadamente a 2,000 m. Para el cálculo de la evapotranspiración anual se utilizó los datos obtenidos de las estaciones meteorológicas del INSIVUMEH analizándolos con el método de Thornthwaite, en donde se relaciona datos de temperatura mensual y se realizan sumatorias mensuales para obtener la evapotranspiración anual.

Utilizando el modelo de elevación de la base de datos del MAGA (escala 1:50,000) se sustituyó la elevación por la evapotranspiración tomando así cada píxel un valor de evapotranspiración. El modelo de regresión polinomial generado es el siguiente:

$$y = 0.0003x^2 - 1.1955x + 2059.5$$

De acuerdo al coeficiente de correlación ($R^2=0.92$), existe una estrecha correlación entre la evapotranspiración y la altitud, lo que permitió modelar un mapa de precipitación para toda la cuenca que se clasificó en base a la metodología de Thornthwaite citada por Herrera (1,995), resultando en cuatro categorías con base a la condición del clima.

7.8 Uso de la tierra

El uso de la tierra se obtuvo por medio de la digitalización en ArcGis 9.1 de las ortofotos que fueron tomadas en 2,006 a Escala 1:8,000 y que fueron gestionadas en el IGN. Se delimitaron las áreas y se les asignó una categoría de uso de las 18 categorías identificadas. Así, en la categoría de “cultivos de clima templado” se agrupó el café y hortalizas principalmente, el café fue identificado además en las partes altas clasificando también en la categoría de “cultivos de clima frío”, el maíz es el cultivo que básicamente ocupa la categoría de “tierras de cultivo anual” y la caña de azúcar y macadamia ocupan la categoría de “tierras de cultivo semipermanente”.

Para asegurar la exactitud del Mapa de Uso de la Tierra se realizaron caminamientos de campo para validar las categorías de uso asignadas durante la interpretación de las ortofotos. Aquellas áreas donde el uso asignado no correspondía al que se había identificado en gabinete fue geoposicionado y se registró el uso actual real de la tierra para posteriormente hacer la corrección en gabinete.

En gabinete se seleccionaron los lugares a visitar de acuerdo a la posibilidad de cambio de uso de la tierra. Se verificó el uso actual de la tierra en; i) Parte alta de la cuenca que comprende los municipios de Chimaltenango, El Tejar, Sumpango y San Andrés Itzapa. ii) Parte media que corresponde a los municipios de Parramos, Pastores, Jocotenango, Antigua Guatemala, Ciudad Vieja y San Miguel Dueñas. iii) Parte media baja, Siquinalá y Escuintla. iv) Parte baja, La Democracia, Masagua y Puerto San José.

B. IDENTIFICACIÓN DE ZONAS VULNERABLES A DESASTRES NATURALES

Vulnerabilidad a deslizamientos

Para determinar las áreas vulnerables a deslizamientos dentro de la cuenca del Río Achiguate se seleccionaron las variables de profundidad, cobertura y pendiente del suelo. La pendiente y la profundidad fueron divididas en tres categorías. Los suelos con una pendiente mayor de 48% se clasificaron como “alta”, los suelos con una pendiente entre 17-48% se clasificaron como “media” y por ultimo los suelos con pendientes menores de 17% se clasificaron como “baja”.

La profundidad del suelo se clasificó como “profunda” con más de 85 cm, “media” cuando presentaba profundidades entre 45 y 85 cm, y “baja” con menos de 45 cm.

Luego se realizó una matriz donde se analizó el riesgo a sufrir deslizamientos usando las variables biofísicas seleccionadas. En la matriz siguiente se muestran las categorías identificadas como Alta (3), Media (2) y Baja (1) de acuerdo a su vulnerabilidad a sufrir deslizamientos.

Cuadro 3. Matriz de riesgo a deslizamientos en la cuenca del Río Achiguate.

PROFUNDIDAD	PENDIENTE								
	Alta			Media			Baja		
	Baja	Media	Profunda	Baja	Media	Profunda	Baja	Media	Profunda
COBERTURA									
Área boscosa densa	2	1	1	2	1	1	1	1	1
Área boscosa poco densa	3	2	1	2	2	1	2	1	1
Área boscosa dispersa	3	2	2	2	2	2	2	1	1
Centro poblado urbano	3	2	2	2	2	2	2	1	1
Centro poblado rural	3	2	2	2	2	1	2	1	1
Cultivo de clima calido	3	2	2	2	2	1	1	1	1
Cultivo de clima templado	3	2	2	2	2	2	2	1	1
Cultivo de clima frío	3	2	1	1	1	1	1	1	1
Infraestructura	2	2	1	2	1	1	1	1	1
Lava o roca	1	1	1	2	1	1	1	1	1
Matorral	2	1	1	2	1	1	1	1	1
Hortalizas	3	2	2	2	2	1	2	1	1
Pastos	2	2	2	2	1	1	1	1	1
Superficie con escasa vegetación	3	1	2	3	2	2	2	1	1
Tierras de cultivo anual	3	2	2	3	2	2	2	1	1
Tierras de cultivo semipermanente	2	1	2	2	1	1	1	1	1

El análisis tomó en consideración las características de cada cobertura del suelo para contribuir al riesgo de sufrir un deslizamiento. Con esta información se generó, en ArcGis, el Mapa de Áreas Vulnerables a Deslizamientos en la cuenca del Río Achiguate.

Vulnerabilidad a sequía

La sequía fue la otra amenaza priorizada en la cuenca del Río Achiguate debido a que constituye uno de los factores relevantes para que se de el fenómeno de desertificación.

El Mapa de Amenaza de Sequía se fundamentó en los mapas básicos de precipitación promedio anual (milímetros) y evapotranspiración potencial promedio anual (milímetros). Estos mapas se crearon con los modelos generados para ambas variables usando los datos de las estaciones meteorológicas de la red de INSIVUMEH presentes en la cuenca de estudio.

El análisis del mapa de sequía se realizó en ArcGis con las extensiones de Análisis Espacial y Análisis 3D (Spatial analyst y 3D analyst).

Para determinar la aridez de la cuenca se efectuó una relación entre lo que precipita en milímetros y la demanda en milímetros en el ambiente. La fórmula utilizada fue:

$$\text{Aridez} = pp / \text{ETP}$$

donde:

pp: Precipitación promedio anual (milímetros)

ETP: Evapotranspiración potencial (milímetros)

El riesgo a sufrir sequía se dividió en seis categorías; Muy bajo, Bajo, Medio-bajo, Medio, Alto y Muy alto.

XVIII.RESULTADOS

8.1 Localización del área de estudio

La cuenca del Río Achiguate se encuentra en la parte Sur-Occidente de la República de Guatemala. Se ubica en las coordenadas geográficas 14°39'35" latitud Norte y 90°49'16" longitud Oeste, con una altitud que va de 3,900 a 3,700 msnm en los volcanes de Acatenango, Fuego y Agua hasta 0 msnm en la Costa del Pacífico. Su extensión territorial es de 1,313 km² abarcando los departamentos de Chimaltenango, Escuintla y Sacatepéquez (Ver figura 7).

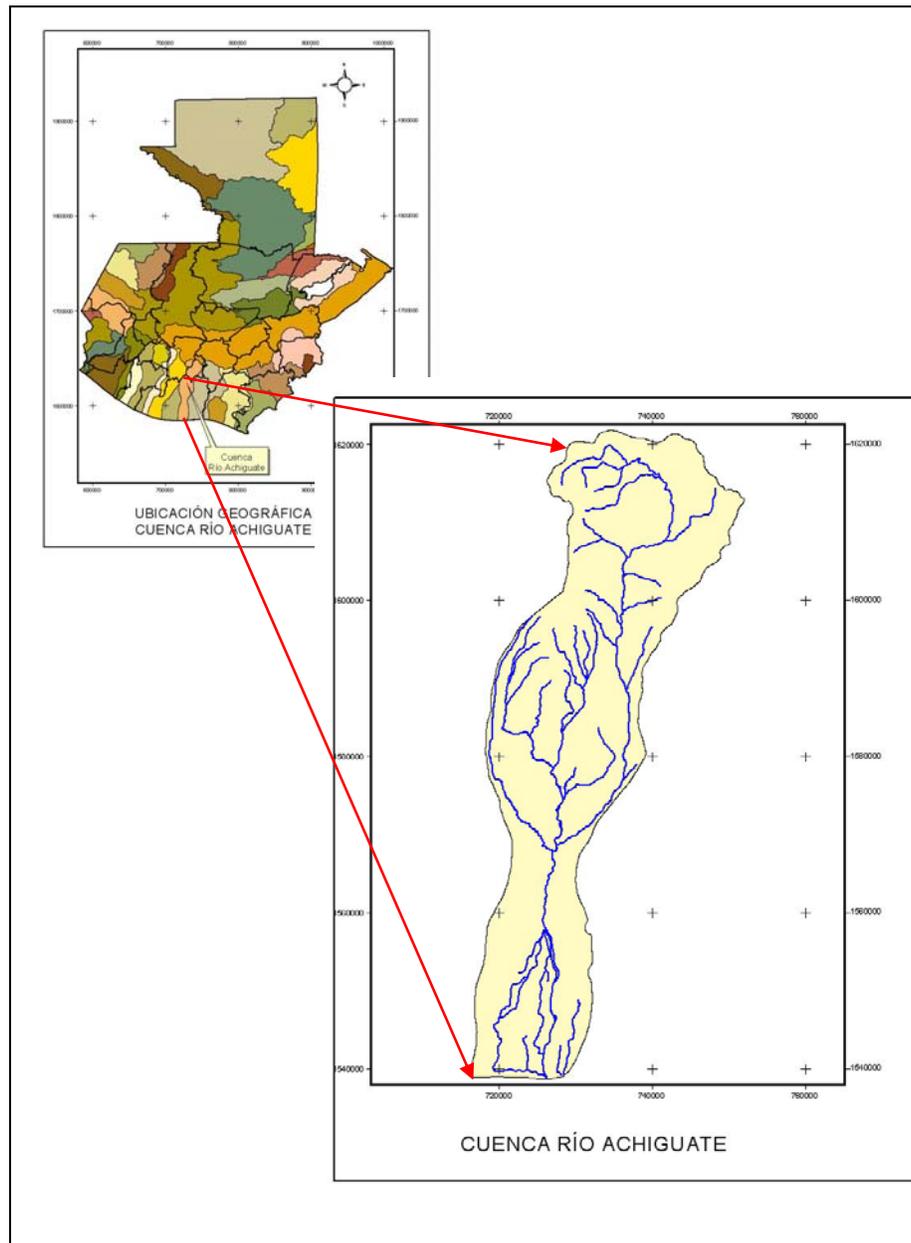


Fig. 7. Ubicación de la Cuenca del Río Achiguate.

La cuenca del Río Achiguate pertenece a la Vertiente del Pacífico cuyos ríos se caracterizan por longitudes cortas, con pendientes fuertes en la parte alta y cambiando bruscamente en la planicie costera lo que genera grandes inundaciones en la parte baja. La cuenca está limitada al Norte por los municipios de San Andrés Itzapa, Chimaltenango, El Tejar, Santiago Sacatepéquez, Sumpango, Parramos, Pastores, Jocotenango, Santa Lucía Milpas Altas, Magdalena Milpas Altas, Dueñas, Ciudad Vieja, Santa Catarina Barahona, San Antonio Aguas Calientes y Santa María de Jesús. Estos municipios conforman la parte alta de la cuenca, mientras que la parte media de la cuenca está constituida por los municipios de Alotenango, parte de Escuintla y Siquinalá. La parte baja de la cuenca está compuesta por los municipios de La Democracia, Masagua y San José.

8.2 Ubicación político-administrativa y vías de acceso

La Cuenca del Río Achiguate se encuentra mayormente en la región central. La cuenca colinda al Oeste con el Río Coyolate y el Río Acomé, al Este con el Río María Linda, al Norte con el Río Pixcayá. Una de las vías de acceso, en la parte alta de la cuenca, es por el municipio de Santa María de Jesús ubicado en las faldas del Volcán de Agua, está situado a 55 km de la ciudad capital y a 10 km de la cabecera departamental. Por la ruta CA-1 se llega directo a El Tejar, Zaragoza, Patzicía y Tecpán y se conecta por la misma ruta con los municipios de Patzún, Acatenango, Santa Cruz Balanyá, Santa Apolonia, San José Poaquil; Y por la ruta nacional número 14, se llega a Parramos y le une con San Andrés Itzapa; También enlaza la carretera número 6 hacia San Pedro Yepocapa y Acatenango. Para la parte media y baja la ruta de entrada es la carretera CA-9, en donde se puede llegar a Escuintla que se encuentra a 58 Km de la ciudad capital.

8.3 Demografía

De acuerdo con el Censo de Población que el Instituto Nacional de Estadística (INE), realizó en 2002 la población total de la cuenca es de 332,516 habitantes (Ver Cuadro 4). La densidad de la población en la cuenca es de 246 habitantes/km². De acuerdo con el INE, en el Departamento de Sacatepéquez se encuentra la mayor cantidad de población económicamente activa con 55,368 habitantes, seguido de Escuintla con 26,081 y por último Chimaltenango con 17,482.

Cuadro 4. Población total en la cuenca del Río Achiguate.

Departamento	Municipio	Urbana	Rural	Total
Chimaltenango	Chimaltenango	10685	1067	11752
	El Tejar	11301	343	11644
	San Andrés Itzapa	15931	4454	20385
	Parramos	8177	1360	9537
Sacatepéquez	Sumpango	18910	4842	23752
	Pastores	8615	3067	11682
	Antigua Guatemala	32218	8879	41097
	Jocotenango	16692	1870	18562
	Santa Lucía Milpas Altas	8542	5	8547
	Santa Catarina Barahona	2957	0	2957
	San Antonio Aguas Calientes	7212	1451	8663
	San Miguel Dueñas	7392	1574	8966
	Magdalena Milpas Altas	5057	1961	7018
	Ciudad Vieja	25226	470	25696
	Alotenango	14339	1509	15848
Escuintla	Escuintla	32896	12943	45839
	Siquinalá	9975	4779	14754
	La Democracia	4970	9267	14237
	Masagua	7016	13239	20255
	San José	465	10860	11325

Fuente: Elaboración propia con base en los datos del INE.

De acuerdo con los datos del Censo de Población más del 60% de los habitantes de la cuenca se encuentra en edades menores a 24 años (Ver Cuadro 5).

Cuadro 5. Población de la cuenca del Río Achiguate por grupos etareos

Grupos edad (años)	Total (personas)	Porcentaje (%)
0 a 4	44760	13.46
5 a 9	44333	13.33
10 a 14	41142	12.37
15 a 19	34885	10.49
20 a 24	32360	9.73
25 a 29	24366	7.33
30 a 34	20651	6.21
35 a 39	18475	5.56
40 a 44	16434	4.94
45 a 49	13080	3.93
50 a 54	11486	3.45
55 a 59	7945	2.39
60 a 64	6402	1.93
> 64	16197	4.87

Fuente: Elaboración propia con base en los datos del INE

La población femenina en la cuenca es de 168,251 que representa el 51% de los habitantes y la población masculina es de 164,265 que representa el 49% lo que da como resultado una población equilibrada.

8.4 Educación

El mayor porcentaje (52%) de personas alfabetas son hombres, las mujeres representan un 48%, como se muestra en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Nivel educativo por género de la población en la cuenca del Río Achiguate

Departamento	Municipio	Hombre	Mujer	Alfahom	Alfamuj	Total Alfab	Población Total
Chimaltenango	Chimaltenango	4647	4696	4125	3704	7829	9343
	El Tejar	4496	4835	4066	4026	8092	9331
	Parramos	3708	3730	3010	2708	5718	7438
	San Andrés Itzapa	7768	8346	5732	5264	10996	16114
Escuintla	Escuintla	11768	11706	9583	8684	18267	23474
	La Democracia	5761	5666	4264	3865	8129	11427
	Masagua	8218	7970	6184	5579	11763	16188
	San José	4221	4129	3033	2809	5842	8350
	Siquinalá	5799	5894	4662	4199	8861	11693
Sacatepéquez	Alotenango	6308	6192	5073	4186	9259	12500
	Antigua Guatemala	16610	17828	15090	15298	30388	34438
	Ciudad Vieja	10205	10553	9073	8586	17659	20758
	Jocotenango	7316	8117	6874	7263	14137	15433
	Magdalena Milpas Altas	780	748	666	562	1228	1528
	Pastores	4719	4731	4195	3867	8062	9450
	San Lucas Sacatepéquez	3413	3662	3194	3148	6342	7075
	Santa Catarina Barahona	1138	1250	1074	1096	2170	2388
	Santa Lucia Milpas Altas	1596	1596	1461	1364	2825	3192
Sumpango	9555	9688	8063	6811	14874	19243	
Resultados Totales		118026	121337	99422	93019	192441	239363
Porcentajes Totales		49.31	50.69	51.66	48.34	100	100

Fuente: Elaboración propia con base en los datos del INE

REf: Alfahom: Hombres alfabetos
 Alfamuj: Mujeres alfabetos
 Total alfab.: Total alfabetos

8.5 Características Biofísicas

8.5.1 Clima

Según el Sistema de Clasificación Climática de Thornthwaite, la cuenca posee una gran variación de climas por localizarse y cubrir áreas a diferentes altitudes. El clima de mayor presencia dentro de la cuenca es el cálido que cubre principalmente el departamento de Escuintla mientras que el clima semicálido, templado y semifrío abarca áreas de los departamentos de Sacatepéquez y Chimaltenango que se encuentran en la parte alta de la cuenca.

Los valores medios de temperatura, se estimaron directamente de las series de temperatura disponibles, considerando diferentes estaciones meteorológicas dentro y fuera de la cuenca en la que se muestra que en la parte alta se tienen temperaturas promedios mensuales de 16 y 17°C; Mientras que en la parte baja, que abarca el departamento de Escuintla, (con áreas que se encuentran al nivel del mar) la temperatura promedio es de 24 y 27°C.

Precipitación pluvial

Debido a que la precipitación constituye el parámetro climatológico más variable y el que tiene mayor influencia sobre el ciclo hidrológico, la cuenca se dividió en parte alta, media y baja, analizando información de las siguientes estaciones del INSIVUMEH:

- Balanyá, la que reporta una precipitación media anual de 996 mm.
- Sabana Grande, con una precipitación media anual de 2,901 mm.
- Puerto San José, precipitación media anual de 1,555 mm.
- Alameda ICTA, precipitación media anual de 1,094 mm.
- Suiza Contenta, precipitación media anual de 1,391 mm.

Estos datos muestran que en la parte alta de la cuenca existe una menor precipitación que en la parte media-baja de la misma (Ver mapa de precipitación). La Costa Sur se caracteriza por lluvias intensas y prolongadas en los meses de invierno que comienza en Mayo y culmina en el mes de Noviembre. En la parte baja y media baja de la cuenca la lluvia es homogénea con precipitaciones entre 2,100 a 2,500 mm anuales. Luego se aprecia un aumento en la precipitación en la parte media alta y la parte alta baja en las cercanías a la falla del despliegue volcánico con precipitaciones que alcanzan 2,900 mm al año. En la parte alta se visualiza un comportamiento heterogéneo debido principalmente a la distribución del relieve en un área pequeña lo que provoca cambios bruscos en la precipitación que varía de menos de 900 mm hasta 2,900 mm anuales. Las mayores precipitaciones se concentran en la parte media y alta de la cuenca.

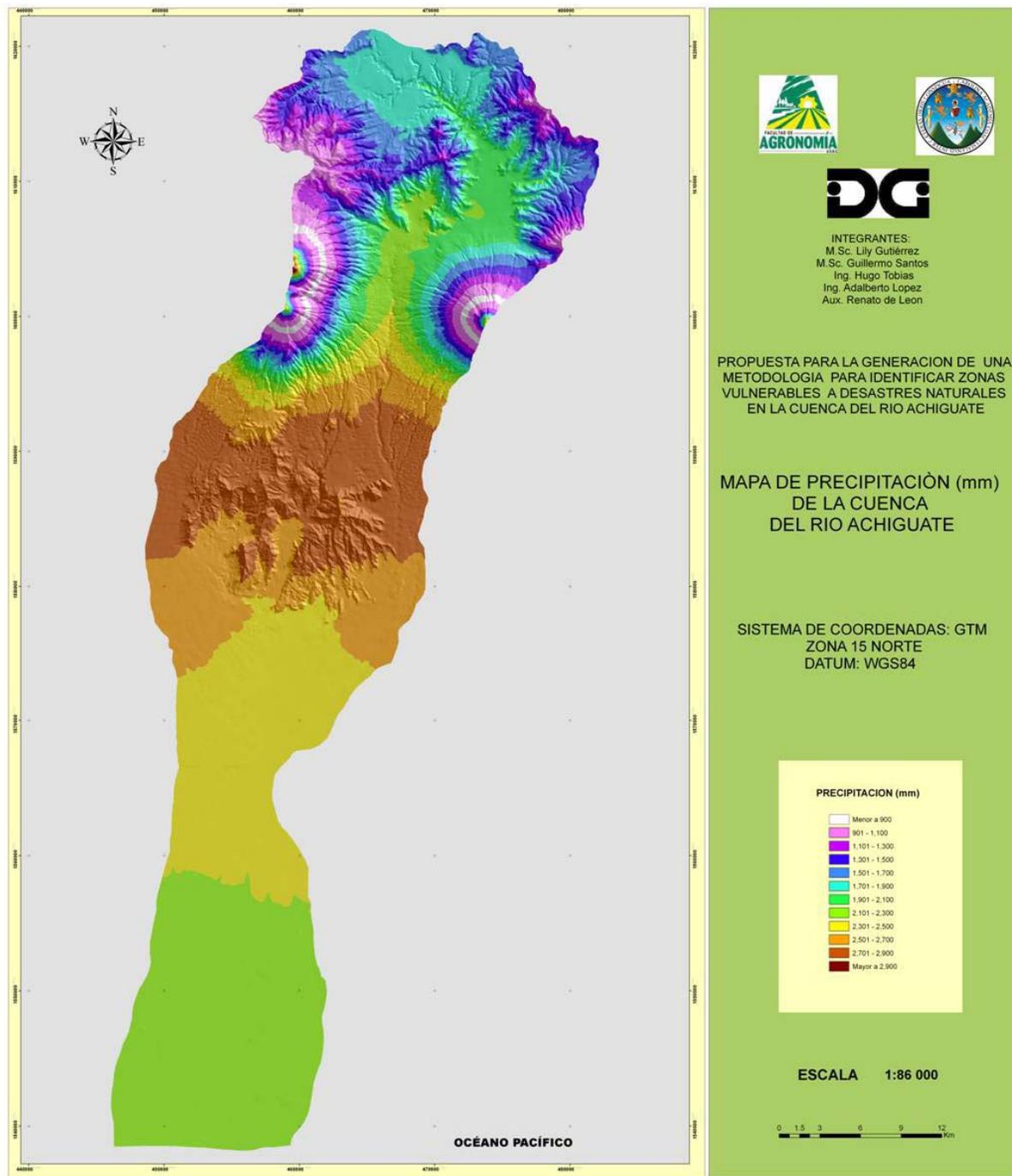


Fig. 8 Mapa de Precipitación de la Cuenca del Río Achiguate.

Evapotranspiración

La importancia cuantitativa de este parámetro es evidente cuando se estima que 57% de la precipitación anual es devuelta a la atmósfera por evapotranspiración alcanzando 90% y hasta 100% en zonas áridas y desérticas. En un día cálido, es frecuente que en algunas zonas los valores de evapotranspiración oscilen entre 3-4 mm/día. La evapotranspiración es un componente fundamental del balance hídrico y un factor clave en la interacción entre la superficie terrestre y la atmósfera. Su cuantificación se hace necesaria en la planificación del territorio y la prevención de desastres naturales como la sequía.

En el mapa de evapotranspiración, para representar las diferentes clases, se tomó como base la clasificación climática según Thornthwaite, encontrándose dos clases de clima dividido en cuatro categorías. La primera clase denominada Mesotérmico se encuentra dividida en tres categorías de humedad (B'_2 , B'_3 , B'_4) que oscilan entre 712 a 1,140 mm anuales. Esta clase se marca en la parte alta de la cuenca en distintos estratos de forma homogénea con la elevación del terreno. La segunda clase climática denominada Megatérmico con una categoría perhúmeda es característica de la parte media y baja de la cuenca y los conos volcánicos, con evapotranspiraciones mayores a 1,140 mm anuales.

Para la mayor parte de la cuenca, cuando el relieve no presenta cambios marcados en los pisos altitudinales, la distribución de la evapotranspiración es homogénea. Los valores obtenidos muestran que en la parte alta de la cuenca el equilibrio entre la precipitación y la evapotranspiración se da a mediados de Abril, que es el punto en el que el suelo inicia a saturarse y la evapotranspiración es menor; Mientras que en la parte baja se observa que a mediados de Mayo la curva de evapotranspiración es cortada por la precipitación aumentando su valor por el efecto del invierno. Estas precipitaciones tanto en la parte alta, media y baja de la cuenca disminuyen en el mes de Noviembre donde inicia la época de sequía y se observa una mayor evapotranspiración que precipitación.

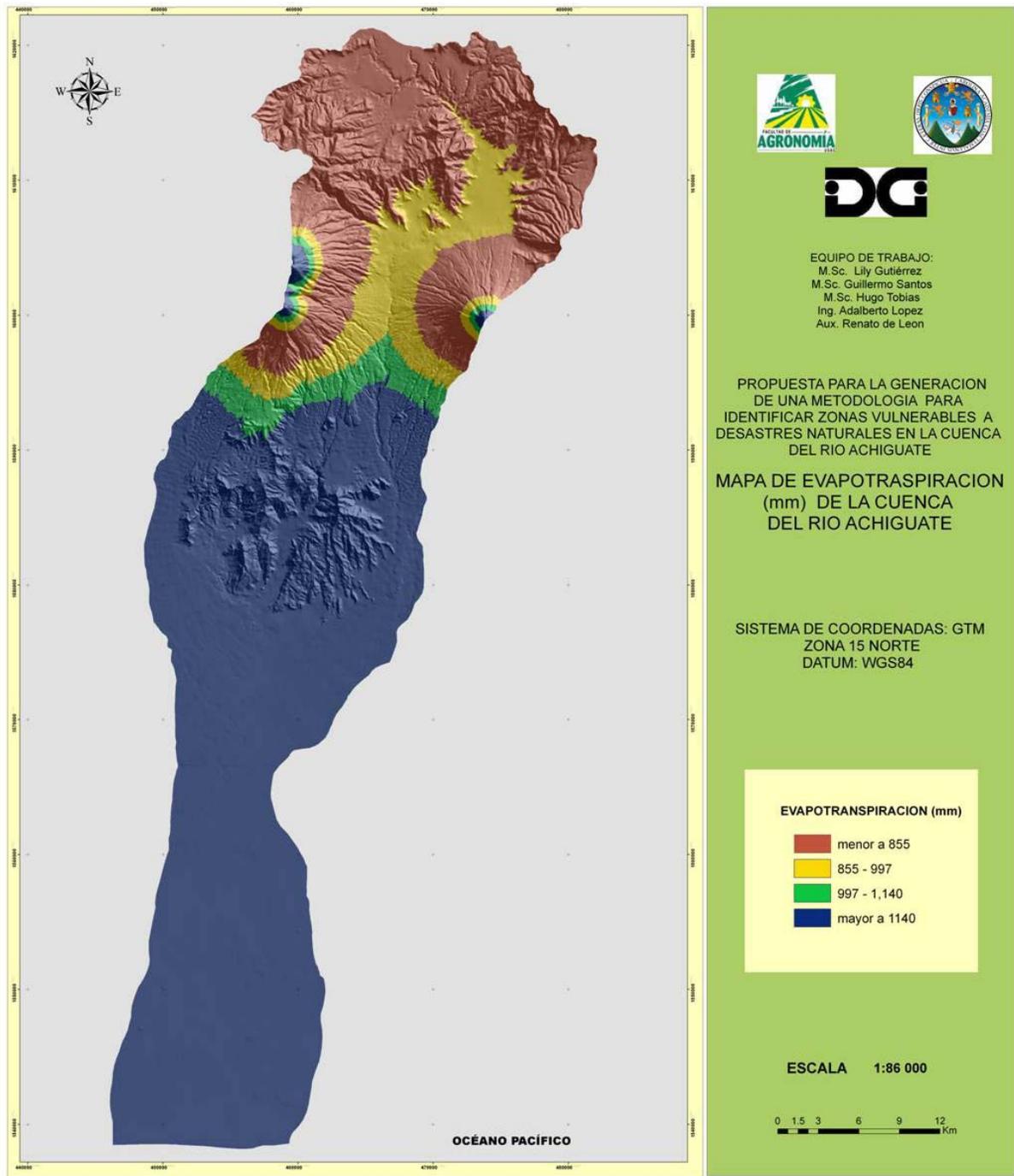


Fig. 9 Mapa de evapotranspiración de la Cuenca del Río Achiguato.

Climadiagramas

Para obtener un panorama más cercano a la realidad los climadiagramas se realizaron para cada estación meteorológica de las correspondientes al área de estudio (Balanyá, Suiza Contenta, San Martín Jilotepeque, Alameda ICTA, Sabana Grande, Camantujul, Tiquisate y Puerto San José).

Estación Balanyá

Aquí la distribución de las lluvias es uniforme durante todo el año, se caracteriza por presentar una época seca que se extiende desde Noviembre hasta la tercera semana de Abril. La época de lluvias se inicia en la cuarta semana de Abril y principios de Mayo extendiéndose hasta Octubre.

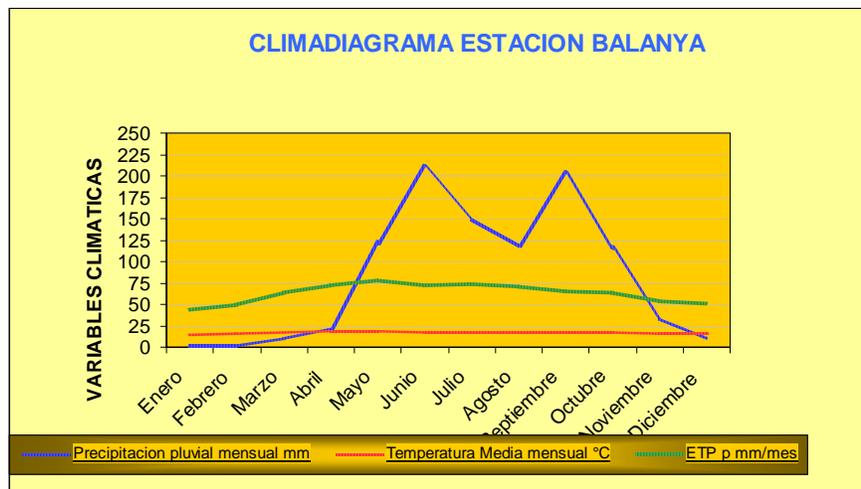


Fig. 10. Comportamiento del clima en la Estación Balanyá.

Dentro de la región que comprende la estación, en la época lluviosa, se registran dos puntos altos de precipitación, que normalmente ocurren en Junio y en Septiembre, la primera elevación de lluvia, se debe a que en este mes diferentes ondas tropicales afectan al país. La segunda elevación, entre Septiembre y Octubre, se debe a la ocurrencia de sistemas de baja presión, tormentas y ciclones tropicales que afectan al país y sus alrededores.

Con la sobreposición de los datos de precipitación y evapotranspiración se obtiene el mapa de humedad relativa, exceso de humedad y déficit hídrico. Con el análisis realizado se tiene un área que presenta un déficit hídrico a partir de Noviembre, donde inicia la época seca, hasta Abril, debido a que la temperatura se incrementa así como la transpiración de las plantas. Luego, cuando empieza la época lluviosa, al saturarse el suelo, se tiene un exceso de humedad que pasa a formar parte de la escorrentía superficial de la cuenca, alimentando las corrientes principales de la misma que ocasiona el aumento en el caudal de los ríos.

Estación Suiza Contenta

Los datos reportados indican que en esta región la temperatura promedio es baja, presentándose la más alta en Marzo y la más baja en Diciembre. Existe un déficit de precipitación de Noviembre a Abril, en la época de verano, y las mayores precipitaciones ocurren en Junio

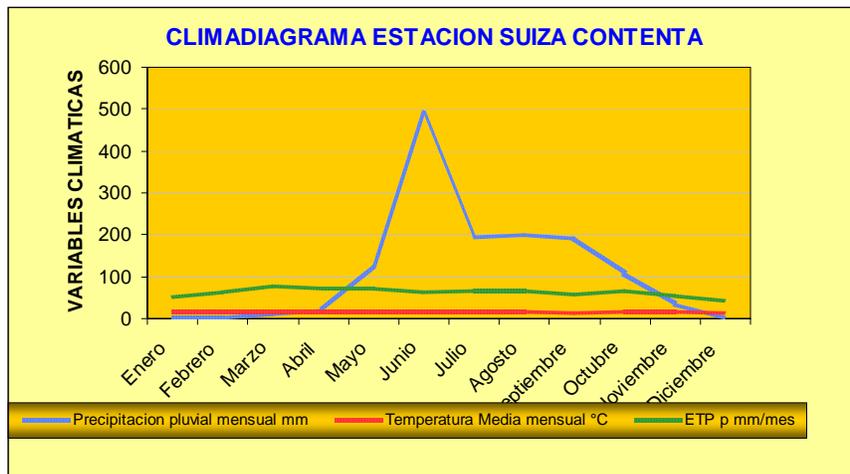


Fig. 11. Comportamiento del clima en la Estación Suiza Contenta.

Estación San Martín Jilotepeque

Las características de esta región indican que en Noviembre hay un déficit hídrico que termina hasta Abril. De Mayo a Octubre se presentan las mayores precipitaciones siendo Junio y Septiembre los meses de mayor precipitación lo que ocasiona que el manto freático se sature y aumente la escorrentía superficial. La temperatura promedio es homogénea.

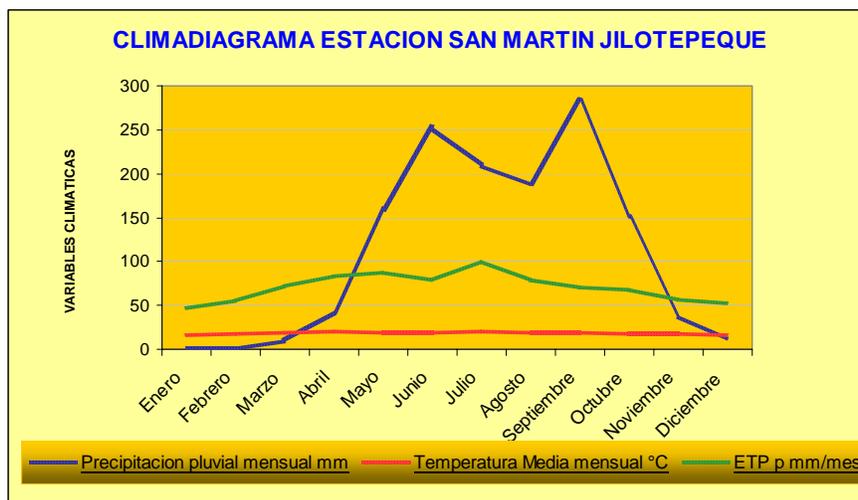


Fig. 12. Comportamiento del clima en la Estación San Martín Jilotepeque.

Estación Alameda ICTA

Esta estación presenta variables parecidas a la estación Suiza Contenta. La evapotranspiración aumenta en Julio y Agosto ya que la precipitación decae en estos meses y luego aumenta en Septiembre siendo éste el mes de mayor precipitación. De Noviembre a Abril se reportan los datos de menor precipitación. Su temperatura es homogénea a lo largo del año.

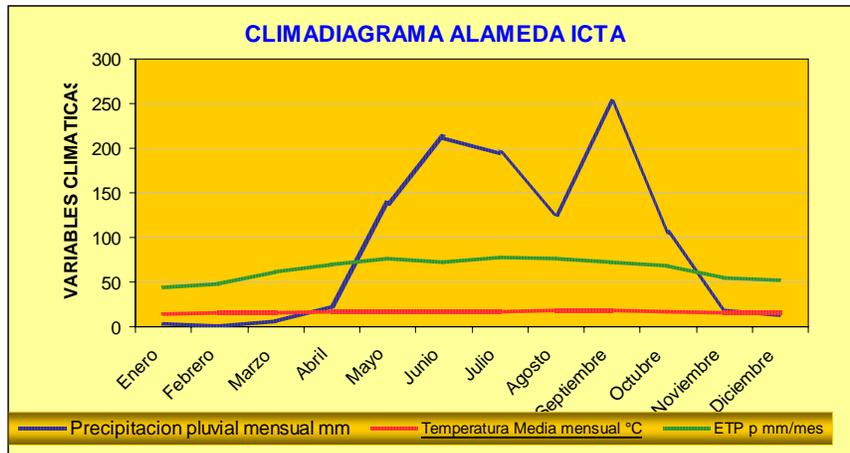


Fig. 13. Comportamiento del clima en la Estación Alameda ICTA.

Estación Sabana Grande

En esta región la distribución de lluvias, durante todo el año, es uniforme. Se caracteriza principalmente por presentar una época seca que se extiende desde Octubre hasta la tercera semana de Abril. La época de lluvias se inicia en la cuarta semana de Abril y principios de Mayo extendiéndose hasta la primera semana de Octubre.

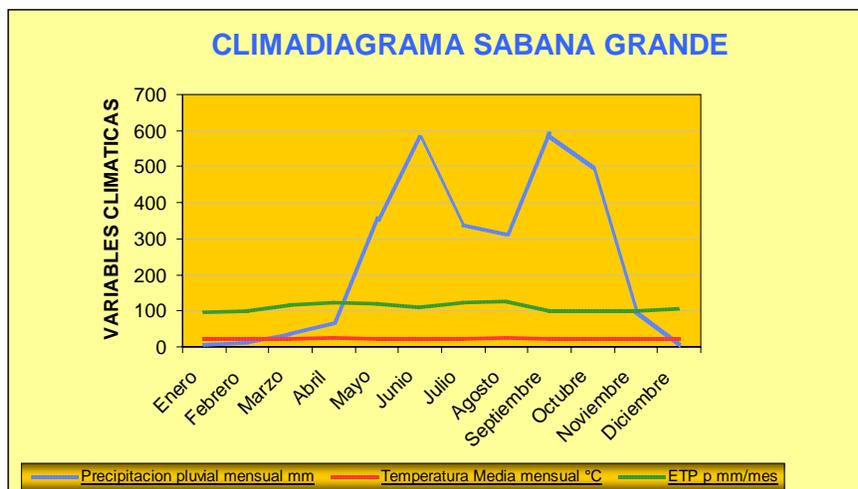


Fig. 14. Comportamiento del clima en la Estación Sabana Grande.

En la época lluviosa, se registran dos puntos altos de precipitación que normalmente ocurren en Junio y en Septiembre, la primera elevación de lluvia, se debe a las diferentes ondas tropicales que afectan al país. La segunda elevación, entre Septiembre y Octubre se debe a la ocurrencia de sistemas de baja presión, tormentas y ciclones tropicales que afectan al país y sus alrededores. La evapotranspiración es constante aumentando en Agosto debido a la disminución de la precipitación. Luego en Septiembre se observa que la evapotranspiración disminuye al aumentar la lluvia. La temperatura se mantiene constante durante todo el año.

Estación Camantujul

Se observa un déficit hídrico de Noviembre a Abril. En los meses de Mayo a Octubre se encuentran las precipitaciones más altas, en Junio se presentan inundaciones debido a la alta precipitación. Luego ésta disminuye en Julio. El mayor valor reportado de lluvia ocurre en Octubre

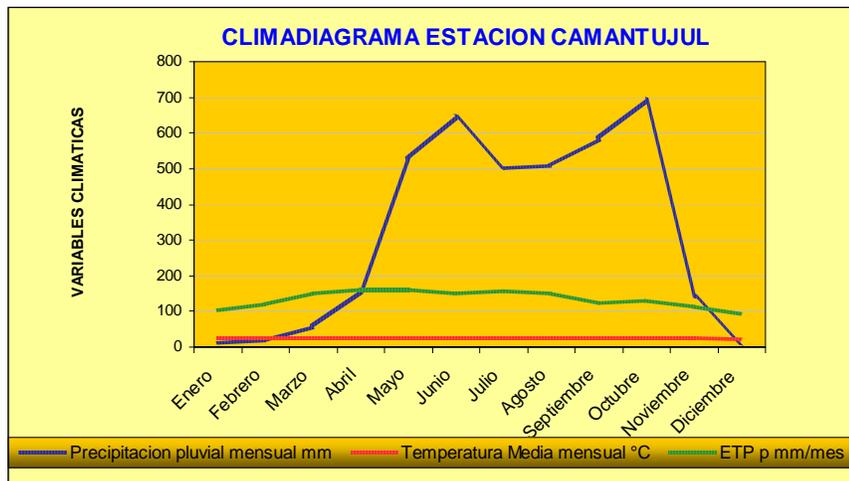


Fig. 15. Comportamiento del clima en la Estación Camantujul.

Estación Tiquisate

El climadiagrama obtenido de esta estación presenta características muy parecidas en la parte baja de la cuenca del Río Achiguate. Reporta valores altos de precipitación de Junio a Octubre pero la evapotranspiración y la temperatura media es más alta.

La evapotranspiración alcanza valores arriba de 200 mm/mes esto ocurre en los meses de Marzo y Abril donde los valores de precipitación son menores.

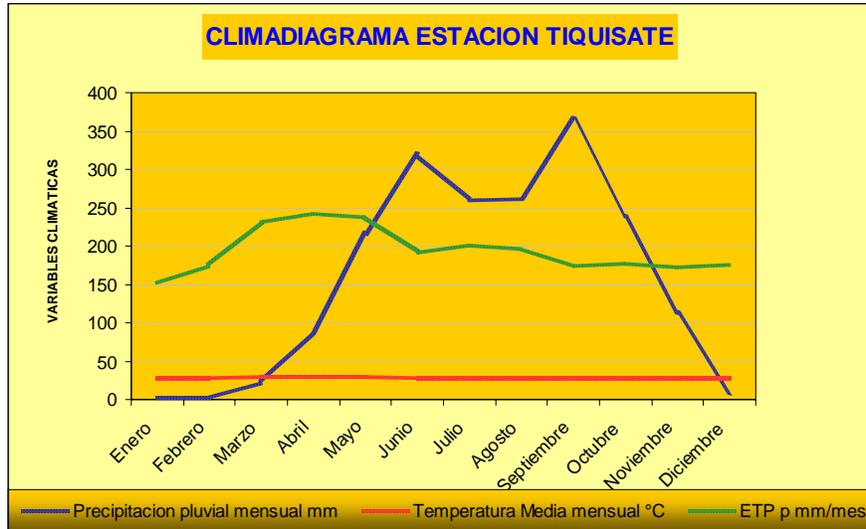


Fig. 16. Comportamiento del clima en la Estación Tiquisate.

Estación Puerto San José

El climadiagrama obtenido presenta los valores de evapotranspiración más altos de la cuenca, debido a que la temperatura promedio es mayor que en las otras estaciones. Se observa que en los meses de Noviembre a Abril hay un déficit hídrico. Se encuentran dos puntos altos de precipitación, el primero en Junio pero disminuye hasta Agosto ocasionando un déficit a mediados de año, el segundo ocurre en Octubre en donde la precipitación llega a su valor más alto. La temperatura es mayor pero se mantiene constante, lo que ocasiona que la evapotranspiración sea irregular en el transcurso del año.

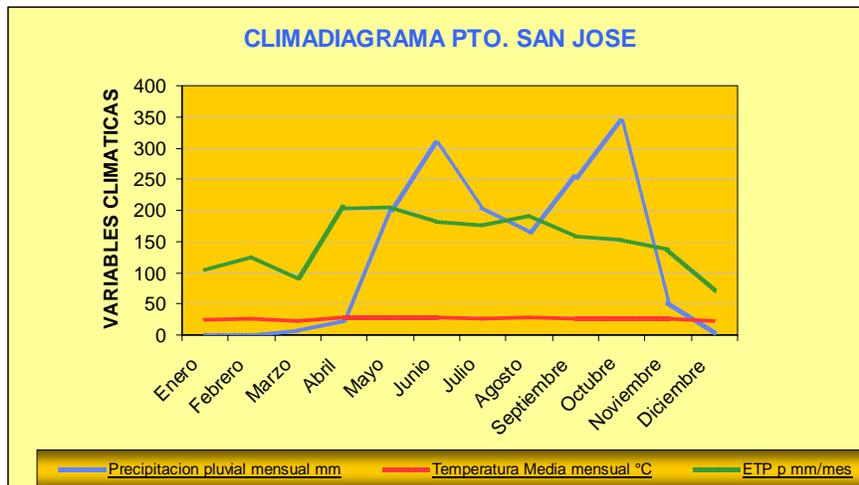


Fig. 17. Comportamiento del clima en la Estación Puerto San José.

Balance Hídrico

El Índice de Balance Hídrico es un indicador de la disponibilidad de agua para los cultivos. Este trabajo pretende mostrar con anticipación las áreas con potenciales problemas de sequía. El estudio de los mapas generados será beneficioso ya que permite predecir posibles daños en la producción agrícola debido a sequías y así servir de insumo para la toma de decisiones respecto a la seguridad alimentaria de la población.

Como se observa en el Mapa de Balance Hídrico la cuenca no presenta mayores problemas de déficit hídrico. Únicamente en la parte media de los volcanes, que corresponde al municipio de Alotenango, presentan un déficit menor a -23 mm. Y parte Sur de la cuenca con valores que van de -23 a 150 mm, que corresponde a parte de los municipios de San José, Masagua y La Democracia. Parte de los municipios de Alotenango, Siquinalá y Escuintla son los que presentan mayor recarga hídrica con valores mayores a 1300 mm. Seguido de parte de los municipios de San Miguel Dueñas, Ciudad Vieja, Santa Catarina Barahona, Antigua Guatemala, San Antonio Aguas Calientes, Pastores, Jocotenango, Sumpango, El Tejar, Chimaltenango, Itzapa y Parramos con valores que oscilan de 900 a 1300 mm.

El monitoreo eficaz por parte de las municipalidades del Índice de Balance Hídrico es una herramienta que provee información de la producción agrícola y ayudará a dar una alerta temprana en caso de anomalías en el estado de los cultivos debido a sequías y así apoyar la toma de decisiones que minimicen el impacto negativo de la seguridad alimentaria en la población.

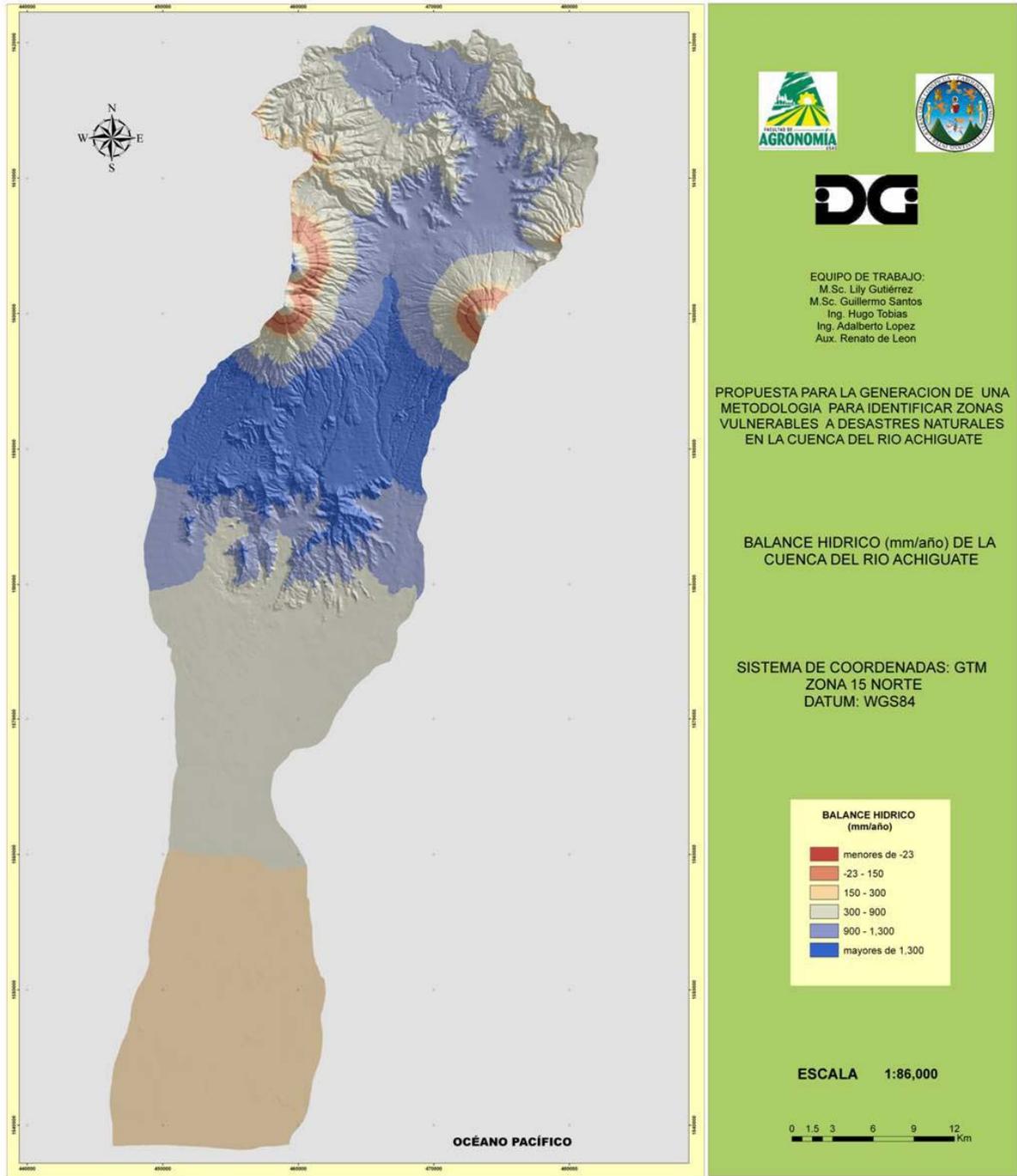


Fig. 18. Mapa de Balance Hídrico de la Cuenca del Río Achiguate

Zonas de Vida

Según de la Cruz (1,976) en la cuenca del Río Achiguate se encuentran cinco zonas de vida que se presentan en el siguiente mapa.

Bosque muy Húmedo Subtropical (cálido) (bmh-S(c))

Es la zona de vida más extensa en la cuenca con 699 km² que constituye el 53% del territorio total. Se localiza en toda la región fisiográfica conocida como pendiente volcánica reciente, abarcando una pequeña franja que se extiende hacia al Norte, hasta San Antonio Aguas Calientes. Hacia el Sur, se extiende por Escuintla, Siquinalá y la Democracia, cerca del municipio de San José. La precipitación total anual varía de 1,587 a 2,066 mm con un promedio anual de 1,826 mm. La altitud oscila de 80 a 1600 msnm. El cultivo principal es la caña de azúcar.

Bosque Húmedo Montano Bajo Subtropical (bh-MB)

El área que abarca esta zona es de 328 km² (25% de la cuenca) se localiza en la parte Norte abarcando los municipios de San Miguel Dueñas, Parramos, Santa Lucia Milpas Altas, Sumpango, El Tejar, Chimaltenango, Antigua Guatemala, Magdalena Milpas Altas, Jocotenango y Pastores. La precipitación se presenta en forma variable, alcanzando 1,322 mm promedio al año, la biotemperatura es de 15°C. La topografía varía de ondulada a accidentada, presenta algunas pequeñas mesetas que constituyen las mejores áreas agrícolas de la región. El área en su mayor parte es de vocación forestal, la vegetación natural típica son rodales de *Quercus spp.* La altitud va de 1,500 a 2,400 msnm.

Bosque Húmedo Subtropical (calido) (bh-S(c))

Esta zona se encuentra en la mayor parte del municipio de San José, tiene un área de 189 km² (14% de la cuenca). La lluvia promedio anual es de 2,000 mm. La zona de la Costa Sur tiene un patrón de lluvias que van de 1,200 a 2,000 mm, en la parte Norte la lluvia oscila de 1,160 a 1,700 mm. La biotemperatura varía de 22 a 27°C. Posee una topografía suave.

Bosque muy Húmedo Montano Bajo Subtropical (bmh-MB)

Esta zona abarca 65 Km² que constituye el 5% de la cuenca. Se ubica en la parte Noreste, en las faldas de los volcanes de Agua, Fuego y Acatenango, en los municipios de Alotenango, San Miguel Dueñas hasta Parramos y San Antonio Aguas Calientes. La precipitación anual es variable; 2,065 mm como mínima, 3,900 mm la máxima y 2,982 mm promedio. La biotemperatura varía de 13 a 19°C, la altitud oscila de 1,800 a 3,000 msnm. La vegetación natural predominante que puede considerarse como indicadora es *Cupressus lusitánica*. La topografía de esta zona es accidentada, por lo que el uso más adecuado es agroforestal y forestal.

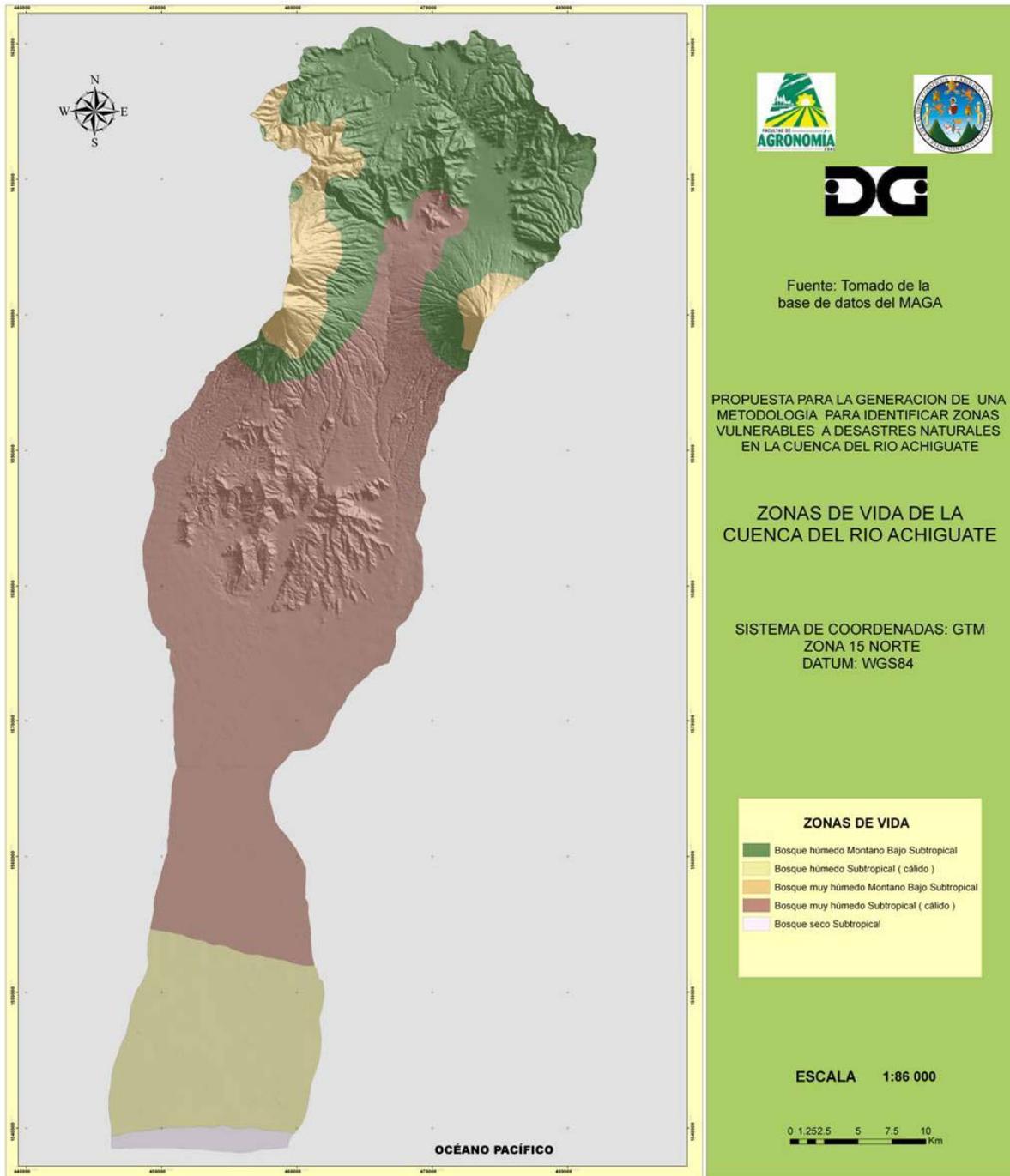


Fig. 19. Mapa de Zonas de Vida de la Cuenca del Río Achiguato tomado del MAGA.

Bosque Seco Subtropical (bs-S)

Abarca una franja angosta de 20 km² que constituye el 2% del área. La precipitación varía de 500 a 1,000 mm, la biotemperatura es de 19 a 24°C variando su altitud de 0 a 200 msnm. El clima tiene días claros y soleados durante los meses en que no llueve y parcialmente nublados durante la época de Enero a Abril.

8.5.2 Recurso Hídrico

La cuenca del Río Achiguate abarca una extensión de 1,313 km². El cauce principal tiene una longitud de 116 km con lo que se obtiene un factor de forma de 0.097 el cual, según Horton, citado por Herrera (1,995), es un indicador de una forma alargada (Ver mapa de órdenes de corrientes).

Dentro de la cuenca se observan los tres tipos de corrientes superficiales (permanentes, intermitentes y efímeras). El cauce principal del Río Achiguate presenta un orden de corrientes de 6. En el siguiente cuadro se presenta el orden de corrientes y su longitud dentro de la cuenca.

Cuadro 7. Orden de corrientes dentro de la Cuenca del Río Achiguate.

Orden de corrientes	Número de corrientes	Longitud de corrientes (m)
1	900	407.84
2	200	444.39
3	46	162.45
4	4	51.21
5	2	76.29
6	1	32.41

Fuente: Elaboración propia

La figura 21 muestra una relación negativa entre el orden de corrientes y la cantidad de corrientes identificadas; La gráfica corresponde a una recta de pendiente casi homogénea típica de una relación adecuada. La relación de bifurcación dentro de la cuenca es de 4.8, que se encuentra dentro de un rango normal (entre 2 y 5 con un valor promedio de 3.5).



Fig. 20. Mapa de Órdenes de Corrientes de la Cuenca del Río Achiguate.

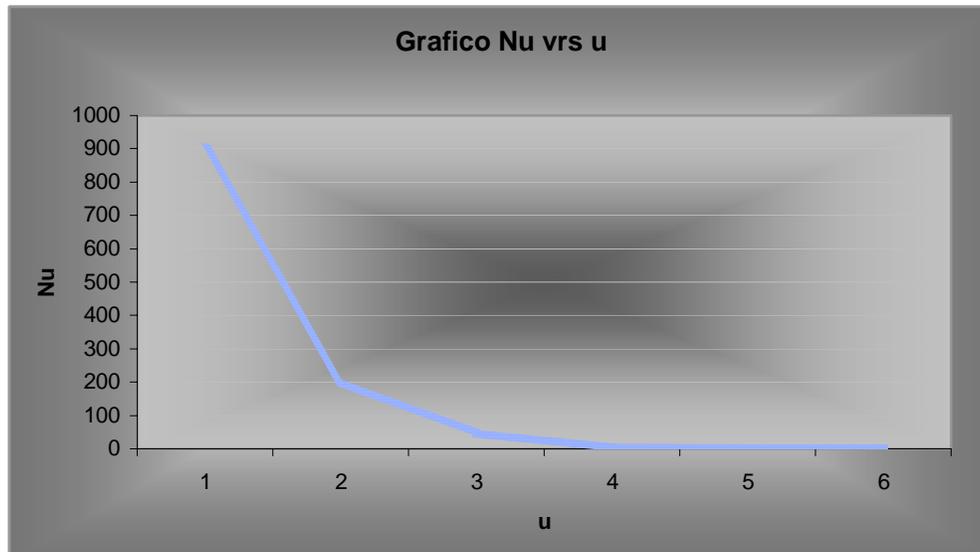


Figura 21. Relación entre el orden de corriente y número de corrientes

En cuanto a la longitud media de corrientes se observa que la dispersión de los datos muestra un comportamiento normal. En la parte baja y parte alta-media de la cuenca, que corresponde a los órdenes de corrientes mayores, los ríos presentan longitudes largas que reflejan pendientes suaves; En la parte volcánica y en la parte alta se tienen relieves más escarpados, longitudes cortas y órdenes de corrientes menores.

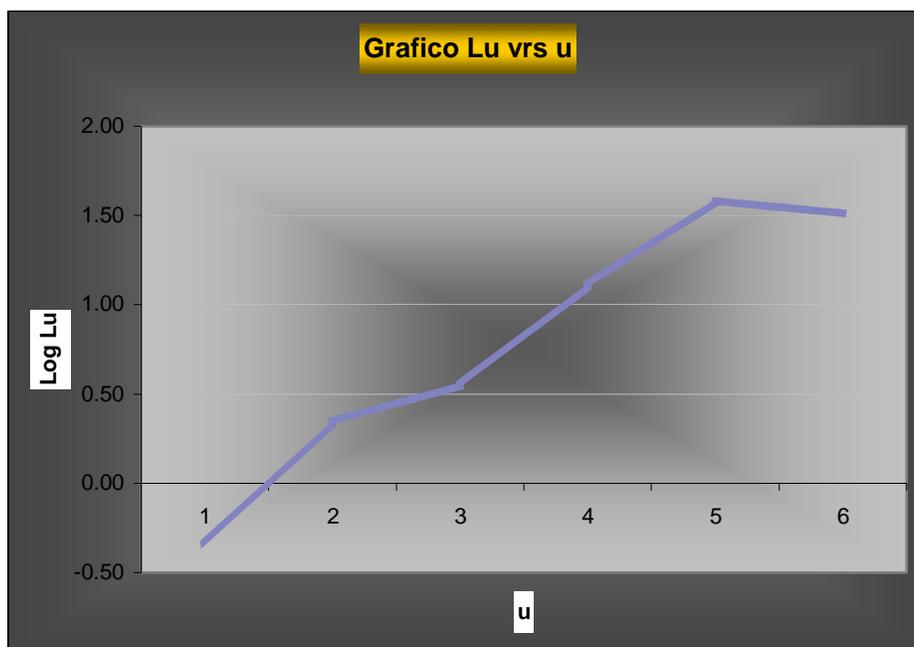


Figura 22. Relación entre longitud y orden de corriente.

Con respecto a la densidad de drenaje se observa que es bastante baja; Existen 0.89 kilómetros de drenajes por cada kilómetro cuadrado. Este valor refleja una baja respuesta hidrológica, es decir que responde lentamente al flujo de superficie (escorrentía superficial).

8.5.3 Aspectos de relieve

Acerca del relieve de la cuenca se determinó, según el método propuesto por Alvord citado por Herrera (1,995), que la pendiente promedio de la cuenca es de 16% con pendientes máximas de 110% en los volcanes. Esto refleja que es una cuenca joven en periodo de formación. La baja pendiente promedio de la cuenca aunada a la baja pendiente del cauce principal (2%), hace que la velocidad de flujo sea de baja a media, lo que indica que el caudal total, recibe una alta contribución de las aguas subterráneas así como de las partes altas de la cuenca.

Las pendientes menores de 10% tienen una mayor extensión en la parte baja de la cuenca lo que influye en el resultado del cálculo morfométrico ya que en la parte media de la cuenca se presentan pendientes mayores de 100% (en los volcanes).

Las pendientes que se encuentran en un rango de 25 a 75% se ubican en la parte alta de la cuenca correspondiente a los municipios de Chimaltenango y Sacatepéquez como se puede observar en el Mapa de Pendientes.

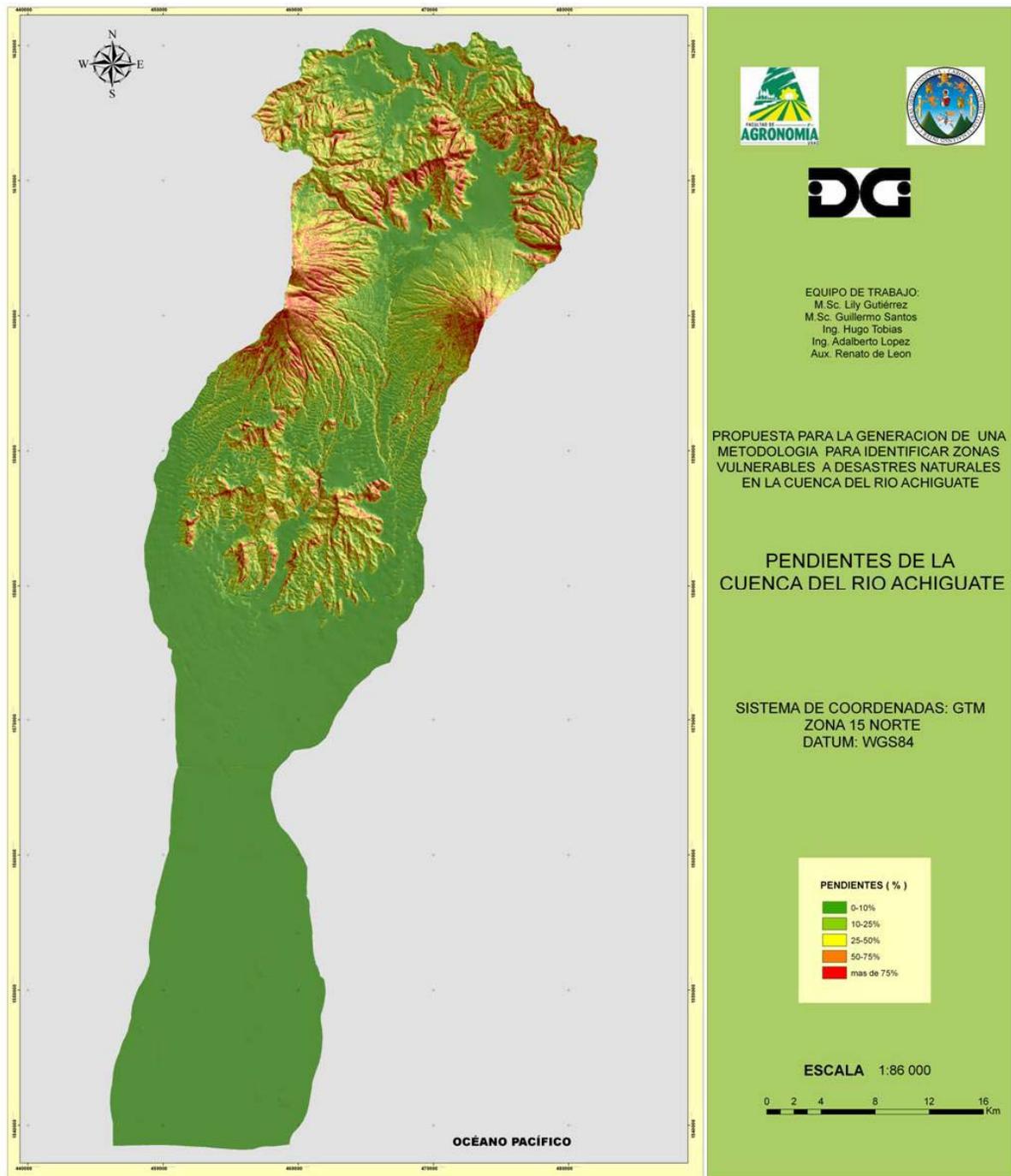


Fig. 23. Mapa de Pendientes de la Cuenca del Río Achiguato.

Fisiografía

En la cuenca del Río Achiguate se encuentran únicamente dos áreas fisiográficas:

Tierras Altas Volcánicas: Con un porcentaje de cobertura de 56% especialmente en la parte alta y media de la cuenca. Esta región es producto de las erupciones de los volcanes que lanzaron material de todo tipo, pero principalmente basalto y riolitas que cubrieron las formaciones de tierras preexistentes, desarrolladas sobre el basamento cristalino y sedimentario que se encuentra hacia el Norte. La formación de esta región volcánica fue seguida por fallas causadas por la tensión local, la cual quebró y movió el material de la superficie. Varias cuencas de esta región han sido llenadas parcialmente o cubiertas con pómez cuaternaria, lo que proporciona un paisaje muy contrastante con las áreas volcánicas escabrosas que las rodean.

Llanura Costera del Pacífico: Abarca, principalmente, la parte baja de la cuenca (44% de cobertura). Dentro de esta provincia fisiográfica del Sur, está comprendido el material aluvial cuaternario que cubre los estratos de la plataforma continental. Los fluvios 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 de aproximadamente 50 km de ancho a lo largo de la Costa del Pacífico. Por lo general, las elevaciones son menores de 200 msnm y el drenaje, en su mayor parte, es deficiente. Son comunes las extensas áreas sujetas a inundación, particularmente en el Oeste. En contraste a la Costa del Caribe, son menos frecuentes formas de tierra tales como barras de boca de bahía, barras fuera de playa, esteros o islotes. Aquí, las playas de arena negra con áreas de pantano de mangle y algunos esteros son característicos de la región.

8.5.4 Tipos de Suelos

De acuerdo a Simons *et al* (1,959) en el área se encuentran cinco órdenes de suelos que han sido representados en el Mapa de Taxonomía de Suelos de la cuenca y que abarcan los siguientes órdenes de suelos:

Entisoles (Ent): Este orden posee el área de mayor cobertura de la cuenca, con 572 km² (44% del total). Son suelos con poca o ninguna evidencia de desarrollo de su perfil y, por consiguiente, de los horizontes genéticos. El poco desarrollo es debido a “condiciones extremas, tales como el relieve (el cual incide en la erosión o, en su defecto, en la deposición superficial de materiales minerales y orgánicos)” (15) y, por otro lado, condiciones como el exceso de agua. Estos suelos están presentes en áreas muy accidentadas (cimas de montañas y volcanes) y en partes planas.

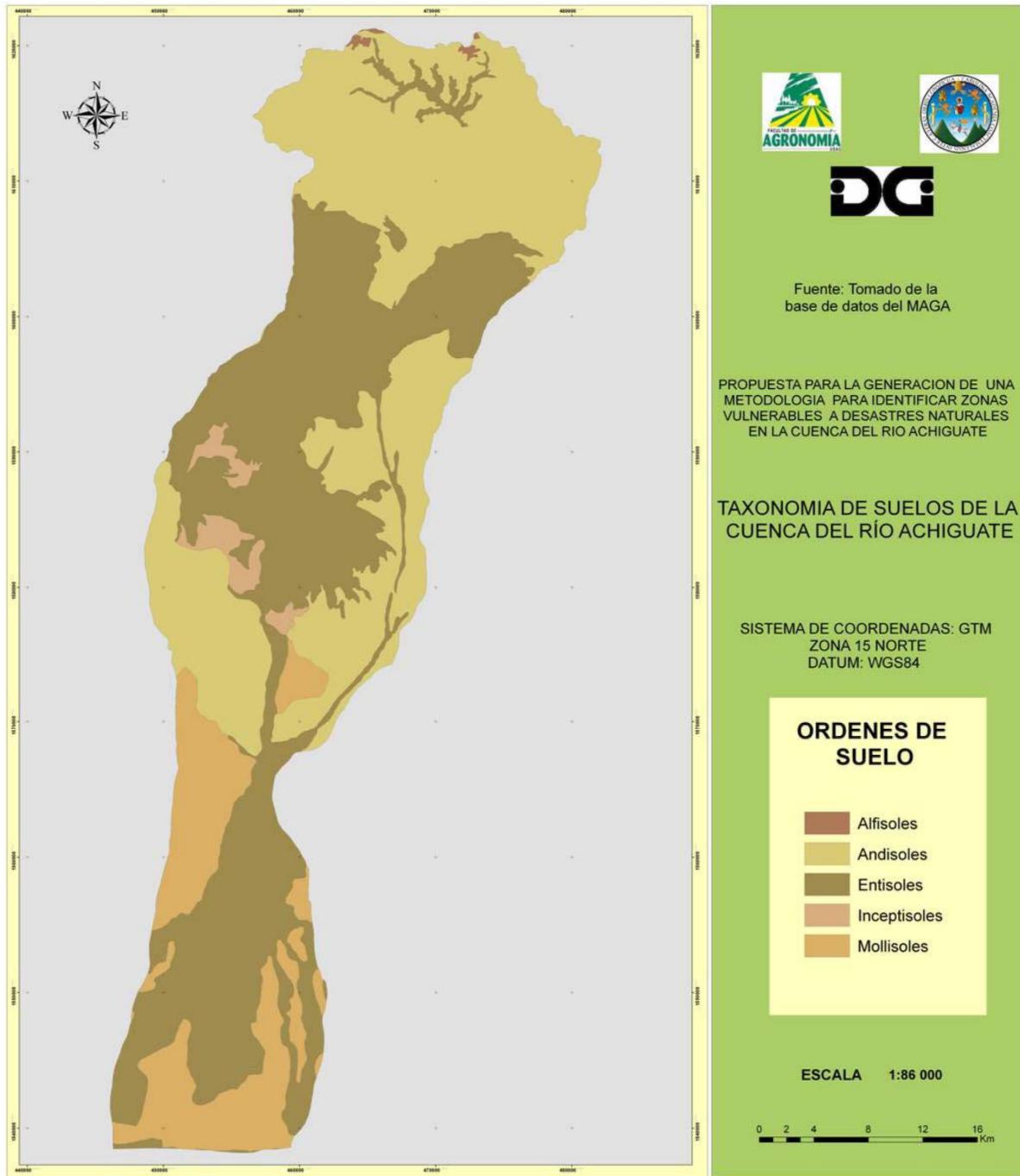


Fig. 24. Mapa de Taxonomía de Suelos de la Cuenca del Río Achiguato tomado del MAGA.

Andisoles (And): Este orden ocupa 540 km², lo que representa el 41% de la superficie total. Son suelos desarrollados sobre ceniza volcánica que tienen baja densidad aparente (menor de 0.9 g/cc) y con altos contenidos de alófono. Generalmente son suelos con alto potencial de fertilidad y adecuadas características físicas para su manejo. En condiciones de fuerte pendiente tienden a erosionarse con facilidad. “Una característica de los andisoles es su alta retención de fosfatos (arriba del 85%), lo cual es una limitante para el manejo, por lo que se debe considerar en los planes de fertilidad cuando se someten a actividades de producción agrícola” (19).

Mollisoles: Se encuentran cubriendo el 13% de la cuenca y se caracterizan por ser suelos con un horizonte superficial grueso, oscuro, “generalmente con alto contenido de materia orgánica y una alta saturación de bases (mayor del 50%)”. Son suelos bastante fértiles, y por sus características físicas y químicas, generalmente son muy buenos suelos para la producción agrícola” (19). Es común encontrarlos en relieves planos o casi planos, lo que favorece su mecanización.

Inceptisoles: Este orden ocupa el 2% de la cuenca. “Son suelos incipientes o jóvenes, sin evidencia de fuerte desarrollo de sus horizontes, pero son más desarrollados que los entisoles” (19). Son suelos muy abundantes en diferentes condiciones de clima y materiales originarios.

Alfisoles: Este orden se encuentra cubriendo únicamente 0.16% del área. “Son suelos con un horizonte interno que tiene altos contenidos de arcilla con relación a los horizontes superficiales, además presentan alta saturación de bases (mayor de 35%)” (19). Los alfisoles son suelos maduros con un grado de desarrollo avanzado, pero que todavía tienen un alto contenido de bases en los horizontes interiores. Generalmente son suelos con buena fertilidad.

8.5.5 Uso y cobertura de la tierra

Se identificaron diez y ocho usos de la tierra dentro de los que destacan; Tierras de cultivo semipermanente con 34% de cobertura del área, Pastos cultivados con 13% del área y Bosque de coníferas con 11%. Entre las categorías que ocupan menor área se encuentran; Centro poblado rural (0.10%), Centro poblado urbano (0.10%) y Cuerpos de agua (0.06%) como se observa en el siguiente cuadro.

Cuadro 8. Uso y cobertura actual de la tierra en la cuenca del Río Achiguate.

No	Categoría	Area (km ²)	Área (%)
1	Tierras de cultivo semipermanentes	443.9936164	33.86
2	Pastos cultivados	172.349085	13.15
3	Bosque de coníferas	149.3470571	11.39
4	Bosque latifolear	107.3886795	8.19
5	Bosque mixto	90.53925654	6.91
6	Olericultura	88.94715885	6.78
7	Superficie con escasa vegetación	87.65997568	6.69
8	Cultivo de clima templado	51.15277824	3.90
9	Centro poblado urbano	45.53447386	3.47
10	Tierras de cultivo anual	41.7791013	3.19
11	Matorral	12.67399099	0.97
12	Lava o roca	6.08858117	0.46
13	Playa	6.06888739	0.46
14	Cultivo de clima frío	2.720863919	0.21
15	Cultivo de clima calido	1.413421791	0.11
16	Centro poblado rural	1.30496045	0.10
17	Infraestructura	1.294237205	0.10
18	Cuerpos de agua	0.816415865	0.06
	TOTAL	1311.072541	100

Fuente: Elaboración propia

Entre los cultivos semipermanentes la caña de azúcar es la que ocupa el mayor porcentaje del área (32%), se localiza en la parte baja de la cuenca. En la parte media de la cuenca predomina el bosque latifoleado y bosque mixto; En la parte alta de la cuenca hay una mayor área de bosque de coníferas, así como cultivos de clima templado y frío (Ver mapa de uso y cobertura de la tierra).

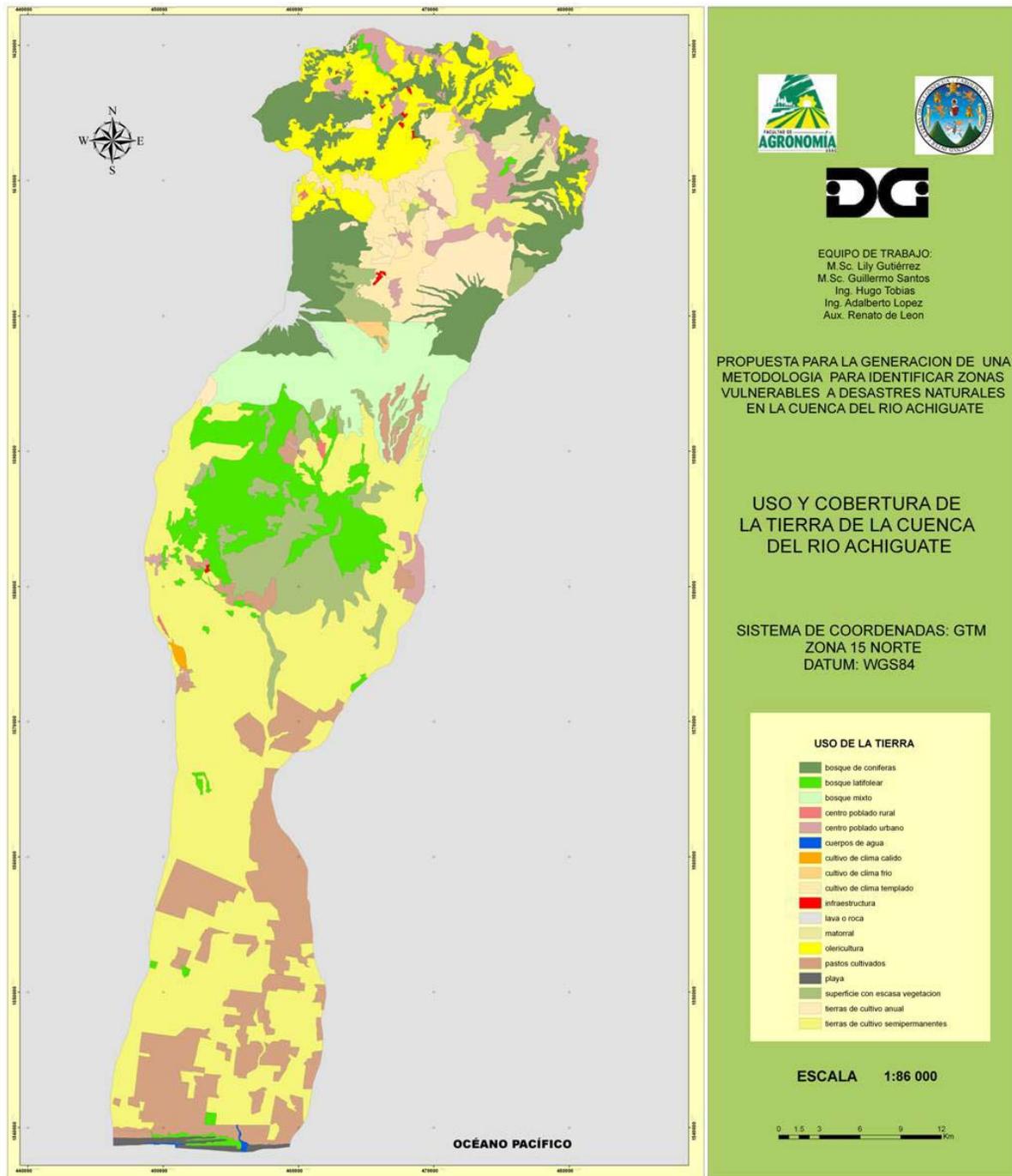


Fig. 25. Mapa de Uso de la Tierra de la Cuenca del Río Achiguate.

8.5.6 Áreas susceptibles a deslizamientos

Los deslizamientos son de vital importancia debido a que afecta la dinámica de desarrollo y luego la capacidad de recuperación de los grupos vulnerables. En el área rural afecta medios de producción agrícola y la escasa infraestructura.

Es imperativo que las autoridades municipales comprendan la interrelación de la vulnerabilidad social, física, económica y ambiental de las diversas comunidades que comprenden su jurisdicción ya que cada una presenta escenarios diferentes de topografía, estructura económica y productiva, etnicidad y multiculturalidad que tendrán efectos diferentes al momento de la ocurrencia de un deslizamiento.

Como se observa en el Mapa de Deslizamientos, las zonas con alta vulnerabilidad a deslizamientos se presentan principalmente en las partes montañosas de Escuintla y coinciden con áreas que presentan escasa vegetación y pendientes mayores a 50 %. Las zonas con vulnerabilidad media se ubican en San Andrés Itzapa, Chimaltenango, Parramos (un área de escasa extensión), El Tejar, Pastores, Antigua Guatemala (reducidas áreas), Ciudad Vieja, Magdalena Milpas Altas, Santa Catarina Barahona, San Miguel Dueñas (en las faldas del volcán), Alotenango, San Antonio Aguas Calientes, San Bartolomé Milpas Altas, Santa María de Jesús, Escuintla y Siquinalá (en la parte aledaña a los volcanes).

El reto para las municipalidades es grande ya que se requiere la colaboración en la gestión compartida y cooperativa de biosistemas que agrupan comunidades y recursos además de la gestión territorial, considerando a las cuencas hidrográficas como la necesaria unidad de planificación lo que repercutirá en una reeducación de costos financieros para la reducción del riesgo los cuales se podrán invertir en el desarrollo del territorio. El mapa de deslizamiento, producto de esta investigación, constituye una contribución para la valorización de la gestión ambiental por parte de las autoridades locales y que debe usarse como elemento estratégico para la reducción de riesgo a deslizamientos dentro de su territorio.

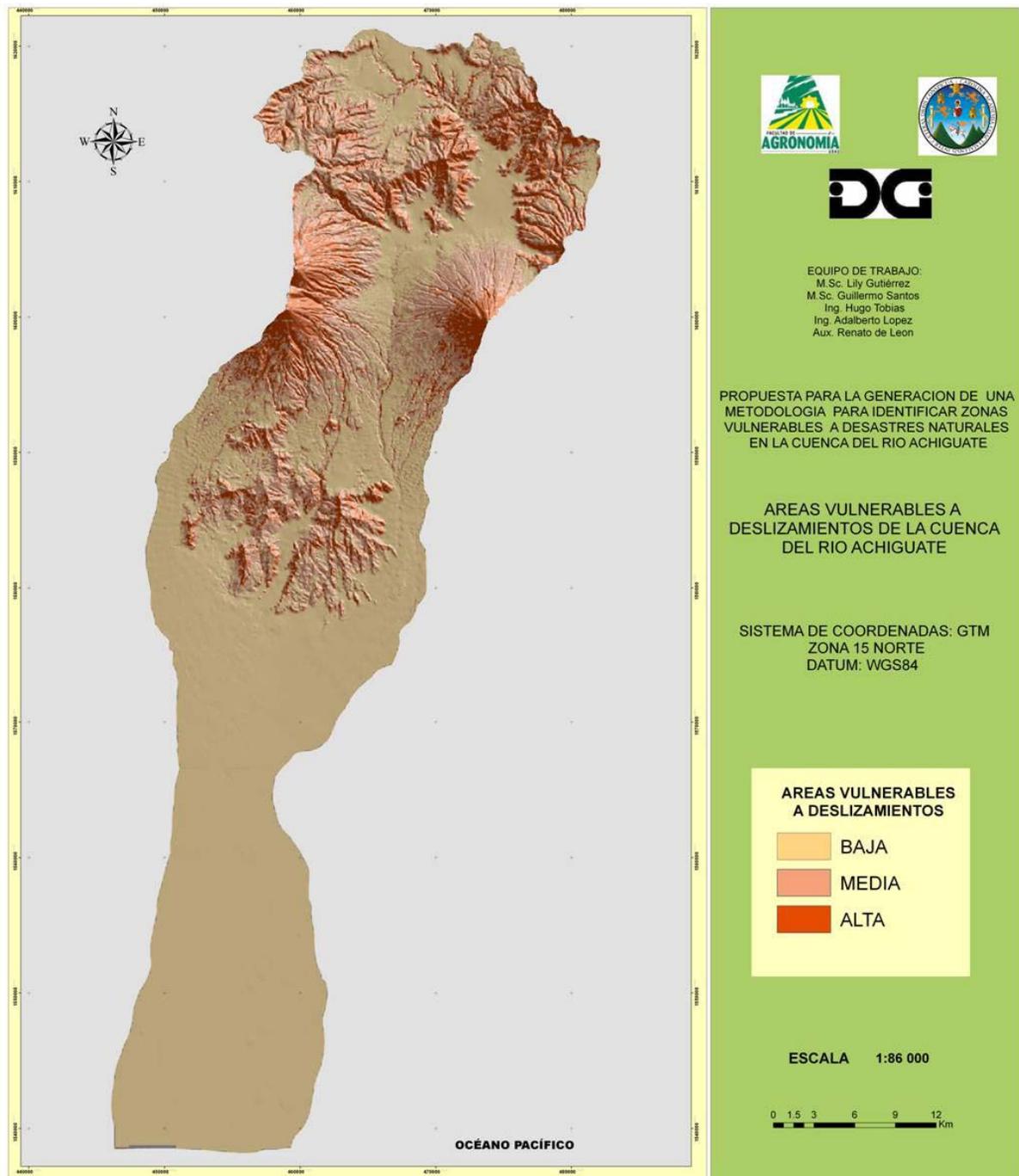


Fig. 26. Mapa de Áreas Vulnerables a Deslizamiento en la Cuenca del Río Achiguaté.

8.5.7 Áreas susceptibles a sequías

Las sequías ponen de relieve la necesidad de mejorar los sistemas de monitoreo de fenómenos naturales que afectan la seguridad alimentaria en Guatemala. La relevancia de estos estudios es obvia en un país como Guatemala donde existe un alto porcentaje de la población viviendo en extrema pobreza especialmente en las áreas rurales donde la pérdida de cosechas, sumadas al alto grado de desnutrición, conlleva a las familias a una situación crítica de inseguridad alimentaria y económica. Durante la sequía del 2004 una gran cantidad de familias perdieron hasta el 100% de sus cosechas en varias regiones de Guatemala, la inseguridad alimentaria se puso de manifiesto en forma dramática en el caso de Jocotán y Camotán.

Experiencias pasadas como los huracanes Mitch y Stan y las sequías han mostrado la fragilidad de Guatemala para detectar y responder tempranamente ante desastres naturales y proteger a la población de sus drásticos efectos. El impacto de la sequía del año 2001 en la seguridad alimentaria de la región aumentó debido a que la población aún no se había recuperado de los efectos del huracán Mitch que ocurrió en octubre de 1998. A esto se sumó la pérdida de empleo en un sector de la población debido a la crisis en el sector cafetalero empeorando, la situación de muchas familias.

Se estima que más del 12% del territorio de la República de Guatemala está amenazado por la desertificación, mientras que un 87% del territorio nacional presenta susceptibilidades a sequías. La importancia de la detección de zonas de amenaza a sequía es vital cuando se le combina con la vulnerabilidad (el índice de pobreza a nivel municipal que integra los distintos factores sociales) y puede predecir aquellos lugares que requerirán de atención focalizada por parte de las autoridades municipales para evitar desastres como lo ocurrido en 2001 en poblados de oriente.

Con relación a la vulnerabilidad a sufrir sequías vemos que a pesar de que toda la cuenca califica como un área húmeda, existen zonas con muy alto riesgo (>90%) a sufrir sequías y se ubican en parte de los Municipios de San Andrés Itzapa, Parramos, San Miguel Dueñas, San Bartolomé Milpas Altas, Magdalena Milpas Altas, Antigua Guatemala, Ciudad Vieja, Alotenango, Escuintla y Siquinalá (Ver Mapa de Sequía).

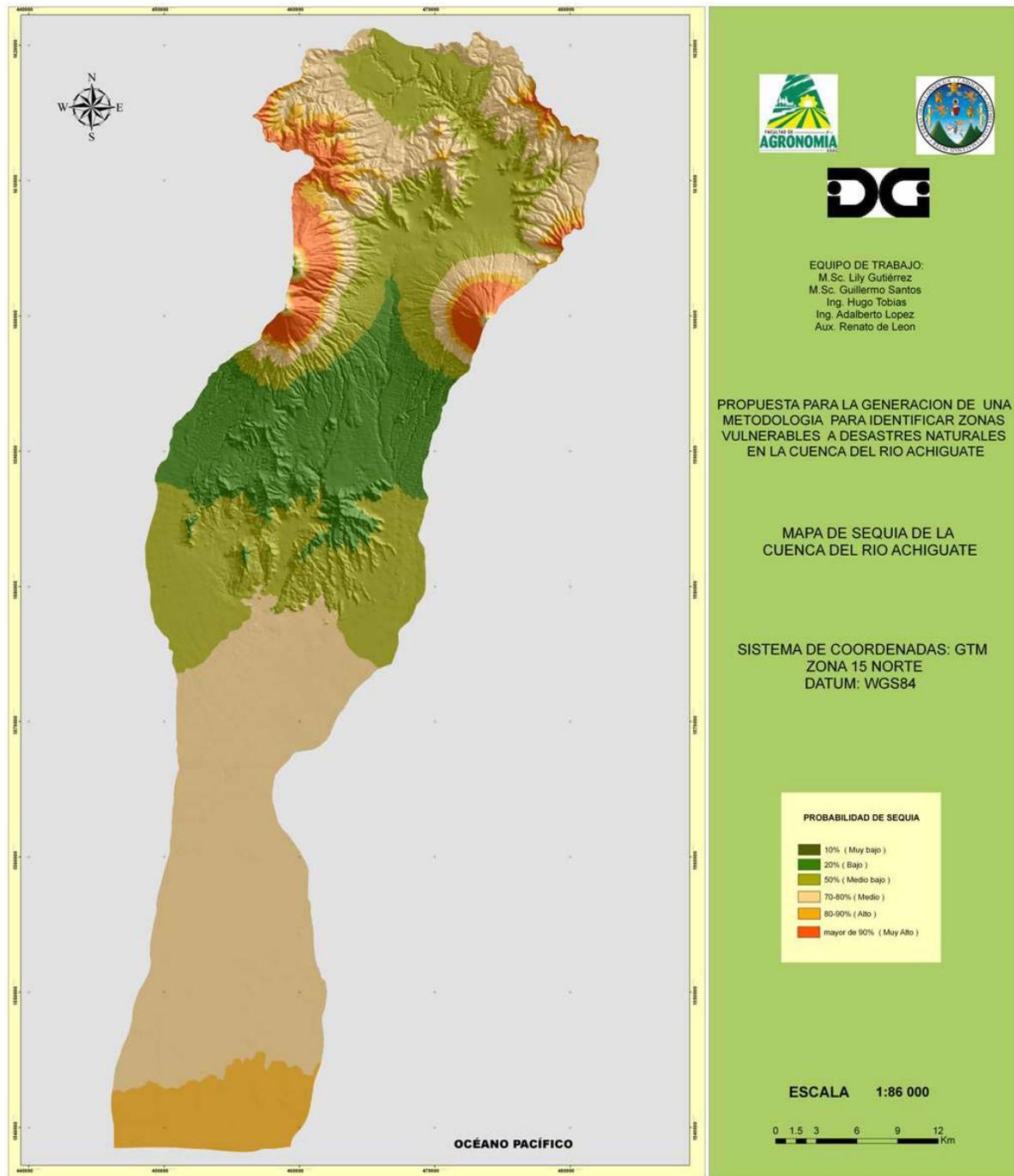


Fig. 27. Mapa de Áreas Vulnerables a Sequía en la Cuenca del Río Achiguate.

XIX. CONCLUSIONES

El hallazgo más importante de esta investigación lo constituye la representación de la distribución de una variable espacial para toda un área de estudio contando únicamente con datos parciales de la misma. A través de un análisis de regresión se genera la ecuación que más se ajuste a los datos con que se cuenta. Luego en ARCGIS con la herramienta de Análisis Espacial y en la opción de álgebra de mapas el modelo de elevación se sustituyó por la variable independiente en la ecuación generada, de tal forma que los valores de elevación pasaron a tomar los valores de la variable de estudio. Así cada píxel asume un valor dado por la ecuación generada y es posible estimar su distribución en toda el área bajo estudio. Debido a la naturaleza de las ecuaciones generadas en los análisis de regresión para la mayoría de las variables biofísicas, que por lo general son como mínimo de segundo orden, no es posible sustituir el modelo de elevación digital en la ecuación generada sino se maneja una geodatabase. Esto se debe a que ecuaciones de tercer orden, por ejemplo, al elevar el píxel al cubo el valor obtenido es muy alto y en consecuencia el modelo no corre. Por supuesto que esta estimación es aproximada ya que lo ideal es contar con datos para toda el área de interés lo que es aún muy difícil de obtener en el país. También es necesario considerar que la validez de la información generada dependerá de la calidad de los datos parciales que alimentan el análisis de regresión. Sin embargo se concluye que lo generado es bastante cercano a un dato real y de una utilidad extrema cuando se quiere tener una aproximación de lo real. Esto representa una contribución para aquellas investigaciones que se desarrollen bajo un marco parecido al que se usó en esta investigación en la cual fue necesario encontrar un método para tener una visión general de lo que podría ser el comportamiento de las variables biofísicas de interés. Las aplicaciones son múltiples si se considera todas aquellas variables que únicamente se cuenta con datos parciales y que pueden ser sustituidas en otros modelos generados para toda el área bajo estudio.

XX. REFERENCIAS

- 1 Bucknam, R. *et al.* 2001. Landslides Triggered By Hurricane Mitch in Guatemala. Inventory and Discussion. USGS Open File Report 01-443.
- 2 Comisión Económica para América Latina y el Caribe Latina y Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. 2005. Efectos en Guatemala de las lluvias torrenciales y la tormenta tropical Stan, Octubre de 2005. Guatemala. (CEPAL-SEGEPLAN).
- 3 Cordillera, S.A. 2007. Informe final Diagnostico de Riesgos por deslizamientos y Flujo de detritos en Santiago Atitlán, Sololá.
- 4 CRUZ, J. R. de la. Clasificación de Zonas de Vida en Guatemala basado en el Sistema Holdridge. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 24 p.
- 5 ESRI - ArcView The Geographic Information System for Everyone (Versión en Español) 1996.
- 6 HERRERA, I. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Agronomía. 1995. Manual de Hidrología. Guatemala. 1ra. Ed. Talleres de Reproducciones FAUSAC. 223 p.
- 7 IGN (INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL. GT). Hojas cartográficas, Escala 1:50,000. Guatemala.
- 8 IGN (INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL. GT). Imágenes SID. Escala 1:50,000. Guatemala.
- 9 IGN (INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL. GT). Ortofotos. 2,006. Escala 1:8,000. Guatemala.
- 10 INE. (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GT). 2002. XI Censo Población, VI de Habitación. Guatemala. Un disco compacto.
- 11 Información estratégica sobre Centroamérica. 2007. Diagnósticos municipales de Chimaltenango, El Tejar, Sumpango, Pastores, Jocotenango, Santa Lucía Milpas Altas, Santa Catarina Barahona, San Antonio Aguas Calientes, Magdalena Milpas Altas, Alotenango, La Democracia y Masagua (en línea). Consultado el 10 de octubre 2007. Disponible en www.inforpressca.com.
- 12 INSIVUMEH (INSTITUTO DE SISMOLOGÍA, VULCANOLOGÍA E HIDROLOGÍA GT). Registro de datos hidrológicos y climáticos. Guatemala, 1990 – 2005.

- 13 MAGA (MINISTERIO DE AGRICULTURA GANADERÍA Y ALIMENTACIÓN). 2001. Mapas temáticos digitales de la República de Guatemala. Escala 1:50,000. Guatemala. Un disco compacto.
- 14 MAGA (MINISTERIO DE AGRICULTURA GANADERÍA Y ALIMENTACIÓN). 2006. Ortofotos de la República de Guatemala, Escala 1:8,000. Guatemala.
- 15 Medina, B. Deslizamientos e Impactos Ambientales de los Huracanes Mitch y Stan, en Guatemala.
- 16 PETERS, G. 2003. Flood Risk Assessment for the town of San Sebastian in Guatemala. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede, The Netherlands. 104 p.
- 17 SABORIO B. J. 1993. Introducción a los Sistemas de Información Geográfica. Curso Internacional de Sistemas de Información Geográfica y Manejo de Cuencas en CATIE, Costa Rica. 38 p.
- 18 SÁNCHEZ E. 1993. Determinación de Áreas Críticas mediante Sistemas de Información Geográfica. Cuenca del Río Reventado Costa Rica. Tesis M.Sc. CATIE, Turrialba, Costa Rica. 116 p.
- 19 SIMMONS, C. S., TARANO, J. M. Y PINTO, J. H. 1959. Clasificación de Reconocimiento de los Suelos de la República de Guatemala. Traducido por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José de Pineda Ibarra. 1000 p.
- 20 STRAHLER A. 1982. Geografía Física. Editorial OMEGA. Barcelona, España. 780 p.
- 21 UNIDAD DE SERVICIOS GEOLÓGICOS DE LOS ESTADOS UNIDOS (USGS). 2002. Informe de curso sobre Vulnerabilidad a Desastres Naturales en Retalhuleu realizado por Estuardo Lira – Ing. Manolo Barrillas, Guatemala.
- 22 Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Agronomía. 1995. Mapas temáticos digitales del área de estudio.
- 23 VIERA CERERO, F. 2003. Geomorphology and natural hazards of the Samala river basin, Guatemala. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede, The Netherlands. 90 p.
- 24 <http://ks.water.usgs.gov/Kansas/flood/definition.html>
- 25 Zapata, R. Punto Focal de Evaluación de Desastres. Los efectos del huracán Stan en El Salvador y Guatemala www.eclac.cl/mexico.