



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA DE
GUATEMALA COMPRENDIDA POR LOS DEPARTAMENTOS DE BAJA VERAPAZ,
CHIQUMULA, JALAPA, JUTIAPA, EL PROGRESO Y ZACAPA**

Linda Zucena Solís Secaida

Asesorado por el MSc. Ing. Fulgencio de Jesus Garavito Quiñones

Guatemala, abril de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA DE
GUATEMALA COMPRENDIDA POR LOS DEPARTAMENTOS DE BAJA VERAPAZ,
CHIQUMULA, JALAPA, JUTIAPA, EL PROGRESO Y ZACAPA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LINDA ZUCENA SOLÍS SECAIDA

ASESORADO POR EL ING. FULGENCIO DE JESUS GARAVITO QUIÑONES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA AMBIENTAL

GUATEMALA, ABRIL DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL I	
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

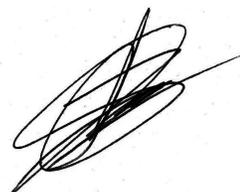
DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. María Alejandra Má Villatoro
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domingo Carranza González
EXAMINADOR	Ing. Nicolás de Jesús Guzmán Sáenz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA DE
GUATEMALA COMPRENDIDA POR LOS DEPARTAMENTOS DE BAJA VERAPAZ,
CHIQUMULA, JALAPA, JUTIAPA, EL PROGRESO Y ZACAPA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 30 de enero de 2013.



Linda Zucena Solís Secaída

Guatemala, 29 de Enero de 2015

Ingeniero
Víctor Monzón
Director de Escuela de Química
Faculta de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero:

Reciba un cordial saludo de mi parte. El motivo de la presente es para informarle que he asesorado y aprobado el Informe Final de Trabajo de Graduación titulado: "ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA DE GUATEMALA COMPRENDIDA POR LOS DEPARTAMENTOS DE BAJA VERAPAZ, CHIQUIMULA, JALAPA, JUTIAPA, EL PROGRESO Y ZACAPA", elaborado por la estudiante de Ingeniería Ambiental Linda Zucena Solís Secaida, quien se identifica con numero de carné 200815309. Considero que el Informe Final de Trabajo de Graduación cumple con los requisitos exigidos para su respectiva revisión.

Sin otro particular, agradeciendo de antemano su colaboración.

Atentamente,

MSc. Ing. Fulgencio Garavito
Asesor
Colegiado Activo No. 190





Guatemala, 17 de febrero de 2015.
Ref. EIQ.TG-IF.011.2015.

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **015-2013** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por la estudiante universitaria: **Linda Zucena Solís Secaída**.
Identificada con número de carné: **2008-15309**.
Previo a optar al título de **INGENIERA AMBIENTAL**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA DE GUATEMALA COMPRENDIDA POR LOS DEPARTAMENTOS DE BAJA VERAPAZ, CHIQUIMULA, JALAPA, JUTIAPA, EL PROGRESO Y ZACAPA

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por el Ingeniero Agrónomo: **Fulgencio Garavito**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"


~~Inga Costa Zeceña Zeceña~~
COORDINADORA DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo

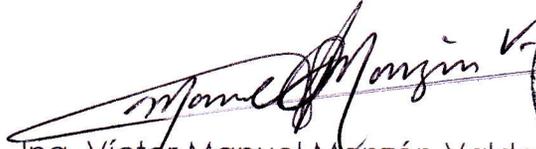




Ref.EIQ.TG.041.2015

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de la estudiante, **LINDA ZUCENA SOLÍS SECAIDA** titulado: "**ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA DE GUATEMALA COMPRENDIDA POR LOS DEPARTAMENTOS DE BAJA VERAPAZ, CHIQUIMULA, JALAPA, JUTIAPA, EL PROGRESO Y ZACAPA**". Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Víctor Manuel Manzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, abril 2015

Cc: Archivo
VMMV/ale



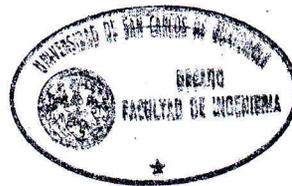


El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA DE GUATEMALA COMPRENDIDA POR LOS DEPARTAMENTOS DE BAJA VERAPAZ, CHIQUIMULA, JALAPA, JUTIAPA, EL PROGRESO Y ZACAPA**, presentado por la estudiante universitaria: **Linda Zucena Solís Secaída**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE

Ing. Angel Roberto Sic García
DECANO

Guatemala, abril de 2015



/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por darme el regalo de la vida, el conocimiento y la fuerza para alcanzar mis objetivos.
Mi esposo	Por su amor, cariño y apoyo en cada paso que di a lo largo de mi carrera.
Mis padres	Fredy Solís y Regina Secaida de Solís, por brindarme su apoyo incondicional, ánimos y cariño para culminar esta meta.
Mis hermanos	Dan Paulo, Linda Virginia y Abraham Solís Secaida, por apoyarme y ser una bendición en mi vida.
Mis abuelos	Norberto Secaida, María Elena Chinchilla, Rovidio Solís e Irma Yolanda de Solís, por todos sus consejos y buenos deseos para mi vida en cada momento.
Mi familia	Tíos, tías, primos, primas, mis suegros, cuñados y familiares que fueron parte de mi formación académica por mostrarme siempre su cariño y apoyo.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por ser la fuente de inspiración en mi vida y darme las fuerzas para seguir adelante en todo momento.
Mi esposo	Por apoyarme en todas mis decisiones y ser un pilar en mi vida.
Mis padres y hermanos	Por ser una inspiración y llenar de alegría mi vida.
Mi familia	Por apoyarme en todo sentido y estar siempre para mí.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por darme el privilegio de formarme como profesional y culminar mis estudios.
Facultad de Ingeniería	Por formarme académicamente en una carrera profesional.
Mi asesor	Ing. Fulgencio Garavito, por brindarme sus conocimientos y su tiempo al asesorar este trabajo.

Ing. Federico Salazar

Por ayudarme al inicio de este trabajo y brindarme su tiempo.

Mis amigos

Por todo el cariño, respeto y comprensión que me han demostrado. Gracias por haber sido parte de una gran experiencia a lo largo de los años de estudio.

**Departamento de
Matemática**

Por permitirme ser parte del equipo de auxiliares del Departamento de Matemática de la Facultad de Ingeniería y darme la oportunidad de crear lazos de amistad con muchas personas.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XIX
1. MARCO CONCEPTUAL.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Justificación	4
1.3. Determinación del problema	4
1.3.1. Definición.....	5
1.3.2. Delimitación.....	5
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1. Región semiárida de la República de Guatemala.....	7
2.2. Clima.....	7
2.2.1. Clasificaciones climáticas	8
2.3. Variabilidad climática.....	10
2.3.1. Variables climatológicas	10
2.3.1.1. Precipitación pluvial	10
2.3.1.2. Temperatura	11
2.3.1.3. Humedad relativa y absoluta	11
2.3.1.4. Radiación solar.....	11
2.3.1.5. Viento.....	12

2.4.	Fenómenos de El Niño y La Niña	12
2.4.1.	Escenarios observados en Guatemala durante fenómenos de El Niño y La Niña.....	13
2.5.	Ciclo hidrológico	13
2.6.	Cambio climático	13
2.7.	Gases de efecto invernadero	14
2.7.1.	Radiación infrarroja.....	14
2.7.2.	Vulnerabilidad al cambio climático	15
2.7.3.	Adaptación al cambio climático	16
2.8.	Modelos climáticos	16
2.9.	Política Nacional de Cambio Climático en Guatemala	17
2.9.1.	Base Legal de la Política Nacional de Cambio Climático.....	17
3.	DISEÑO METODOLÓGICO	19
3.1.	Variables	19
3.1.1.	Variables independientes	19
3.1.2.	Variables dependientes	19
3.2.	Delimitación del campo de estudio	20
3.3.	Recursos humanos disponibles	21
3.4.	Recursos materiales disponibles	22
3.5.	Técnica cuantitativa.....	22
3.6.	Diseño general.....	23
3.7.	Procesamiento de información	24
3.7.1.	Fundamento para realizar el análisis y ordenamiento de la información.	24
3.8.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de información	26
3.9.	Análisis estadístico.....	27
3.9.1.	Representación gráfica del BHC	28

4.	RESULTADOS.....	29
4.1.	Clasificación de las bases de datos obteniendo el año seco y el año lluvioso del periodo de 1990 a 2010	29
4.2.	Determinación de los valores de precipitación pluvial, temperatura, humedad relativa, evapotranspiración potencial y balance hídrico climático de la región semiárida de Guatemala	30
4.3.	Determinación de los valores encontrados del balance hídrico climático anual de la región semiárida de la República de Guatemala, al variar en 1 y 2 grados Celsius la temperatura y disminuir en un 5 % la humedad relativa del año seco en cada estación meteorológica	35
4.4.	Porcentaje de variación entre el año seco y lluvioso al compararlo con el año promedio	36
4.5.	Atlas climatológico de la región semiárida de la República de Guatemala	37
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	55
5.1.	Clasificación de las bases de datos obteniendo el año seco y el lluvioso del periodo de 1990 a 2010	55
5.2.	Determinación de los valores de precipitación pluvial, temperatura, humedad relativa, evapotranspiración potencial y balance hídrico climático de la región semiárida de la República de Guatemala.	56
5.3.	Determinación de los valores encontrados del balance hídrico climático anual de la región semiárida de la República de Guatemala al variar en 1 y 2 grados Celsius la temperatura y disminuir en un 5 % la humedad relativa del año seco en cada estación meteorológica	58

5.4.	Porcentaje de variación entre el año seco y lluvioso al compararlo con el año promedio	59
5.5.	Atlas climatológico de la región semiárida de la República de Guatemala	59
CONCLUSIONES		61
RECOMENDACIONES		63
BIBLIOGRAFÍA		65
APÉNDICES		69
ANEXO		71

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Clasificación de los climas por Thornthwaite de República de Guatemala	9
2.	Diagrama esquemático de los componentes del sistema climático	15
3.	Proceso de investigación	23
4.	Gráfica representativa del comportamiento del balance hídrico climático	28
5.	Mapa representativo del balance hídrico de la región semiárida de la República de Guatemala para el año promedio.....	38
6.	Mapa representativo del balance hídrico de la región semiárida de la República de Guatemala para el año seco	39
7.	Mapa representativo del balance hídrico de la región semiárida de la República de Guatemala para el año lluvioso	40
8.	Mapa representativo del balance hídrico de la región semiárida de la República de Guatemala para el año promedio variando la temperatura en 1°C	41
9.	Mapa representativo del balance hídrico de la región semiárida de la República de Guatemala para el año promedio variando la temperatura en 2°C	42
10.	Balance hídrico climático mensual comparativo, representado gráficamente para la estación de Cubulco en Baja Verapaz.....	43
11.	Balance hídrico climático mensual comparativo, representado gráficamente para la estación de San Jerónimo en Baja Verapaz	44

12.	Balance hídrico climático mensual comparativo, representado gráficamente para la estación de Esquipulas en el departamento de Chiquimula.....	45
13.	Balance hídrico climático mensual comparativo, representado gráficamente para Camotán en el departamento de Chiquimula	46
14.	Balance hídrico climático mensual comparativo, representado gráficamente para la estación de Morazán en el departamento de El Progreso.....	47
15.	Balance hídrico climático mensual comparativo, representado gráficamente para la estación de La Ceibita del departamento de Jalapa.....	48
16.	Balance hídrico climático mensual comparativo, representado gráficamente para la estación de Potrero Carillo del departamento de Jalapa	49
17.	Balance hídrico climático mensual comparativo, representado gráficamente para la estación de Asunción Mita del departamento de Jutiapa.....	50
18.	Balance hídrico climático mensual comparativo, representado gráficamente para la estación de Montúfar del departamento de Jutiapa.....	51
19.	Balance hídrico climático mensual comparativo, representado gráficamente para la estación de La Fragua del departamento de Zacapa.....	52
20.	Balance hídrico climático mensual comparativo, representado gráficamente para la estación de La Unión del departamento de Zacapa.....	53
21.	Balance hídrico climático mensual comparativo, representado gráficamente para la estación de Pasabién del departamento de Zacapa.....	54

TABLAS

I.	Nombre de estaciones meteorológicas	21
II.	Fundamento para la metodología del análisis de las variables climatológicas, clasificando las bases de datos existentes	27
III.	Determinación del año seco y año lluvioso	29
IV.	Precipitación pluvial total anual de la región semiárida de Guatemala.....	30
V.	Temperatura promedio anual de la región semiárida de la República de Guatemala	31
VI.	Humedad relativa promedio anual de la región semiárida de la República de Guatemala.....	32
VII.	Evapotranspiración total anual de la región semiárida de la República de Guatemala	33
VIII.	Valores obtenidos del balance hídrico climático anual de la región semiárida de la República de Guatemala.....	34
IX.	Valores encontrados del balance hídrico climático anual de la Región semiárida de la República de Guatemala al variar la temperatura y la humedad relativa	35
X.	Porcentajes de variación entre el año seco y lluvioso al compararlo con el año promedio	36

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
°C	Grado Celsius
L	Litros
m ²	Metro cuadrado
msnm	Metros sobre el nivel del mar
mm	Milímetros de lluvia (L/m ²)
%	Porcentaje
Pp	Precipitación pluvial

GLOSARIO

Adaptación	Ajuste que existe en los sistemas humanos o naturales como respuesta a los estímulos climáticos proyectados o reales.
Antropogénico	Resultante de la actividad del ser humano o producido por este.
Balance hídrico	Volumen disponible de agua para escorrentía e infiltración local.
BHC	Balance Hídrico Climático.
Cambio climático	Importante variación en el clima a lo largo del tiempo, a causa de la variabilidad natural o de las actividades humanas. Este cambio normalmente se observa en escala geológica.
Efecto invernadero	Proceso por el cual la adsorción de radiación infrarroja por la atmósfera, eleva la temperatura de la Tierra, en la parte baja de la tropósfera.
Escorrentía	Parte de la precipitación pluvial que no se infiltra o se evapora y que escurre a través de la superficie de la Tierra.

ETP	Evapotranspiración potencial.
Evapotranspiración	Proceso combinado de evaporación en la superficie de la Tierra y de transpiración en la vegetación.
GEF	Fondo para el Medio Ambiente Mundial, por sus siglas en inglés.
GEI	Gas de efecto invernadero.
Humedad relativa	Relación entre el vapor de agua contenida en un volumen dado de aire y la que podría contener el mismo volumen si estuviese saturado a la misma temperatura, la humedad relativa se expresa en porcentaje.
Infiltración	Es el proceso por el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo en un tiempo determinado.
INSIVUMEH	Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
PNUD	Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo.
Precipitación pluvial	Volumen de agua en estado líquido y/o sólido que llega a la superficie terrestre, de la condensación del vapor de agua en la atmósfera en un período determinado.

Radiación solar	Energía proveniente del Sol por unidad de tiempo, que atraviesa la atmósfera y llega a la superficie terrestre.
Temperatura	Un indicador de la cantidad de calor acumulada en el aire en un momento y tiempo determinados.
Variabilidad climática	Variación de las condiciones climáticas medias y otras estadísticas del clima como fenómenos extremos que puedan afectarlo en cualquier escala de tiempo y espacio.

RESUMEN

El trabajo de investigación tiene como objetivo establecer el procedimiento adecuado para desarrollar un balance hídrico climático de la zona semiárida de la República de Guatemala, analizando e interrelacionando las diferentes variables climáticas, como la precipitación pluvial, temperatura, humedad relativa y radiación solar.

El análisis de todas las variables se realizó a través de las bases de datos que han sido registradas en las estaciones meteorológicas, durante el período de 1990 a 2010, que fueron proporcionadas como colaboración por el Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH).

La importancia de este estudio radica en considerar las tendencias en las variables climáticas de las últimas décadas, y a través de esto, obtener información para realizar el balance hídrico climático de la región, asimismo, un atlas climatológico sobre la situación actual que se presenta en la región semiárida de Guatemala. De esta manera, presentar información puntual que pueda ser considerada por la población que abarca esta región.

OBJETIVOS

General

Determinar los principales factores causantes del cambio climático en Guatemala a través del análisis de la variabilidad climática relacionando temperatura, precipitación pluvial, radiación solar, evapotranspiración y humedad relativa de la zona semiárida de Guatemala, que comprende los departamentos de Baja Verapaz, Chiquimula, Jalapa, Jutiapa, El Progreso Y Zacapa.

Específicos

1. Generar información para aumentar los conocimientos de las distintas dinámicas y fenómenos que afectan a la región y de esta manera homogenizar las variables.
2. Realizar el balance hídrico climático de la zona semiárida.
3. Elaborar un atlas climatológico de la región semiárida de Guatemala, de acuerdo a los mapas que puedan ser generados con las simulaciones del cambio y la variabilidad climática.

INTRODUCCIÓN

Diversas actividades humanas en la actualidad han alterado la composición de la atmósfera (tropósfera), adicionado a esto la deforestación y pérdida de cobertura vegetal han producido cambios en la variabilidad del clima natural.

La importancia del estudio del clima en un país como Guatemala, con basta diversidad de climas, especies de flora y fauna, aunado al incremento demográfico de la población, es el de analizar la situación climática para poseer referencias de los cambios que se han dado a lo largo de los últimos años en las diferentes variables climatológicas.

Los cambios en el clima de cada región son afectados por el aumento de gases de efecto invernadero, asimismo, las alteraciones en las diferentes variables climáticas como: la precipitación pluvial, temperatura, humedad relativa, radiación solar y evapotranspiración potencial, han dado paso a cambios significativos en la humedad del suelo, incremento en el nivel del mar y eventos de mayor magnitud como los huracanes, sequías, frentes fríos, inundaciones y tsunamis.

El balance hídrico climático que se presenta en esta investigación refleja resultados importantes al relacionar las diferentes variables climatológicas, mostrando la cantidad disponible de agua para escorrentía superficial e infiltración local de la región semiárida de la República de Guatemala en los departamentos de Baja Verapaz, Chiquimula, Jalapa, Jutiapa, El Progreso Y Zacapa.

Este balance hídrico climático de la región muestra las variaciones que existen entre un año promedio, uno seco, uno lluvioso y otro promedio, simulando cambios en la temperatura promedio de cada estación meteorológica.

1. MARCO CONCEPTUAL

1.1. Antecedentes

La Tierra posee dos movimientos que se relacionan con el clima y sus variaciones, siendo estos: el de traslación y rotación. El primero es el movimiento que efectúa la Tierra alrededor del Sol, este es la fuente de calor del planeta que regula todo el proceso climático terrestre. El segundo, es el movimiento que la Tierra realiza sobre su propio eje imaginario, que pasa por los polos y es el causante del día y la noche e influye sobre los fenómenos y procesos atmosféricos; este movimiento incide asimismo, en las estaciones astronómicas (verano, invierno, otoño y primavera).

Fue alrededor de 1975 a 1980, cuando los científicos ya contaban con las suficientes herramientas, conocimientos y técnicas que los condujeron a obtener pruebas verídicas de la consecuencia que tenían los GEI (gases de efecto invernadero) en el clima. Fue hasta entonces, que vislumbraron un posible cambio climático de grandes repercusiones y, por primera vez, los gobiernos se plantearon el problema e iniciaron acuerdos internacionales para resolver el mismo.

En 1998 se iniciaron actividades sobre el cambio climático en Guatemala, con la ejecución del proyecto primera comunicación nacional y plan de acción sobre cambio climático (GUA/97/G32), que realizó con el apoyo del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF), a través del programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

Este proyecto se realizó en el marco de los compromisos comunes, pero diferenciados de Guatemala ante la Conferencia de las Partes (COP), de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC). La fase 1 concluyó en diciembre 2001, con la publicación del documento titulado *Primera Comunicación Nacional de Guatemala*, mientras que la fase 2 finalizó en septiembre 2003, con la presentación de estudios sobre factores de emisión y sobre capacitación en elaboración de perfiles de proyectos para aprovechar el mecanismo de desarrollo limpio según el protocolo de Kioto.

Guatemala, como país parte de la convención, además de haber firmado y ratificado el Convenio Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (13 de junio de 1992 y 28 de marzo de 1995, respectivamente) y el protocolo de Kioto (10 de julio 1998 y 7 de julio 1999, respectivamente) ha ejecutado una serie de acciones tendientes a aumentar el conocimiento nacional de la problemática, la identificación y puesta en práctica de medidas de adaptación y mitigación. Estas acciones incluyen:

- Elaboración de la primera comunicación nacional sobre cambio climático (diciembre 2001).
- Creación de una unidad permanente encargada del tema bajo la figura administrativa del Programa Nacional de Cambio Climático, mediante Acuerdo Ministerial 134-2003 del 12 de diciembre de 2003.
- Ley de incentivos para el desarrollo de proyectos de energías renovables (Decreto 52-2003 del 10 de noviembre de 2003).
- Política Marco de Gestión Ambiental (Acuerdo Gubernativo 791-2003, 8 de diciembre de 2003).
- Política Nacional de Educación Ambiental (Ministerio de Educación y Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, 13 enero del 2004).

- Designación del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, como autoridad nacional encargada del Mecanismo de Desarrollo Limpio (Acuerdo Gubernativo 388-2005, 12 de agosto de 2005).
- Creación de la Oficina Nacional de Desarrollo Limpio y Reglamento de sus procedimientos (Acuerdo Ministerial 477-2005, 2 de septiembre 2005).
- Reglamento de la Ley de Incentivos para el desarrollo de Proyectos de Energías Renovables (Acuerdo Gubernativo 211-2005, 16 de junio 2005). Y Política de Conservación, Protección y Mejoramiento del Ambiente y los Recursos Naturales (Acuerdo Gubernativo 63-2007, 7 de diciembre de 2007).
- Presentación de la Política Nacional de Cambio Climático en septiembre de 2009.

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), a través del Programa Nacional de Cambio Climático, ha desarrollado actividades relacionadas con la ciencia del cambio climático, inventario de gases de efecto invernadero, vulnerabilidad y adaptación, y mitigación (reducción de emisiones).

Los estudios realizados en el tema de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático, tanto en la Primera Comunicación Nacional como en el Proyecto Fomento de las Capacidades para la Etapa II de Adaptación al Cambio Climático, han demostrado la vulnerabilidad del país a la variabilidad climática y a los eventos extremos. Se han documentado los impactos del huracán Mitch que afectó al país en 1998; las sequías que se produjeron en 2001, que condujeron a una hambruna en el oriente de Guatemala, asimismo, pérdidas de vidas humanas y daños a la producción agrícola y a la infraestructura que ocasionó la tormenta tropical Stan en el 2005. Las simulaciones de los impactos futuros del cambio climático a nivel nacional incluyeron estudios sobre la salud humana, la producción de granos básicos, los recursos hídricos y del entorno natural.

De igual manera, se han realizado evaluaciones puntuales de vulnerabilidad actual y futura al cambio climático, específicamente para el caso de sequía en el oriente del país y para inundaciones en el occidente de Guatemala. Las actividades previstas en el desarrollo del proyecto llamado Segunda Comunicación de Guatemala sobre Cambio Climático, reforzarán la formación de capacidades institucionales e individuales para contribuir a enfrentar los impactos negativos que la variabilidad y el cambio climático afectan a Guatemala.

1.2. Justificación

Existe el análisis sobre la variabilidad climática en Guatemala, sin embargo, este estudio es específicamente realizado para la región semiárida del país. Los estudios de vulnerabilidad y adaptación se orientan hacia la evaluación de cómo la variabilidad climática y los cambios en el clima pueden afectar a la población, a los recursos naturales y al ambiente en general. La adaptación representa las opciones de política, de tecnología y prácticas a utilizar como herramientas para afrontarlos y/o minimizar los impactos negativos. La importancia de analizar una sola región, radica en la posibilidad de presentar opciones de adaptación viables para esa población.

1.3. Determinación del problema

El problema principal que se analizó, es la manera en cómo la variabilidad climática afecta el área determinada con respecto al suelo, las fuentes de agua, cultivos, población y en la forma que afecta los fenómenos atmosféricos.

1.3.1. Definición

El cambio climático es una modificación en el clima, principalmente en la parte baja de la atmósfera (tropósfera); este a su vez es un proceso natural, sin embargo, en tiempos actuales existe un cambio acelerado debido a causas antropogénicas, lo que ha provocado muchas variaciones en el clima de cada región, afectando de distintas maneras la forma en que cada ser vivo se adapta a los cambios. Este concepto llevó al estudio de este tema tan importante en la sociedad actual debido a que el análisis en las variantes del clima puede determinar el comportamiento que tendrá este a lo largo del tiempo, y así de cierta forma, estar alerta a eventos extremos que puedan afectar a los seres humanos.

1.3.2. Delimitación

Se elaboró un análisis a través de las bases de datos proporcionados por INSIVUMEH, esto a su vez ayudó a evaluar la variabilidad climática en la región semiárida de Guatemala en los departamentos de Baja Verapaz, Chiquimula, Jalapa, Jutiapa, El Progreso y Zacapa.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Región semiárida de la República de Guatemala

Comprenden esta región los departamentos de: Baja Verapaz, Chiquimula, Jalapa, Jutiapa, El Progreso y Zacapa. El área que se estudió es de vital importancia dentro del patrimonio natural de Guatemala, debido a que posee diversas zonas de vida, áreas protegidas, esencialmente en el área de la Sierra de las Minas, y es el escenario de varias especies migratorias. Asimismo, cuenta con potencial agrícola lo que provoca la deforestación del lugar, provocando cambios importantes en el ambiente climático de la región y en la flora y fauna. De igual manera, la ganadería y la extracción selectiva de leña provocan que existan pocos remanentes de vegetación natural en buen estado de conservación.

2.2. Clima

El clima determina el comportamiento de la atmósfera que junto con todas sus variaciones hace referencia a una porción del espacio determinado. El clima se puede definir como: “El conjunto fluctuante promedio de las condiciones atmosféricas caracterizado por los estados y evoluciones del tiempo en una porción determinada del espacio”¹. El clima depende, principalmente de la altura a la cual se encuentra cualquier área geográfica.

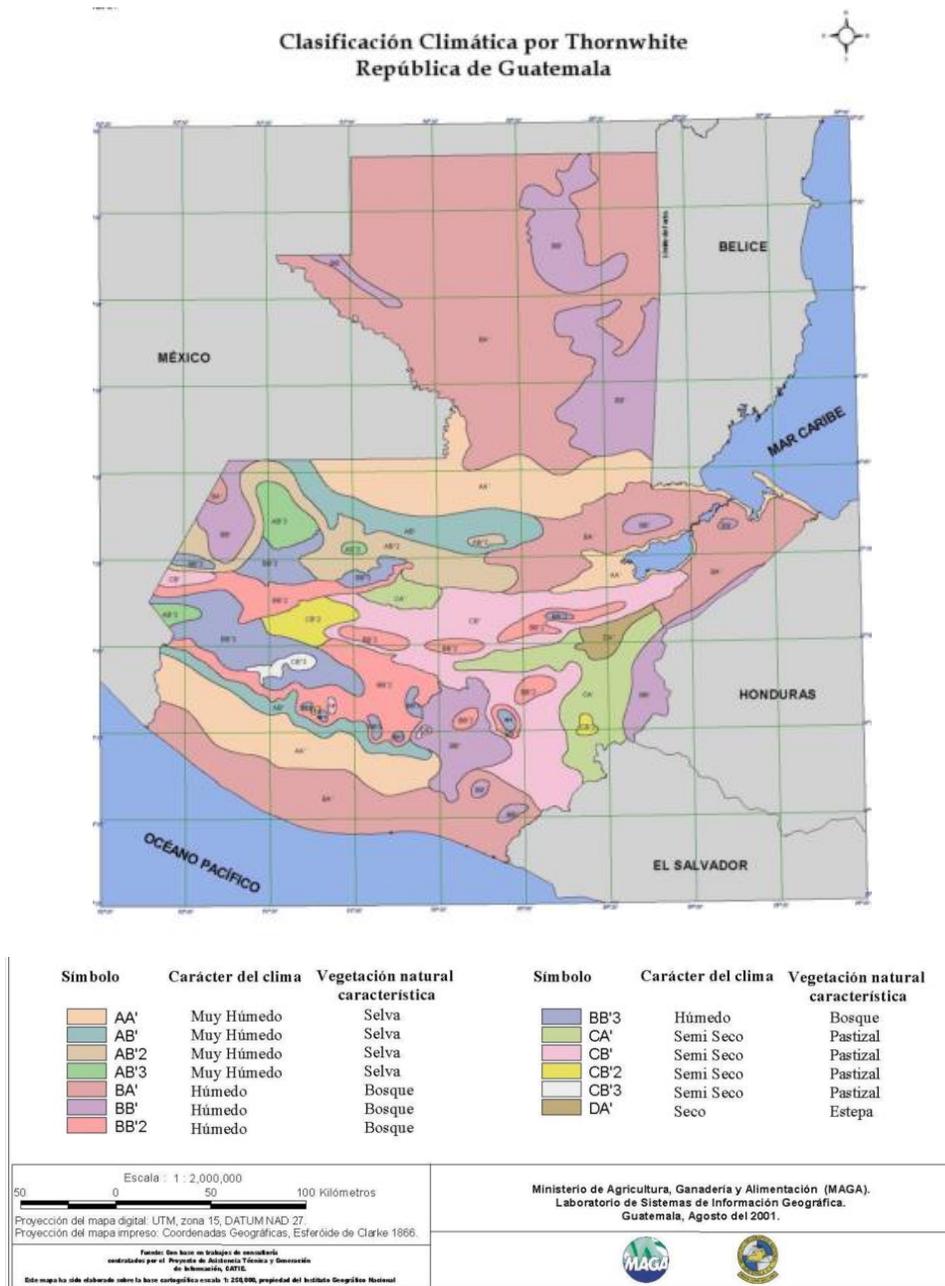
¹ Instituto de incidencia ambiental, URL. *Estado actual del clima y la calidad del aire en Guatemala*. www.infoiarna.org.gt. Consulta: 15 de octubre de 2012.

2.2.1. Clasificaciones climáticas

El fin de clasificar el clima es con muchos objetivos y con un número limitado de variables fundamentales, por lo cual se puede basar en índices, criterios hidrológicos y geográficos, necesidades hidrológicas y agrícolas y también en valores arbitrarios. La clasificación de Thornthwaite resuelve adecuadamente la variedad de climas existentes, lográndose distinguir 13 tipos. En ambos casos, en una forma genérica, teniendo en cuenta las jerarquías de humedad y temperatura.

A continuación, en la figura 1 se muestra la clasificación de climas por Thornthwaite de la República de Guatemala.

Figura 1. Clasificación de los climas por Thornthwaite de República de Guatemala



Fuente: SIG del MAGA 2001.

<http://www.sigmaga.com.gt/imagenes/mapas/clima/clima-thorntwaite.pdf>. Consulta: 10 de septiembre de 2012.

2.3. Variabilidad climática

Se refiere a la variación de las condiciones climáticas medias y otras estadísticas del clima, como fenómenos externos que puedan afectarlo a cualquier escala de tiempo y espacio. La variabilidad puede deberse a procesos que se desarrollan naturalmente dentro del sistema climático, o en los procesos por causas antropogénicas.

La mayoría de los climas en Guatemala son de origen marítimo, por lo que cualquier cambio en la actividad ciclónica en el océano Pacífico, mar Caribe y el golfo de México pueden dar lugar a la variabilidad climática, generando escenarios de sequía o periodos lluviosos prolongados causando inundaciones.

2.3.1. Variables climatológicas

Los elementos del clima son indicadores climatológicos, que en conjunto pueden definir el estado físico del tiempo de una zona específica para un momento dado. En cambio las variables climatológicas son las condiciones físicas de los elementos climatológicos que afectan el clima, estos factores pueden ser astronómicos, geográficos o meteorológicos.

2.3.1.1. Precipitación pluvial

Es uno de los componentes principales del ciclo hidrológico. Es el volumen de agua en estado líquido y/o sólido que llega a la superficie terrestre de la condensación del vapor de agua en la atmósfera en un período determinado, se expresa en función del nivel que alcanzaría sobre una proyección horizontal de la superficie de la tierra, es decir en milímetros de lluvia (L/m^2).

2.3.1.2. Temperatura

Es un indicador de la cantidad de calor acumulada en el aire. En la meteorología se utiliza la escala Celsius, cuyos dos puntos fijos son el punto de fusión del hielo a 0 °C y el punto de ebullición normal del agua 100 °C. La temperatura es dependiente de varios factores, como la inclinación de los rayos solares, la dirección y fuerza del viento, la altitud, la altura sobre el nivel del mar y la proximidad de masas de agua.

2.3.1.3. Humedad relativa y absoluta

La humedad relativa es la relación entre el vapor de agua contenida en un volumen dado de aire y la que podría contener el mismo volumen si estuviese saturado a la misma temperatura; se expresa en porcentaje. La humedad absoluta es una de las formas de valorar la cantidad de vapor de agua (en gramos) contenido en un volumen de aire (metros cúbicos), que junto con el dato de temperatura sirve para estimar la capacidad del aire para admitir o no una mayor cantidad de vapor.

2.3.1.4. Radiación solar

Tiene como fuente el Sol y constituye la constante solar. Se denomina así a la energía que, por unidad de tiempo, se recibe fuera de la atmósfera terrestre sobre la unidad de superficie perpendicular a la dirección de los rayos solares en su distancia media. La energía solar que se absorbe, parte por ciertos contribuyentes de la atmósfera como el oxígeno, el ozono y el vapor de agua, y en parte es difundida por el polvo, la nubosidad y el humo.

2.3.1.5. Viento

Es el aire en movimiento. Por regla general, la dirección del viento varía y su velocidad crece con la altitud. Es una magnitud vectorial caracterizada por dos números que presentan la dirección y la velocidad a una altura normal de 10 metros sobre el suelo. El viento en superficie raramente es constante durante un período determinado. Varía rápida y constantemente y estas variaciones son irregulares tanto en frecuencia como en duración. La dirección del viento es aquella de donde sopla.

2.4. Fenómenos de El Niño y La Niña

“El fenómeno de El Niño se caracteriza por temperaturas inusualmente calientes en el océano Pacífico Ecuatorial, comparado La Niña, que es caracterizado por temperaturas inusualmente frías en océano Pacífico Ecuatorial. La declaración de uno de estos eventos se da cuando el océano Pacífico Ecuatorial muestra un calentamiento o un enfriamiento de 0.5 °C con respecto al promedio, durante al menos cinco meses consecutivos

La variabilidad oceánica y atmosférica está acoplada entre sí, de tal manera que los cambios observados en las aguas oceánicas se reflejan en la atmósfera y viceversa, haciendo que la atmósfera modifique paulatinamente, su comportamiento en varias partes del mundo”²

² INSIVUMEH. *Fenómeno océano-atmosférico “El Niño” (ENOS)*. Unidad de investigación y servicios meteorológicos. <http://www.insivumeh.gob.gt/folletosmet.html>. Consulta: octubre de 2012.

2.4.1. Escenarios observados en Guatemala durante fenómenos de El Niño y La Niña

En Guatemala, el fenómeno de El Niño tiene implicaciones importantes en el clima. En un estudio realizado de El Niño 1997-1998 se reflejó que los regímenes de lluvia fueron afectados. Bajo eventos de El Niño se ha registrado disminución importante en los acumulados de lluvia al inicio de la época lluviosa, con implicaciones en menor disponibilidad de agua, incendios, entre otros.

En la mayoría de años en que se tiene presente el fenómeno de La Niña, la precipitación en Guatemala registra acumulados normales o arriba de lo normal. Durante algunos eventos como los fenómenos de 1995-1996 y 2000-2001 se han registrado durante los períodos febrero-marzo y abril-mayo precipitaciones que van desde normales hacia arriba de lo normal en la mayor parte del territorio nacional.

2.5. Ciclo hidrológico

Se denomina al movimiento del agua en sus diferentes estados físicos, el agua que se encuentra en la superficie terrestre asciende a la atmósfera a través de la evapotranspiración, luego desciende primero, por medio de la precipitación pluvial dando lugar a la escorrentía superficial y a la infiltración en el suelo.

2.6. Cambio climático

Es la variación en el clima que es directa o indirectamente afectado por la actividad humana, principalmente, debido al aumento en las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) dado el uso extendido de combustibles fósiles, a la descomposición de residuos urbanos o ganaderos, a los cambios en el uso

de la tierra y que altera la composición de la atmósfera mundial. A todo esto se suma la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables, es decir, el cambio climático se encuentra a una escala geológica.

2.7. Gases de efecto invernadero

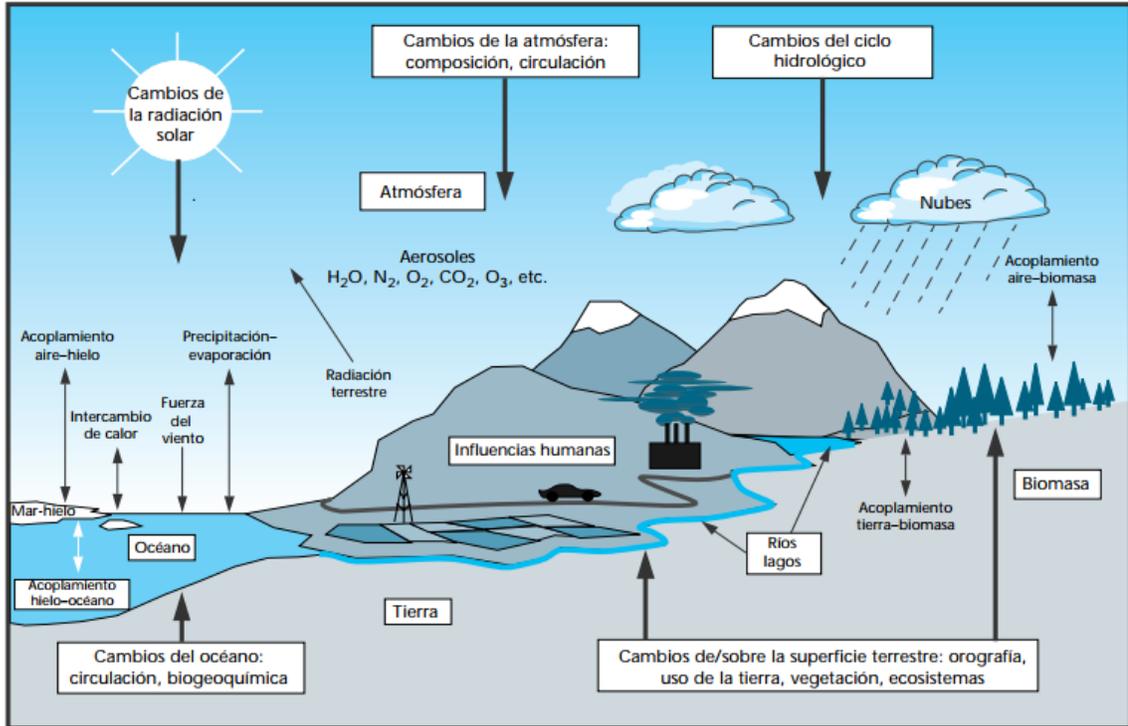
Son gases que integran la atmósfera, de origen natural y antropogénico, que absorben y emiten radiación en determinadas longitudes de ondas del espectro de radiación infrarroja emitido por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes. Esta propiedad es lo que causa el efecto invernadero. Es por ello que, la variación de las concentraciones de los gases de efecto invernadero (GEI) y aerosoles en la atmósfera, y las variaciones de la cubierta terrestre y de la radiación solar, alteran el equilibrio energético del sistema climático.

2.7.1. Radiación infrarroja

La superficie de la Tierra y la atmósfera emiten radiación, pero con un nivel de energía mucho menor que la del Sol. Esta radiación denominada infrarroja, no es visible, pero se propaga en forma similar a la radiación solar. La atmósfera, que es bastante transparente a la radiación solar, es considerablemente más opaca a la radiación infrarroja que proviene de la superficie de la Tierra.

Una buena parte de la radiación infrarroja terrestre es absorbida por la atmósfera por los gases de efecto invernadero, entre los cuales los más importantes son: el anhídrido carbónico (CO₂) y el vapor de agua. Parte de esta energía radiactiva infrarroja atrapada por la atmósfera es emitida de nuevo hacia la superficie de la Tierra, sumándose durante el día a la radiación solar, y compensando durante la noche el enfriamiento de la superficie.

Figura 2. Diagrama esquemático de los componentes del sistema climático



Fuente: <https://perspectivaclimaticaterritorial.wordpress.com/noticias-sobre-adaptacion/>.

Consulta: 14 de octubre de 2012.

2.7.2. Vulnerabilidad al cambio climático

Es la medida de incapacidad de un sistema para afrontar los efectos negativos del cambio climático, incluso la variabilidad climática y los episodios extremos. La vulnerabilidad está en función del carácter, la magnitud y el índice de variación climática a que está expuesto un sistema, su sensibilidad y su capacidad de adaptación.

2.7.3. Adaptación al cambio climático

Es el ajuste que existe en los sistemas humanos o naturales como respuesta a los estímulos climáticos proyectados o reales, o sus efectos, que pueden moderar el daño o aprovechar sus aspectos beneficiosos. Este es un factor importante para un país como Guatemala, ya que el cambio climático es una amenaza inminente por los daños que causa, a través de las expresiones violentas de la naturaleza que son inducidas por el mismo cambio, esto afecta el desarrollo del país y lo hace vulnerable.

El cambio climático induce a tener deficientes sistemas sanitarios y, por lo tanto, el incremento de enfermedades, debido a que la mitad de la población vive en pobreza o pobreza extrema. Afectando, no solamente a la población sino, indudablemente, el ambiente natural causando alteraciones biológicas en la biósfera.

2.8. Modelos climáticos

Los modelos climáticos usan métodos de investigación cuantitativa para simular interacciones de la atmósfera terrestre, por ejemplo, son utilizados para el estudio de la dinámica del sistema meteorológico y climático para realizar las proyecciones del clima en un futuro.

2.9. Política Nacional de Cambio Climático en Guatemala

El principal objetivo de esta Política de cambio climático es que el Estado de Guatemala, a través del Gobierno Central, las municipalidades, la sociedad civil organizada y la ciudadanía en general, adopten prácticas de prevención de riesgo, reducción de la vulnerabilidad y mejora de la adaptación al cambio climático, y contribuya a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en su territorio, coadyuve a la mejora de la calidad de vida de sus habitantes y fortalezca su capacidad de incidencia en las negociaciones internacionales de cambio climático.

2.9.1. Base Legal de la Política Nacional de Cambio Climático

Esta política tiene su fundamento, principalmente, en los cuerpos normativos que se detallan a continuación:

- Constitución Política de la República de Guatemala.
- Convención para la Protección de la Capa de Ozono, suscrita en Viena-Austria el 22 de marzo de 1985, aprobada mediante Decreto 39-87.
- Protocolo Relativo a las Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono, suscrito en Montreal, Canadá el 16 de septiembre de 1987, aprobado mediante Decreto número 34-89.
- Convenio sobre la Diversidad Biológica, suscrito en Río de Janeiro, Brasil el 5 de junio de 1992, aprobado mediante Decreto 5-95.
- Convenio Marco sobre el Cambio Climático, suscrito en New York, el 09 de mayo de 1992, aprobado mediante el Decreto 15-95.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

El análisis de la variabilidad climática en Guatemala depende, específicamente, de la región a la cual se quiere estudiar, en este caso la región semiárida de Guatemala, comprendida por los departamentos de Baja Verapaz, Chiquimula, Jalapa, Jutiapa, El Progreso y Zacapa; a través del estudio de diferentes parámetros climatológicos.

3.1.1. Variables independientes

- Como variables independientes del trabajo de investigación se consideraron las siguientes:
 - Precipitación pluvial mensual
 - Temperaturas promedio mensuales
 - Porcentaje de humedad relativa mensual
 - Radiación solar

3.1.2. Variables dependientes

Se consideraron las variables que se obtuvieron a través de los distintos cálculos realizados durante el trabajo de investigación, estas fueron las siguientes:

- La relación del balance hídrico climático con las diferentes variables climáticas.
- Evapotranspiración potencial.

3.2. Delimitación del campo de estudio

El análisis estadístico de las variables climatológicas se realizó con los datos proporcionados por el INSIVUMEH:

- Campo de estudio: variabilidad climática y cambio climático.
- Proceso: aplicación de modelos estadísticos.
- Unidad de estudio: región semiárida de Guatemala comprendida por los departamentos de Baja Verapaz, Chiquimula, Jalapa, Jutiapa, El Progreso Y Zacapa.
- Ubicación: el análisis estadístico se realizó con los datos proporcionados por el INSIVUMEH, a través de los datos que han sido recopilados por la institución en estaciones ubicadas en los departamentos de estudio ubicados en la zona semiárida de Guatemala. Estas estaciones se muestran en la tabla I.

Tabla I. **Nombre de estaciones meteorológicas**

Departamento	Estación
Baja Verapaz	Cubulco
	San Jerónimo
Chiquimula	Esquipulas
	Camotán
El Progreso	Morazán
Jalapa	La Ceibita
	Potrero Carrillo
Jutiapa	Asunción Mita
	Montúfar
Zacapa	La Fragua
	La Unión
	Pasabién

Fuente: elaboración propia.

3.3. Recursos humanos disponibles

Se refieren a las personas que tienen incidencia en el trabajo de investigación.

- Tesista: Linda Zucena Solís Secaida, estudiante de Ingeniería Ambiental, Usac.
- Asesor: MSc. Ing. Fulgencio Garavito, Ing. Agrónomo y máster en Ing. de Recursos Hidráulicos, especialización Ing. Hidrogeólogo, Usac.

3.4. Recursos materiales disponibles

Hacen referencia a los recursos con los cuales fue posible realizar el presente trabajo, estos fueron:

- Equipo de cómputo.
- Documentos técnicos sobre cambio climático y variabilidad climática.
- Documentos de organismos internacionales.
- Información electrónica.
- Bases de datos de INSIVUMEH de las diferentes variables climatológicas.
- Programa del INSIVUMEH, Departamento de Investigación y Servicios Meteorología e Hidrología, con el cual se calculó el balance hídrico climático.
- Informes técnicos.
- Mapas cartográficos a escalas 1:50000, 1:500000 y 1:1000000 como referencias topográficas y orográficas.
- Programa de sistemas de información geográfica “QGis” versión 2.
- Otros

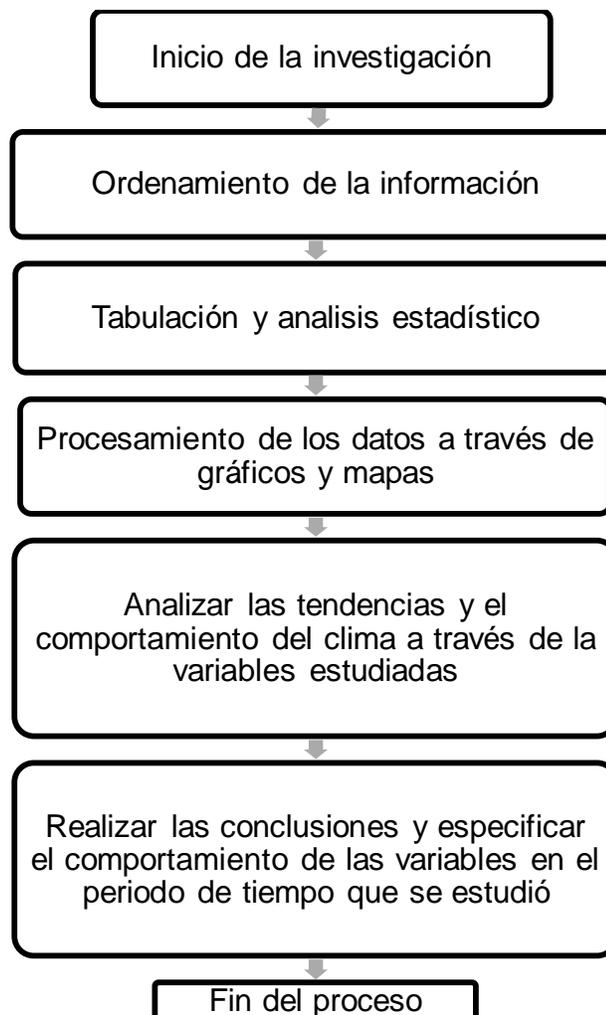
3.5. Técnica cuantitativa

El análisis de los datos se basó en la adopción de las diferentes variables climatológicas y la correlación entre ellas, con las que se determinó cierta relación en las condiciones actuales del clima en Guatemala.

3.6. Diseño general

El análisis de los datos se relacionó con la finalidad de seguir una serie de pasos con el cual se ordenó, clasificó y analizó la información para obtener el balance hídrico climático de la región semiárida.

Figura 3. **Proceso de investigación**



Fuente: elaboración propia.

3.7. Procesamiento de información

La información fue recopilada de las bases de datos para el periodo de 1990-2010, se ordenó y analizó a través de distintas fórmulas matemáticas que condujeron a los resultados del presente estudio.

3.7.1. Fundamento para realizar el análisis y ordenamiento de la información

- Descripción de las variables climatológicas.

El análisis de la información se realizó a través de distintas variables climatológicas, las cuales son: precipitación pluvial, temperatura, humedad relativa y radiación solar promedios, con las cuales se determinó las tendencias y dinámicas en el clima a lo largo del periodo de 1990 a 2010.

- Determinación de criterios del análisis de la variabilidad climática y cambio climático.

Para el análisis de la variabilidad climática se utilizaron los registros de las bases de datos de las estaciones meteorológicas en los departamentos de la región semiárida de la República de Guatemala. Asimismo, para el análisis de las simulaciones de cambio climático se hicieron variaciones en la temperatura promedio anual aumentándola en 1 y 2 grados Celsius, para simular el cambio climático según criterios del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, conocido como IPCC (por sus siglas en inglés), además se investigaron cada una de las variables para una mejor comprensión de su importancia en los sistemas climáticos.

- Descripción del balance hídrico climático.

Para lograr el cálculo del balance hídrico climático primero se debe calcular la evapotranspiración potencial a través de varios métodos, como el método de G. Hargreaves. A partir de esto se calcula el balance hídrico climático (BHC), el cual da una aproximación de las disponibilidades de agua en un lugar o región, que fue uno de los objetivos a alcanzar en esta investigación, especialmente para la región semiárida de la República de Guatemala.

El cálculo del balance hídrico climático se logra a través de la siguiente fórmula:

$$\text{BHC} = P_p - \text{ETP} \quad [\text{Ecuación 1}]$$

Donde BHC es el balance hídrico climático, el cual es el volumen de agua disponible para escorrentía e infiltración local. La P_p es la precipitación pluvial y la ETP es la evapotranspiración potencial. Esta fórmula, el programa de cálculo y el graficado fueron diseñados por el MSc. Ing. Fulgencio Garavito de INSIVUMEH y de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y de Recursos Hidráulicos (ERIS), de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Este programa de cálculo utiliza parámetros climáticos que no todas las estaciones meteorológicas poseen, como la radiación solar medida, la tensión de vapor y la velocidad del viento. El método presenta la ventaja de que se puede aplicar en cualquier lugar que se tengan datos de temperatura y humedad relativa. Este método da resultados con alta correlación comparado con los obtenidos por otros métodos como el de Penman, que se utiliza para el cálculo de evapotranspiración potencial de referencia a nivel mundial.

- Especificaciones sobre los mapas a realizar para un atlas climatológico de la región semiárida de la República de Guatemala.

Los mapas se realizaron con la ayuda de un programa de computación de sistemas de información geográfica (QGis, versión 2), siendo este un software de uso libre, de esta manera se observaron los cambios en el balance hídrico climático de la zona semiárida de Guatemala para los diferentes años de estudio, tanto en su distribución geográfica y temporal.

- Determinación de condiciones actuales en Guatemala sobre cambio climático y la vulnerabilidad que afecta a la población.

A través de las conclusiones generadas por medio del procesamiento y análisis de la información, se logró incorporar a la investigación un enfoque de las condiciones que presenta la región, debido al comportamiento histórico del clima.

3.8. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de información

Se requirió del ordenamiento de la información y homogenizar las variables principales, con las cuales se realizó el balance hídrico de la región semiárida de la República de Guatemala.

A través de las bases de datos proporcionadas por el INSIVUMEH, que incluyeron datos del periodo de 1990 a 2010 de las diferentes variables climatológicas: precipitación pluvial, temperatura y humedad relativa. Se ordenó la información y se calcularon los promedios mensuales y anuales de cada una de las variables mencionadas.

Con el valor máximo y mínimo de precipitación promedio anual se determinó el año más lluvioso y más seco de los veintiún años de datos que fueron analizados. La tabla II muestra las estaciones por departamento y el período de años que fue analizado.

Tabla II. **Fundamento para la metodología del análisis de las variables climatológicas, clasificando las bases de datos existentes**

Departamento	Estación meteorológica	Años de estudio
		Período
Baja Verapaz	Cubulco	1990-2010
	San Jerónimo	1990-2010
Chiquimula	Esquipulas	1990-2010
	Camotán	1990-2010
El Progreso	Morazán	1990-2010
Jalapa	La Ceibita	1990-2010
	Potrero Carrillo	1990-2010
Jutiapa	Asunción Mita	1990-2010
	Montúfar	1990-2010
Zacapa	La Fragua	1990-2010
	La Unión	1990-2010
	Pasabién	1990-2010

Fuente: elaboración propia.

3.9. Análisis estadístico

Los cálculos estadísticos que se realizaron al ordenar la información fueron los siguientes:

- Promedios anuales y mensuales de los veintiún años de datos analizados.
- Desviación estándar.
- Coeficiente de variación.

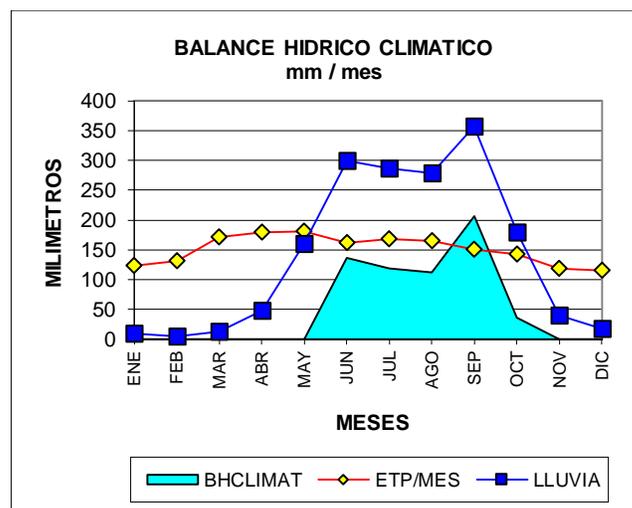
- El máximo y el mínimo del promedio anual para precipitación pluvial, temperatura y humedad relativa.

Con esta información se determinó el año más seco y lluvioso, con el objetivo de ver la variación que existe entre el año promedio, año más seco y año más lluvioso.

3.9.1. Representación gráfica del BHC

Con los cálculos obtenidos de los promedios de precipitación pluvial, evapotranspiración potencial y del balance hídrico climático, se realizó una gráfica que relaciona las tres variables mencionadas anteriormente, con la cual se hicieron las comparaciones entre el año promedio, año seco, año lluvioso, año promedio aumentando en 1°C y 2°C la temperatura promedio y disminuyendo en un 5 % la humedad relativa.

Figura 4. Gráfica representativa del comportamiento del balance hídrico climático



Fuente: elaboración propia, a través del programa de cálculo del BHC.

4. RESULTADOS

4.1. Clasificación de las bases de datos obteniendo el año seco y el año lluvioso del periodo de 1990 a 2010

La tabla III muestra los años en los cuales se determinó el año seco y el año lluvioso del periodo de 1990 a 2010.

Tabla III. **Determinación del año seco y año lluvioso**

Departamento	Altitud (msnm)	Estación meteorológica	Años de estudio		
			Período	Año seco	Año lluvioso
Baja Verapaz	994	Cubulco	1990-2010	2001	1999
	1000	San Jerónimo	1990-2010	2009	2010
Chiquimula	950	Esquipulas	1990-2010	2002	2006
	450	Camotán	1990-2010	2002	2008
El Progreso	370	Morazán	1990-2010	2003	2005
Jalapa	960	La Ceibita	1990-2010	1993	2008
	1760	Potrero Carrillo	1990-2010	2009	1996
Jutiapa	478	Asunción Mita	1990-2010	1992	1996
	10	Montúfar	1990-2010	1994	2008
Zacapa	210	La Fragua	1990-2010	2003	2008
	1000	La Unión	1990-2010	1997	2010
	260	Pasabién	1990-2010	2002	2010

Fuente: elaboración propia.

4.2. Determinación de los valores de precipitación pluvial, temperatura, humedad relativa, evapotranspiración potencial y balance hídrico climático de la región semiárida de Guatemala

A continuación se presentan las tablas que contienen los resultados obtenidos al ordenar y analizar las bases de datos del período de 1990 al 2010 para cada estación meteorológica en los departamentos de la región semiárida de la República de Guatemala.

Tabla IV. **Precipitación pluvial total anual de la región semiárida de Guatemala**

Departamento	Estación	Precipitación total anual (mm/año)		
		Año promedio	Año seco	Año lluvioso
Baja Verapaz	Cubulco	1167,5	854,7	1463,7
	San Jerónimo	1006,4	1799,3	1681,4
Chiquimula	Esquipulas	1691,9	1132,0	2107,1
	Camotán	1188,7	837,9	1752,9
El Progreso	Morazán	836,0	464,0	1058,7
Jalapa	La Ceibita	1009,5	652,5	1163,5
	Potrero Carrillo	1293,2	985,4	1846,1
Jutiapa	Asunción Mita	1366,6	1041,7	1734,3
	Montúfar	1476,5	966	2298,3
Zacapa	La Fragua	770,6	540,1	1179,8
	La Unión	1728,2	407,0	2429,3
	Pasabién	852,4	564,8	1430,1

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Temperatura promedio anual de la región semiárida de la República de Guatemala**

Departamento	Estación meteorológica	Temperatura promedio anual en °C		
		Año promedio	Año seco	Año lluvioso
Baja Verapaz	Cubulco	22,6	21,2	22,9
	San Jerónimo	21,1	21,3	21,8
Chiquimula	Esquipulas	22,1	22,4	22,0
	Camotán	25,8	26,2	25,5
El Progreso	Morazán	28,1	29,7	28,3
Jalapa	La Ceibita	23,2	23,1	23,1
	Potrero Carrillo	16,8	16,7	16,7
Jutiapa	Asunción Mita	27,1	27,1	25,8
	Montúfar	29,1	30,0	28,5
Zacapa	La Fragua	28,0	28,5	27,7
	La Unión	22,2	22,8	22,4
	Pasabién	27,3	27,3	27,1

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Humedad relativa promedio anual de la región semiárida de la República de Guatemala**

Departamento	Estación meteorológica	Humedad relativa promedio anual en %		
		Año promedio	Año seco	Año lluvioso
Baja Verapaz	Cubulco	73,4	68,7	69,4
	San Jerónimo	73,3	64,3	69,9
Chiquimula	Esquipulas	76,4	62,8	79,8
	Camotán	69,4	67,8	69,8
El Progreso	Morazán	63,2	64,5	60,8
Jalapa	La Ceibita	73,4	75,0	69,6
	Potrero Carrillo	83,1	83,7	82,8
Jutiapa	Asunción Mita	63,9	56,8	70,2
	Montúfar	77,0	81,5	74,8
Zacapa	La Fragua	64,8	65,1	66,3
	La Unión	79,7	81,3	78,3
	Pasabién	76,3	75,7	77,9

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Evapotranspiración total anual de la región semiárida de la República de Guatemala**

Departamento	Estación meteorológica	ETP (Evapotranspiración total anual) mm/año		
		Promedio	Año seco	Año lluvioso
Baja Verapaz	Cubulco	1731,4	1736,8	1725,3
	San Jerónimo	1662,5	1799,3	1681,4
Chiquimula	Esquipulas	1655,2	1873,9	1585,1
	Camotán	1930,0	1969,1	1908,6
El Progreso	Morazán	2128,1	1987,1	2175,3
Jalapa	La Ceibita	1751,3	1781,9	1801,7
	Potrero Carrillo	1322,5	1370,1	1319,9
Jutiapa	Asunción Mita	2063,2	2159,6	1907,0
	Montúfar	1917,0	1859,2	1918,4
Zacapa	La Fragua	2105,0	2125,0	2095,8
	La Unión	1603,7	1590,7	1632,2
	Pasabién	1874,7	1868,8	1831,2

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Valores obtenidos del balance hídrico climático anual de la región semiárida de la República de Guatemala**

Departamento	Estación meteorológica	BHC (Balance hídrico climático) mm/año		
		Año promedio	Año seco	Año lluvioso
Baja Verapaz	Cubulco	157,4	123,9	540,9
	San Jerónimo	105,3	0,0	623,7
Chiquimula	Esquipulas	680,7	132,0	1143,7
	Camotán	187,1	97,5	787,2
El Progreso	Morazán	13,1	0,0	83,4
Jalapa	La Ceibita	111,6	90,3	356,6
	Potrero Carrillo	406,0	192,6	911,0
Jutiapa	Asunción Mita	286,5	187,9	612,5
	Montúfar	393,1	91,9	1216,1
Zacapa	La Fragua	0,0	0,0	279,1
	La Unión	538,3	14,0	1180,7
	Pasabién	43,9	12,7	534,1

Fuente: elaboración propia.

4.3. Determinación de los valores encontrados del balance hídrico climático anual de la región semiárida de la República de Guatemala, al variar en 1 y 2 grados Celsius la temperatura y disminuir en un 5 % la humedad relativa del año seco en cada estación meteorológica

La tabla IX, que se muestra a continuación representa los valores encontrados del balance hídrico climático al hacer cambios en la temperatura media de la región semiárida de la República de Guatemala.

Tabla IX. Valores encontrados del balance hídrico climático anual de la Región semiárida de la República de Guatemala al variar la temperatura y la humedad relativa

Departamento	Estación meteorológica	Año promedio	BHC (Balance hídrico climático) mm/año	
			Año seco 1 grado más de temperatura	Año seco 2 grados más de temperatura
Baja Verapaz	Cubulco	157,4	115,4	111,6
	San Jerónimo	105,3	0,0	0,0
Chiquimula	Esquipulas	680,7	108,0	96,0
	Camotán	187,1	88,2	84,4
El Progreso	Morazán	13,1	0,0	0,0
Jalapa	La Ceibita	111,6	40,6	33,0
	Potrero Carrillo	406,0	169,4	162,3
Jutiapa	Asunción Mita	286,5	164,7	151,5
	Montúfar	393,1	67,2	63,4
Zacapa	La Fragua	0,0	0,0	0,0
	La Unión	538,3	5,2	2,3
	Pasabién	43,9	1,8	0,0

Fuente: elaboración propia.

4.4. Porcentaje de variación entre el año seco y lluvioso al compararlo con el año promedio

A continuación se muestra la tabla X que contiene los porcentajes de variación entre el año seco y lluvioso con relación al año promedio.

Tabla X. **Porcentajes de variación entre el año seco y lluvioso al compararlo con el año promedio**

Departamento	Estación meteorológica	% Variación BHC con respecto al año promedio	
		%Variación, año seco	%Variación, año lluvioso
Baja Verapaz	CUBULCO	-21,3	243,6
	SAN JERÓNIMO	-100,0	492,3
Chiquimula	ESQUIPULAS	-80,6	68,0
	CAMOTÁN	-47,9	320,7
El Progreso	MORAZÁN	-100,0	536,6
Jalapa	LA CEIBITA	-19,1	219,5
	POTRERO		
	CARRILLO	-52,6	124,4
Jutiapa	ASUNCIÓN MITA	-34,4	113,8
	MONTÚFAR	-76,6	209,4
Zacapa	LA FRAGUA	--	--
	LA UNIÓN	-97,4	119,3
	PASABIÉN	-71,1	1116,6

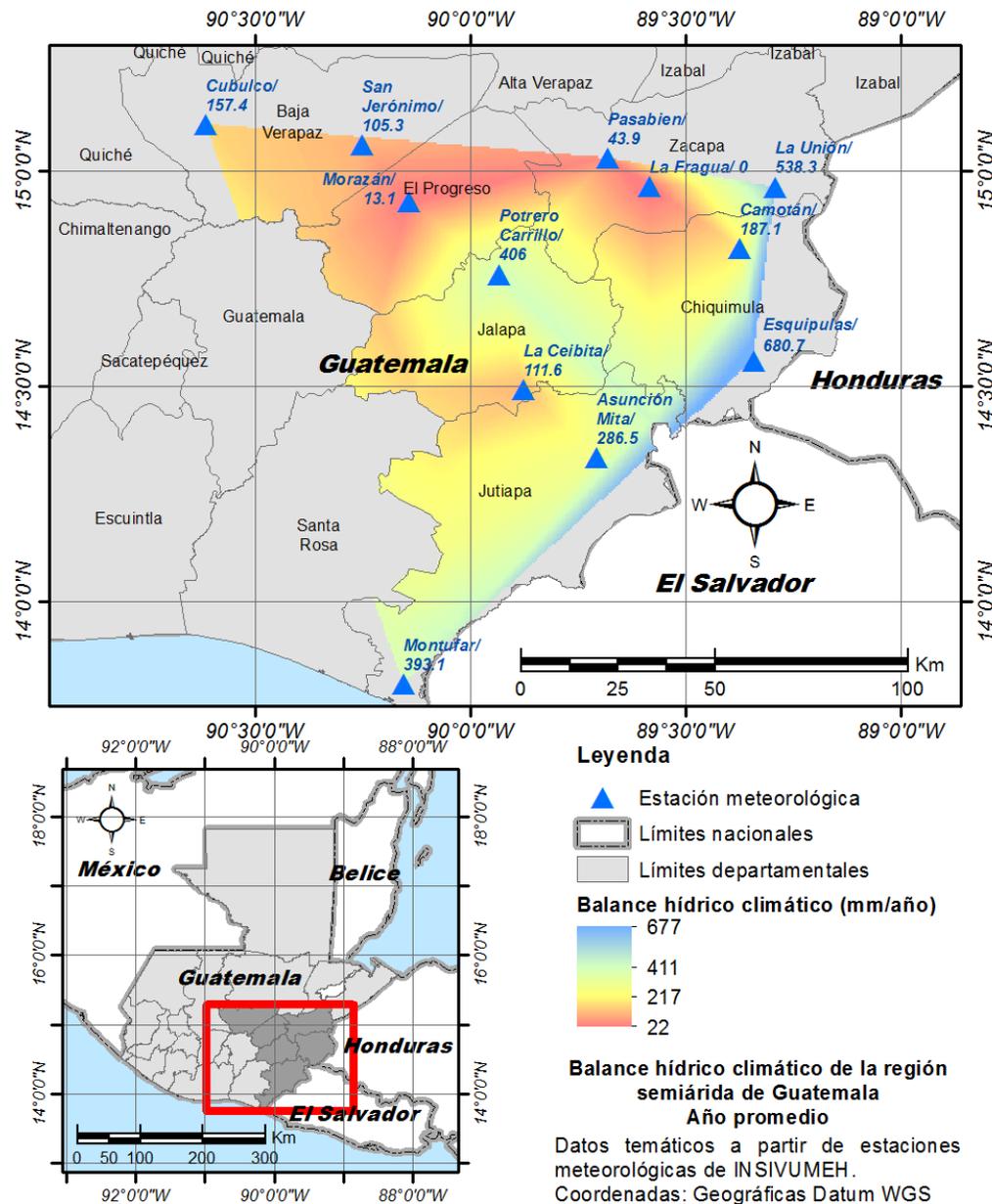
Fuente: elaboración propia.

4.5. Atlas climatológico de la región semiárida de la República de Guatemala

A continuación se muestran los mapas en las figuras 5, 6, 7, 8 y 9 que representan el balance hídrico climático de la República de Guatemala, en los cuales se puede visualizar a través de una escala de colores, las diferentes áreas en donde existe una mayor o menor disponibilidad de agua para escorrentía superficial e infiltración local.

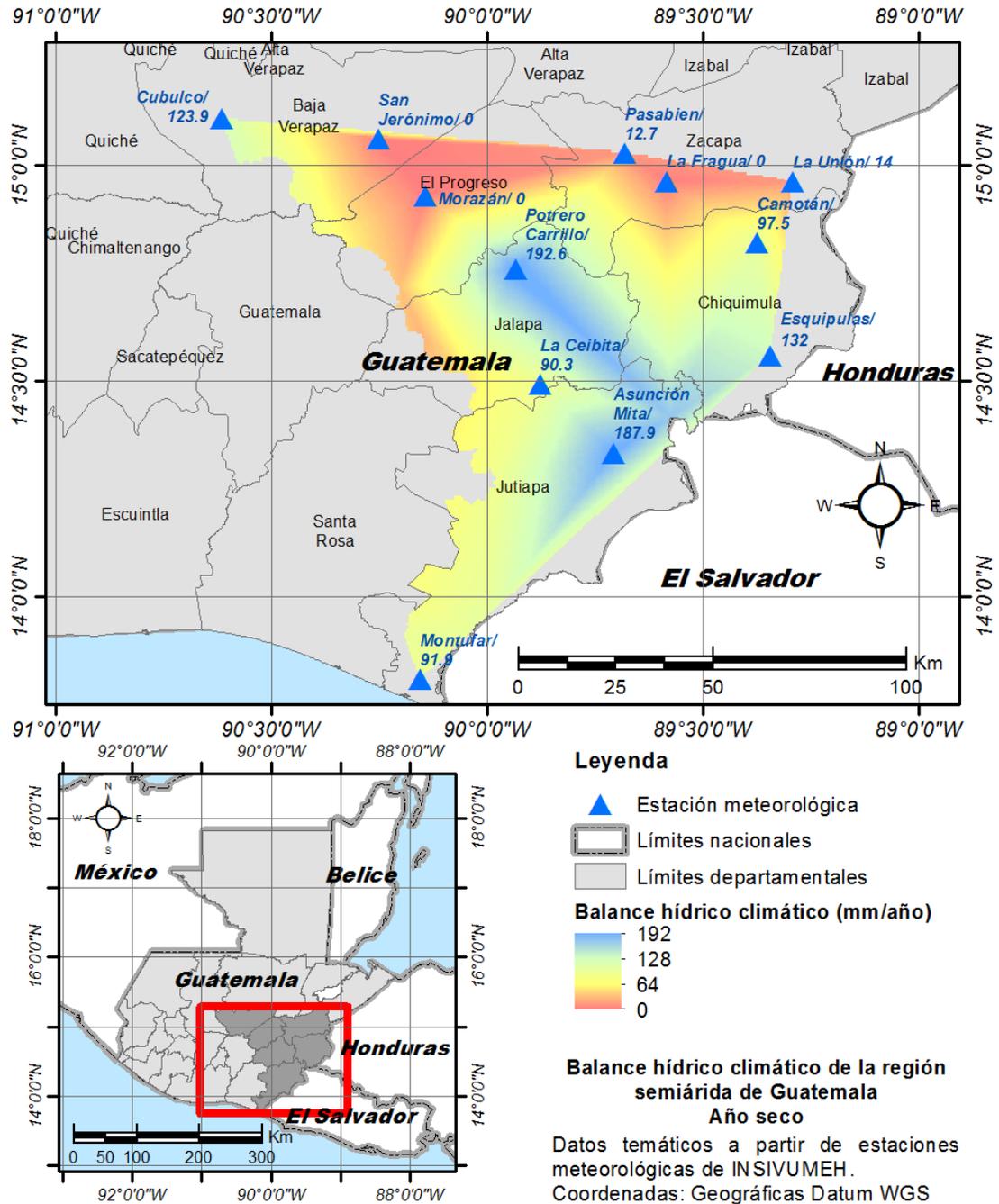
Este atlas climatológico comprende asimismo, las gráficas comparativas del año seco, año lluvioso y año promedio aumentando en 1 y 2 grados Celsius la temperatura con respecto al año promedio, que representan el balance hídrico climático de cada una de las estaciones meteorológicas en los distintos departamentos que comprenden la zona semiárida de la República de Guatemala, desde la figura 10 a la figura 21, las cuales cuantifican el volumen de agua disponible en la región.

Figura 5. Mapa representativo del balance hídrico de la región semiárida de la República de Guatemala para el año promedio



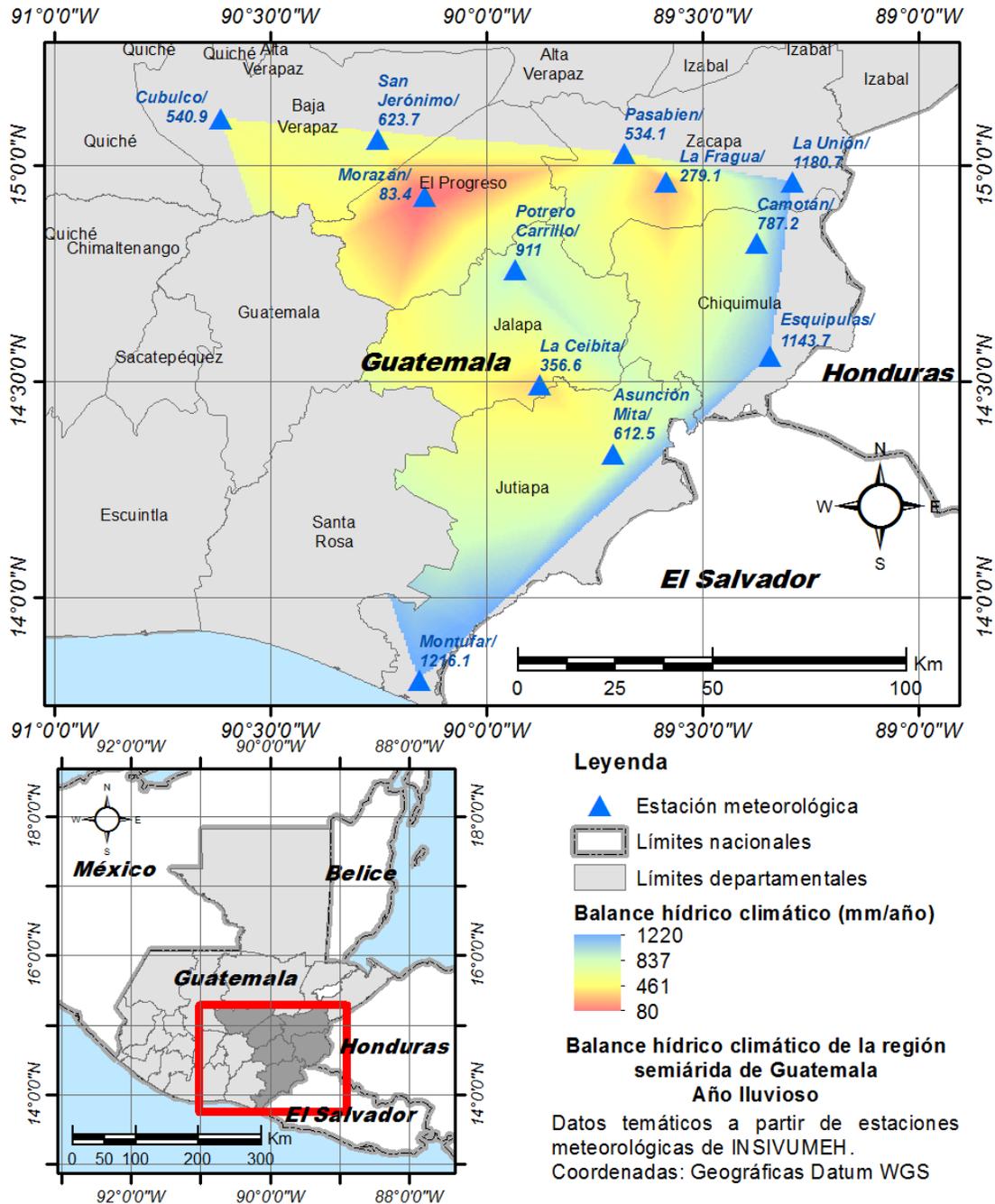
Fuente: elaboración propia, en programa QGis versión 2.

Figura 6. Mapa representativo del balance hídrico de la región semiárida de la República de Guatemala para el año seco



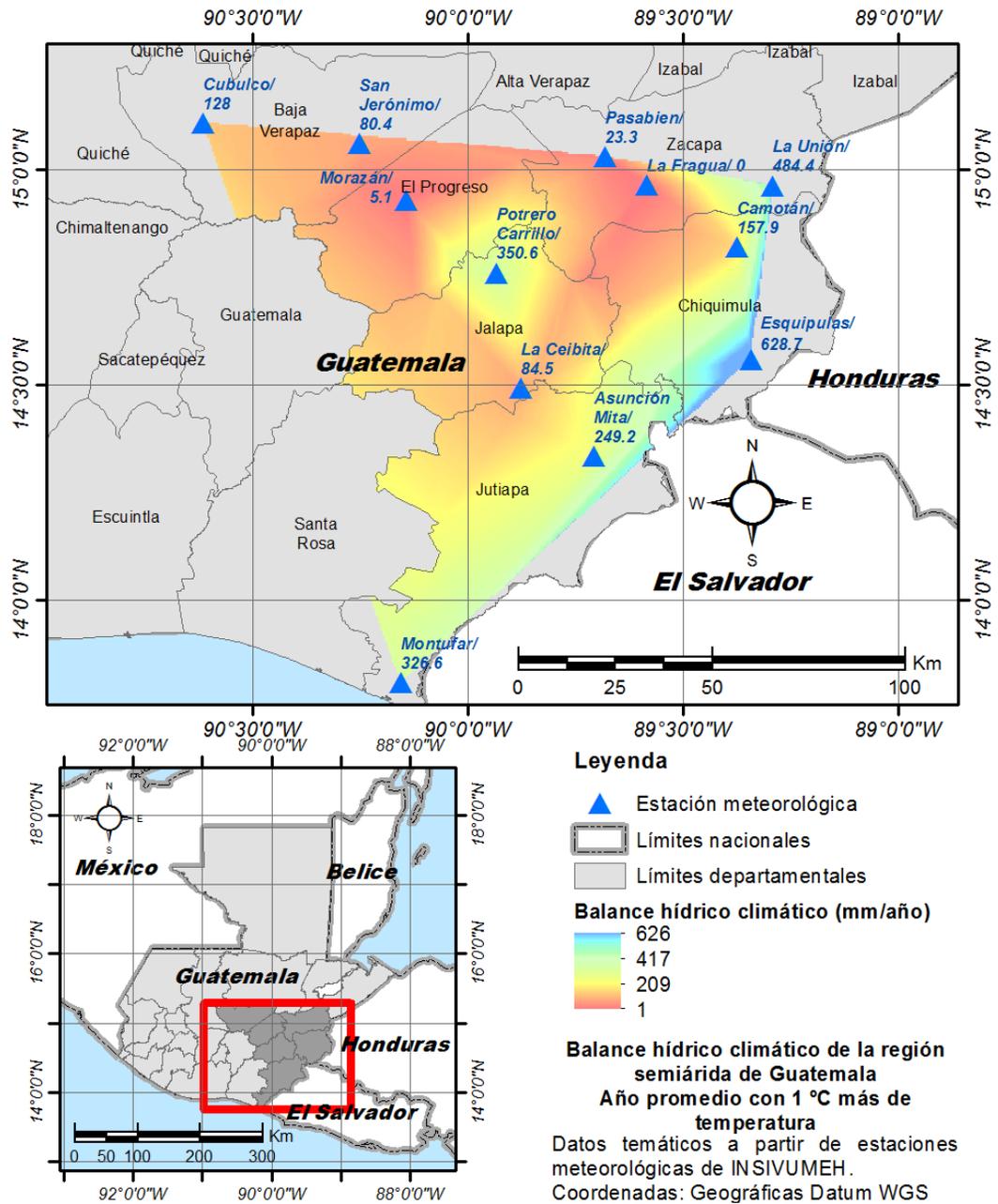
Fuente: elaboración propia, en programa QGIS versión 2.

Figura 7. Mapa representativo del balance hídrico de la región semiárida de la República de Guatemala para el año lluvioso



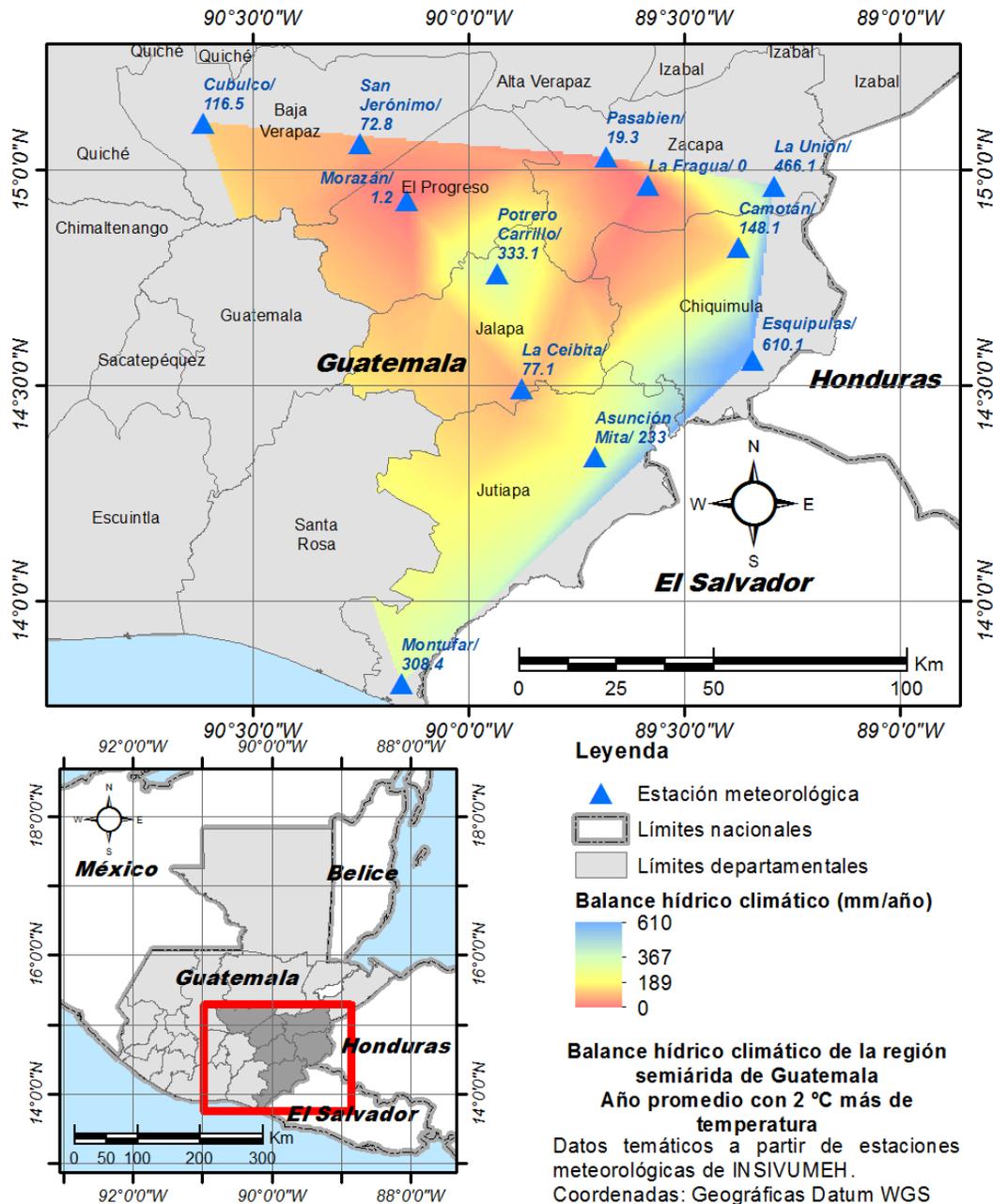
Fuente: elaboración propia, en programa QGis versión 2.

Figura 8. Mapa representativo del balance hídrico de la región semiárida de la República de Guatemala para el año promedio variando la temperatura en 1°C



Fuente: elaboración propia, en programa QGis versión 2.

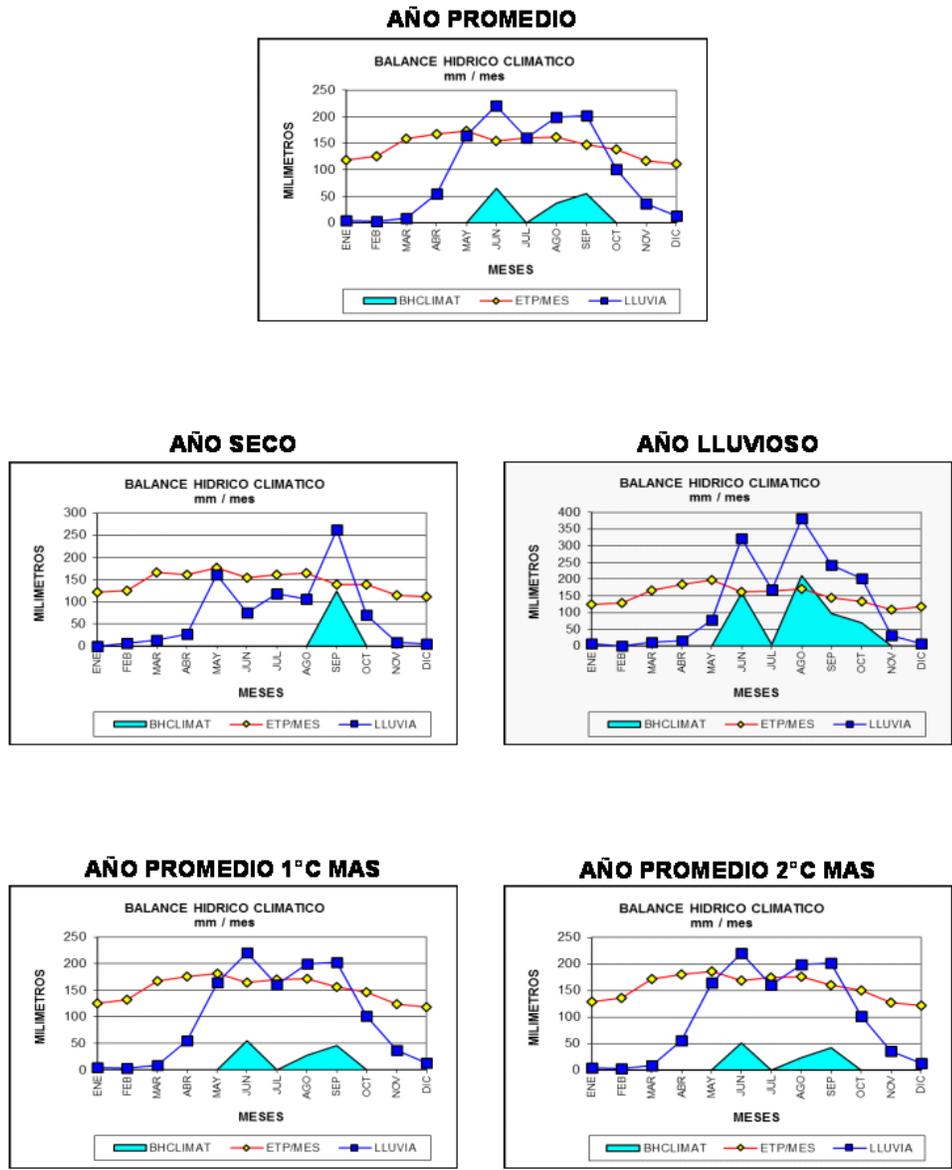
Figura 9. Mapa representativo del balance hídrico de la región semiárida de la República de Guatemala para el año promedio variando la temperatura en 2°C



Fuente: elaboración propia, en programa QGIS, versión 2.

Figura 10. Balance hídrico climático mensual comparativo, representado gráficamente para la estación de Cubulco en Baja Verapaz

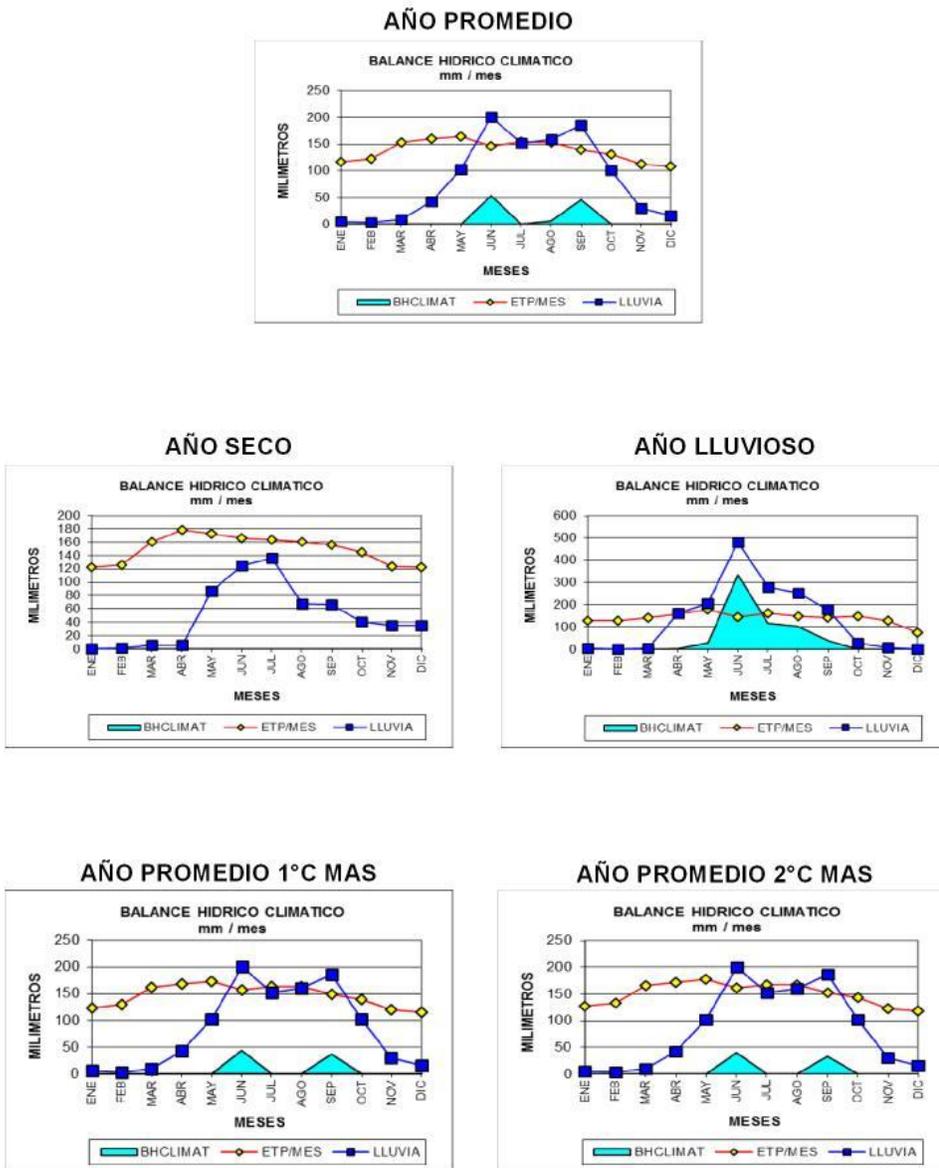
CUBULCO



Fuente: elaboración propia, en programa de cálculo de BHC.

Figura 11. Balance hídrico climático mensual comparativo, representado gráficamente para la estación de San Jerónimo en Baja Verapaz

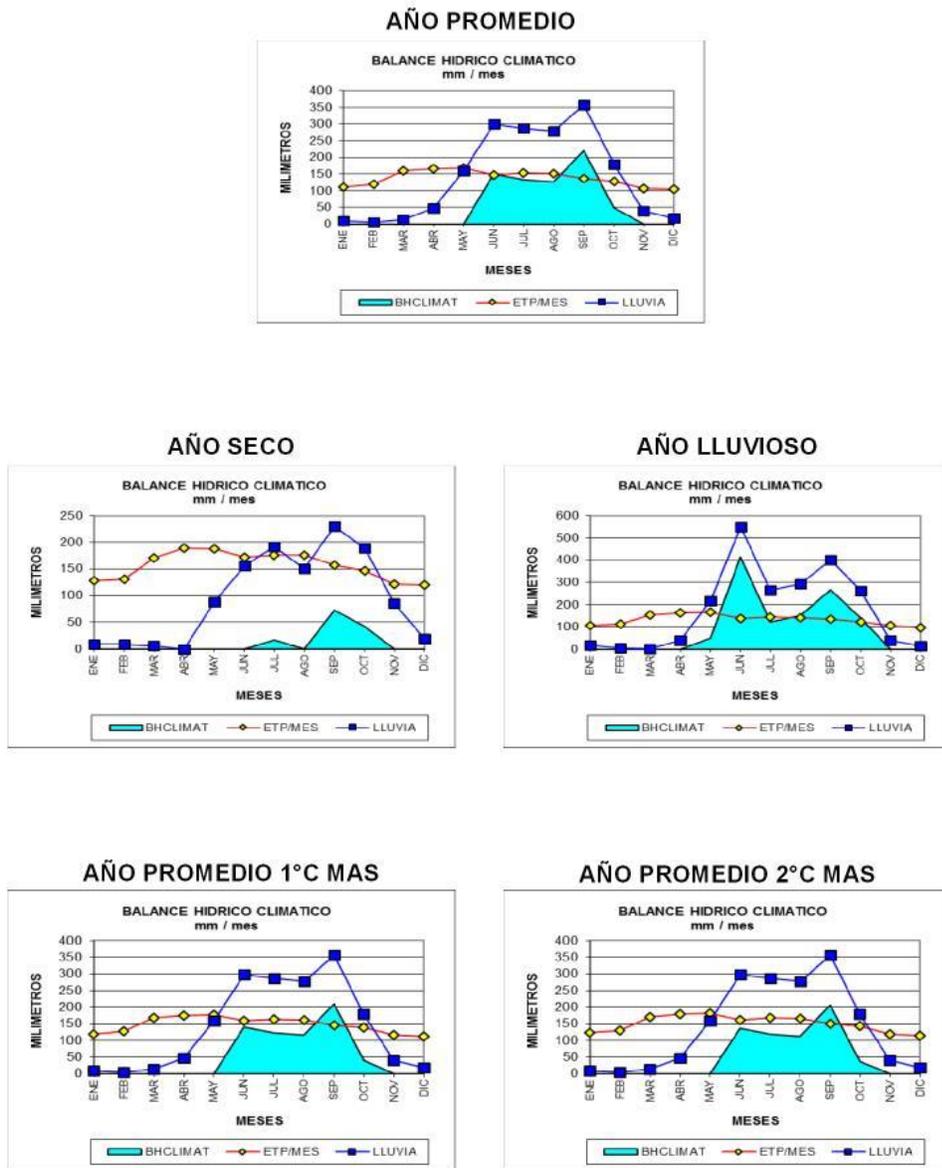
SAN JERÓNIMO



Fuente: elaboración propia, en programa de cálculo de BHC.

Figura 12. Balance hídrico climático mensual comparativo, representado gráficamente para la estación de Esquipulas en el departamento de Chiquimula

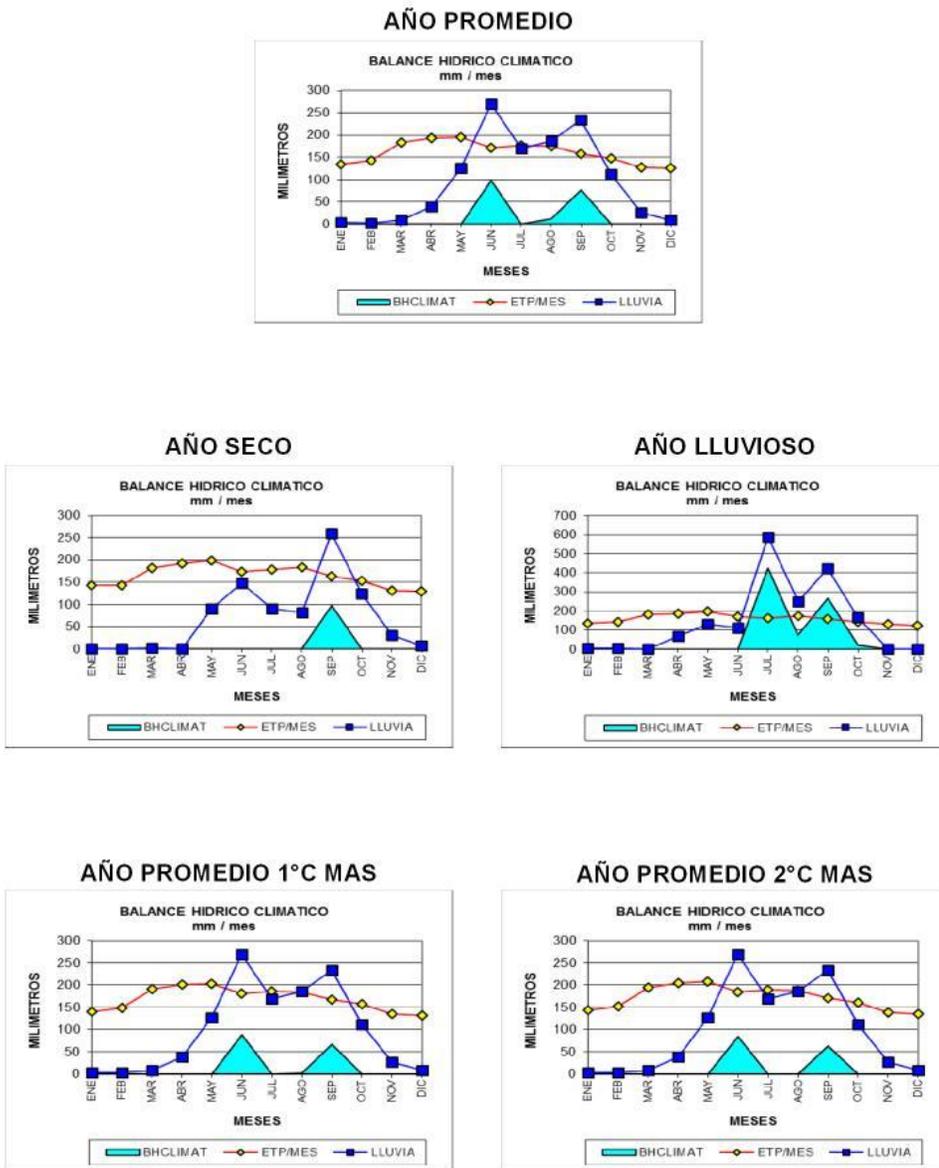
ESQUIPULAS



Fuente: elaboración propia, en programa de cálculo de BHC.

Figura 13. Balance hídrico climático mensual comparativo, representado gráficamente para Camotán en el departamento de Chiquimula

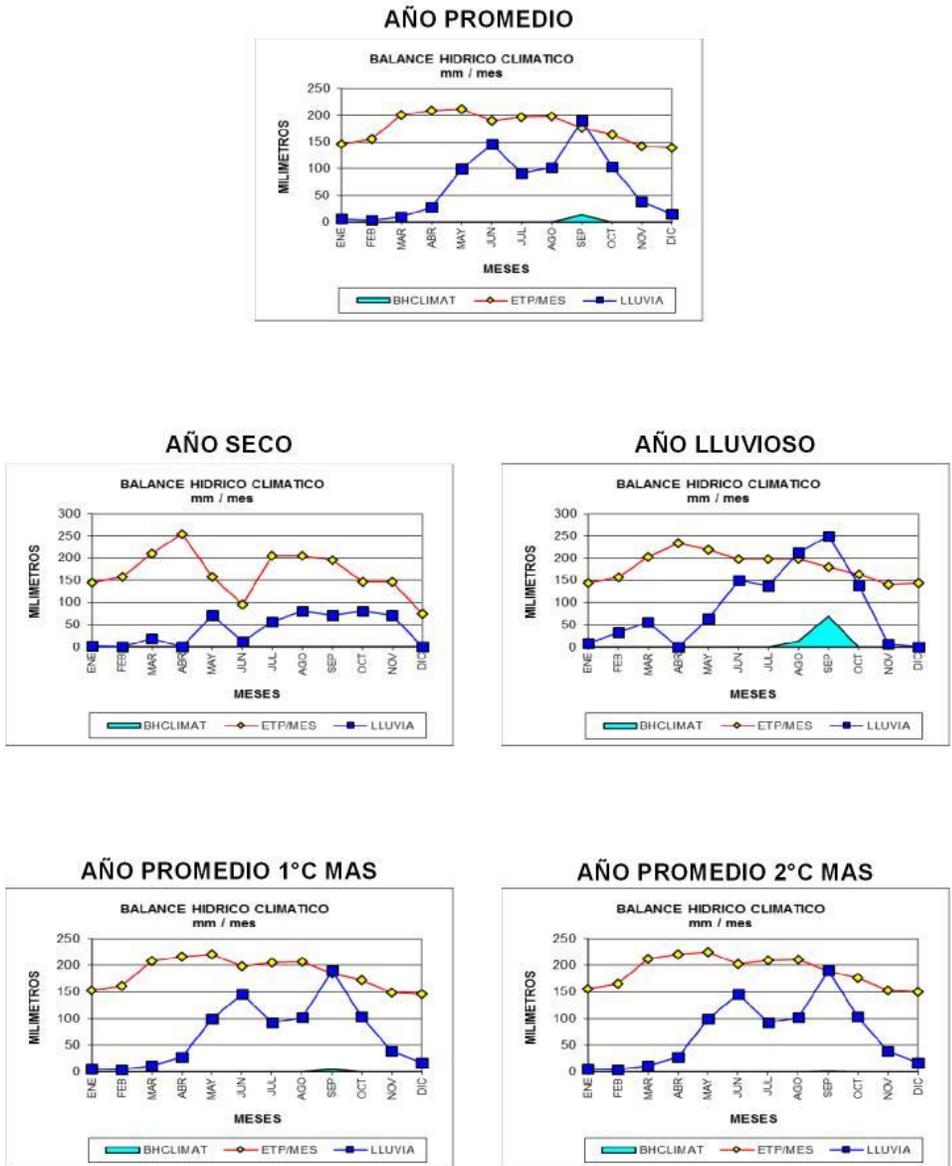
CAMOTÁN



Fuente: elaboración propia, en programa de cálculo de BHC.

Figura 14. Balance hídrico climático mensual comparativo, representado gráficamente para la estación de Morazán en el departamento de El Progreso

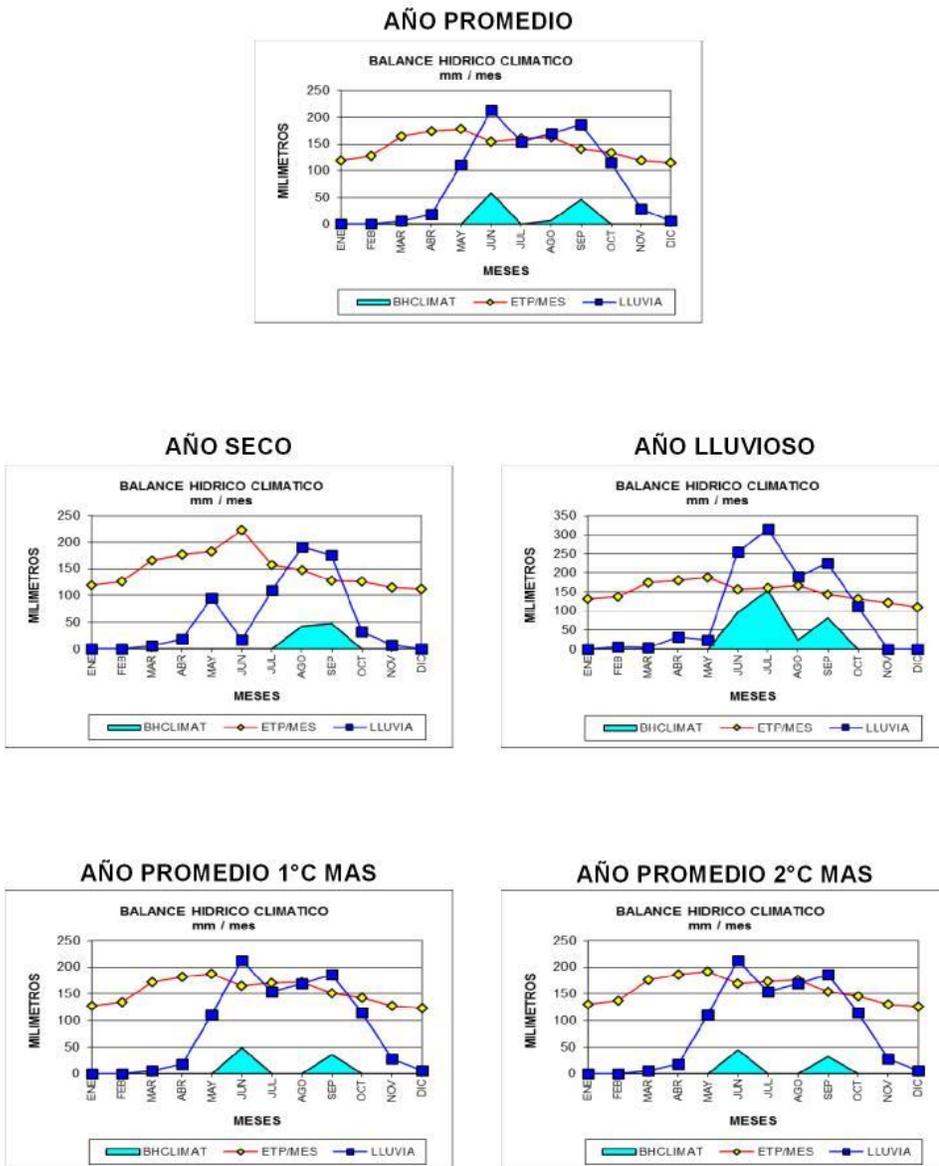
MORAZÁN



Fuente: elaboración propia, en programa de cálculo de BHC.

Figura 15. Balance hídrico climático mensual comparativo, representado gráficamente para la estación de La Ceibita del departamento de Jalapa

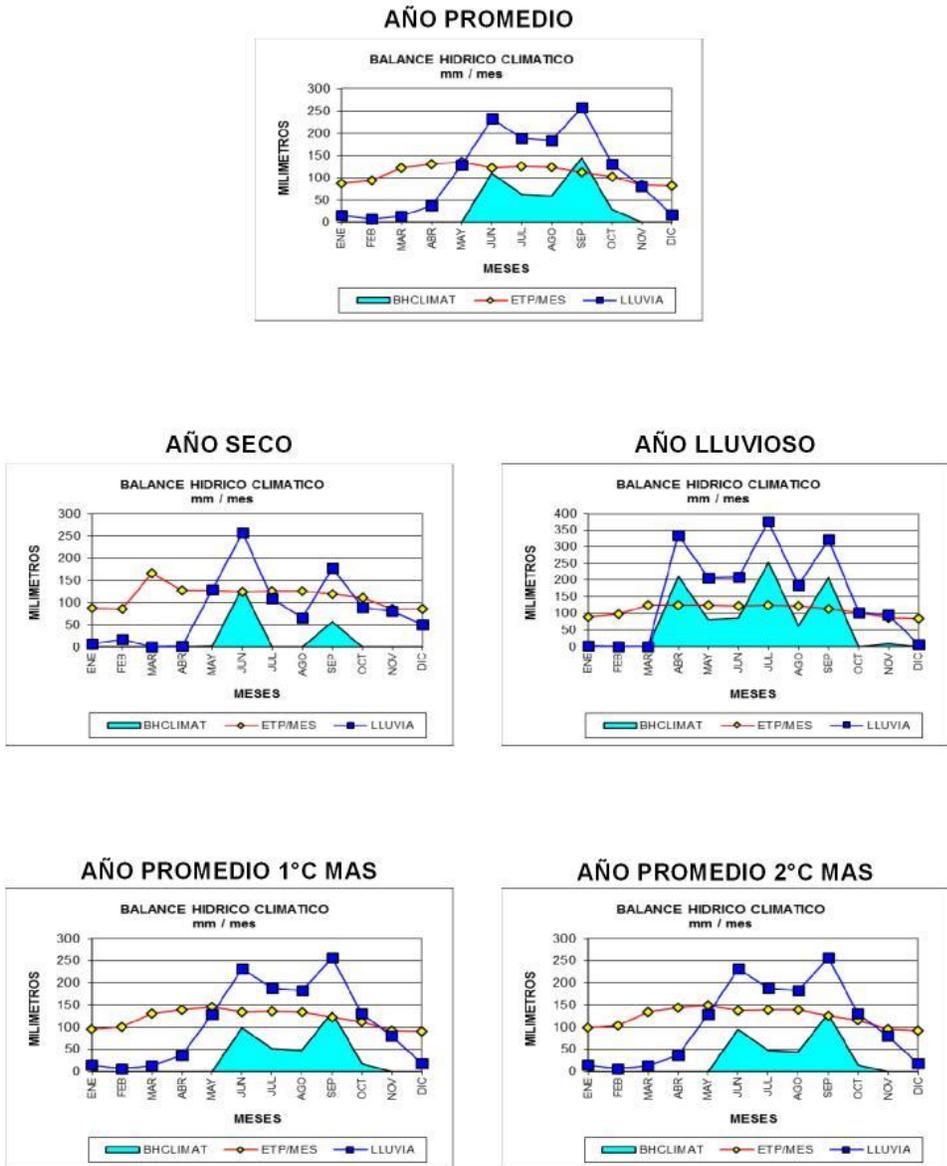
LA CEIBITA



Fuente: elaboración propia, en programa de cálculo de BHC.

Figura 16. Balance hídrico climático mensual comparativo, representado gráficamente para la estación de Potrero Carillo del departamento de Jalapa

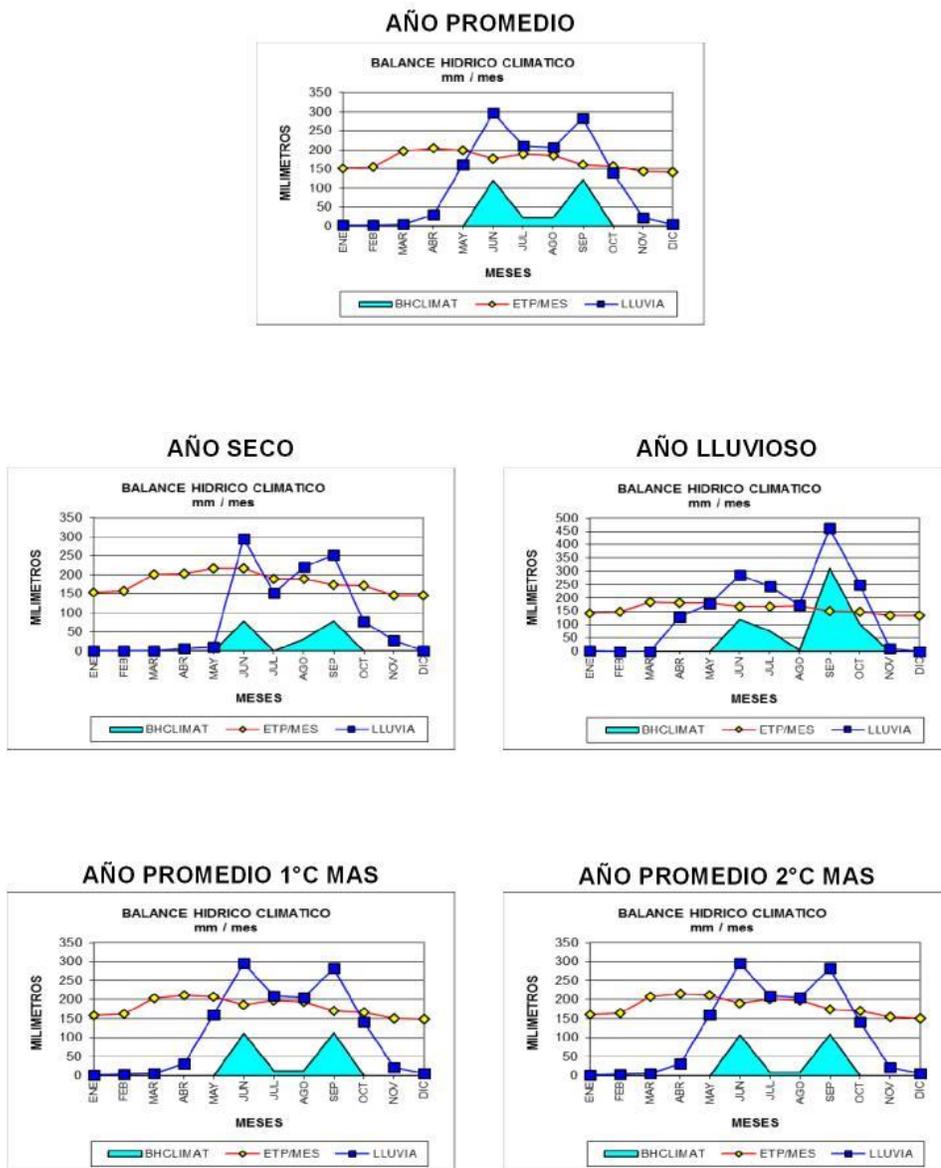
POTRERO CARRILLO



Fuente: elaboración propia, en programa de cálculo de BHC.

Figura 17. Balance hídrico climático mensual comparativo, representado gráficamente para la estación de Asunción Mita del departamento de Jutiapa

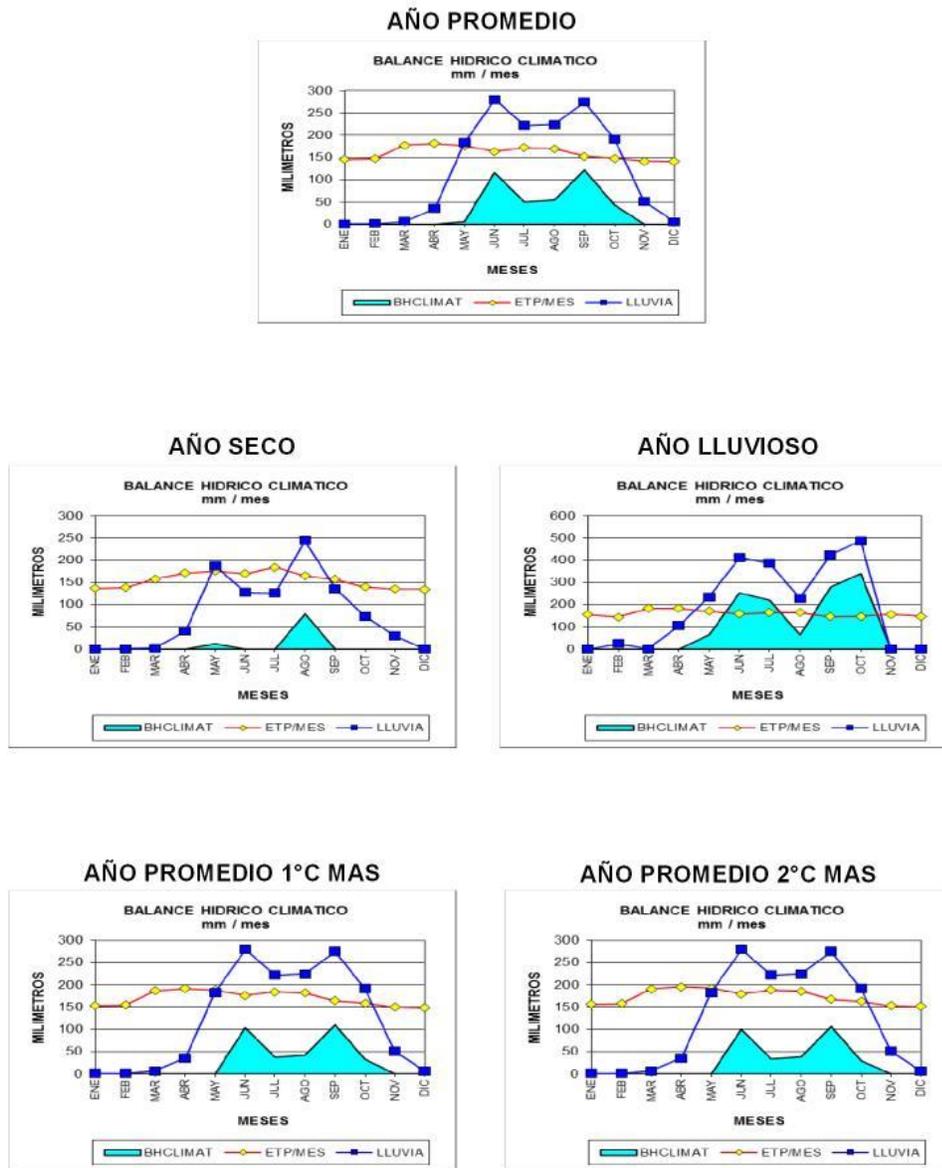
ASUNCIÓN MITA



Fuente: elaboración propia, en programa de cálculo de BHC.

Figura 18. Balance hídrico climático mensual comparativo, representado gráficamente para la estación de Montúfar del departamento de Jutiapa

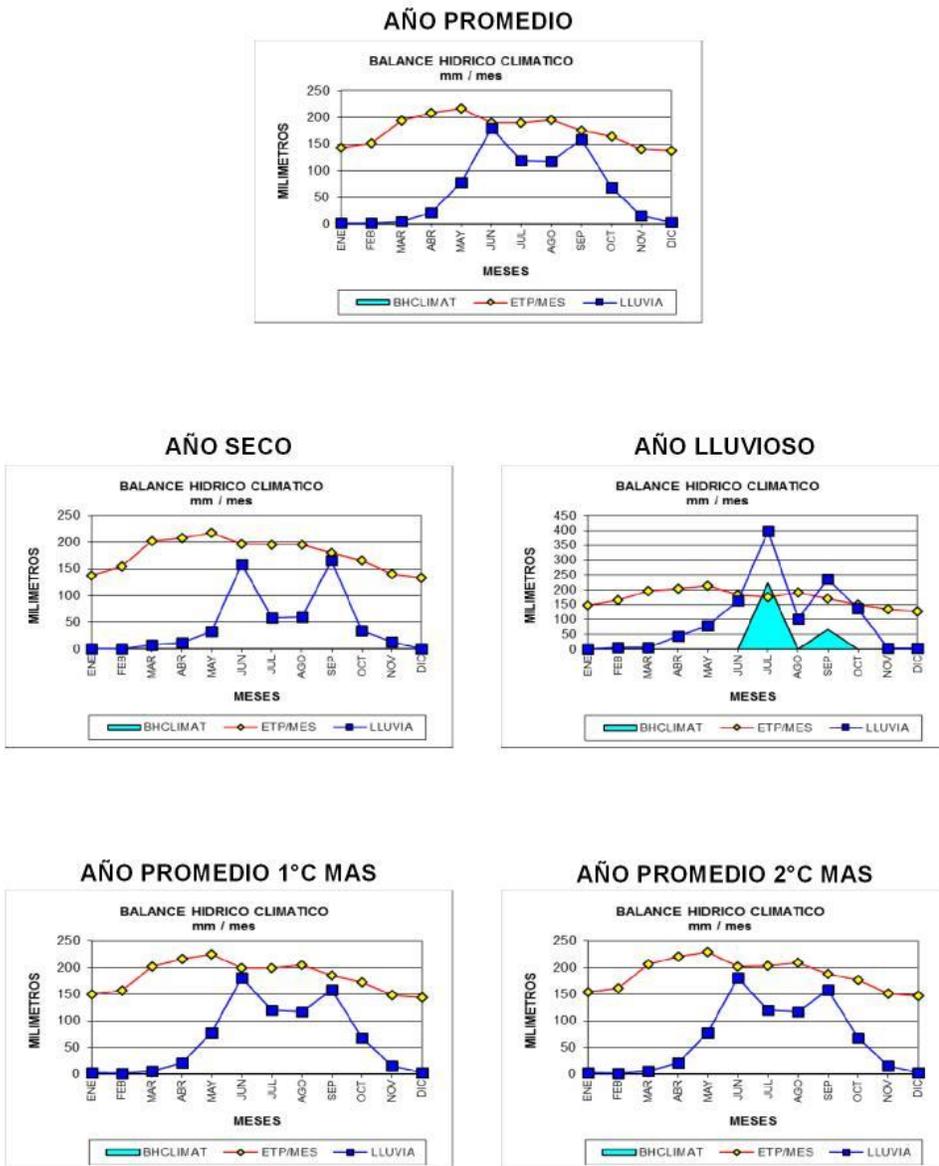
MONTÚFAR



Fuente: elaboración propia, en programa de cálculo de BHC.

Figura 19. Balance hídrico climático mensual comparativo, representado gráficamente para la estación de La Fragua del departamento de Zacapa

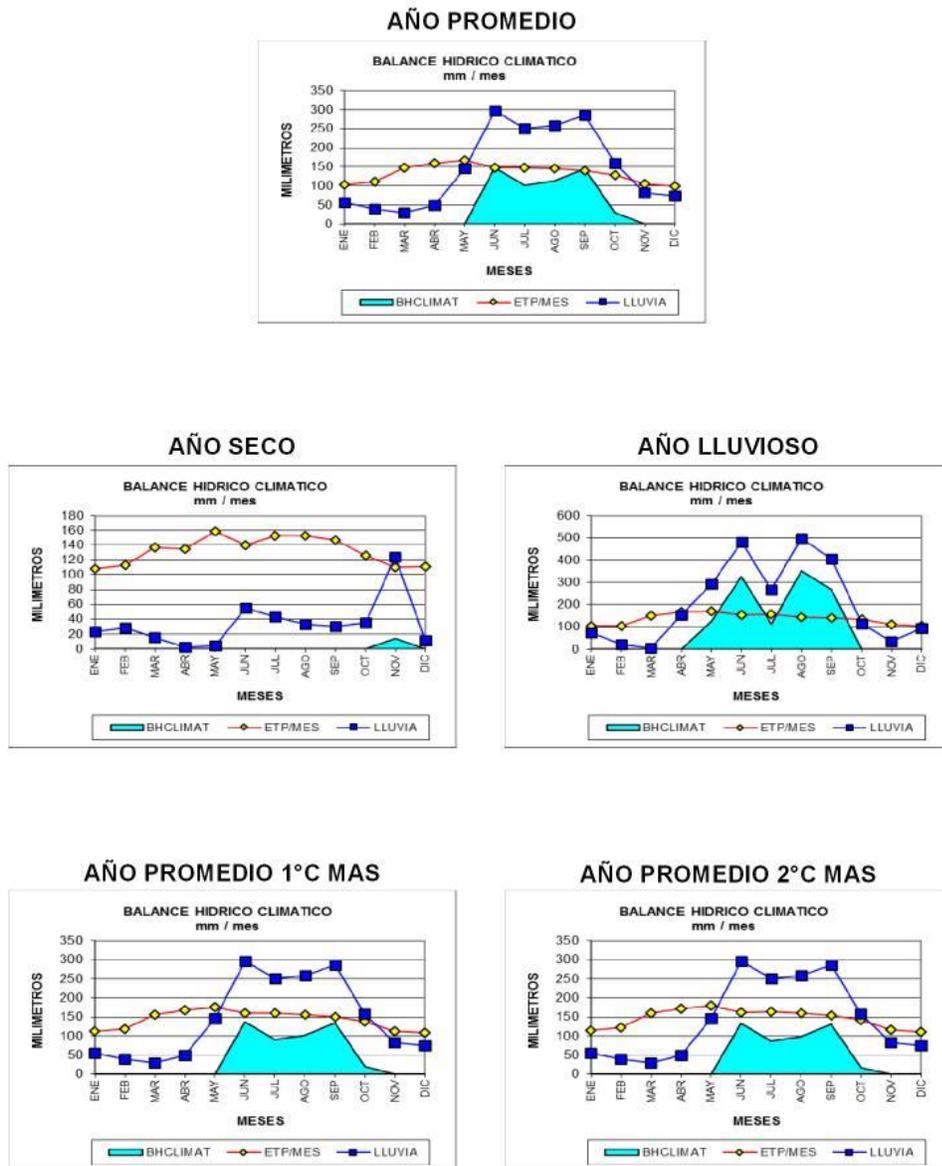
LA FRAGUA



Fuente: elaboración propia, en programa de cálculo de BHC.

Figura 20. Balance hídrico climático mensual comparativo, representado gráficamente para la estación de La Unión del departamento de Zacapa

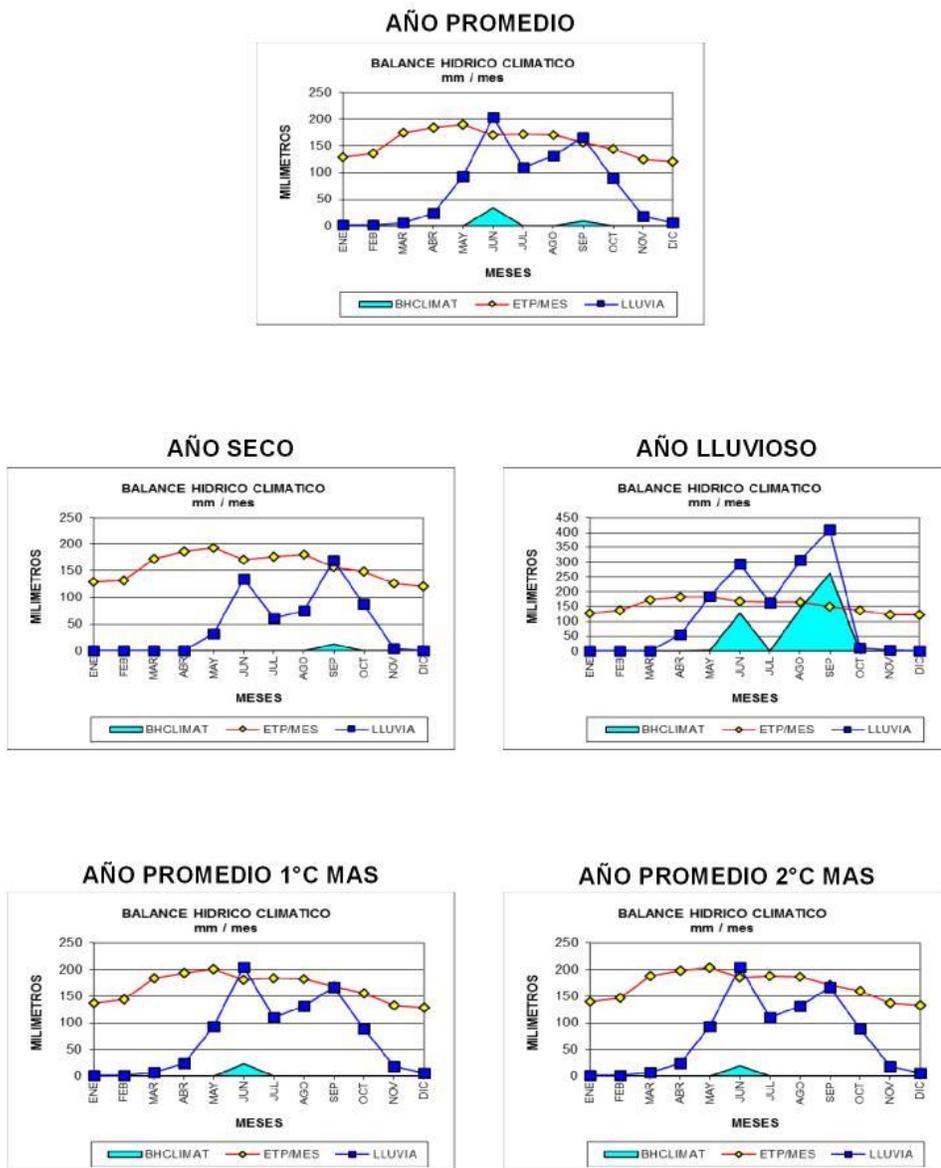
LA UNIÓN



Fuente: elaboración propia, en programa de cálculo de BHC.

Figura 21. Balance hídrico climático mensual comparativo, representado gráficamente para la estación de Pasabién del departamento de Zacapa

PASABIEN



Fuente: elaboración propia, en programa de cálculo de BHC.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1. Clasificación de las bases de datos obteniendo el año seco y el lluvioso del periodo de 1990 a 2010

Se determinó el año seco y lluvioso del período de 1990 a 2010 realizando el acumulado mensual de precipitación pluvial de cada año analizado por cada estación meteorológica en particular. Con el total encontrado para cada año, se obtuvo el valor máximo del año lluvioso y con el valor mínimo se consiguió el año seco. Al clasificar las bases de datos analizados en la tabla III, se logró determinar que los años que más se repiten para el seco son: 2002, 2003 y 2009.

Las sequías registradas en la República de Guatemala que abarcan el período analizado en este estudio, fueron en los años de 1999, 2000, 2001 y 2009. Los determinados como año seco coinciden con las sequías registradas en Guatemala en el de 2009 y el fenómeno de El Niño en el 2003. Con estos datos se puede determinar que el clima de esta región sí registra variaciones significativas cuando se presentan fenómenos naturales extremos, como las sequías, sin embargo, no afectan toda la región de igual manera, ya que no se encontraron los mismos años secos en todas las estaciones meteorológicas.

Para el año lluvioso, los que más se repiten en las diferentes estaciones meteorológicas de la región semiárida de la República de Guatemala son el 2008 y 2010. En los registros de fenómenos naturales en Guatemala en esos dos años se presentó la tormenta tropical Agatha en el 2010, que afectó gran parte del país. Sin embargo, no todos los años lluviosos encontrados en las diferentes estaciones meteorológicas coincidieron con los años en que hubo huracanes en

Guatemala, que afectaron fuertemente el país como el huracán Mitch en 1998, o la tormenta tropical Stan en 2005.

Estos resultados reflejan que la variabilidad climática afecta directamente la región semiárida cuando ocurren fenómenos naturales extremos en Guatemala. Ya sea con sequías o inundaciones. Las cuales influyen de manera significativa en los sistemas naturales y en el desarrollo socioeconómico de la región.

5.2. Determinación de los valores de precipitación pluvial, temperatura, humedad relativa, evapotranspiración potencial y balance hídrico climático de la región semiárida de la República de Guatemala

La tabla IV muestra que el mayor valor de precipitación pluvial para el año promedio y lluvioso se encuentra en la estación de La Unión en Zacapa, para el año seco el mayor valor es para la estación de San Jerónimo en Baja Verapaz. El menor valor de precipitación pluvial obtenido para el año promedio se encuentra en la estación de La Fragua, a pesar de que en esta zona se encuentra uno de los distritos de riego más grandes de Guatemala, el menor valor para el año seco es para la estación de La Unión en Zacapa y el menor valor de precipitación pluvial para año lluvioso se encuentra en la estación de Morazán en El Progreso.

Los valores obtenidos de precipitación pluvial muestran que si existen cambios significativos en el volumen de lluvia que se recibe entre un año seco y un lluvioso con respecto al año promedio. Lo cual puede afectar de manera significativa a la población de la región en cuanto a la situación económica, social y los sectores productivos de estas zonas.

La tabla V presenta los valores encontrados de la temperatura, dando como resultado que el valor mayor encontrado para el año promedio, año seco y año

lluvioso es en la estación de Montúfar en Jutiapa, y el menor valor de temperatura encontrado para el año promedio, año seco y lluvioso es en la estación de Potrero Carrillo en Jalapa. En la tabla V se puede observar también, que la temperatura se mantiene constante al analizar todo el período de 1990 a 2010, comparada con la temperatura de cada año seco o lluvioso, para cada estación meteorológica.

Los valores en las temperaturas de los años secos y lluviosos indican que no existen cambios drásticos significativos al compararlas con la temperatura promedio. Esto demuestra que la variabilidad climática no depende directamente del aumento de la temperatura en la región semiárida de Guatemala, sino de otros factores. Los cuales pueden ser fenómenos naturales extremos.

La tabla VI muestra que el mayor porcentaje de humedad relativa para el año promedio, año seco y año lluvioso se encuentra en la estación meteorológica de Potrero Carrillo en Jalapa. El menor porcentaje de humedad relativa, para el año promedio y lluvioso se encuentra en la estación de Morazán, El Progreso. Para el año seco el menor porcentaje se encuentra en la estación de Asunción Mita en Jutiapa. Lo anterior indica que no existe un gran porcentaje de variación entre los valores de humedad relativa promedio del periodo de 1990 a 2010 con respecto a los valores puntuales del año seco y el año lluvioso.

La tabla VII muestra los valores obtenidos de evapotranspiración potencial anual de la región semiárida de Guatemala. Estos valores reflejan que el mayor valor encontrado para el año promedio y lluvioso se encuentra en la estación de Morazán en El Progreso, el mayor valor para el año seco lo refleja la estación de Asunción Mita en Jutiapa. El menor valor de evapotranspiración para el año promedio, año seco y año lluvioso, se encuentra en la estación de Potrero Carrillo en Jalapa.

La tabla VIII muestra los valores obtenidos del balance hídrico climático al restar la precipitación pluvial y la evapotranspiración de cada estación meteorológica, dando como resultado el volumen de agua anual disponible para escorrentía superficial e infiltración local de la región semiárida de Guatemala. El mayor valor encontrado de BHC para el año promedio es para la estación de Esquipulas en Chiquimula, para el año seco es la estación de Potrero Carillo en Jalapa, y para el año lluvioso es la estación de Montúfar en Jutiapa. El menor valor encontrado de BHC para el año promedio y año seco es para la estación de La Fragua en el departamento de Zacapa y para el año lluvioso el menor valor se encuentra la estación de Morazán en El progreso.

5.3. Determinación de los valores encontrados del balance hídrico climático anual de la región semiárida de la República de Guatemala al variar en 1 y 2 grados Celsius la temperatura y disminuir en un 5 % la humedad relativa del año seco en cada estación meteorológica

La tabla IX muestra los valores del BHC encontrados al variar la temperatura en 1 y 2 grados Celsius y disminuir en un 5 % la humedad relativa con respecto al año promedio. Este cambio si afecta los valores obtenidos del año promedio del periodo analizado de 1990 a 2010. Lo cual indica que si existiera una variación drástica en la temperatura promedio de las últimas décadas, este cambio podría afectar directamente a la región semiárida de la República de Guatemala, siendo las áreas más afectadas las que se encuentren en los municipios de San Jerónimo en Baja Verapaz, Morazán en El progreso y La Fragua en Zacapa, las cuales presentan los valores más bajos de BHC. El impacto sería mayor para el desarrollo económico en las zonas con pendientes o laderas de montañas en donde no se tiene acceso a los sistemas de riego.

5.4. Porcentaje de variación entre el año seco y lluvioso al compararlo con el año promedio

La tabla X muestra la variación que existe entre el BHC del año seco y lluvioso, con respecto al año promedio. El porcentaje de variación en el año seco presenta valores negativos los cuales indican que existe una disponibilidad menor de volumen de agua con respecto al año promedio, en cambio el porcentaje de variación del año lluvioso refleja aumento en el porcentaje de BHC con respecto al año promedio, lo cual indica una mayor cantidad de agua disponible para escorrentía superficial e infiltración local en la zona o municipio donde se localiza cada estación meteorológica.

5.5. Atlas climatológico de la región semiárida de la República de Guatemala

Las figuras 5, 6, 7, 8 y 9, son mapas de la región semiárida de Guatemala, reflejando los resultados del BHC anual en cada estación meteorológica, para el año promedio, año seco, año lluvioso y la variación de temperatura en 1 °C y 2 °C con la disminución del 5 % de humedad relativa con respecto al año promedio, para simular el cambio climático reflejado en el BHC.

En los mapas del atlas climatológico se puede observar en color rojo las zonas con menor disponibilidad de agua para escorrentía superficial e infiltración local. Asimismo, el color azul refleja los valores mayores de BHC. Estos cambios son más significativos entre un año seco y lluvioso con respecto al promedio, que simulando cambios en la temperatura de la región. Esto indica que la variabilidad climática afecta drásticamente una región cuando estos cambios son afectados por fenómenos extremos.

Los cambios en el clima de la región simulados por el aumento de la temperatura promedio, presentaron variantes con respecto al año promedio, pero no cambios tan extremos como los reflejados en un año seco o un año lluvioso. Para que este cambio en el clima de la región exista, se necesitarían mucho más años de estudio, ya que la temperatura promedio analizada en este estudio se ha mantenido constante en cada estación meteorológica.

Las figuras de la 10 a la 21 muestran gráficas representando el balance hídrico climático a lo largo del año, comparando el año promedio, con el año seco, lluvioso y promedio con 1 y 2 °C más de temperatura. Estas gráficas reflejan y cuantifican la disponibilidad del volumen de agua para escorrentía superficial e infiltración local de la zona que abarca cada estación meteorológica.

La información analizada y representada en las figuras del atlas climatológico es importante ya que muestra un panorama de la información climática que se obtuvo, al relacionar las variables de precipitación pluvial, temperatura, humedad relativa, radiación solar y evapotranspiración potencial. Esta información puede satisfacer los requerimientos específicos de conservación del sistema natural en general de la región semiárida de la República de Guatemala.

CONCLUSIONES

1. Con el análisis de las bases de datos climatológicos del INSIVUMEH, para el período comprendido de 1990 a 2010, fueron realizadas las comparaciones estadísticas con el fin de seleccionar las series de años secos y lluviosos.
2. Con la determinación de los años secos y lluviosos, se analizó la variabilidad climática presentada en la región semiárida de la República de Guatemala, impactada con fenómenos naturales como sequías e inundaciones, ocurridos en el periodo analizado de 1990 a 2010, los cuales afectaron de manera significativa los sistemas naturales, la economía y los procesos de desarrollo en la región semiárida.
3. Al realizar el balance hídrico climático de la zona semiárida se relacionaron las variables de precipitación pluvial, temperatura, humedad relativa, radiación solar y evapotranspiración potencial, dando como resultado la cantidad de agua disponible para escorrentía superficial e infiltración local, en la región semiárida de la República de Guatemala.
4. Los mapas que fueron generados con los datos del balance hídrico climático de la región semiárida de la República de Guatemala, mostraron las diferencias significativas en los escenarios que presenta esta región en cuanto a un año seco o lluvioso en comparación con el año promedio.
5. Los mapas generados de acuerdo a cada escenario planteado, reflejaron las tendencias de la variabilidad climática, principalmente en la

distribución espacial y temporal de la cuantificación del balance hídrico climático.

6. Los mapas generados al aumentar la temperatura, reflejaron que si existiera un incremento drástico en la temperatura promedio, este cambio si puede afectar directamente a la región semiárida de la República de Guatemala, siendo las áreas más afectadas las que se encuentran en los municipios de San Jerónimo en Baja Verapaz, Morazán en El Progreso y La Fragua en Zacapa, las cuales presentaron los valores más bajos de BHC, siendo mayor el impacto en las zonas pendientes o laderas de montañas en donde no se tiene acceso a los sistemas de riego.

7. Las gráficas comparativas del atlas climatológico elaborado en esta investigación, reflejaron la disponibilidad de agua y su distribución temporal a lo largo del año, cuantificándose así los volúmenes disponibles para escorrentía superficial e infiltración local en la región semiárida de la República de Guatemala.

RECOMENDACIONES

1. Para obtener una mejor proyección del uso del agua de la región semiárida de la República de Guatemala, es necesario un estudio que complemente los resultados obtenidos del balance hídrico climático, relacionando el almacenamiento de agua para cada tipo de suelo de esta región.
2. Es importante el estudio de la variabilidad climática en la República de Guatemala en sus diferentes regiones y no solamente en la semiárida, con el propósito de diferenciar los cambios en las distintas áreas con las que cuenta el país.
3. Es necesario la ampliación de la red de estaciones de monitoreo meteorológico del INSIVUMEH, con el fin de contar con información climática oportuna y detallada en toda la República de Guatemala.
4. En el tema de la variabilidad climática es necesario el análisis de datos meteorológicos históricos, que han sido registrados en un área o región específica, y en el caso de la ciudad de Guatemala los datos registrados de lluvia son desde 1856, razón por la cual la información es referida a escala humana.
5. En el tema de cambio climático es necesario el análisis de datos meteorológicos históricos, además de los estudios paleoclimáticos sucedidos en el pasado histórico y en escala geológica, los cuales han generado cambios drásticos en el sistema climático global del planeta Tierra.

BIBLIOGRAFÍA

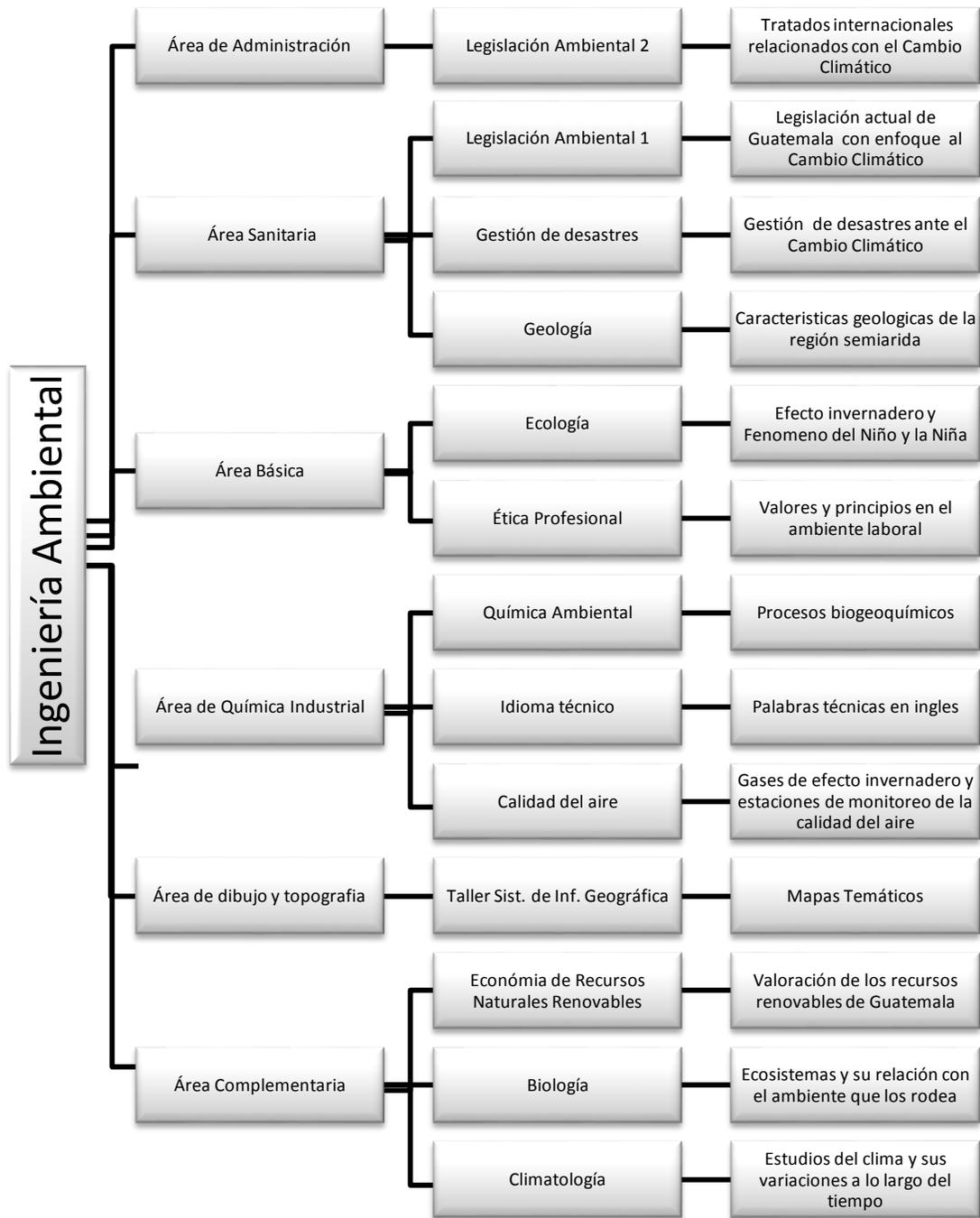
1. CEPAL. *Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe. Dinámicas, tendencias y variabilidad climática*. Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria. Varios autores. Publicación ONU, 2011. 263 p.
2. CONAP-ZOOTROPIC-CDC-TNC. *Plan de conservación de las regiones secas de Guatemala*. Editores: D. Ariano, E. Secaira, B. García y M. Flores TNC, 2009. Guatemala. 60 p.
3. FDN-TNC-USAID-CONAP. *Plan de conservación de la región semiárida del valle del motagua*. Editores: Estuardo Secaira TNC, pablo prado TNC, Selvin Pérez FDN. Abril 2003. Guatemala 61 p.
4. GÁLVEZ, Juventino. *Perfil ambiental de Guatemala. Vulnerabilidad local y creciente construcción de riesgo*. URL-IARNA, 2010-2012. 438 p.
5. HABIBA GITAY, et al. *Cambio climático y biodiversidad*. Documento técnico V. IPCC. 2002. 93 p.
6. HERNÁNDEZ, Aridane. *Impacto del cambio climático y la crisis económica en la niñez y adolescencia. Guatemala la tormenta perfecta*. UNICEF: Guatemala 2010. 65 p.

7. HERRERA, José Luis. *Estado actual del clima y la calidad del aire en Guatemala*. Informe técnico No. 5. Guatemala Instituto de Incidencia Ambiental, Iarna-Url ,2003. 94 p.
8. INSIVUMEH. *Fenómeno océano-atmosférico El Niño (ENOS)*. Informe 1-2006. Unidad de Investigación y Servicios Meteorológicos. 2006. 2 p.
9. IPCC, 2007: *Cambio climático 2007: informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al cuarto informe de evaluación del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático*. [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 p.
10. MARN. *Actividades habilitadoras para la preparación de la segunda comunicación nacional sobre cambio climático*. [en línea]. <http://www.marn.gob.gt/sub/portal_cambio_climatico/docs/scn.pdf> [Consulta: 8 de noviembre de 2012].
11. _____. *Inventario nacional de gases de efecto invernadero*. [en línea]. <http://www.marn.gob.gt/sub/portal_cambio_climatico/docs/igei_2000.pdf> [Consulta: 8 de noviembre de 2012].
12. _____. *Política nacional de cambio climático*. [en línea]. <http://www.marn.gob.gt/sub/portal_cambio_climatico/index.html> [Consulta: 20 de diciembre de 2012].
13. PNUD. *Glosario corto de términos y conceptos importantes relacionados con el cambio climático*. Colombia, 2009. 2 p.

14. WATSON, Robert T. et al. *Impactos regionales del cambio climático: evaluación de la vulnerabilidad*. IPCC, 1997. 27 p.

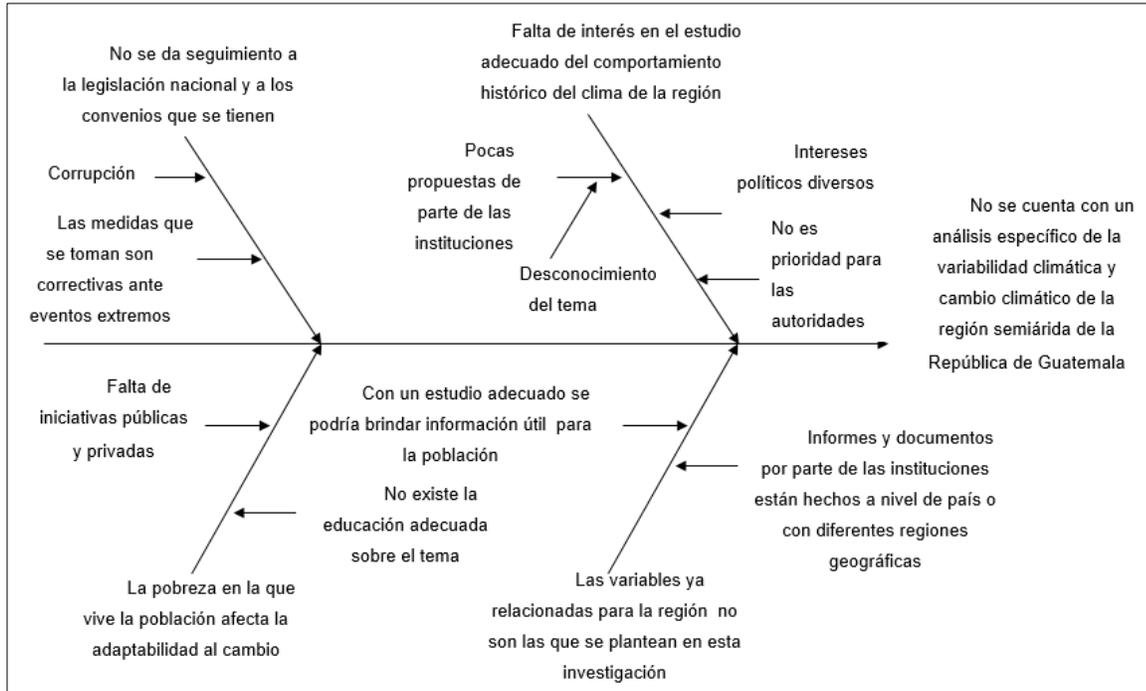
APÉNDICES

Apéndice 1. **Tabla de requisitos académicos**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

ANEXO

Anexo 1. Formato del Programa de Cálculo de BHC

1	CALCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL EN mm (método de G. Hargreaves)													
2	BALANCE HIDRICO CLIMATICO EN mm. Adaptado por Fulgencio Garavito. Climatología, INSIVUMEH													
3	INSIVUMEH § Unidad de Investigación y Servicios Climáticos § Climatología § GUATEMALA												2011	
4														
5	ESTACION:	Nombre de la Estación meteorológica												
6	AÑO													
7	VARIABLE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANNUAL
8	HR													
9	RMM	12.2	13.5	14.8	15.6	15.9	15.8	15.8	15.7	15.1	14	12.6	11.8	
10	TX													
11	F1	11.180	11.180	11.180	11.180	11.180	11.180	11.180	11.180	11.180	11.180	11.180	11.180	
12	F2	0.007	0.008	0.008	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.008	0.008	0.007	0.007	
13	F3	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	
14	ETP/DIA	2.5	2.7	3.0	3.1	3.2	3.2	3.2	3.2	3.0	2.8	2.5	2.4	2.9
15	ETP/MES	76.1	76.1	92.3	94.2	99.2	95.4	98.6	97.9	91.2	87.3	76.1	73.6	1058.0
16	LLUVIA													
17	BHCLIMAT	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
19														

Fuente: GARAVITO, Fulgencio. *Programa de cálculo de BHC.*

Este programa diseñado en una hoja de cálculo, da como resultado el BHC, al introducir los valores de:

HR: humedad relativa

TX: temperatura media

LLUVIA: precipitación pluvial

