

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES CON ÉNFASIS EN GESTIÓN AMBIENTAL

ANÁLISIS DE LA TEMPERATURA AMBIENTAL Y LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL
EN RELACIÓN CON EL ÍNDICE OCEÁNICO DEL NIÑO (ONI),
EN SEIS ZONAS DE VIDA DE GUATEMALA

TESIS DE GRADO

KAREN ADILIA BARRERA SALAZAR
CARNET 10824-11

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, OCTUBRE DE 2015
CAMPUS CENTRAL

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES CON ÉNFASIS EN GESTIÓN AMBIENTAL

ANÁLISIS DE LA TEMPERATURA AMBIENTAL Y LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL
EN RELACIÓN CON EL ÍNDICE OCEÁNICO DEL NIÑO (ONI),
EN SEIS ZONAS DE VIDA DE GUATEMALA

TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR

KAREN ADILIA BARRERA SALAZAR

PREVIO A CONFERÍRSELE

EL TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADA

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, OCTUBRE DE 2015

CAMPUS CENTRAL

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR:	P. EDUARDO VALDÉS BARRÍA, S. J.
VICERRECTORA ACADÉMICA:	DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN:	ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA:	P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO:	LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS
SECRETARIA GENERAL:	LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

DECANO:	DR. ADOLFO OTTONIEL MONTERROSO RIVAS
VICEDECANA:	LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ
SECRETARIA:	ING. REGINA CASTAÑEDA FUENTES
DIRECTOR DE CARRERA:	MGTR. JULIO ROBERTO GARCÍA MORÁN

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
ING. JUAN CARLOS ROSITO MONZÓN

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN
MGTR. MARÍA DEL PILAR NEGREROS PRATDESABA
MGTR. PEDRO ARNULFO PINEDA COTZOJAY
ING. MANUEL RODRIGO SALAZAR RECINOS

Guatemala 08 de septiembre de 2015

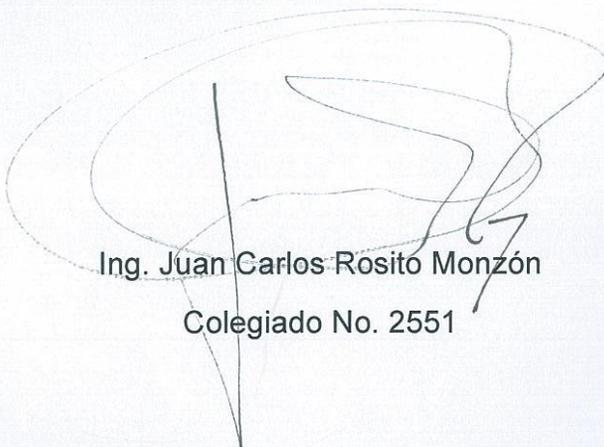
Consejo de Facultad
Ciencias Ambientales y Agrícolas
Presente

Estimados miembros del Consejo:

Por este medio hago constar que he asesorado el trabajo de graduación de la estudiante Karen Adilia Barrera Salazar, carné 10824-11, titulada: "Análisis de la temperatura ambiental y precipitación pluvial en relación con el Índice Oceánico del Niño (ONI), en seis zonas de vida de Guatemala".

La cual considero que cumple con los requisitos establecidos por facultad, previo a su autorización de impresión.

Atentamente,



Ing. Juan Carlos Rosito Monzón
Colegiado No. 2551



Universidad
Rafael Landívar
Tradición Jesuita en Guatemala

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
No. 06359-2015

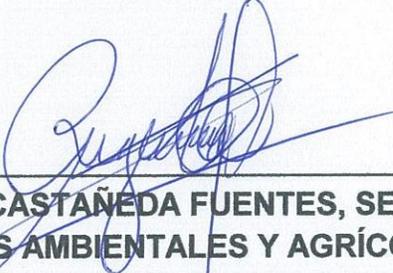
Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado de la estudiante KAREN ADILIA BARRERA SALAZAR, Carnet 10824-11 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES CON ÉNFASIS EN GESTIÓN AMBIENTAL, del Campus Central, que consta en el Acta No. 06126-2015 de fecha 30 de septiembre de 2015, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

ANÁLISIS DE LA TEMPERATURA AMBIENTAL Y LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL
EN RELACIÓN CON EL ÍNDICE OCEÁNICO DEL NIÑO (ONI),
EN SEIS ZONAS DE VIDA DE GUATEMALA

Previo a conferírsele el título de INGENIERA AMBIENTAL en el grado académico de LICENCIADA.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 9 días del mes de octubre del año 2015.


ING. REGINA CASTAÑEDA FUENTES, SECRETARIA
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
Universidad Rafael Landívar



AGRADECIMIENTOS

A:

Dios, por darme el don de la vida y llenar mi vida de bendiciones.

La Universidad Rafael Landívar, mi Alma Mater, por ser parte de mi formación académica y por todas sus enseñanzas.

Mis catedráticos por haberme transmitido tantos conocimientos.

Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA), por los aportes valiosos que permitieron que esta investigación se llevara a cabo.

Juan Carlos Rosito y Pedro Pineda por su asesoría a lo largo de esta investigación, gracias por su paciencia, tiempo y todos sus aportes.

INSIVUMEH, por haberme brindado la información para la realización de esta investigación.

DEDICATORIA

A:

Dios y la Virgen María: Por llenarme siempre de su infinito amor, sabiduría, fortaleza, compañía y muchas bendiciones.

Mis padres: Marta Adilia y Mario por su amor, apoyo y consejos a lo largo de mi vida, sin ustedes no hubiese logrado llegar hasta donde estoy.

Mis abuelos: Eusebia y Federico por el amor, apoyo y consejos que me han brindado siempre. Gracias por haberme dado una niñez maravillosa.
Daniel y Canuta (Q.E.P.D.) por su amor y tantos momentos especiales.

Mis hermanos: Marta María, José Miguel y Mario Orlando por su cariño y compartir conmigo.

Mi novio: William Maldonado por su amor incondicional, comprensión, por apoyarme tanto en cada paso que doy. Gracias por ser mi mejor amigo, sos lo más lindo que Dios me ha regalado.

Mi familia: Sobrinos, ahijado, cuñado, tíos (especialmente Tita, Héctor y Julio por su cariño) y primos, por compartir conmigo.

IARNA: Por ser mi escuela, por todo el apoyo y aportes que permitieron que esta investigación se desarrollara. Con especial agradecimiento a Juan Carlos Rosito, Juventino Gálvez, Pedro Pineda, Gerónimo Pérez, Alejandro Gándara y César Castañeda.

Mis amigos: Por formar parte de mi vida.

ÍNDICE

	Página
ACRÓNIMOS Y SIGLAS.....	i
RESUMEN	ii
I INTRODUCCIÓN.....	1
II MARCO TEÓRICO.....	3
2.1 DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL CLIMA.....	3
2.2 CLIMA EN GUATEMALA.....	4
2.2.1 Características Generales	4
2.2.2 Diversidad de Ecosistemas en Guatemala	6
2.2.3 Clasificación por Zonas de Vida de Holdridge	7
2.2.3.1 Zonas de vida de Guatemala.....	10
2.3 CAMBIO CLIMÁTICO	11
2.3.1 Variables para medir el cambio climático y sus proyecciones	11
2.3.2 Vulnerabilidad de Guatemala ante cambio climático	14
2.4 OSCILACIÓN SUR DE EL NIÑO (ENSO).....	16
2.5 ÍNDICE OCEÁNICO DEL NIÑO (ONI)	20
2.6 MANEJO DE DATOS CLIMÁTICOS (RCLIMDEX)	22
III MARCO REFERENCIAL	24
3.1 AMBIENTE.....	24
3.1.1 Bosque Húmedo Tropical (bh-T)	24
3.1.2 Bosque Húmedo Montano Bajo Tropical (bh-MBT)	25
3.1.3 Bosque muy Seco Tropical (bms-T)	27
3.1.4 Bosque Húmedo Premontano Tropical (bh-PMT).....	28
3.1.5 Bosque Seco Tropical (bs-T).....	29
3.1.6 Bosque muy Húmedo Premontano Tropical (bmh-PMT).....	30
IV ANTECEDENTES	32
V JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO	34
5.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO.....	34
VI OBJETIVOS	36
6.1 GENERAL.....	36

6.2	ESPECÍFICOS	36
VII	HIPÓTESIS	37
VIII	METODOLOGÍA.....	38
8.1	AMBIENTE.....	38
8.2	SUJETOS Y/O UNIDADES DE ANÁLISIS	39
8.3	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	39
8.4	PROCEDIMIENTO.....	40
8.4.1	Fase de gabinete inicial: Identificación de fuentes	40
8.4.2	Fase de recolección de la información (Instrumento)	40
8.4.3	Fase de gabinete final	41
8.5	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	43
IX	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	48
9.1	CARACTERIZACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA EN SEIS ZONAS DE VIDA DE GUATEMALA	48
9.1.1	Bosque muy Seco Tropical: Estación La Fragua, Zacapa	50
9.1.2	Bosque Seco Tropical: Estación Puerto de San José, Escuintla	58
9.1.3	Bosque Húmedo Tropical: Estación Puerto Barrios, Izabal	67
9.1.4	Bosque Húmedo Premontano Tropical: Estación INSIVUMEH	75
9.1.5	Bosque muy Húmedo Premontano Tropical: Estación Cobán, Alta Verapaz	83
9.1.6	Bosque Húmedo Montano Bajo Tropical: Estación Labor Ovalle, Quetzaltenango	90
9.2	ANÁLISIS DE LOS EVENTOS METEOROLÓGICOS QUE SE PRODUCEN EN LAS FASES DEL ÍNDICE OCEÁNICO DEL NIÑO	97
9.3	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA RELACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA CON EL ÍNDICE OCEÁNICO DEL NIÑO (ONI).....	101
9.3.1	Correlación lineal de Pearson entre las variables meteorológicas (precipitación y temperatura máxima y mínima) y el ONI.	101
9.3.2	Regresión logística	102
X	CONCLUSIONES	104
XI	RECOMENDACIONES	106
XII	BIBLIOGRAFIA.....	107
XIII	ANEXOS	114

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Regiones o zonas Niño, dimensiones e índices asociados.	19
Cuadro 2. Ubicación de estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio.	38
Cuadro 3. Ejemplo: orden y tabulación de los datos diarios de precipitación y temperatura máxima y mínima en Excel.	41
Cuadro 4. Ejemplo: Ingreso de datos diarios de precipitación y temperatura máxima y mínima en el software RClimDex.	42
Cuadro 5. Índices climáticos calculados en RClimDex.....	44
Cuadro 6. P-value de los índices calculados en RClimDex para cada estación meteorológica.....	49
Cuadro 7. Eventos meteorológicos en Guatemala 1970-2013 y su relación con el ONI.	100
Cuadro 8. Coeficientes y probabilidades de la Correlación de Pearson entre las variables meteorológicas (precipitación y temperatura mínima y máxima) y el ONI. .	101
Cuadro 9. Regresión logística entre las variables meteorológicas y el ONI.	103
Cuadro 10. Valores del Índice Oceánico del Niño (ONI) en el periodo 1970-2013.	114
Cuadro 11. Coeficientes de correlación de Pearson (precipitación) de la Estación La Fragua, Zacapa.....	116
Cuadro 12. Coeficientes de correlación de Pearson (temperatura mínima) de la Estación La Fragua, Zacapa.	116
Cuadro 13. Coeficientes de correlación de Pearson (temperatura máxima) de la Estación La Fragua, Zacapa.	116
Cuadro 14. Coeficientes de correlación de Pearson (precipitación) de la Estación Puerto de San José, Escuintla.	117
Cuadro 15. Coeficientes de correlación de Pearson (temperatura mínima) de la Estación Puerto de San José, Escuintla.....	117
Cuadro 16. Coeficientes de correlación de Pearson (temperatura máxima) de la Estación Puerto de San José, Escuintla.....	117
Cuadro 17. Coeficientes de correlación de Pearson (precipitación) de la Estación Puerto Barrios, Izabal.....	118

Cuadro 18. Coeficientes de correlación de Pearson (temperatura mínima) de la Estación Puerto Barrios, Izabal.	118
Cuadro 19. Coeficientes de correlación de Pearson (temperatura máxima) de la Estación Puerto Barrios, Izabal.	118
Cuadro 20. Coeficientes de correlación de Pearson (precipitación) de la Estación INSIVUMEH, Guatemala.	119
Cuadro 21. Coeficientes de correlación de Pearson (temperatura mínima) de la Estación INSIVUMEH, Guatemala.	119
Cuadro 22. Coeficientes de correlación de Pearson (temperatura máxima) de la Estación INSIVUMEH, Guatemala.	119
Cuadro 23. Coeficientes de correlación de Pearson (precipitación) de la Estación Cobán, Alta Verapaz.	120
Cuadro 24. Coeficientes de correlación de Pearson (temperatura mínima) de la Estación Cobán, Alta Verapaz.	120
Cuadro 25. Coeficientes de correlación de Pearson (temperatura máxima) de la Estación Cobán, Alta Verapaz.	120
Cuadro 26. Coeficientes de correlación de Pearson (precipitación) de la Estación Labor Ovalle, Quetzaltenango.	121
Cuadro 27. Coeficientes de correlación de Pearson (temperatura mínima) de la Estación Labor Ovalle, Quetzaltenango.	121
Cuadro 28. Coeficientes de correlación de Pearson (temperatura máxima) de la Estación Labor Ovalle, Quetzaltenango.	121

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Comportamiento de la Temperatura Media del Aire.....	5
Figura 2. Anomalías de Precipitación Anual.....	6
Figura 3. Diagrama de zonas de vida	9
Figura 4. Distribución de las zonas de Vida de Guatemala.....	10
Figura 5. Cambio observado en la temperatura en superficie 1901-2012.....	12
Figura 6. Cambio observado en la precipitación anual sobre la tierra.....	13
Figura 7. Mapa de riesgo a eventos inducidos (amenazas) por el cambio climático.....	16
Figura 8. Descripción del fenómeno Oscilación Sur de El Niño	18
Figura 9. Regiones El Niño establecidas para la observación de ENSO en el Océano Pacífico Ecuatorial	19
Figura 10. Área de la Región Niño 3.4	21
Figura 11. Comportamiento del Índice Oceánico del Niño 1955- 2012	22
Figura 12. Ubicación de la Zona de Vida Bosque Húmedo Tropical en Guatemala	25
Figura 13. Ubicación de la zona de vida Bosque Húmedo Montano Bajo Tropical	26
Figura 14. Ubicación de la zona de vida Bosque muy seco Tropical en Guatemala.....	27
Figura 15. Ubicación de la zona de vida Bosque Húmedo Premontano Tropical en Guatemala.....	29
Figura 16. Ubicación de la zona de vida Bosque Seco Tropical en Guatemala	30
Figura 17. Ubicación de la zona de vida Bosque muy Húmedo Premontano Tropical en Guatemala.....	31
Figura 18. Ubicación de las estaciones meteorológicas que se usaron en el estudio...	39
Figura 19. Comportamiento de la precipitación anual en la Estación La Fragua.	50
Figura 20. Comportamiento de la temperatura máxima anual en Estación La Fragua..	51
Figura 21. Comportamiento de la temperatura mínima anual en Estación La Fragua. .	51
Figura 22. Precipitación en días muy húmedos en Estación La Fragua.....	53
Figura 23. Precipitación promedio en días húmedos en Estación La Fragua.	53
Figura 24. Comportamiento de la precipitación anual en Estación La Fragua.	54
Figura 25. Comportamiento del Rango diurno de temperatura en Estación La Fragua.	54

Figura 26. Temperaturas mínimas extremas en Estación La Fragua.....	55
Figura 27. Temperaturas máximas extremas en Estación La Fragua.....	55
Figura 28. Comportamiento de la precipitación anual en Estación Puerto de San José.	58
Figura 29. Comportamiento de la temperatura máxima en Estación Puerto de San José.	59
Figura 30. Comportamiento de la temperatura mínima anual en la Estación Puerto de San José.	59
Figura 31. Precipitación en días muy húmedos en Estación Puerto de San José.	61
Figura 32. Precipitación promedio en días húmedos en Estación Puerto de San José.	62
Figura 33. Comportamiento de la precipitación anual en Estación Puerto de San José.	62
Figura 34. Comportamiento del Rango diurno de temperatura en Estación Puerto de San José.	63
Figura 35. Temperaturas mínimas extremas en Estación Puerto de San José.....	63
Figura 36. Temperaturas máximas extremas en Estación Puerto de San José.....	64
Figura 37. Comportamiento de la precipitación anual en la Estación Puerto Barrios.	67
Figura 38. Comportamiento de la temperatura máxima anual en la Estación Puerto Barrios.....	68
Figura 39. Comportamiento de la temperatura mínima anual en la Estación Puerto Barrios.....	68
Figura 40. Precipitación en días muy húmedos en Estación Puerto Barrios.	70
Figura 41. Precipitación promedio en días húmedos en Estación Puerto Barrios.....	71
Figura 42. Comportamiento de la precipitación anual en Estación Puerto Barrios.....	71
Figura 43. Comportamiento del Rango diurno de temperatura en Estación Puerto Barrios.....	72
Figura 44. Temperaturas mínimas extremas en Estación Puerto Barrios.	72
Figura 45. Temperaturas máximas extremas en Estación Puerto Barrios.	73
Figura 46. Comportamiento de la precipitación anual en la Estación INSIVUMEH.	75
Figura 47. Comportamiento de la temperatura máxima anual en la Estación INSIVUMEH.	76

Figura 48. Comportamiento de la temperatura mínima anual en la Estación INSIVUMEH.	76
Figura 49. Precipitación en días muy húmedos en Estación INSIVUMEH.	78
Figura 50. Precipitación promedio en días húmedos en Estación INSIVUMEH.	78
Figura 51. Comportamiento de la precipitación anual en Estación INSIVUMEH.	79
Figura 52. Comportamiento del Rango diario de temperatura en Estación INSIVUMEH.	79
Figura 53. Temperaturas mínimas extremas en Estación INSIVUMEH.	80
Figura 54. Temperaturas máximas extremas en Estación INSIVUMEH.	80
Figura 55. Comportamiento de la precipitación anual en la Estación Cobán.	83
Figura 56. Comportamiento de la temperatura máxima anual en la Estación Cobán....	84
Figura 57. Comportamiento de la temperatura mínima anual en la Estación Cobán. ...	84
Figura 58. Precipitación en días muy húmedos en Estación Cobán.	86
Figura 59. Precipitación anual promedio en días húmedos en Estación Cobán.	86
Figura 60. Comportamiento de la precipitación anual en Estación Cobán.	87
Figura 61. Comportamiento del Rango diario de temperatura en Estación Cobán.	87
Figura 62. Temperaturas mínimas extremas en Estación Cobán.....	88
Figura 63. Temperaturas máximas extremas en Estación Cobán.....	88
Figura 64. Comportamiento de la precipitación anual en la Estación Labor Ovalle.	90
Figura 65. Comportamiento de la temperatura máxima anual en la Estación Labor Ovalle.....	91
Figura 66. Comportamiento de la temperatura mínima anual en la Estación Labor Ovalle.....	91
Figura 67. Precipitación en días muy húmedos en Estación Labor Ovalle.....	93
Figura 68. Precipitación promedio en días húmedos en Estación Labor Ovalle.	93
Figura 69. Comportamiento de la precipitación anual en Estación Labor Ovalle.	94
Figura 70. Comportamiento del Rango diario de temperatura en Estación Labor Ovalle.....	94
Figura 71. Temperaturas mínimas extremas en Estación Labor Ovalle.....	95
Figura 72. Temperaturas máximas extremas en Estación Labor Ovalle.....	95

Figura 73. Comportamiento de la precipitación anual en las seis zonas de vida analizadas.....	122
Figura 74. Comportamiento de la temperatura mínima en las seis zonas de vida analizadas.....	122
Figura 75. Comportamiento de la temperatura máxima en las seis zonas de vida analizadas.....	123

ACRÓNIMOS Y SIGLAS

ATSM	Anomalía de la temperatura de la superficie del mar
CMNUCC	Convenio Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático
ENSO	Oscilación Sur de El Niño (por sus siglas en inglés)
ERSST.v3	Sensor extendido de temperatura superficial del mar reconstruido, Versión 3 (por sus siglas en inglés)
IARNA	Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología
NCDC	Centro Nacional de Datos Climáticos (por sus siglas en inglés)
NOAA	Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (por sus siglas en inglés)
ONI	Índice Oceánico del Niño (por sus siglas en inglés)
WMO	Organización Meteorológica Mundial (por sus siglas en inglés)
ZCI	Zona de Convergencia Intertropical

Zonas de Vida:

bh-T	Bosque húmedo tropical
bs-T	Bosque seco tropical
bms-T	Bosque muy seco tropical
bh-MBT	Bosque húmedo montano bajo tropical
bmh-PMT	Bosque muy húmedo premontano tropical
bh-PMT	Bosque húmedo premontano tropical

ANÁLISIS DE LA TEMPERATURA AMBIENTAL Y LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL EN RELACIÓN CON EL ÍNDICE OCEÁNICO DEL NIÑO (ONI), EN SEIS ZONAS DE VIDA DE GUATEMALA

RESUMEN

La presente investigación se realizó con el objetivo de caracterizar el comportamiento de la precipitación pluvial y temperatura ambiental en seis zonas de vida representativas de Guatemala, estudiar los eventos meteorológicos que se presentan en las distintas fases del Índice Oceánico del Niño (ONI) y también analizar la relación entre la precipitación y temperatura respecto al Índice Oceánico del Niño. Para lograr los objetivos se caracterizó el comportamiento de la precipitación y temperatura en el periodo 1970-2013 por medio de gráficas lineales, el análisis climático se realizó en RClimDex, se hizo una recopilación de los eventos extremos ocurridos en el periodo 1970-2013 en Guatemala y se compararon con los valores del ONI, por último el estudio de la relación de las variables meteorológicas y el ONI se analizó por medio del Coeficiente de Correlación Lineal de Pearson y una Regresión Logística. La caracterización realizada demostró que en las seis zonas de vida existe un aumento tendencial tanto en precipitación pluvial como en temperatura, por su parte el análisis climático evidenció un aumento general significativo en precipitación pluvial. Se evidenció que el Índice Oceánico del Niño únicamente tiene relación directa con los fenómenos meteorológicos extremos que suceden en la fase cálida del ONI (El Niño). Respecto al análisis estadístico, el Coeficiente Lineal de Pearson demostró que no existe relación lineal entre la precipitación y temperatura respecto al ONI, sin embargo en la regresión logística se evidenció que cuando se da una disminución en la precipitación, existe la probabilidad de que se presente la fase cálida del ONI (El Niño).

ENVIRONMENTAL TEMPERATURE AND RAINFALL ANALYSIS COMPARED WITH THE OCEANIC NIÑO INDEX (ONI), IN SIX LIFE ZONES OF GUATEMALA

SUMMARY

This research study was carried out in order to characterize the behavior of the rainfall and environmental temperature in six representative life zones of Guatemala in order to study the meteorological events that take place in the different phases of the Oceanic Niño Index (ONI) and to analyze the relation between the rainfall and temperature compared with the Oceanic Niño Index. To reach those objectives, the behavior of the rainfall and temperature in the 1970-2013 period was characterized through line graphs, and the weather analysis was carried out through the RClimDex. Additionally, data on extreme events that took place in Guatemala during the 1970-2013 period was gathered and compared with the ONI values. Finally, the relation of the meteorological variables and ONI was analyzed through the Pearson product-moment correlation coefficient and through a Logistic Regression. The characterization demonstrated that in the six life zones there is a trend increase not only in the rainfall, but also in the temperature. On the other hand, the weather analysis showed a significant general increase in the rainfall. It was demonstrated that the Oceanic Niño Index only has direct relation with extreme meteorological phenomena that take place in the warm phase of the ONI. Regarding the statistical analysis, according to the Pearson product-moment correlation coefficient there is no linear relation between the rainfall and temperature compared with the ONI; however, the logistic regression showed that when the rainfall is reduced, the warm phase of the Oceanic Niño Index might take place (ONI).

I INTRODUCCIÓN

Desde su origen, el Fenómeno del Niño se designaba como una débil contracorriente ecuatorial procedente del golfo de Panamá que afectaba al litoral del Ecuador y norte del Perú durante el verano austral. Sin embargo, hoy en día se refiere a un fenómeno océano-atmosférico que altera las condiciones normales de la zona Intertropical. Cabe mencionar que por la comunidad científica es considerado como muy complejo y de gran escala que, si bien se configura en las aguas ecuatoriales del Pacífico, sus impactos asociados se perciben en todo el globo, especialmente en los trópicos, lo cual constituye una de las principales causas de las variaciones climáticas (Capel, 1999).

La razón por la cual se origina el evento denominado ENSO (Oscilación Sur de El Niño) es aún desconocida para la ciencia, sin embargo es algo habitual que cada cierto tiempo en la primavera del hemisferio sur, los vientos alisios disminuyan de intensidad o incluso cesen del todo y den lugar a la manifestación de dicho evento. Luego de esto, los vientos del oeste se hacen más intensos y generan las llamadas olas de Kelvin. Éstas empujan el agua de la superficie a través del Pacífico tropical en dirección al continente americano, movilizand o las aguas cálidas acumuladas en el Pacífico occidental por encima del agua más fría, calentando de manera drástica toda la superficie del Pacífico Ecuatorial (Observatorio Ambiental de Guatemala -OAG-, 2014).

Dada la importancia de los eventos de ENSO, la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) utiliza un índice estándar para identificar sus diferentes fases de calentamiento (El Niño) y enfriamiento (La Niña) en el Pacífico tropical, todo esto con el fin de llevar un control sobre su comportamiento a lo largo de los años (Sánchez, 2010).

ENSO se caracteriza por su fase fría (La Niña), donde ocurren eventos de precipitaciones intensas, crecimiento de ríos, avalanchas e inundaciones de planicies; y la fase cálida (El Niño) que es donde se manifiestan sequías, incendios forestales,

raconamientos de energía, entre otros. Éste fenómeno es consecuencia de la variabilidad climática, que es bastante influenciada por el cambio climático, por tanto se vuelve importante su estudio, análisis y en general su investigación (Ávila, Carvajal & Gutiérrez, 2014; OAG, 2014).

Para Guatemala es un tema de gran relevancia por ser un fenómeno tan complejo que transforma de manera drástica las condiciones climáticas a nivel regional, alterando los patrones de lluvia y las temperaturas medias (OAG, 2014).

En esta investigación se analizaron las relaciones climáticas locales vinculadas con los eventos extremos y medios del ENSO. A través de la utilización de los datos del Índice Oceánico del Niño (ONI), se examinó si éstos están relacionados con el comportamiento de la temperatura y precipitación en seis zonas de vida del país que cuentan con ecosistemas y climas distintos, así como también diferentes temperaturas, patrones y cantidades de lluvia.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se pudo determinar que tanto la precipitación como la temperatura han tenido aumento en todas las zonas de vida analizadas. El Índice Oceánico del Niño (ONI), no mostró relación significativa con la temperatura y precipitación en el análisis realizado con la Correlación Lineal de Pearson, sin embargo, la regresión logística mostró que existe probabilidad de aparición de la fase cálida del ONI, cuando la lluvia disminuye.

Con esta información se pueden diseñar herramientas para orientar la adaptación de los sistemas socioeconómicos bioclimáticos más representativos de Guatemala.

II MARCO TEÓRICO

2.1 DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL CLIMA

Conceptualmente se conoce como clima a los aspectos de la variación lenta del sistema superficial de la atmósfera-hidrosfera-litósfera. El clima por lo general se caracteriza en términos de promedios adecuados de las propiedades (temperatura, precipitación, etc.) del sistema climático durante periodos de un mes o más, teniendo en cuenta la variabilidad en el tiempo de dichas cantidades promediadas (American Meteorological Society, 2012).

Otra definición de clima lo establece como el “tiempo promedio” o bien la descripción estadística en términos de la media y la variabilidad de las cantidades pertinentes durante un periodo de tiempo que varía de meses a miles o millones de años, teniendo un periodo estándar de 30 años establecido por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), tomando en cuenta variables como la temperatura, precipitación y el viento (Panel Intergubernamental de Cambio Climático -IPCC-, 2001).

Las dos definiciones anteriores referentes al clima tienen algo en común: la variabilidad y un periodo de tiempo establecido, el cual no es exacto y tiene un intervalo bastante grande.

A su vez, el clima de un lugar está definido por elementos y factores climatológicos que con frecuencia pueden ser confundidos. Los elementos son todos aquellos factores físicos que integran el clima y están presentes en cualquier parte del planeta, tales como la temperatura, presión atmosférica, viento, precipitación, entre otros (Brenes & Saborío, 1995).

Los factores del clima, en cambio, son agentes que influyen y/o modifican el comportamiento de cada uno de los elementos anteriormente mencionados, es decir, cada factor actúa sobre todos los elementos, aunque de manera diferente y en distinto

grado. Entre los factores del clima están: los sistemas orográficos, relieve, altitud, corrientes marinas, etc. (Brenes & Saborío, 1995).

2.2 CLIMA EN GUATEMALA

La República de Guatemala se encuentra situada en el istmo centroamericano entre los paralelos 13°44´ y 18°30´ de latitud norte y los meridianos 87°30´ y 92°13´ de longitud oeste (Melgar, 2003).

La posición geográfica de Guatemala dentro de la zona tropical del hemisferio norte y su amplia diversidad altitudinal (desde 0 a 4,220 metros sobre el nivel del mar) tienen una influencia determinante en el clima del país, creando así ambientes diversos donde se tiene presencia de aproximadamente 360 microclimas (Melgar, 2003).

2.2.1 Características Generales

En el país existen dos estaciones climáticas: la estación seca se presenta de noviembre a abril y la estación lluviosa de mayo a octubre, cada estación tiene una duración aproximada de seis meses (Melgar, 2003).

Las lluvias en la región son provocadas por la zona donde convergen los vientos alisios, conocida como la Zona de Convergencia Intertropical (ZCI), que se desplaza hacia el sur durante el invierno del hemisferio norte, cuando se presenta la época seca en el país y en la época de verano del hemisferio norte se desplaza al norte, lo cual provoca la mayor parte de desplazamiento de vientos húmedos hacia Guatemala, abriendo paso a las lluvias, y por tanto a la época lluviosa (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales –MARN- & The Netherlands Climate Assistance Programme –NCAP-, 2007).

Además del efecto de la ZCI en Guatemala, es importante mencionar que Mesoamérica en su totalidad se encuentra bajo la influencia de otros fenómenos como la Oscilación Sur de El Niño y la Zona de Alta Presión del Atlántico Norte que controlan la precipitación y otros factores en la región tropical del Hemisferio Norte (Instituto de

Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar –IARNA-URL-, 2011).

Respecto al comportamiento de variables climáticas como temperatura atmosférica y precipitación pluvial se ha establecido que las temperaturas medias a nivel del mar se han definido en 27° C para el Océano Pacífico y 28.2° C para el Océano Atlántico, a partir del nivel del mar se tiene calculado que la temperatura desciende 1° C por cada 166 metros de ascenso hacia las montañas, de acuerdo al gradiente térmico medio de Thornthwaite en todo el territorio del país, presentándose valores de hasta 42° C en tierras bajas y 7° C en tierras altas (4,000 msnm). La precipitación anual por su parte es bastante variada tanto en cantidad como en distribución, teniendo zonas del oriente del país donde se registran de 45 a 60 días de lluvia y otras zonas del norte donde se registran alrededor de 200 días de lluvia (Melgar, 2003).

En la Figura 1 se muestra el comportamiento de la temperatura media del aire en Guatemala, tomando en cuenta datos generados desde los años sesenta hasta el año 2000:

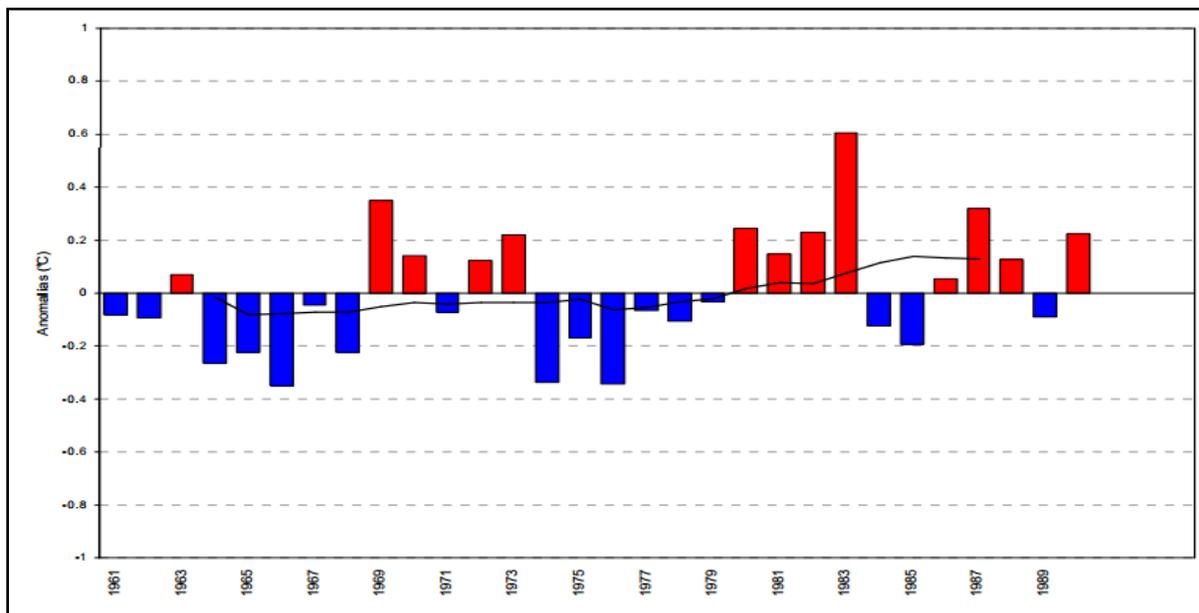


Figura 1. Comportamiento de la Temperatura Media del Aire. Se muestra una tendencia hacia valores cálidos (color rojo) en la temperatura media del aire en Guatemala desde los años setenta, tomando en cuenta los valores fríos (color azul) (MARN & NCAP, 2007).

En la Figura 2 se muestra el comportamiento de las anomalías de precipitación anual en Guatemala, tomando en cuenta datos generados desde los años sesenta hasta el año 2000:

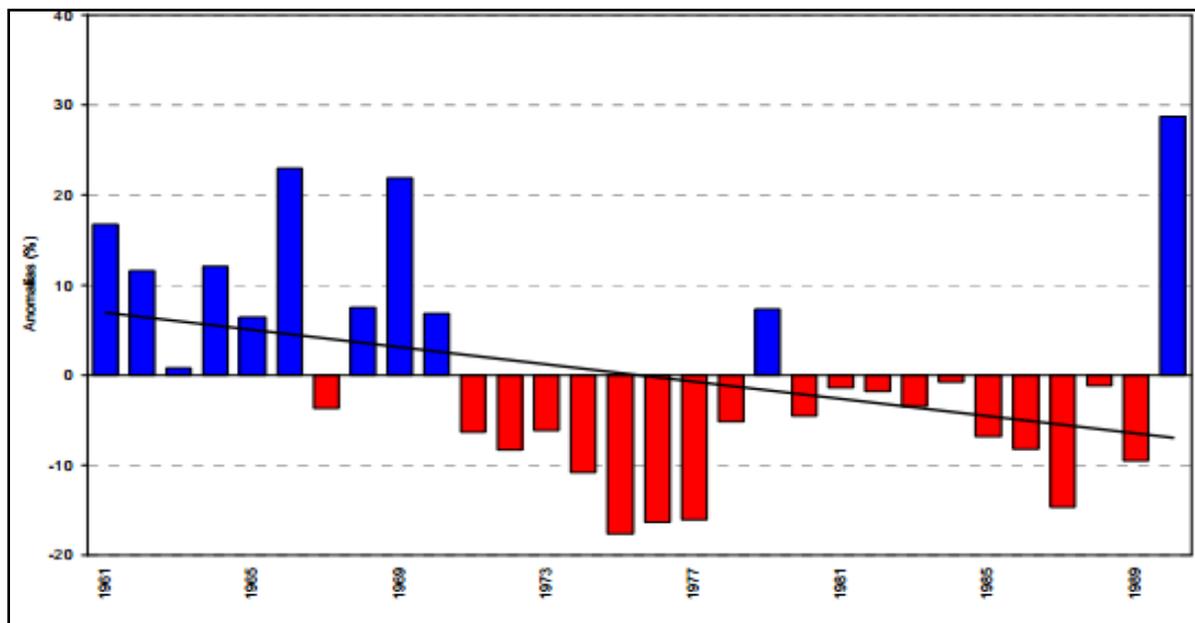


Figura 2. Anomalías de Precipitación Anual. Comportamiento histórico de la precipitación mostrando una tendencia mayor hacia la presencia de valores secos (poca o nula precipitación), en comparación con los valores húmedos (MARN & NCAP, 2007).

La geografía de Guatemala tiene un efecto significativo sobre el clima en las diferentes regiones del país, la distancia del océano y las barreras montañosas determinan zonas de precipitación intensa en las laderas de las montañas, donde la temperatura es templada, mientras que en las áreas que se encuentran protegidas por barreras montañosas el clima es caliente y la precipitación se da en menor cantidad que en las zonas anteriormente mencionadas (MARN & NCAP, 2007).

2.2.2 Diversidad de Ecosistemas en Guatemala

La palabra Guatemala proviene del vocablo “Quauhtemalan” que en Náhuatl significa “Tierra de árboles” o “Lugar de Bosques”. Dicho nombre fue dado debido a la diversa y

exuberante vegetación que se encontraba en el país en tiempos de la colonización española (Melgar, 2003).

Guatemala es un país que contiene gran riqueza en cuanto a biodiversidad, este término tiene un significado bastante amplio, ya que se refiere a la variedad de organismos vivos en el planeta, pero también incluye a los ecosistemas terrestres y acuáticos (unidades que incluyen comunidades de organismos), así como a las diferentes especies microscópicas, macroscópicas y genes que habitan en los mismos (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de Biodiversidad -CONABIO-, 2011).

La biodiversidad puede ser indicada a través de distintos parámetros, entre estos: ecotipos, variedades o poblaciones de diferentes especies, alta diversidad de especies, arreglos de género, familias y niveles taxonómicos altos, especies endémicas, hábitats de especies raras o en peligro de extinción, hábitats usados o requeridos por especies migratorias, áreas de conservación y diversidad biológica de importancia social, económica y cultural (Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo & Greenpeace, 1995).

En el país la biodiversidad causada principalmente por cinco razones: su origen geológico relativamente antiguo, la situación geográfica entre dos regiones biogeográficas, ubicación en zona latitudinal de transición entre trópico y subtrópico y en medio de dos océanos (pacífico y atlántico), variabilidad altitudinal y sus cadenas montañosas que funcionan como corredores de migración para muchas especies (Consejo Nacional de Áreas Protegidas –CONAP-, 2008).

2.2.3 Clasificación por Zonas de Vida de Holdridge

La clasificación de los ecosistemas se enfoca en agruparlos de acuerdo a sus similitudes y diferencias. Sin embargo cuando dichas clasificaciones se realizan son muy difíciles de lograr debido a la complejidad del lugar o país analizado (CONAP, 2008).

Existen diferentes clasificaciones con enfoque climático, fisiográfico, edáfico y vegetativo, la clasificación por ecosistemas integra a todos los demás enfoques, lo cual la hace más integral. En Guatemala se han realizado varias clasificaciones con distintos enfoques, para fines de esta investigación solamente se tomará en cuenta la Clasificación de Zonas de Vidas de Holdridge que se utilizó por primera vez en el país en 1950 y desde entonces es considerada bastante versátil, con enfoque ecosistemático y con facilidades de identificar los cambios al viajar entre dos zonas identificadas por medio de cambios en especies y fisonomía de la vegetación. Sin embargo, también tiene algunas desventajas como las limitantes para no incluir otros factores asociados con el cambio climático global que involucra los cambios de CO₂ en la atmósfera, estacionalidad y variabilidad climática, cobertura del suelo, entre otras (CONAP, 2008; IARNA-URL, 2011).

Una Zona de Vida se considera como un conjunto natural de asociaciones, sin importar que cada grupo incluya una cadena de diferentes unidades de paisaje o de medios ambientales muy variables. El término asociación es muy importante en dicha clasificación, ya que incluye a la vegetación, suelos, geología, topografía, influencias del clima, la atmósfera y las actividades de los animales. Todo esto es balanceado por tres factores climáticos: el calor (biotemperatura), precipitación y humedad (Holdridge, 2000).

La clasificación de Holdridge tiene dos principales diferencias respecto a otros sistemas, en primer lugar la biotemperatura que es tomada como una forma de expresar el calor, pero solamente de la porción que es efectiva en el crecimiento de las plantas y en segundo lugar la progresión logarítmica formada por los incrementos de calor y de precipitación, que afectan sensiblemente la vegetación (Holdridge, 2000).

El término biotemperatura por definición es la temperatura promedio cuando se sustituyen los valores horarios por debajo de 0° C por 0° C y los valores horarios por encima de 30° C por 30° C. En altas altitudes la biotemperatura será siempre superior a la temperatura promedio real y para las regiones tropicales, a bajas altitudes la

biotemperatura será menor que la temperatura promedio real. Respecto a precipitación, en la metodología de Holdridge se usan directamente los valores de precipitación anual, sin aplicarles ningún tipo de modificación (IARNA-URL, 2014).

La Figura 3 muestra el diagrama que se utiliza para definir las zonas de vida, básicamente es un sistema cartesiano bidimensional (biotemperatura y precipitación), con lo cual se logra una clasificación bastante simple (IARNA-URL, 2014).

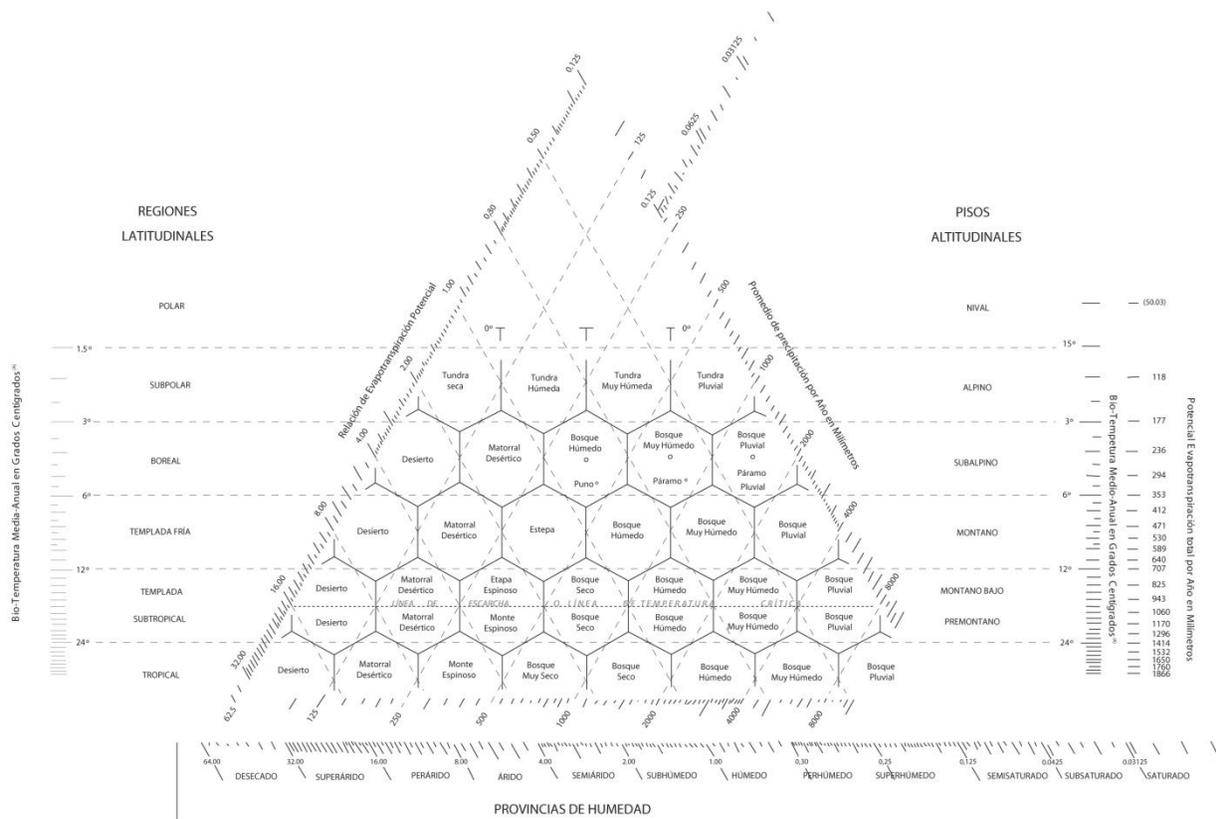


Figura 3. Diagrama de zonas de vida (IARNA-URL, 2014).

Para realizar una clasificación por zonas de vida de Holdridge se toman en cuenta factores bioclimáticos (valores medios anuales) como la precipitación, biotemperatura, y la relación de evapotranspiración potencial de la región analizada, posterior a esto se define el hexágono de acuerdo con el diagrama triangular propuesto por Holdridge (Figura 3) (IARNA-URL, 2011).

2.2.3.1 Zonas de vida de Guatemala

Guatemala cuenta con trece zonas de vida ubicadas desde el piso altitudinal basal, hasta el subalpino, desde la provincia de precipitación baja hasta la muy alta y desde la provincia de humedad muy seca hasta la pluvial (IARNA-URL, 2014).

Dentro de estas zonas de vida sólo el Bosque Húmedo tropical (bh-T) y el Bosque Seco Tropical (bs-T), que son las dos zonas más extendidas, cubren un 50.62% de todo el país (Figura 4), sin embargo se ha perdido más de las 2/3 partes de su cobertura boscosa original (IARNA-URL, 2014).

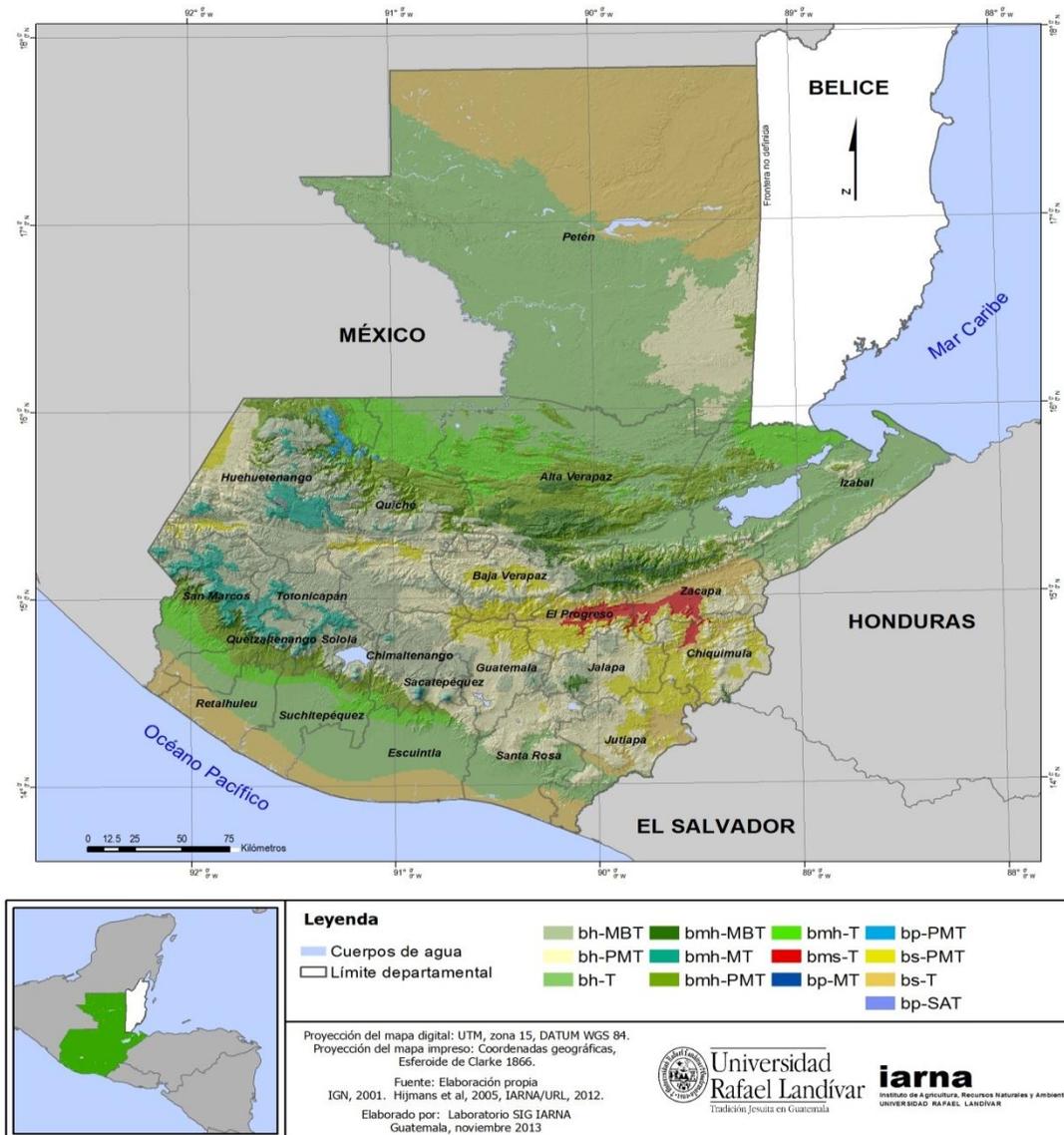


Figura 4. Distribución de las zonas de Vida de Guatemala (IARNA-URL, 2014).

2.3 CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático es la variación de la temperatura media y otras variables del estado del clima que ha persistido durante largos periodos (decenios o más), y que es identificable por medio de pruebas estadísticas. Según la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), dicho cambio es atribuible directa e indirectamente a las actividades que realiza el ser humano, por la alteración en la composición de la atmósfera y que se suma a la variabilidad natural del clima a lo largo del tiempo, es importante resaltar que en la CMNUCC se aclara que existe diferencia entre el cambio atribuible a los fenómenos naturales y el que es alterado por actividades humanas (IARNA-URL, 2011).

A lo largo del tiempo se ha comprobado que el cambio climático es un hecho, las observaciones realizadas en la temperatura y otras variables se basan en mediciones directas y en la teledetección desde satélites y otras plataformas. Los instrumentos utilizados en las mediciones desde mediados del siglo XIX han logrado verificar y finalmente comprobar que el cambio en el sistema climático es inequívoco, las variaciones climáticas que hoy en día se pueden observar son: el calentamiento de la atmósfera y el océano, disminución de nieve y hielo, aumento del nivel del mar y la concentración de gases de efecto invernadero (IPCC, 2013).

2.3.1 Variables para medir el cambio climático y sus proyecciones

Alrededor del mundo, muchos sistemas físicos y biológicos en todos los continentes han sido afectados por el cambio climático, sin embargo la mayoría de los modelos predicen que el cambio climático incluye o podría incluir cambios significativos en las siguientes variables:

a) Temperatura atmosférica, que aumentó aproximadamente 0.74° C desde 1906 a 2005, ocurriendo con mayor énfasis en latitudes altas del hemisferio Norte. Se estima que para el año 2100 la temperatura del aire superficial global promedio aumentará entre 1.4° C y 5.8° C, los cambios serán más notables en las regiones de América del

Norte y Asia del norte y central. Por el contrario, los cambios serán menores en el sur y sudeste de Asia y en la parte sur de Sudamérica, además la temperatura superficial del océano aumentará por lo menos en el Atlántico Norte y el Océano Austral circumpolar (IARNA-URL, 2011; World Meteorological Organization -WMO-, 2013).

La Figura 5 muestra el cambio de temperatura atmosférica que se ha observado a nivel mundial, es un hecho que el cambio no ha sido homogéneo, y las regiones más afectadas han sido Europa, la parte norte de África, Asia, Sudamérica, y la parte norte de Norteamérica.

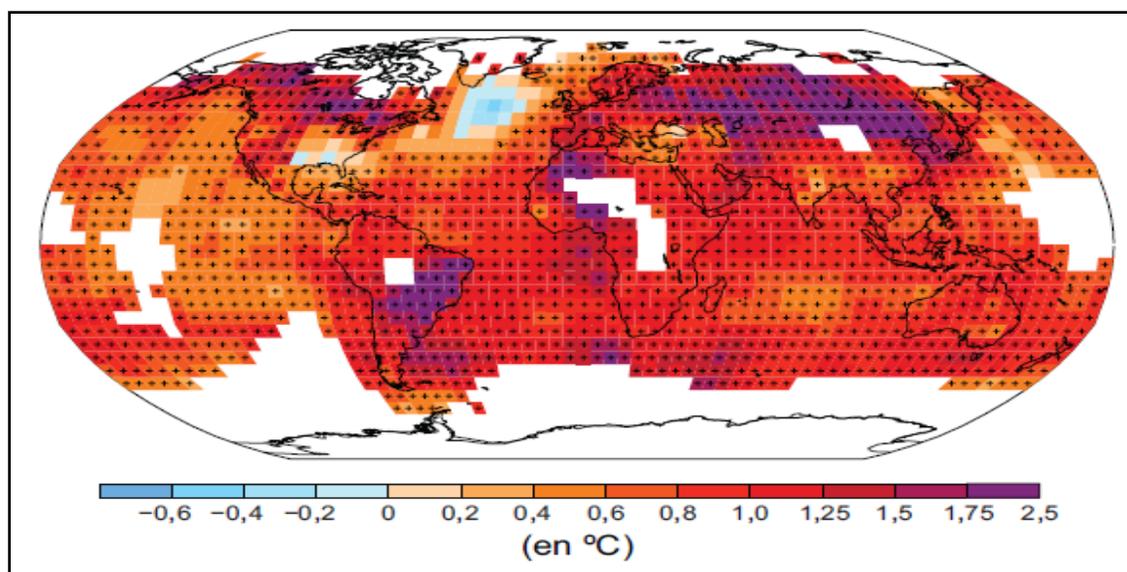


Figura 5. Cambio observado en la temperatura en superficie 1901-2012 (IPCC, 2013).

b) Precipitaciones, que han aumentado notablemente en algunas regiones de Sudamérica y el Hemisferio Norte, mientras que en el Mediterráneo, África y Asia han disminuido. A nivel mundial, se espera que las precipitaciones aumenten junto con el calentamiento global y por ende el cambio climático, aunque es un hecho que dicho aumento no se distribuirá de manera homogénea por todo el mundo. En las latitudes medias y altas del norte y la Antártida se espera que las precipitaciones aumenten mucho más que en otras regiones (IARNA-URL, 2011; WMO, 2013).

La Figura 6 muestra escenarios del cambio observado en la precipitación anual en toda la tierra.

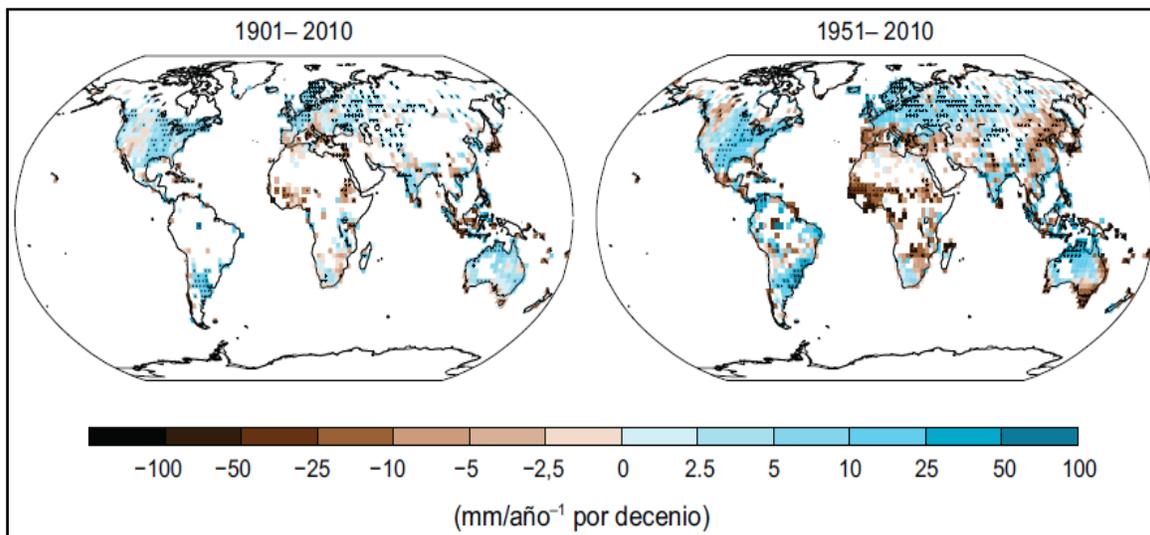


Figura 6. Cambio observado en la precipitación anual sobre la tierra. Escenarios de cambio en la precipitación a nivel mundial, identificando regiones de aumento y disminución de precipitación en milímetros (IPCC, 2013).

c) Nivel del mar, que aumentó su nivel en un promedio de 1.8 mm/año, desde 1963 hasta 2007. Para el año 2100 se espera que incremente entre 0.09 y 0.88 metros por encima del nivel que se tenía en 1990, principalmente por la expansión térmica de los océanos más cálidos combinados con los glaciares y capas de hielo (IARNA-URL, 2011; WMO, 2013).

d) Cobertura de glaciares de montaña y nieve, que disminuyó en los dos hemisferios (norte y sur) con un promedio anual de 2.7 %, desde 1978 a 2007. En general se espera que en latitudes altas del hemisferio norte la cubierta de nieve y extensión de hielos marinos continúen disminuyendo, así como también los glaciares seguirán su derretimiento en Groenlandia y la Antártida (IARNA-URL, 2011; WMO, 2013).

e) Actividad ciclónica, que se ha intensificado en el océano Atlántico norte y el Caribe, desde el año 1970 (IARNA-URL, 2011).

f) Dióxido de Carbono (CO₂) atmosférico, que ha incrementado ocasionando la acidificación de océanos, desde el año 1961 (IARNA-URL, 2011).

2.3.2 Vulnerabilidad de Guatemala ante cambio climático

El problema del cambio climático, causado en parte por el desarrollo de algunos países representa hoy en día uno de los mayores obstáculos para que los menos privilegiados puedan alcanzar un desarrollo integral, las sociedades que menos han contribuido a causar el problema serán las que más sufran las consecuencias, por dos razones: limitaciones económicas para adaptación a fenómenos climáticos y la vulnerabilidad que presentan los lugares donde viven (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo -PNUD-, 2009).

La vulnerabilidad no está definida solamente en términos de amenazas, impactos o riesgos, sino también por las vías de desarrollo de una sociedad, su grado de exposición física, la distribución de sus recursos, los desastres padecidos previamente y sus instituciones sociales y gubernamentales (García, et al., 2012).

Guatemala presenta un grado de vulnerabilidad muy alto, sus condiciones sociales son determinantes para encontrarse en dicho estado. El país muestra índices altos de pobreza, inequidad y exclusión social por lo que su población está expuesta a situaciones de tensión política, económica y natural, incluyendo a los fenómenos climáticos (PNUD, 2009).

Un tema importante a considerar en el tema de cambio climático son los impactos que éste pueda causar en el sector agropecuario, ya que la economía guatemalteca es altamente dependiente a las actividades que dicho sector abarca. La agricultura es trascendental para el desarrollo del país, no sólo por la producción de alimentos básicos sino también porque de ella dependen los ingresos de muchos hogares en el país, ya que emplea el 50% de la población económicamente activa. Tomando en cuenta lo anterior y que las actividades productivas del agro son muy influenciadas por los fenómenos climáticos, es un hecho que el cambio climático es una gran amenaza

para el sector agrícola en Guatemala y sus impactos podrían alterar la economía del país (Comisión Económica para América Latina y el Caribe -CEPAL-, 2010).

Hasta el momento las acciones tomadas de parte de Guatemala ante el cambio climático no han sido acorde a la magnitud de los impactos, la cobertura forestal, biodiversidad, recurso hídrico, entre otros, han sido muy afectados por el avance de la frontera agrícola y urbanizaciones, lo cual aumenta la probabilidad de sufrir desastres como deslaves y sequías, entre otros (PNUD, 2009).

Las variaciones de precipitación pluvial y temperatura podrían provocar algunos desastres, tales como: deslizamientos, inundaciones, heladas y sequías. De hecho, se ha determinado que el 75.12% de los habitantes del país se encuentra en riesgo de sufrir cualquiera de los cuatro desastres ya mencionados, y los departamentos más afectados serían: Escuintla, San Marcos y Retalhuleu (IARNA-URL, 2009).

La Figura 7 muestra el mapa de riesgo a eventos inducidos por el cambio climático en Guatemala, presentándose como principales amenazas: los deslizamientos, heladas, inundaciones y sequías.

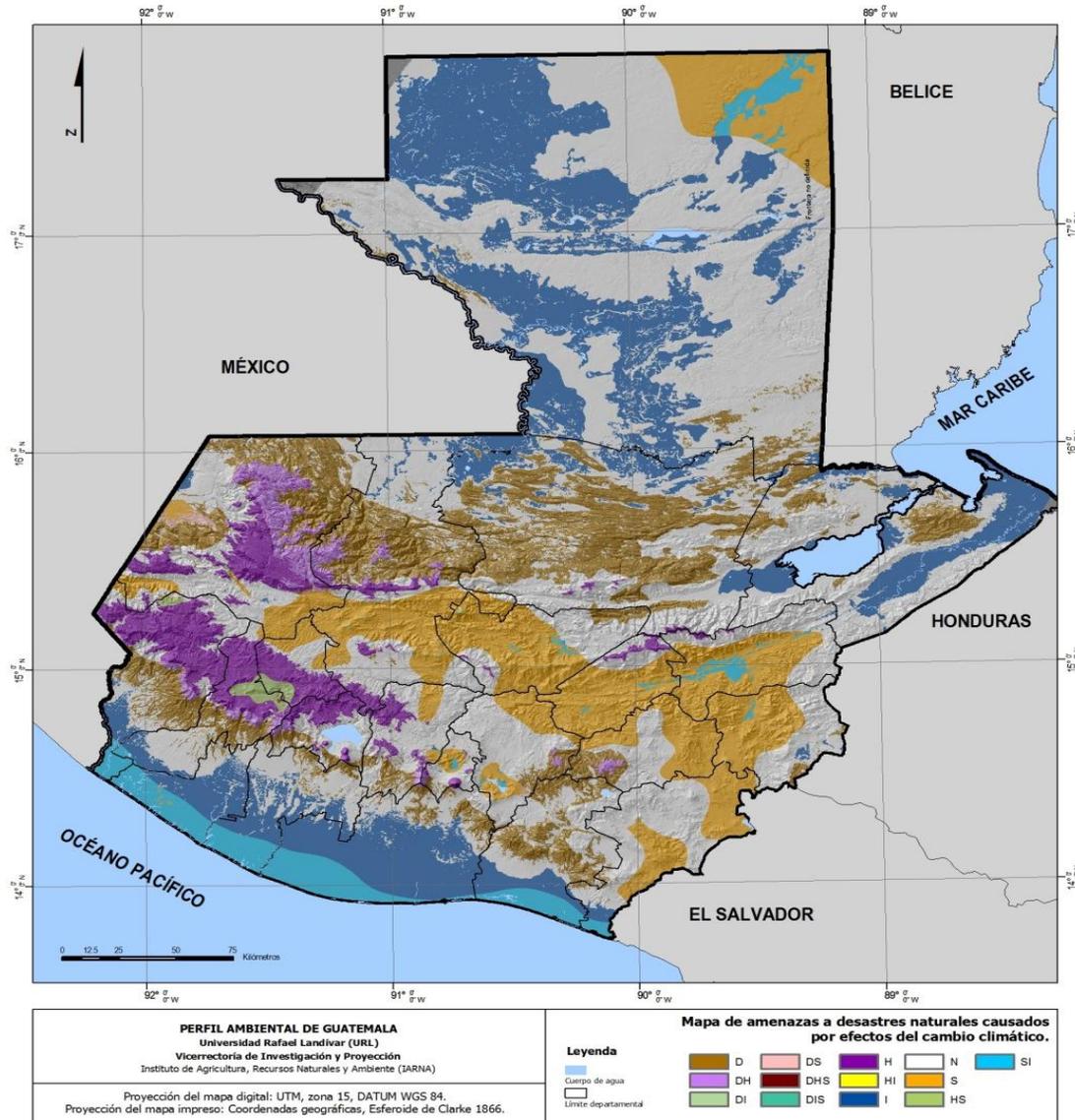


Figura 7. Mapa de riesgo a eventos inducidos (amenazas) por el cambio climático. D= deslizamientos, H= heladas, I = inundaciones y S=sequías (IARNA-URL, 2009).

2.4 OSCILACIÓN SUR DE EL NIÑO (ENSO)

El fenómeno del Niño conocido como ENSO por sus siglas en inglés, consiste en la interacción de las aguas superficiales del océano Pacífico tropical con la atmósfera circundante, se caracteriza por provocar consecuencias importantes para el clima en todo el mundo (National Oceanic and Atmospheric Administration –NOAA-, 2012; Solano & Stolz, 2009).

El fenómeno afecta la temperatura media global de la tierra y provoca perturbaciones en el ciclo hidrológico como lluvias en los trópicos, cuyos resultados son sequías en distintas partes del mundo donde normalmente llueve y lluvias en zonas normalmente muy secas (Sakagami, 2010; Hernández, 2002).

Recibe el nombre de El Niño debido a que alcanza su máxima expresión a final de año y los habitantes de la zona oeste de América del Sur ecuatorial lo relacionaron con el nacimiento de Jesucristo (IARNA-URL, 2011).

La Oscilación Sur de El Niño (ENSO), consta de dos fases: una cálida (El Niño) y otra fría (La Niña). El Niño se refiere a las temperaturas superiores a la media, que se desarrolla periódicamente en la superficie del mar, éste representa el episodio cálido del Pacífico ecuatorial. Por su parte La Niña es el enfriamiento periódico de las temperaturas de la superficie del mar en el Pacífico ecuatorial y es conocida como el episodio frío de ENSO (NOAA, 2012). La Figura 8 presenta las distintas fases de ENSO (condiciones normales, la Niña y el Niño).

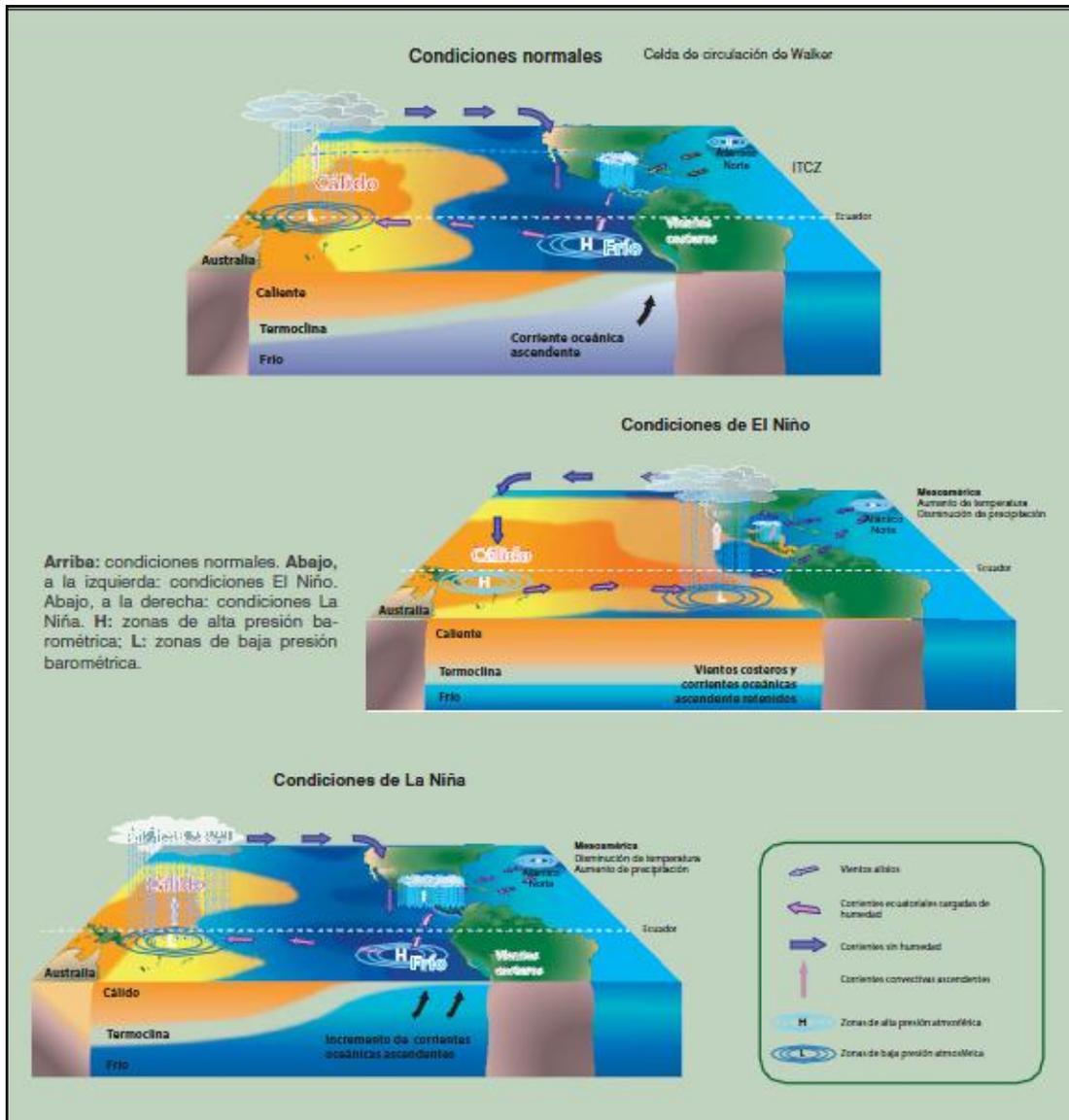


Figura 8. Descripción del fenómeno Oscilación Sur de El Niño (IARNA-URL, 2011).

Para detectar las anomalías del Fenómeno Oscilación Sur de El Niño se han definido cuatro regiones “Niño”, en éstas se encuentran ubicados instrumentos de diferentes elementos meteorológicos y boyas marinas que son utilizados para realizar una observación satelital permanente (Guevara, 2008). El Cuadro 1 muestra las cuatro regiones Niño, así como también sus dimensiones e índices asociados a cada una.

Cuadro 1. Regiones o zonas Niño, dimensiones e índices asociados.

Región	Latitud	Longitud	Índices ENSO
Región Niño 1+2 (N1+2)	0° a 10° S	80° W a 90° W	N1+2
Región Niño 3 (N3)	5° N a 5° S	90° W a 150° W	N3
Región Niño 4 (N4)	5° N a 5° S	120° W a 170° W	N4
Región Niño 3.4 (N3.4)	5° N a 5° S	160° W a 150° W	N3.4 o N3+4

(Guevara, 2008).

Las cuatro regiones Niño anteriormente mencionadas se encuentran ubicadas geográficamente en la Figura 9.

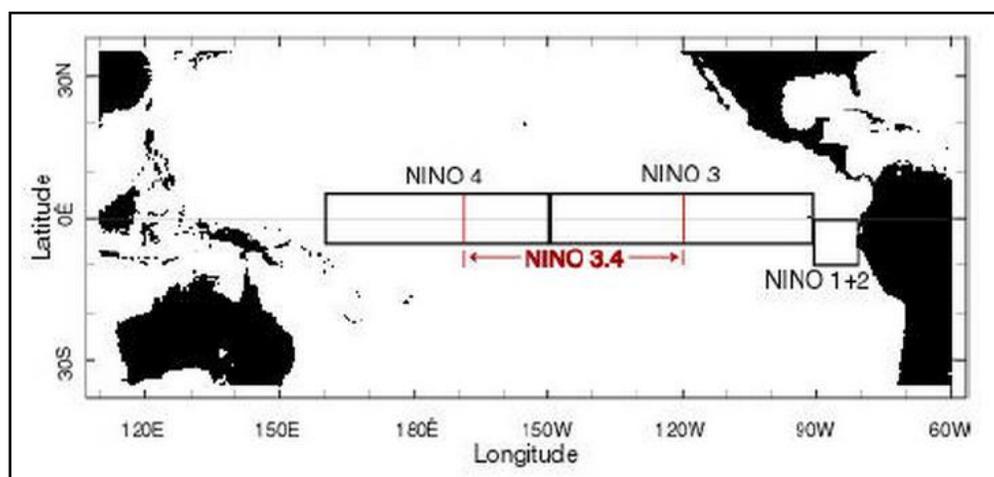


Figura 9. Regiones El Niño establecidas para la observación de ENSO en el Océano Pacífico Ecuatorial (Guevara, 2008).

Si bien es cierto, hoy en día las causas exactas del inicio de un evento caliente (El Niño) o frío (La Niña) no se conocen del todo, sin embargo, se ha podido observar que los componentes principales son la temperatura superficial del mar y la presión atmosférica. Durante El Niño los vientos alisios del este que convergen en el Pacífico Ecuatorial se debilitan, lo que disminuye la corriente oceánica en la costa occidental de América del Sur, esto reduce el afloramiento de aguas profundas ricas en nutrientes, además también se presenta un aplanamiento en la termoclina (zona situada debajo de la superficie del océano donde se da el mayor cambio de temperatura en un espacio corto), mientras que en la superficie de esta capa y en aguas profundas la temperatura se mantiene constante. Durante La Niña ocurre lo contrario, las temperaturas

oceánicas son más bajas de lo normal, y debido a esto las corrientes atmosféricas y oceánicas se debilitan y convergen en el centro del Pacífico ecuatorial (IARNA-URL, 2011).

Los eventos de El Niño y La Niña se presentan habitualmente cada tres o cinco años, sin embargo el cambio climático abrupto que se está dando puede influir en el aumento de la intensidad y la frecuencia del ENSO (IARNA-URL, 2011).

2.5 ÍNDICE OCEÁNICO DEL NIÑO (ONI)

Los índices oceánicos y atmosféricos han sido muy utilizados para detectar y prever el ciclo El Niño y la Oscilación Sur (ENSO). Al respecto, el Oceanic Niño Index -ONI- (por sus siglas en inglés), se usa para definir los distintos episodios de ENSO, los cuales son: El Niño (episodio cálido), la Niña (episodio frío) y la fase neutra (Quispe, et al., 2009).

El Índice Oceánico del Niño es el promedio móvil de la anomalía de la temperatura de la superficie del mar (ATSM), con tres meses sucesivos: la anomalía del mes en curso, la del mes que antecede y la del mes que sigue. Los datos usados son tomados en la región Niño 3.4 y estos a su vez son medidos por el banco de datos del sensor ERSST.v3 (The extended reconstructed sea surface temperature versión 3). Regularmente, al ONI también se le conoce como El Niño 3.4, debido a la región a la que pertenece y además es una de las mayores bases de datos que se utilizan para medir el fenómeno climático en la actualidad (Guevara 2008; Sakagami, 2010; NOAA, 2014; Ramírez & Jaramillo, 2009).

El promedio de la temperatura superficial del mar en la región Niño 3.4 (ver Figura 10) se calcula para cada mes, pero para filtrar la variabilidad que se presenta cada mes se promedia con los valores de 3 meses consecutivos como se mencionó anteriormente. La anomalía es entonces el valor promedio de los tres meses consecutivos comparado con el promedio de la temperatura superficial del mar durante los mismos tres meses en un periodo de treinta años anteriores al año que se está calculando. Las anomalías

resultantes de la comparación de estos promedios son conocidas como el Índice Oceánico del Niño (NOAA, 2009).



Figura 10. Área de la Región Niño 3.4 situada en el océano Pacífico donde es observada la temperatura superficial del mar para calcular el Índice Oceánico del Niño (NOAA, 2009).

El ONI es la principal medida para hacer seguimiento y predecir el ENSO en tiempo real y se compone de tres fases: El Niño, que se caracteriza por valores positivos del ONI mayores o iguales a $+0.5^{\circ}$ C del promedio, durante tres meses consecutivos; La Niña, con valores negativos menores o iguales a -0.5° C del promedio durante tres meses consecutivos; y la fase Neutra que presenta valores del ONI entre -0.4° C y $+0.4^{\circ}$ C (Ramírez & Jaramillo, 2009).

A lo largo de los años el Centro de Predicción Climatológica de la NOAA ha llevado un registro ordenado y detallado de los valores de temperatura superficial del mar en la región 3.4 y debido a dicho registro, el ONI se ha podido relacionar con distintos fenómenos climáticos, tales como huracanes (Correia, 2012). En la Figura 11 se muestra el comportamiento del ONI desde el año 1955 hasta 2012.

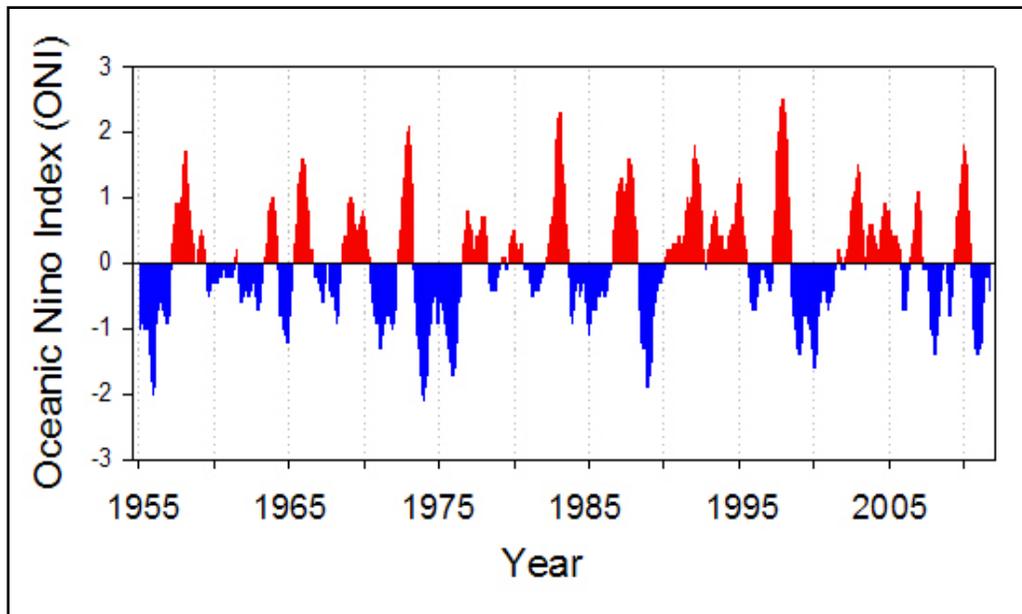


Figura 11. Comportamiento del Índice Oceánico del Niño desde el año 1955 hasta 2012 (escala en grados Celsius), el color rojo indica presencia de Niño (anomalías mayores o iguales a $+0.5^{\circ}\text{C}$) y el color azul presencia de Niña (anomalías menores o iguales a -0.5°C) (Correia, 2012).

2.6 MANEJO DE DATOS CLIMÁTICOS (RCLIMDEX)

En general, los cambios de clima siempre han tenido grandes impactos en la naturaleza y la sociedad, por tanto, se vuelve importante analizar fenómenos extremos. Sin embargo, la vigilancia, detección y la atribución de los cambios en los extremos climáticos suelen requerir datos diarios para su posterior análisis, lo que hace que sea una tarea muy difícil. Al respecto, los índices climáticos, desarrollan y analizan datos cualquier Servicio Meteorológico alrededor del mundo, para tener resultados con un estándar mundial, garantizando un mejor control de cambio climático con una cobertura espacial amplia (Zhang, 2013).

Uno de los programas más conocidos para analizar datos climáticos es ClimDex, un programa basado en Microsoft Excel que proporciona todo un paquete computacional fácil de usar para el cálculo de índices de extremos climáticos que son utilizados para monitorear y detectar el cambio climático. Este programa fue desarrollado en NCDC

(National Climate Data Centre) de NOAA, y ha sido muy utilizado en distintos estudios climáticos (Zhang & Yang, 2004).

Algo que caracteriza a ClimDex es que no depende de un sistema operativo determinado, puede ser utilizado tanto en Windows como en Unix/Linux, para lograr esto, utiliza una plataforma llamada "R", la cual es gratis y robusta para realizar gráficos y análisis estadístico. El paquete basado en "R" se empezó a utilizar para homogenizar la serie de índices que se utilizan en ClimDex, ya que de no ser así los cálculos de temperatura basados en percentiles presentaban heterogeneidades (Zhang & Yang, 2004).

RClimDex (1.0) es un software constituido por el programa ClimDex y la plataforma R, y presenta una interface amigable para calcular índices de extremos climáticos. El programa incluye una variedad amplia de índices que pueden ser calculados para detectar extremos climáticos y fue utilizado por primera vez en Ciudad del Cabo, Sudáfrica en el año 2004 (Zhang & Yang, 2004).

Uno de los problemas que muchas veces se presenta al utilizar un software climático como RClimDex es la escasez y falta de datos, ya que dificulta la caracterización y confirmación de posibles tendencias de las variables climáticas como temperatura y precipitación pluvial, esto repercute de manera directa en la generación de información y por lo tanto también en la toma de decisiones para realizar proyectos (Pinilla & Pinzón, 2010).

Tomando en cuenta lo anterior, se infiere que para el cálculo de los índices de cambio climático es importante que las observaciones o datos de clima utilizados sean lo mejor posible, esto implica que todos los datos sean sujetos a un control de calidad y análisis de homogeneidad. El software RClimDex ofrece la opción de control de calidad por medio de la identificación de valores que exceden un umbral de \pm desviaciones estándar y genera gráficas inmediatas de tal manera que los datos puedan ser inspeccionados de manera visual por el usuario y se generen mejores resultados (Vásquez, 2010).

III MARCO REFERENCIAL

En esta sección se describen los referentes geográficos (zonas de vida y estaciones) que se utilizaron para realizar el presente estudio.

3.1 AMBIENTE

En Guatemala existen trece zonas de vida, sin embargo para fines de esta investigación se analizaron seis que están descritas a continuación:

3.1.1 Bosque Húmedo Tropical (bh-T)

Se encuentra ubicado en los departamentos de Quiché, Alta Verapaz, Izabal, en la parte Sur Oeste de Petén y en la parte sur de San Marcos, Quetzaltenango, Retalhuleu, Suchitepéquez, Escuintla, Santa Rosa y Jutiapa. Está en el piso altitudinal basal y en la provincia de humedad definida como húmeda. Cuenta con una extensión territorial de 3,436,948 ha, lo que equivale a un 31.75% del territorio del país. La altitud promedio de ésta zona de vida es de 182 msnm y las condiciones climáticas que la caracterizan son: precipitación anual entre 1,426 y 4,071 mm, temperatura promedio anual entre 22.3 y 28.1° C y una relación Evapotranspiración Potencial y Precipitación en promedio de 0.69, lo cual la hace una zona de vida con excedente de agua (IARNA-URL, 2014).

La Figura 12 presenta la ubicación geográfica del bosque húmedo tropical en Guatemala.



Figura 12. Ubicación de la Zona de Vida Bosque Húmedo Tropical en Guatemala (IARNA-URL, 2014).

3.1.2 Bosque Húmedo Montano Bajo Tropical (bh-MBT)

Está ubicado en la región Occidental de Guatemala, cubriendo parte de los departamentos de Huehuetenango, Quiché, San Marcos, Quetzaltenango, Totonicapán, Sololá, Chimaltenango y Sacatepéquez, así como también en las partes altas de Alta Verapaz, Guatemala, Santa Rosa, Jalapa y Jutiapa. La zona de vida pertenece al piso altitudinal Montano Bajo y a la provincia de humedad húmeda, tiene una extensión territorial de 1,207,311 ha, equivalente al 11.15% del territorio nacional, su altitud promedio es de 2,150 msnm y sus características climáticas son:

precipitación anual entre 901 y 3,000 mm, temperatura promedio anual entre 10 y 20° C y una relación de Evapotranspiración Potencial y Precipitación con un promedio de 0.67, lo cual la hace una zona de vida con excedente de agua (IARNA-URL, 2014).

La Figura 13 presenta la ubicación geográfica del bosque húmedo montano bajo tropical en Guatemala.



Figura 13. Ubicación de la zona de vida Bosque Húmedo Montano Bajo Tropical (IARNA-URL, 2014).

3.1.3 Bosque muy Seco Tropical (bms-T)

Está ubicado en los departamentos de El Progreso, Zacapa y Chiquimula, que constituyen la región más árida de Guatemala. Es una zona de vida que se encuentra en el piso basal y en la provincia de humedad muy seca. Su extensión territorial es de 82,084 ha, lo cual equivale a un 0.76% del territorio del país. Se encuentra a una altitud promedio de 356 msnm y entre sus características climáticas resalta la precipitación anual entre 577 y 1,033 mm, temperatura promedio anual entre 23.10 y 27.40° C y una relación de Evapotranspiración Potencial y precipitación con una media de 2.07, lo cual la hace una zona con déficit de agua (IARNA-URL, 2014). La Figura 14 presenta la ubicación geográfica del bosque muy seco tropical en Guatemala.



Figura 14. Ubicación de la zona de vida Bosque muy seco Tropical en Guatemala (IARNA-URL, 2014).

3.1.4 Bosque Húmedo Premontano Tropical (bh-PMT)

Se encuentra ubicado en Huehuetenango, Quiché, Totonicapán, Chimaltenango, Sacatepéquez, Guatemala, Baja Verapaz, Santa Rosa, Jalapa, Jutiapa, Chiquimula, El Progreso, Zacapa y en la región montañosa del Suroriente de Izabal y Petén. Pertenece al piso altitudinal Premontano y a la provincia de humedad definida como Húmeda. Tiene una extensión territorial de 1, 582,481 ha, lo cual equivale al 14.62% del territorio Nacional y se encuentra a una altitud promedio de 1,078 msnm (IARNA-URL, 2014).

Esta zona de vida tiene una precipitación anual entre 837 y 3,125 mm, temperatura promedio anual entre 15.6 y 26.3° C y un promedio de 0.72 de relación de Evapotranspiración Potencial y Precipitación, lo cual la hace una zona de vida con excedente de agua (IARNA-URL, 2014).

La Figura 15 presenta la ubicación geográfica del bosque húmedo premontano tropical en Guatemala.



Figura 15. Ubicación de la zona de vida Bosque Húmedo Premontano Tropical en Guatemala (IARNA-URL, 2014).

3.1.5 Bosque Seco Tropical (bs-T)

Se encuentra ubicado al Norte del departamento de Petén, y en El Progreso, Zacapa, Chiquimula y Jutiapa, así como en toda la región costera Sur del país. Su extensión territorial es de 2,082,163 ha, que equivale al 19.24% del territorio nacional, lo que la convierte en la segunda zona de vida más grande del país. La altitud promedio de esta zona es de 196 msnm, entre sus condiciones climáticas resaltan una precipitación anual entre 705 y 1,863 mm y temperatura promedio anual entre los 22.6 y los 28.3° C. Respecto a la Relación de Evapotranspiración Potencial y Precipitación el promedio

para toda la zona es de 1.08, lo que significa que en el lugar existe un alto déficit de agua (IARNA-URL, 2014).

La Figura 16 presenta la ubicación geográfica del bosque seco tropical en Guatemala.



Figura 16. Ubicación de la zona de vida Bosque Seco Tropical en Guatemala (IARNA-URL, 2014).

3.1.6 Bosque muy Húmedo Premontano Tropical (bmh-PMT)

Está ubicado en la región Norte del departamento de Huehuetenango, la región central de Quiché, Alta Verapaz e Izabal, así como también en una franja del Pie de Monte Volcánico en la Región Sur, en los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango,

Retalhuleu, Suchitepéquez, Sololá, Chimaltenango y Escuintla. Además puede ubicarse en la Sierra de las Minas, Zacapa y El Progreso (IARNA-URL, 2014).

Su extensión territorial es de 822,199 ha, lo cual equivale al 7.6% del territorio Nacional. Su altitud promedio es de 1,031 msnm; entre sus condiciones climáticas resaltan una precipitación anual entre 1,559 y 4,850 mm y una temperatura promedio anual comprendida entre los 15.6 y los 25.9° C. La Relación de Evapotranspiración Potencial y Precipitación en promedio para toda la zona es de 0.37, haciendo que en toda la zona haya un excedente de agua (IARNA-URL, 2014).

La Figura 17 presenta la ubicación geográfica del bosque muy húmedo premontano tropical en Guatemala.

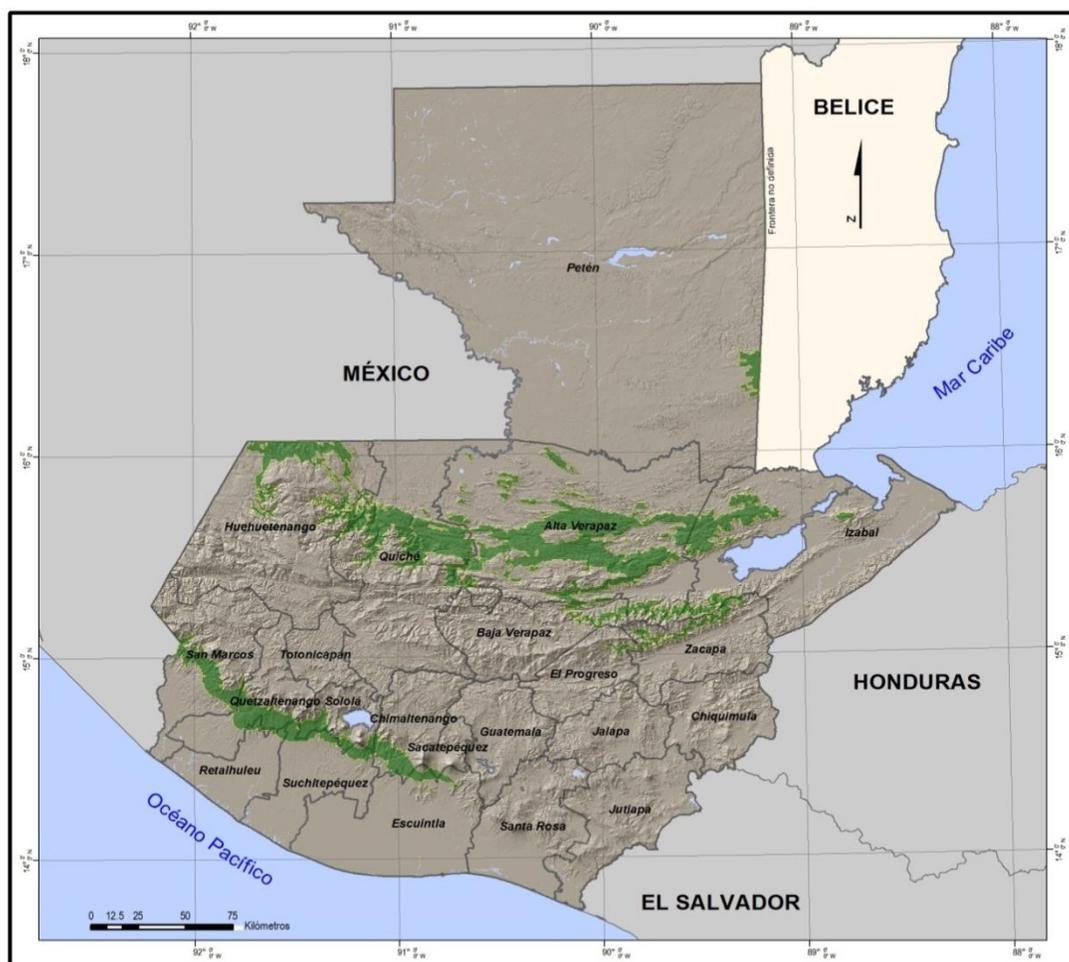


Figura 17. Ubicación de la zona de vida Bosque muy Húmedo Premontano Tropical en Guatemala (IARNA-URL, 2014).

IV ANTECEDENTES

En Guatemala se ha determinado que el ENSO incide en 6 años de cada década que pasa, de los cuales 3 años se presenta en su fase fría (Niña) y 3 años en su fase cálida (Niño); los restantes cuatro años son determinados como fase neutra, esto se dice con base en la utilización de la información de temperatura superficial del mar. Sus efectos más notables varían dependiendo de la fase que se presente, teniendo en fase fría (Niña) precipitación que excede el promedio normal y por el contrario en fase cálida (Niño), la lluvia se presenta en menor cantidad comparado con el promedio normal; esto se da principalmente en los meses de julio y agosto (Castro et al., 2013).

A partir de esta alteración que provoca el ENSO en el comportamiento de las variables meteorológicas, en varios países, incluido Guatemala, se han hecho investigaciones y estudios que demuestran lo importante que es considerar a dicho fenómeno en el comportamiento del clima a lo largo de los años, que efectivamente tiene un gran impacto en el mismo.

En Guatemala se realizó un estudio de los efectos del ENSO en algunas variables climáticas. Se concluyó que en la fase fría y en la fase cálida se reduce la radiación solar hasta un máximo de 53%, en relación con la que se presenta en un día despejado, y que las lluvias, cuando se presenta La Niña, se muestran de manera temprana (en abril) y en más cantidad, mientras que en El Niño se incrementa la sequía retrasando la época lluviosa que se presenta hasta el mes de junio. Estos resultados fueron asociados con el cultivo de la caña, teniendo como resultado un impacto negativo (bajos rendimientos) en el mismo, en la costa sur del país cuando se da la fase fría de ENSO (Castro et al., 2013).

En un estudio realizado en Venezuela en el año 2003, se concluyó que el ENSO no afecta de igual forma a todo el país, ya que en algunos lugares la fase cálida tiende a producir temporadas secas e inicio de temporada lluviosa más secas de lo normal,

mientras que en otros lo que provoca es una temporada lluviosa temprana, normal y tardía (Martelo, 2003).

En Colombia, Ramírez & Jaramillo (2009), encontraron que el comportamiento de la precipitación está muy relacionada con el fenómeno ENSO (a partir de los datos del ONI), teniendo relaciones lineales estadísticamente significativas en los meses de diciembre, enero, febrero, junio, julio, agosto y septiembre, considerados históricamente como meses de baja precipitación en el país. Estos resultados fueron asociados con la producción de cultivos perennes, teniendo como conclusión que al aumentar la lluvia por efecto del ENSO se da una disminución en producción, incremento de enfermedades y periodos más prolongados de estrés hídrico.

Por su parte Hernández & Zambrano (2009), también realizaron un estudio de la relación existente entre el campo de la temperatura superficial del mar y sus anomalías con el acumulado mensual de precipitación en varias localidades de Ecuador. Encontraron una correlación directa entre las mismas, ya que cuando se incrementa la temperatura superficial del mar, producto de la fase cálida de ENSO, se incrementan las lluvias en el litoral, mientras que cuando la temperatura superficial del mar desciende durante la fase fría de ENSO de igual manera descienden las lluvias.

V JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

5.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

Guatemala es un país vulnerable que puede verse afectado seriamente por el fenómeno Oscilación Sur de El Niño (ENSO). De hecho, en años anteriores se ha evidenciado que ENSO tiene implicaciones en el clima del país, ya que altera los regímenes de lluvia provocando con esto problemas en cuanto a disponibilidad de agua y aumento de incendios. También se le ha asociado a la mayor frecuencia de frentes fríos y aumento de huracanes en el Océano Pacífico así como la disminución de los mismos en el Atlántico, Caribe y Golfo de México (Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología –INSIVUMEH-, 2006).

El cambio climático es un tema muy señalado, en Guatemala, a pesar de que ya hace más de una década se han ratificado tratados internacionales que desarrollan actividades para mitigarlo, las acciones realizadas al respecto no han ido de acuerdo a la magnitud de los impactos que éste causa o puede causar en un futuro. De hecho fue hasta el año 2013 que se promulgó un sustento legal, que fue La Ley Marco para Regular la Reducción de la Vulnerabilidad, la Adaptación Obligatoria ante los Efectos del Cambio Climático y la Mitigación de Gases de Efecto Invernadero.

Es importante considerar las acciones a tomar en Guatemala, ya que por su posición geográfica es un país propenso a ser afectado por el cambio climático. Se señala que en un futuro se presentará una disminución en la precipitación y un incremento en la temperatura, por lo que las zonas de vida más secas se ampliarán y las zonas de vida más húmedas y frías, principalmente las zonas pluviales, disminuirán o desaparecerán. El cambio climático tiene una influencia directa en el comportamiento de las variables climáticas anteriormente mencionadas, de igual forma el comportamiento del ENSO está estrechamente relacionado con la variabilidad climática y el cambio climático. Por lo tanto, se espera que uno de los efectos del cambio climático sea el aumento en frecuencia e intensidad del ENSO y consecuentemente en los impactos que éste pueda causar (IARNA-URL, 2012).

En los últimos años, muchos científicos han incrementado sus esfuerzos para generar mejores registros, darle seguimiento a éste fenómeno y evaluar sus efectos en diversos lugares del planeta. A su vez, se ha demostrado que en gran parte la variabilidad del clima global está directamente relacionada con la variabilidad de ENSO, a través de procesos de teleconexión atmosférica con otros fenómenos climáticos globales y regionales (IARNA-URL, 2011).

ENSO es fenómeno importante que debe ser considerado en diversos estudios e investigaciones, ya que las alteraciones climáticas causadas por dicho fenómeno no sólo provocan daños materiales, sino también pérdida de vidas humanas. De la misma forma, puede afectar la productividad agrícola, disponibilidad de agua, producción pesquera, transporte, telecomunicaciones, infraestructura civil y desde luego la propagación de enfermedades (Villalobos & Retana, 2002).

El Índice Oceánico del Niño (ONI) es muy utilizado para darle seguimiento al comportamiento de ENSO, al estar relacionado con los cambios de clima, la realización de esta investigación constituye una herramienta de referencia para tomar decisiones y establecer las medidas de adaptación pertinentes. Además también puede ser utilizada como punto de partida para otras investigaciones acerca del tema.

Generar información acerca de la relación que tiene ENSO a través del índice Oceánico del Niño (ONI) con el comportamiento de distintas variables climáticas es importante, ya que en el país no ha sido una prioridad y debido a que es evidente el cambio climático que en el planeta está sucediendo nace la necesidad de llevar a cabo un estudio que permita analizar el comportamiento, la variabilidad y la relación que tiene el ONI con la precipitación y la temperatura.

Esta investigación tiene como fin dar a conocer el comportamiento histórico de la precipitación y la temperatura y mostrar cómo ENSO ha influido en dicho comportamiento en seis zonas de vida representativas del país. La información puede ser utilizada por instituciones que generan investigaciones y estudios para crear conocimiento acerca del tema.

VI OBJETIVOS

6.1 GENERAL

- Determinar la relación entre las principales variables climáticas y el Índice Oceánico del Niño (ONI) en seis zonas de vida representativas de Guatemala.

6.2 ESPECÍFICOS

- Caracterizarla precipitación y la temperatura de seis diferentes zonas de vida representativas de Guatemala.
- Caracterizar los eventos meteorológicos que se producen en la fase cálida y la fase fría del Índice Oceánico del Niño.
- Determinar si la precipitación y la temperatura de las zonas de vida analizadas tienen relación con el Índice Oceánico del Niño (ONI) en su posterior modelación.

VII HIPÓTESIS

El comportamiento de las principales variables climáticas de las seis zonas de vida caracterizadas tendrá una relación significativa con el Índice Oceánico del Niño (ONI).

VIII METODOLOGÍA

8.1 AMBIENTE

La investigación es de carácter nacional, ya que se incluyen las seis zonas de vida más representativas en el país (abarcan el 85.12% del territorio nacional). El análisis se realizó tomando en cuenta los valores diarios de precipitación pluvial y temperatura ambiental mínima y máxima de distintas estaciones meteorológicas situadas en dichas zonas de vida, su ubicación aparece en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Ubicación de estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio.

Estación	Latitud	Longitud	Zona de Vida
Cobán, Alta Verapaz	15° 28' 0"N	90° 24' 27" O	bmh-PMT
INSIVUMEH, Guatemala	14° 35' 11" N	90° 31' 58" O	bh- PMT
La Fragua, Zacapa	14° 57' 55.77" N	89° 35.3' 96" O	bms-T
Labor Ovalle, Quetzaltenango	14° 52' 12" N	91° 30' 50" O	bh- MBT
Puerto Barrios, Izabal	15° 44' 16" N	88° 35' 30" O	bh- T
Puerto de San José, Escuintla	13° 56' 10" N	90° 50' 4" O	bs- T

(Guerra, 2010).

La ubicación de las estaciones meteorológicas mencionadas anteriormente se encuentra representada gráficamente en la Figura 18.



Figura 18. Ubicación de las estaciones meteorológicas que se usaron en el estudio (Google Earth, 2014).

8.2 SUJETOS Y/O UNIDADES DE ANÁLISIS

Los sujetos y/o unidades de análisis fueron los valores históricos (periodo 1970-2013) del Índice Oceánico del Niño y los datos diarios de precipitación y temperatura mínima y máxima de seis estaciones meteorológicas (desde 1970 hasta 2013) (Figura 18).

8.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación es de carácter descriptivo, ya que se caracterizó el comportamiento de la precipitación y temperatura en seis zonas de vida de Guatemala, luego se evaluó la

relación que tienen dichas variables meteorológicas con el comportamiento del Índice Oceánico del Niño (ONI), a partir de datos existentes. Por último, se describió si de alguna manera el ONI afecta dichas variables climáticas y la frecuencia con la que sucede.

8.4 PROCEDIMIENTO

8.4.1 Fase de gabinete inicial: Identificación de fuentes

Se realizó una investigación documental en diferentes fuentes de información para determinar cómo influye el comportamiento del Índice Oceánico del Niño en relación a las variables meteorológicas analizadas (precipitación pluvial y temperatura).

Se llevó a cabo una revisión bibliográfica para obtener información relevante para la investigación, en donde se analizaron conceptos y resultados de otras investigaciones que puedan apoyar en el desarrollo de este estudio. Esta revisión consistió en la consulta de libros, reportes e informes sobre clima, cambio climático, Fenómeno del Niño, ecología, biodiversidad, eventos meteorológicos extremos, desastres naturales en Guatemala, entre otros.

Se utilizó la clasificación de zonas de vida de Guatemala realizado por el Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA). Las estaciones meteorológicas de las cuales se analizaron los datos diarios de temperatura y precipitación fueron seleccionadas de acuerdo a su ubicación conveniente en las zonas de vida previamente elegidas.

8.4.2 Fase de recolección de la información (Instrumento)

Para la recolección de los datos diarios de precipitación y temperatura mínima y máxima de las estaciones meteorológicas seleccionadas desde el año 1970 al 2013 se estableció comunicación directa con el Departamento de Climatología del INSIVUMEH, Guatemala, con el fin de utilizar la información que dicha institución genera.

Respecto al Índice Oceánico del Niño (ONI) se utilizaron los datos generados en el periodo 1970 - 2013 por la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Estados Unidos, que son actualizados frecuentemente y además se encuentran publicados en su página web.

Con la información recabada (datos de precipitación, temperatura y del índice Oceánico del Niño) se utilizaron cuatro software para el análisis de la misma, éstos fueron: Microsoft Excel, software climático RClimDex y los software estadísticos InfoStat y XLStat.

Para analizar la relación de los eventos meteorológicos extremos o desastres naturales (tormentas, depresiones, huracanes y sequías) con el ONI en Guatemala en el periodo de 1970 a 2013 se realizó una revisión bibliográfica detallada de los mismos.

8.4.3 Fase de gabinete final

Los datos obtenidos de precipitación y temperatura máxima y mínima fueron tabulados y ordenados en el programa Microsoft Excel. En el Cuadro 3 se presenta la forma en que se tabularon los datos de las variables meteorológicas utilizadas.

Cuadro 3. Ejemplo: orden y tabulación de los datos diarios de precipitación y temperatura máxima y mínima en Excel.

año	mes	día	Lluvia (mm)	Tmax (° C)	Tmin (° C)
1971	1	1	0	N/D	N/D
1971	1	2	0	29.2	20
1971	1	3	0	26.2	23
1971	1	4	0	26.4	19
1971	1	5	0	27.2	19.6
1971	1	6	18	29.2	21
1971	1	7	1	28.2	20.2
1971	1	8	0.3	28	20.6
1971	1	9	0.3	27.2	20.2
1971	1	10	0	27.6	18.6

Fuente: Elaboración Propia.

Teniendo los datos de las seis estaciones utilizadas (Cuadro 3) tabulados correctamente se procedió a realizar gráficas y curvas lineales que evidenciaron el comportamiento histórico (1970-2013) de las variables estudiadas.

Seguidamente se realizó un análisis climático de los datos con la ayuda del software RClimDex. El formato de entrada de los datos fue en texto plano (archivo .txt), únicamente utilizando números, ya que es la forma en que el software los acepta. En el Cuadro 4 aparece la forma en que se tabularon los datos, el orden de las columnas (izquierda a derecha) es: Año, Mes, Día, PRCP (precipitación diaria en milímetros), TMAX (temperatura máxima en grados Celsius), TMIN (temperatura mínima en grados Celsius).

Cuadro 4. Ejemplo: Ingreso de datos diarios de precipitación y temperatura máxima y mínima en el software RClimDex.

1971	1	1	0	-99.9	-99.9
1971	1	2	0	29.2	20
1971	1	3	0	26.2	23
1971	1	4	0	26.4	19
1971	1	5	0	27.2	19.6
1971	1	6	18	29.2	21
1971	1	7	1	28.2	20.2
1971	1	8	0.3	28	20.6
1971	1	9	0.3	27.2	20.2
1971	1	10	0	27.6	18.6

Fuente: Elaboración Propia.

Después de introducir los datos a RClimDex (por estación meteorológica) se procedió a calcular los índices climáticos, los cuales fueron presentados en forma de gráficas. Posteriormente se tabularon los eventos meteorológicos extremos (tormentas, depresiones, huracanes y sequías) en el periodo de 1970 a 2013 y se relacionaron con los valores del Índice Oceánico del Niño, tomando en cuenta el mes en el que sucedieron dichos eventos.

Por último, se realizó un análisis estadístico utilizando el software InfoStat para la Correlación de Pearson y XLStat para Regresión Logística.

El análisis de los datos se efectuó con base en las gráficas y curvas generadas en los distintos programas utilizados, tomando en cuenta las tendencias y el comportamiento de las variables a través de los años.

8.5 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Se generaron gráficas en Microsoft Excel para las diferentes estaciones meteorológicas sujetas de análisis que evidenciaron el comportamiento histórico de las variables climáticas. Los datos de las variables meteorológicas (precipitación y temperatura mínima y máxima) proporcionados por INSIVUMEH fueron de manera diaria, sin embargo se realizó un promedio anual de temperatura y una suma anual de precipitación para realizar un análisis del comportamiento histórico anual de dichas variables.

Para analizar la variabilidad climática y comportamiento de los datos meteorológicos se utilizó el software RClimDex. En este software climático se comenzó por realizar un control de calidad para detectar valores climáticos extremos reemplazando todos los datos faltantes a un formato interno que reconoce el programa (-99.9) y los valores no razonables (Ej. lluvia menor que cero) por NA (Zhang & Yang, 2004).

Luego del control de calidad se procedió a hacer el cálculo de índices climáticos, éstos fueron mostrados en forma de gráficas y curvas lineales anuales. En el Cuadro 5 se presentan los índices climáticos que fueron calculados.

Cuadro 5. Índices climáticos calculados en RClímDex

ID	Nombre	Definición	UNIDAD
SU25	Días de verano	Número de días en un año cuando TX(máximo diario)>25°C	Días
TR20	Noches tropicales	Número de días en un año cuando TN(mínimo diario)>20°C	Días
GSL	Duración de la estación de cultivo	Anual (1 Ene a 31 Dic en HN, 1 Julio a 30 Junio en HS) cuenta entre el primer periodo de por lo menos 6 días con TG>5°C y primer periodo después de Julio 1 (Enero 1 en HS) de 6 días con TG<5°C	Días
TXx	Max Tmax	Valor mensual máximo de temperatura máxima diaria	°C
TNx	Max Tmin	Valor mensual máximo de temperatura mínima diaria	°C
TXn	Min Tmax	Valor mensual mínimo de temperatura máxima diaria	°C
TNn	Min Tmin	Valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria	°C
DTR	Rango diurno de temperatura	Diferencia media mensual entre TX y TN	°C
RX1day	Cantidad Máxima de precipitación en un día	Máximo mensual de precipitación en 1 día	mm
Rx5day	Cantidad Máxima de precipitación en 5 días	Máximo mensual de precipitación en 5 días consecutivos	mm
SDII	Índice simple de intensidad diaria	Precipitación anual total promedio para el número de días húmedos (definidos por PRCP>=1.0mm) en un año	mm/día
R10	Número de días con precipitación intensa	Número de días en un año en que PRCP>=10mm	Días
R20	Número de días con precipitación muy intensa	Número de días en un año en que PRCP>=20mm	Días
CDD	Días secos consecutivos	Número máximo de días consecutivos con RR<1mm	Días
CWD	Días húmedos consecutivos	Número máximo de días consecutivos con RR>=1mm	Días
R95p	Días muy húmedos	Precipitación anual total en que RR>95 percentil	mm
R99p	Días extremadamente secos	Precipitación anual total en que RR>99 percentil	mm
PRCPTOT	Precipitación total anual en los días húmedos	Precipitación anual total en los días húmedos (RR>=1mm)	mm

Elaboración Propia con base en Zhang & Yang, (2004).

Es necesario mencionar que el número total de índices calculados fue de 19, sin embargo para el análisis de cada zona de vida solamente se seleccionaron seis, estos fueron: Rango Diurno de Temperatura (DTR), Precipitación anual total en los días

húmedos (PRCPTOT), Días muy húmedos (R95p), índice Simple de Intensidad Diaria (SDII), Temperatura Mínima Extrema (TNN) y Temperatura Máxima Extrema (TXX). Éstos índices fueron seleccionados por ser los más relevantes para determinar la información de las características y variabilidades climáticas del país, que fueron analizadas en el presente estudio.

Para analizar la relación del Índice Oceánico del Niño con los eventos meteorológicos extremos que se han presentado en Guatemala en el periodo 1970-2013, se elaboró un cuadro donde se enlistaron dichos eventos tomando en cuenta el mes en que sucedieron y se compararon directamente con los valores del ONI del mismo mes, tomando en cuenta la fase del mismo.

Para el análisis de la relación de los datos se correlacionó la información de temperatura y precipitación con el Índice Oceánico del Niño a través del Coeficiente de correlación lineal de Pearson para cada estación utilizando el programa estadístico InfoStat.

El coeficiente de correlación lineal de Pearson es un índice de fácil ejecución e interpretación. Este coeficiente provee una medida muestral de la asociación lineal entre el Índice Oceánico del Niño (X) y la precipitación ó temperatura (Y), posee la propiedad de ser un estimador insesgado de ρ (probabilidad) cuando $\rho = 0$. Cuando ρ está en la proximidad de 1 o -1 los pares (x, y) se alinean sobre una recta con pendiente positiva o negativa según el signo del coeficiente. Cuando $\rho = 0$, los pares (X, Y) están dispersos alrededor del punto (X, Y) sin ninguna dirección predominante (Di Rienzo, et al., 2008).

El modelo utilizado para el análisis de correlación lineal de Pearson fue:

$$r_{jk} = \frac{S_{jk}}{\sqrt{S_j^2 S_k^2}} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)(x_{ik} - \bar{x}_k) \right) / (n-1)}{\sqrt{\left(\left(\sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \right) / (n-1) \right) \left(\left(\sum_{i=1}^n (x_{ik} - \bar{x}_k)^2 \right) / (n-1) \right)}}$$

(Di Rienzo, et al., 2008).

En donde: S_{jk} es la covarianza entre la variable j y la variable k, S_j^2 y S_k^2 son las varianzas de las variables j y k respectivamente (Di Rienzo, et al., 2008).

El análisis de correlación lineal de Pearson fue realizado para cada estación meteorológica, se tomaron en cuenta los valores mensuales de cada variable meteorológica por separado (precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima) y fueron correlacionadas con los valores del Índice Oceánico del Niño (ver Anexo 1).

Con el propósito de estudiar la relación funcional existente entre las variables (Índice Oceánico del Niño, precipitación y temperatura) e identificar el modelo o función que las relaciona, se tenía previsto realizar una regresión lineal, sin embargo, debido a que no se encontraron resultados estadísticamente significativos en el análisis de Correlación lineal de Pearson no se realizó (los datos no poseen una relación lineal).

Tomando en cuenta la falta de significancia en el análisis de Correlación de Pearson se optó por realizar una regresión logística en el software estadístico XLStat, donde se relacionó cada variable meteorológica (precipitación mensual, temperatura mínima y máxima mensual) con la variable Niño (donde los valores iguales o mayores a +0.05 que indican la Fase de El Niño están categorizados con el valor = 1 y las fases neutra y La Niña = 0); y la variable Niña (donde los valores iguales o menores a -0.05 que indican la Fase de La Niña están categorizados con el valor = 1 y las fases neutra y El Niño = 0).

La regresión logística permite modelar la relación entre una variable respuesta de naturaleza dicotómica (tiene dos partes, en este caso es el Índice Oceánico del Niño) en relación a una o más variables independientes o regresoras (precipitación y temperatura). Los coeficientes de la combinación lineal que modela esta relación permiten estimar la razón de productos cruzados para cada variable regresora. El modelo de regresión logística es utilizado para predecir la probabilidad (p_i) de que la variable respuesta asuma un valor determinado (Di Rienzo, et al., 2008). A continuación se presenta el modelo utilizado:

$$\text{Logit}(p_i) = \log(p_i / (1 - p_i)) = \alpha + \beta X_i$$

En donde: p_i es la probabilidad de éxito dado X_i , α es la ordenada al origen (constante), β es la pendiente o coeficiente de regresión asociado a X y X es la variable explicatoria. En regresión logística, se modela la transformación Logit de la probabilidad de éxito como una función lineal de una o más variables explicatorias (Di Rienzo, et al., 2008).

IX RESULTADOS Y DISCUSIÓN

9.1 CARACTERIZACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA EN SEIS ZONAS DE VIDA DE GUATEMALA

A continuación se presentan los resultados de P-value (valores de probabilidad) para los índices climáticos calculados en el software RClimeDex (Cuadro 6). Es importante mencionar que los datos generados por el INSIVUMEH corresponden al periodo de 1970-2013, se determinó que la información contenía datos faltantes, lo cual dificultó el cálculo de dichos índices, se puede hacer mención de los años 1970, 1971, 1972, 1976 y 2013 que casi estaban vacíos en su totalidad para la mayoría de estaciones meteorológicas utilizadas, por tal razón algunos índices que posee el software no fueron calculados, además se obviaron ciertos índices no aptos para un país tropical, por ejemplo días de hielo, temperaturas bajo cero, entre otros. En el Cuadro 6 se presentan únicamente los índices más significativos para esta investigación, así como los que fueron calculados para casi todas las estaciones meteorológicas sujetas del presente análisis.

De acuerdo a los resultados del Cuadro 6, en las seis zonas de vida analizadas, tanto la cantidad de lluvia anual como los días muy húmedos han aumentado, sin embargo la cantidad de días de lluvia no presenta incremento, por lo que se infiere que ha llovido más en menos cantidad de días, de acuerdo a los índices: días secos consecutivos (CDD), días húmedos consecutivos (CWD), días muy húmedos (R95p) y precipitación total anual (PRCPTOT). En cuanto a la temperatura, la diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas en la estación Puerto Barrios (bh-T) y la estación Puerto de San José (bs-T) han aumentado, siendo significativa sólo la última; sin embargo en las demás zonas de vida las diferencias han disminuido, lo cual quiere decir que las temperaturas mínimas y las máximas se han aproximado, aunque no significativamente, de acuerdo al índice de rango diurno de temperatura (DTR). Por su parte las temperaturas mínimas extremas han tenido aumentos significativos en grados Celsius únicamente en la estación INSIVUMEH (bh-PMT y Labor Ovalle (bh-MBT), y la temperatura máxima sólo ha aumentado significativamente en grados Celsius en la estación Puerto de San José (bs-T).

Cuadro 6. P-value de los índices calculados en RClimDex para cada estación meteorológica.

Índice	Significado	INSIVUMEH	La Fragua	Cobán	Labor Ovalle	Puerto de San José	Puerto Barrios
CDD	No.de días secos consecutivos	0.286 ↓	0.537 ↑	0.746 ↓	0.972 ↓	0.712 ↓	0.067 ↓
CWD	No. de días húmedos consecutivos	0.614 ↑	0.516 ↓	0.195 ↓	0.233 ↑	0.02* ↑	0.17 ↓
GSL	Días entre la ocurrencia de 6 consecutivos con temperatura >5° C	0.082 ↑	0.734 ↑	0.787 ↑	0.518 ↑	0.336 ↑	0.116 ↑
PRCPTOT	Precipitación total anual	0.004** ↑	0.009** ↑	0.015* ↑	0.048* ↑	0.004** ↑	0.019* ↑
R10mm	No. de días con lluvia≥10mm	0.009** ↑	0.059 ↑	0.006** ↑	0.057 ↑	0.002** ↑	0.284 ↑
R20mm	No. de días con lluvia≥20mm	0.017* ↑	0.019* ↑	0.027* ↑	0.197 ↑	0.016* ↑	0.207 ↑
R95p	Días muy húmedos (mucho lluvia)	0.006** ↑	0.013* ↑	0.008** ↑	0.169 ↑	0.025* ↑	0.018* ↑
R99p	Días extremadamente húmedos (demasiada lluvia)	0.006** ↑	0.587 ↑	0.007** ↑	0.372 ↑	0.088 ↑	0.019* ↑
RX1day	Precipitación máxima en un día	0.033* ↑	0.506 ↑	0.108 ↑	0.186 ↑	0.056 ↑	0.016* ↑
RX5day	Precipitación máxima en 5 días	0.02* ↑	0.527 ↑	0.695 ↑	0.197 ↑	0.072 ↑	0.011* ↑
SDII	cantidad diaria de lluvia ≥1mm en días húmedos	0.029* ↑	0.046* ↑	0.015* ↑	0.392 ↑	0.222 ↑	0.134 ↑
DTR	Rango diurno de temperatura	0.559 ↓	0.057 ↓	0.3 ↓	0.346 ↓	0.017* ↑	0.72 ↑
SU25	No. de días cuando la temperatura >25° C	0.001** ↑	0.557 ↓	0.003** ↑	0.105 ↑	0.068 ↑	0.016* ↑
SU35	No. de días cuando la temperatura >35° C	N/D	N/D	0.435 ↓	N/D	0.014* ↑	0.024* ↑
TNN	Temperatura mínima extrema	0.002** ↑	0.213 ↓	0.437 ↑	0.001** ↑	0.523 ↑	0.845 ↑
TNX	Temperatura mínima más alta	0** ↑	0.192 ↓	0.663 ↓	0.148 ↑	0.517 ↓	0.001** ↑
TR20	No. días cuando la temperatura mínima diaria > 20° C	0.151 ↑	0.31 ↑	0.885 ↑	0.316 ↑	0.074 ↑	0.021* ↑
TXN	Temperatura máxima más baja	0.036* ↑	0.407 ↓	0.216 ↑	0.614 ↑	0.193 ↑	0.123 ↑
TXX	Temperatura máxima extrema	0.504 ↑	0.971 ↑	0.966 ↓	0.743 ↓	0.005** ↑	0.495 ↑

*, ** Cambios (aumento (↑) y disminución (↓)) significativos. P-value<0.05 (5%) y P-value<0.01 (1%) respectivamente.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se presenta la caracterización de precipitación y temperatura para cada zona de vida, es importante mencionar que por la falta de datos en las variables meteorológicas analizadas, algunas gráficas no inician desde 1970.

9.1.1 Bosque muy Seco Tropical: Estación La Fragua, Zacapa

En la Figura 19 se presenta el comportamiento anual de la precipitación del periodo 1970-2013 en la estación La Fragua, correspondiente a la zona de vida del Bosque muy seco Tropical. Se puede observar que en la mayoría de años la cantidad de precipitación en milímetros (mm) está por debajo del promedio general del periodo analizado (810 mm) lo cual indica que es una región bastante seca, sin embargo a partir de 2005 la mayoría de años han estado por encima del mismo, siendo los años 2008, 2010 y 2011 los que evidencian el incremento.

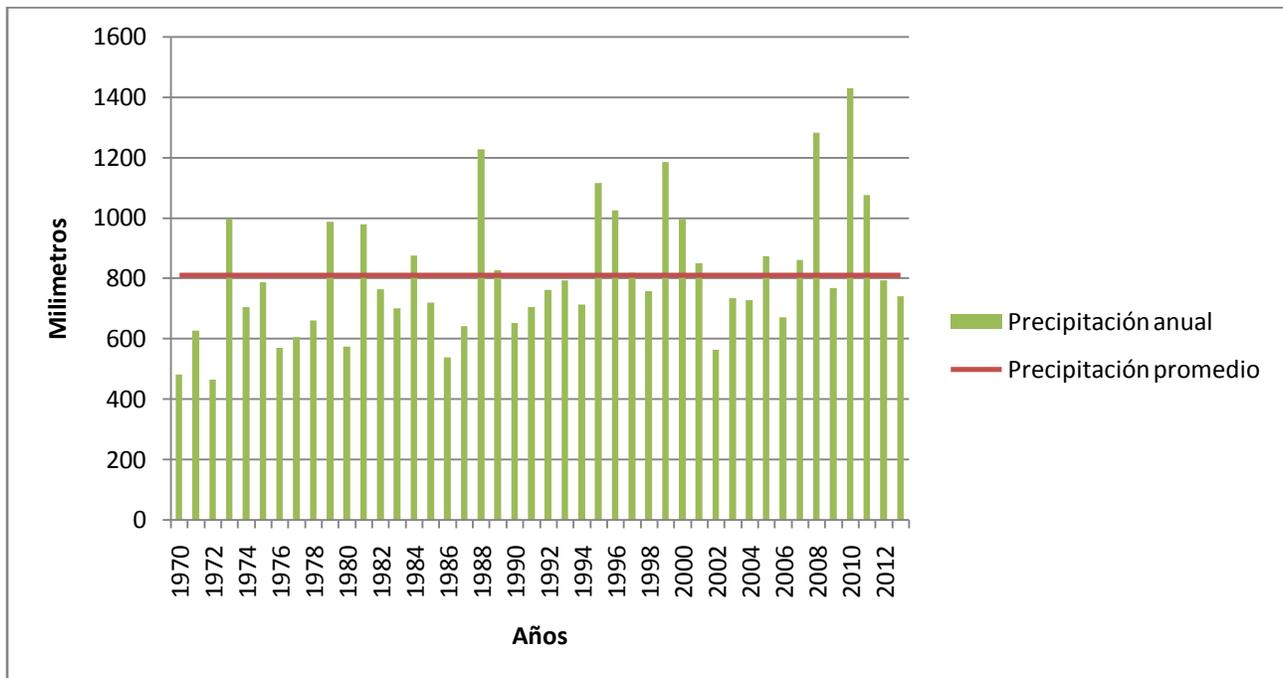


Figura 19. Comportamiento de la precipitación anual en la Estación La Fragua.

La Figura 20 muestra el comportamiento de la temperatura máxima en La Fragua en el periodo 1970-2013, se puede observar que las temperaturas se encuentran entre los

33 y 34° C. La Figura 21 presenta el comportamiento del promedio anual de temperatura mínima en La Fragua, mostrando valores desde los 19 a los 22° C.

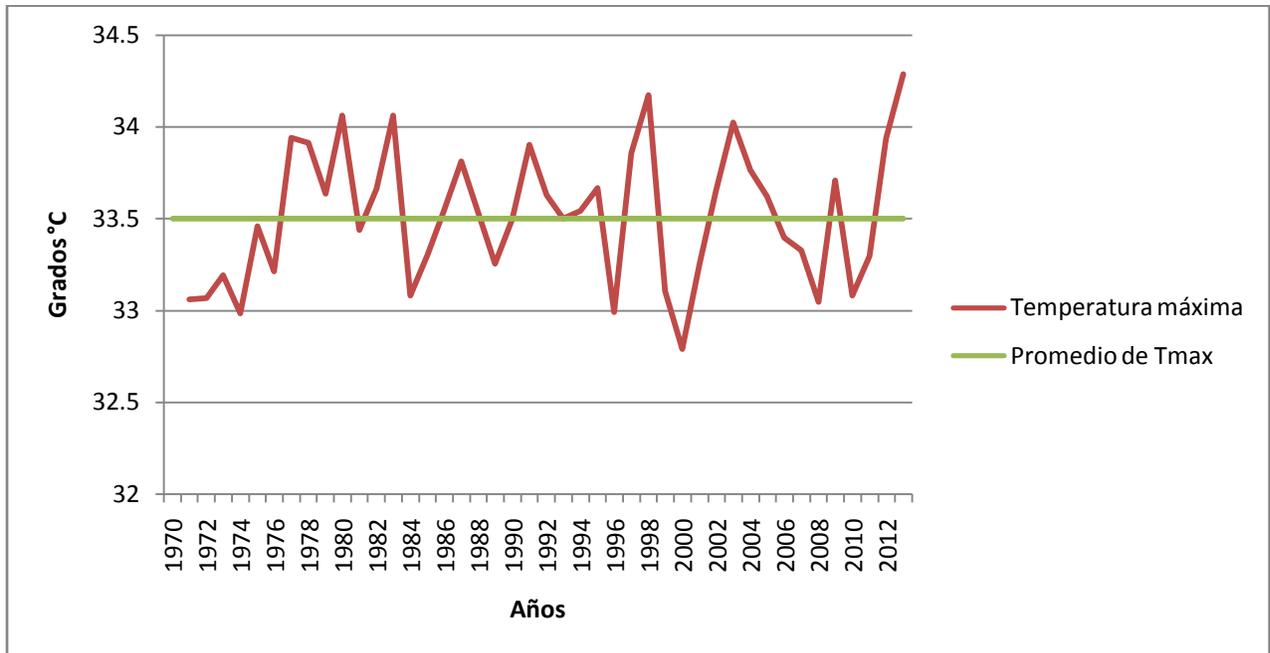


Figura 20. Comportamiento de la temperatura máxima anual en la Estación La Fragua.

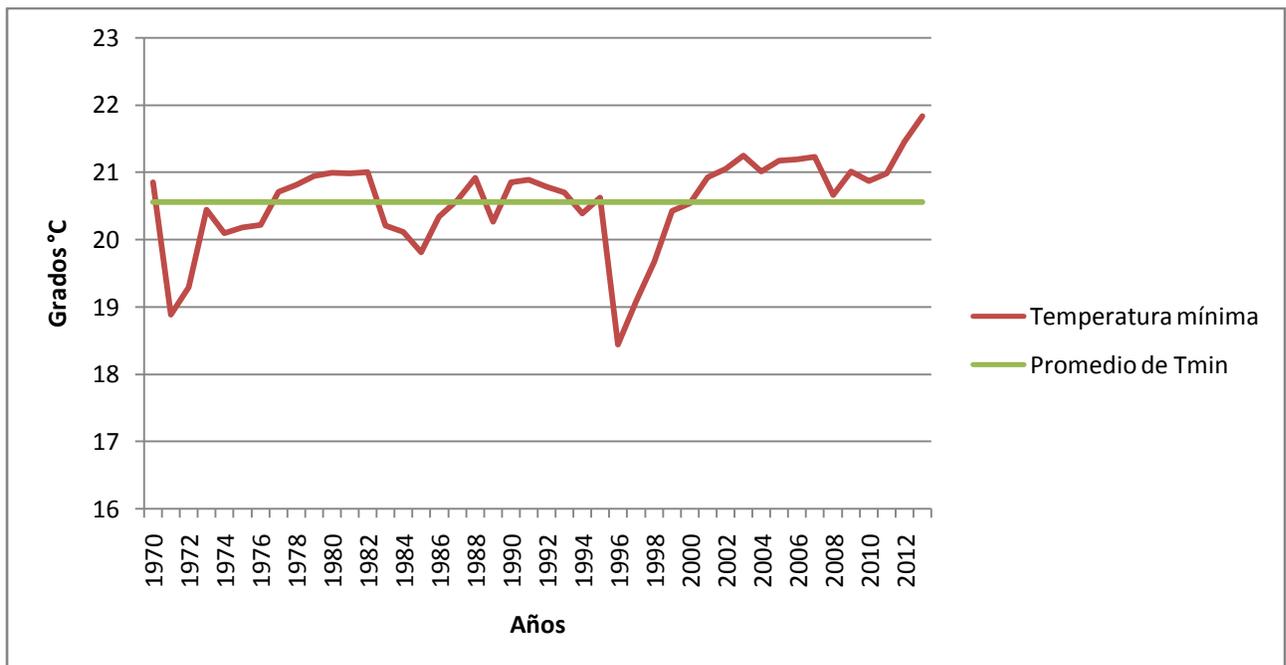


Figura 21. Comportamiento de la temperatura mínima anual en la Estación La Fragua.

Según IARNA-URL (2014), la zona de vida del Bosque muy Seco Tropical como La Fragua, Zacapa, cuenta con características climáticas donde la precipitación anual se encuentra entre 577 y 1,033 mm, y la temperatura promedio anual entre los 23.10 y 27.40° C. De acuerdo a la Figura 19, la precipitación anual en esta zona tiene un promedio de 810 mm, teniendo una mayoría de años por debajo de dicho valor, llegando incluso hasta 450 mm de precipitación en el año 1972, lo que indica que el lugar es bastante seco y concuerda con los datos mencionados. Sin embargo, también se indica que en los últimos años (2005-2012) se ha registrado un ligero aumento en la precipitación, ya que incluso se alcanzaron los mayores picos de precipitación en los años 2008 y 2010 con 1,300 y 1,400 mm respectivamente, estando por encima de los valores de la literatura mencionada.

Respecto a la temperatura en La Fragua, se puede observar en las figuras 20 y 21 que los promedios anuales de temperaturas mínimas y máximas es de 20.65° C y 33.5° C respectivamente, encontrándose fuera del rango de la literatura citada anteriormente. Desde el año 2000, la temperatura mínima ha sufrido un leve aumento y no se presentan temperaturas por debajo del promedio, en el caso de las temperaturas máximas también han sufrido algunos aumentos, tal es el caso del año 1997, 2003 y 2013, lo que indica que fueron años bastante cálidos, por encima de los 34° C.

Según IARNA-URL (2011), los bosques muy secos como La Fragua, Zacapa, serán los más afectados por el cambio climático local, ya que son sensibles a la disminución de la precipitación, esto no coincide con los resultados que se presentan, ya que se observa que la precipitación ha tenido un ligero aumento en comparación con las décadas anteriores al 2000. Sin embargo, se debe mencionar que las temperaturas han tenido aumentos, por lo que ésta zona de vida se podría tornar más cálida dentro de algunos años, concordando con la investigación de IARNA-URL (2012), donde se afirma que en Guatemala la temperatura tendrá incrementos a nivel nacional, según registros meteorológicos históricos.

En las figuras 22 a la 27 la línea sólida indica tendencias calculadas por regresión lineal de mínimos cuadrados y la línea punteada tendencias de regresión lineal con ponderamientos locales. La Figura 22 presenta la cantidad de milímetros que precipitan (eje Y) anualmente en los días muy húmedos (R95p) en La Fragua.

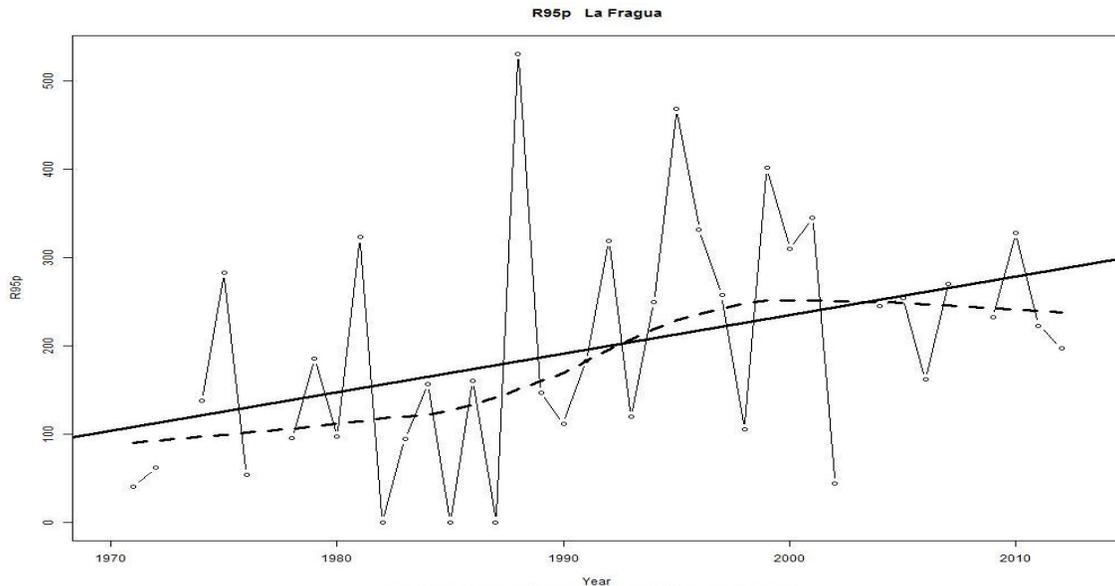


Figura 22. Precipitación en días muy húmedos en Estación La Fragua.

La Figura 23 presenta la cantidad de lluvia promedio en días húmedos para la Estación La Fragua en el periodo de 1970-2013.

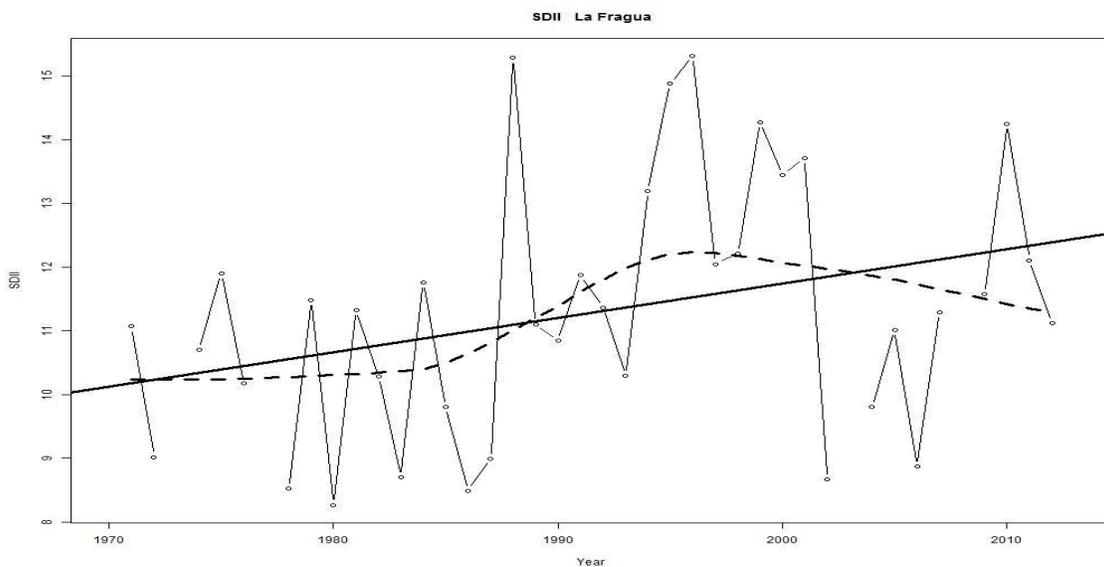


Figura 23. Precipitación promedio en días húmedos en Estación La Fragua.

En la Figura 24 se puede ver la precipitación total anual desde el año 1970 hasta el 2013.

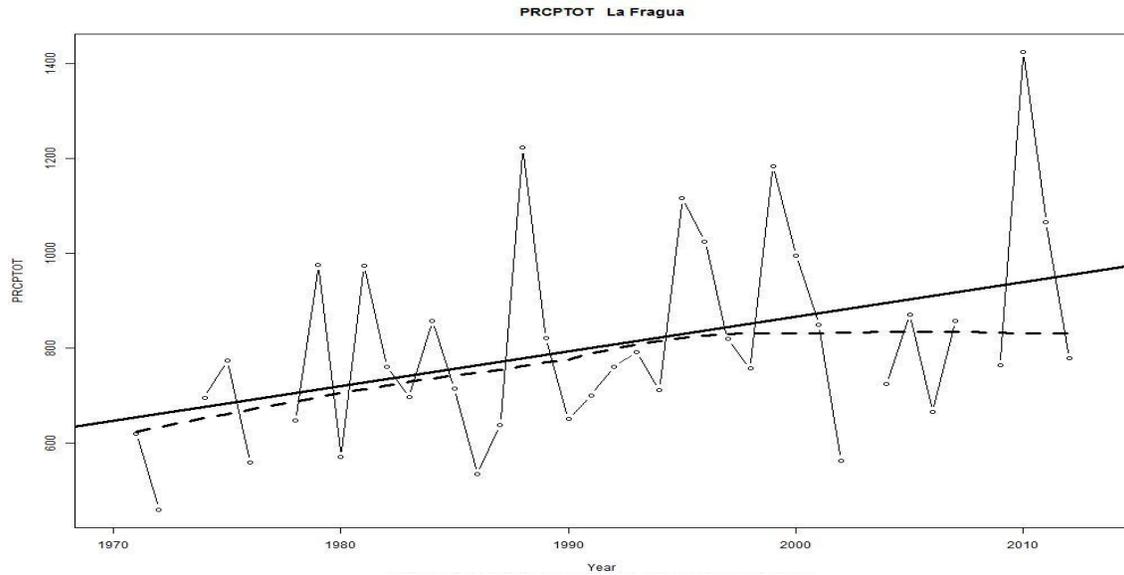


Figura 24. Comportamiento de la precipitación anual en Estación La Fragua.

La Figura 25 presenta el comportamiento del rango diario de temperatura (DTR), es decir la diferencia en grados Celsius (eje Y) entre los valores de la temperatura máxima y mínima, en el periodo de 1970-2013 (eje X).

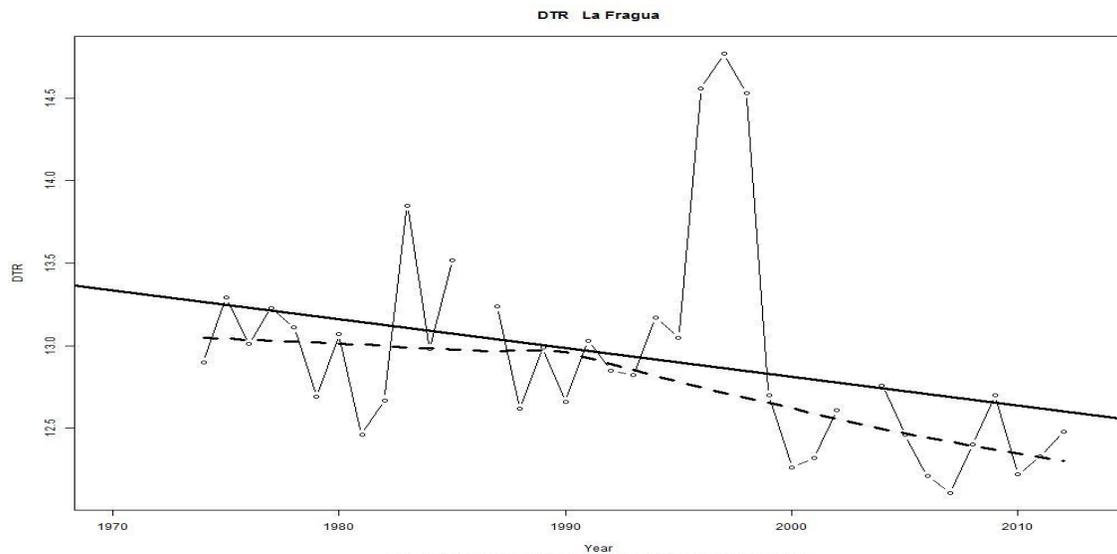


Figura 25. Comportamiento del Rango diario de temperatura en Estación La Fragua.

La Figura 26 presenta las temperaturas mínimas extremas y la Figura 27 presenta las temperaturas máximas extremas registradas en la Estación la Fragua en el periodo 1970-2013.

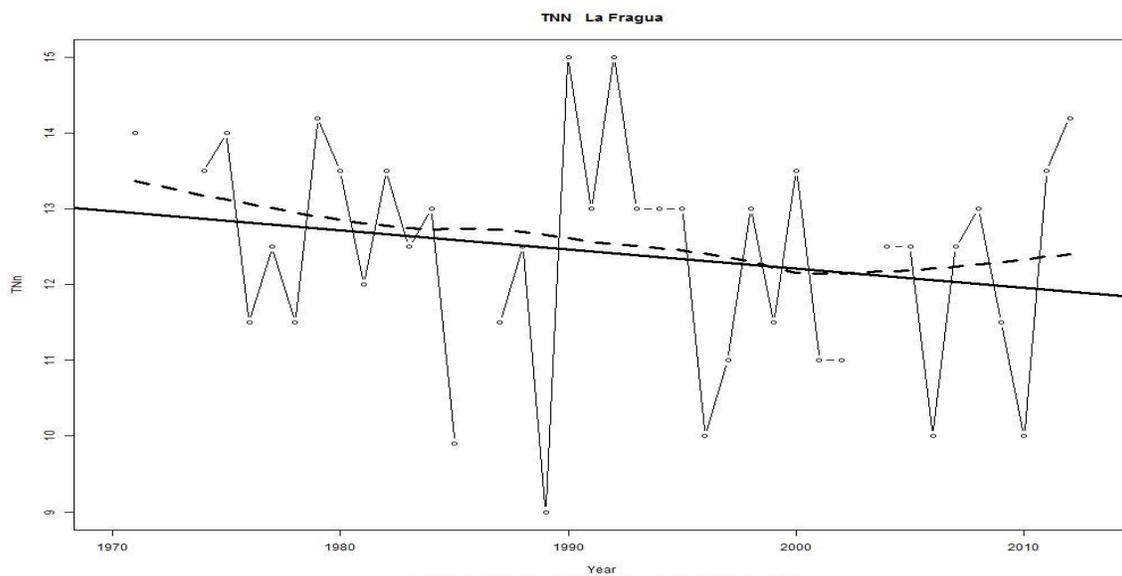


Figura 26. Temperaturas mínimas extremas en Estación La Fragua.

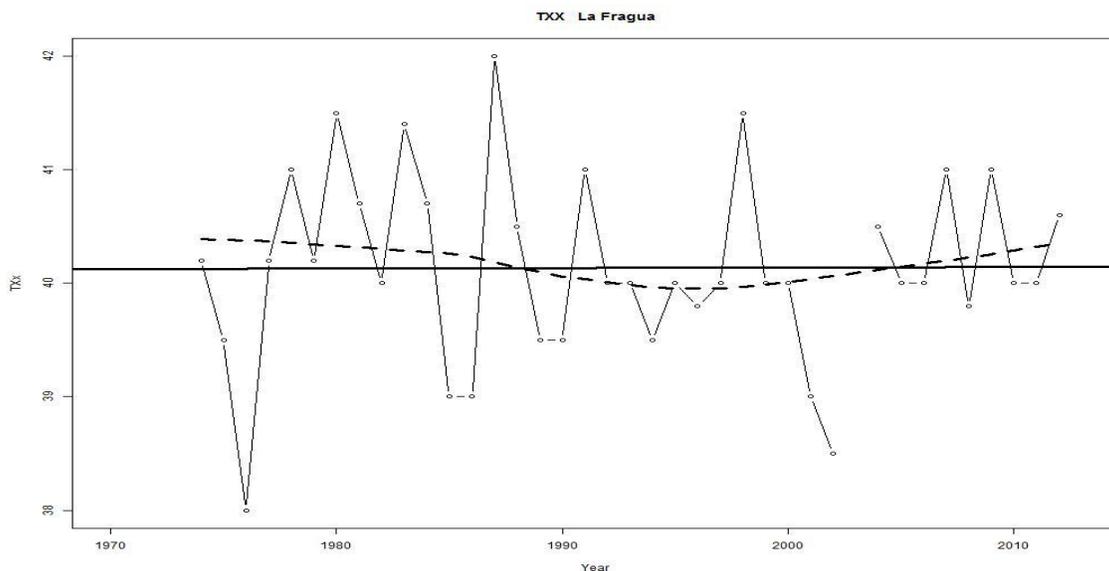


Figura 27. Temperaturas máximas extremas en Estación La Fragua.

La Figura 22 refleja que la precipitación en días muy húmedos (R95p) ha estado incluso por encima de los 450 y 500 mm en los años 1988 y 1994 respectivamente. Desde 1970 se ha tenido un aumento significativo, respaldado con un P-value de 0.013.

En la Figura 23 se puede observar que la precipitación promedio en días húmedos (SDII) ha llegado hasta 15 mm/día en 1988, lo cual es bastante alto para ser una zona de vida muy seca, donde solamente precipitan 800 mm al año. También se observa que la precipitación promedio en días húmedos ha tenido un aumento significativo (P-value 0.046), coincidiendo con el R95p y con lo presentado en la Figura 24, donde se toma en cuenta la precipitación total anual y hay un aumento significativo (P-value 0.009), confirmando que en La Fragua ha habido un aumento significativo de precipitación.

En la Figura 25 se puede ver que la diferencia entre los valores de temperatura mínima y máxima (DTR) ha tenido un descenso, sin embargo según el P-value de la gráfica no es un cambio significativo (0.057). La mayor diferencia entre temperatura máxima y mínima se registró en el año 1997, llegando a casi 15° C, mientras que la menor diferencia fue registrada en 2007 con 12° C. A lo largo del periodo 1970-2013 se puede ver que la mayoría de años reporta una diferencia por debajo de los 13° C, pero a partir del año 2000 las diferencias se han mantenido en los 11 y 12° C.

En la Figura 26 se observa que las temperaturas mínimas extremas en La Fragua han disminuído de manera no significativa (P-value 0.213), sin embargo desde el año 1989 las temperaturas han alcanzado los valores más extremos llegando en 1990 y 1991 hasta 15° C y en 1989 a 9° C. A partir del año 1996 se puede notar que las temperaturas han sufrido un descenso marcado, alcanzando temperaturas bastante bajas, tomando en cuenta que es una zona de vida que tiene una temperatura mínima promedio de 20.5° C.

Por su parte la Figura 27 muestra el comportamiento de las temperaturas máximas extremas en el periodo de 1970-2013, reflejando que la tendencia es bastante estable, no muestra movimiento y tampoco es significativo (P-value 0.971). Es importante mencionar que la mayoría de temperaturas extremas se encuentran por encima de los 40° C, lo cual muestra que es una zona de vida extremadamente cálida, sin embargo en los últimos años no se observan grandes aumentos o valores extremos como el registrado en 1987 que fue de 42° C.

Jiménez, Chain & Locatelli (2011), encontraron que el Bosque muy Seco Tropical para el periodo 2011-2040 será una de las zonas menos afectadas por el cambio climático, ya que su clima no sufrirá cambios tan considerables. Sin embargo, también mencionan que para el 2080 será una de las zonas de vida que más se expandirá ya que la precipitación disminuirá y la temperatura aumentará significativamente. De acuerdo a los resultados anteriormente presentados la precipitación ha tenido un aumento significativo, mientras que las temperaturas son bastante variables, ya que la máxima aumenta y la mínima disminuye, en los dos casos no significativamente.

9.1.2 Bosque Seco Tropical: Estación Puerto de San José, Escuintla

En la Figura 28 se presenta el comportamiento de la precipitación total anual del Bosque Seco Tropical, de acuerdo a los datos registrados en la Estación Puerto de San José en el periodo 1970-2013, se puede ver que a partir del año 2005 ha habido un aumento en la precipitación, ya que la mayoría de años se encuentran por encima del promedio (1475 mm).

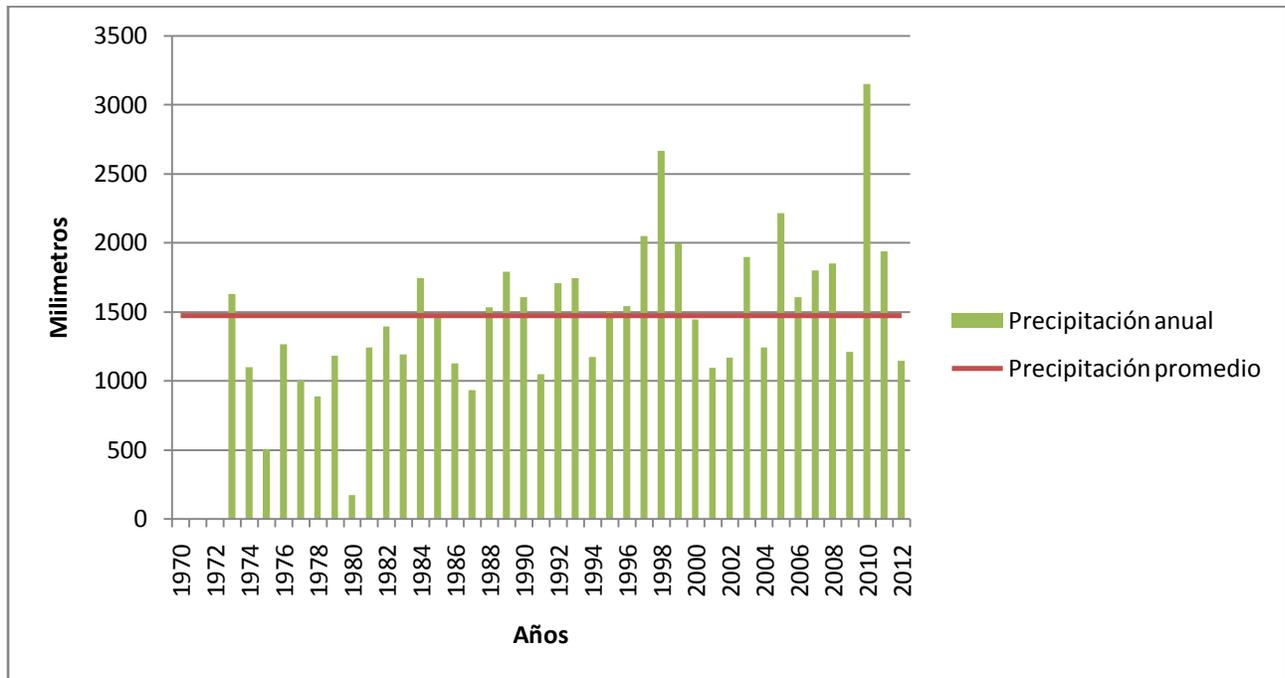


Figura 28. Comportamiento de la precipitación anual en la Estación Puerto de San José.

La Figura 29 muestra el comportamiento anual de la temperatura máxima en el Bosque Seco Tropical, se puede observar que la temperatura se ha mantenido en el rango de los 30 y 35° C desde el año 1973, y de hecho todos los valores son cercanos al promedio de la temperatura (32.35° C) en el periodo de 1970-2013. La Figura 30 presenta el comportamiento anual de la temperatura mínima, en la misma se observa que la temperatura se ha mantenido entre los 20 y 22° C, teniendo un gran acercamiento al promedio (21.21° C) de todo el periodo analizado.

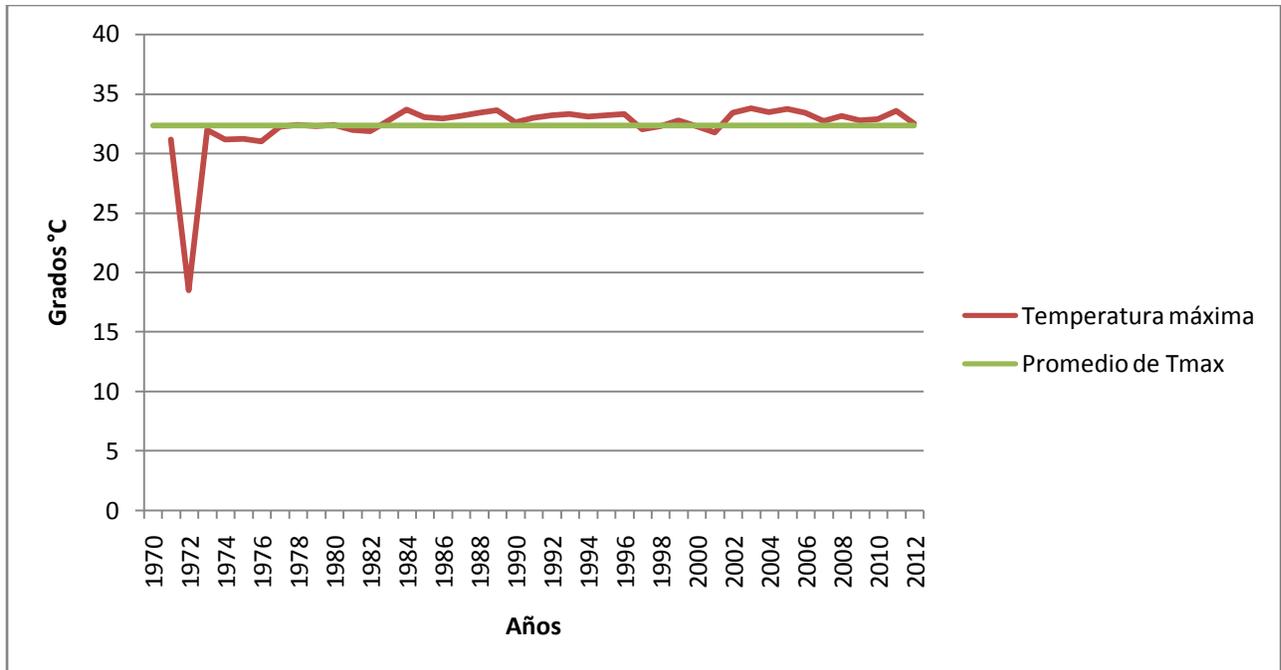


Figura 29. Comportamiento de la temperatura máxima en la Estación Puerto de San José.

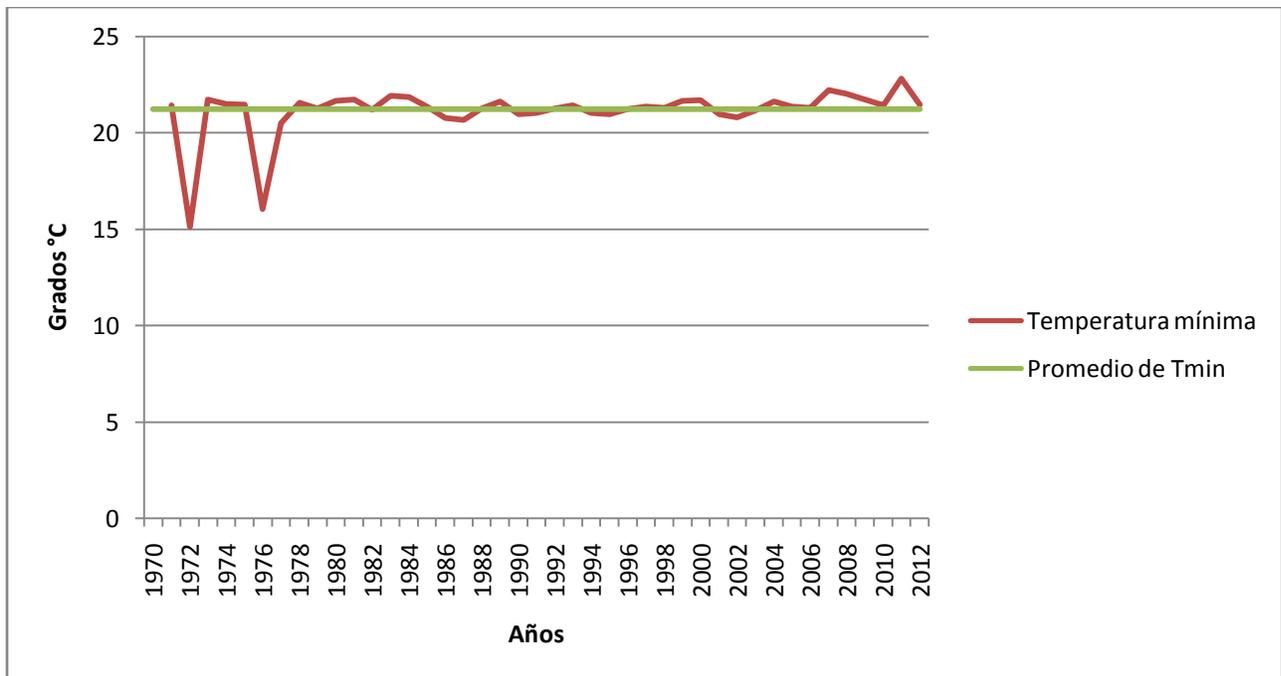


Figura 30. Comportamiento de la temperatura mínima anual en la Estación Puerto de San José.

El Bosque Seco Tropical (bs-T) se caracteriza por contar con una precipitación anual entre 705 y 1,863 mm y temperatura promedio anual entre los 22.6 y los 28.3° C (IARNA-URL, 2014). En la Figura 28 se observa que la precipitación anual desde 1970 a 2013 ha sufrido constantes cambios. Se debe resaltar que los años 1970, 1971 y 1972 carecen de datos, asimismo los años 1975 y 1980 tienen muchos datos faltantes y es por eso que la precipitación es tan baja. Se puede ver que con el paso de los años la precipitación ha aumentado, ya que cada vez presenta valores más altos, tal es el caso de los años 1984, 1989, 1993, 1997, 1998, 2003, 2005 y el 2010 donde hubo una precipitación anual de más de 3,000 mm, estando por encima de la literatura anteriormente citada. Por otro lado también es importante mencionar que ha habido años secos, como 1977, 1978 y 1987, donde la precipitación ha estado por debajo de los 1000 mm.

Según el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt Colombia (2014), los bosques secos tropicales se encuentran en tierras bajas y se caracterizan por presentar una fuerte estacionalidad de lluvias, sin embargo se presume que actualmente son los ecosistemas más amenazados por la actividad antropogénica y por el cambio climático, ya que presentarán un déficit hídrico que los lleve a la desertificación. Según el comportamiento de la precipitación (Figura 28) se infiere que ha habido un pequeño aumento, existe la tendencia a un incremento, pero se presentan años con valores altos de precipitación, lo cual indica que los eventos meteorológicos extremos son los que más incrementan dichos valores.

La Figura 29 muestra el comportamiento de la temperatura máxima en el Bosque Seco Tropical, el año 1972 tiene muchos datos faltantes, y la mayoría de los datos que se encuentran son de los meses más fríos (noviembre, diciembre y enero) por tal razón hay un fuerte descenso en la temperatura en dicho año, llegando a los 20° C, lo cual no es característico de la zona, ya que normalmente tiene temperaturas más cálidas. En general, la temperatura máxima se ha mantenido bastante constante en todo el periodo 1970-2013, ya que su mayor pico ha sido 34° C y el menor 30.5° C (no tomando en cuenta los años con datos faltantes), reflejando que no ha tenido aumento ni incremento, ya que incluso todos los valores se encuentran bastante cerca del

promedio total del periodo analizado, indicando que no hay variabilidad en la temperatura máxima.

El comportamiento anual de temperatura mínima se ve reflejado en la Figura 30, la gráfica muestra que las temperaturas mínimas se han mantenido bastante constantes, al igual que las temperaturas máximas anteriormente presentadas, ya que la mayoría se encuentran entre los 21 y 22° C, presentando pequeños aumentos en los años 2007 y 2011, donde las temperaturas llegaron hasta los 23 y 23.5° C respectivamente. Se debe mencionar que los años 1972 y 1976 tienen muchos datos faltantes y por tal razón sus valores varían tanto de los demás, presentando diferencias significativas que llegan hasta los 15° C. En general, las temperaturas mínimas no presentan variabilidad, ya que sus valores están cercanos al promedio general (21.21° C) del periodo analizado 1970-2013.

En las figuras 31 a la 36 la línea sólida indica tendencias calculadas por regresión lineal de mínimos cuadrados y la línea punteada tendencias de regresión lineal con ponderamientos locales. La Figura 31 presenta la precipitación en días muy húmedos (días con mucha lluvia) en la Estación Puerto de San José.

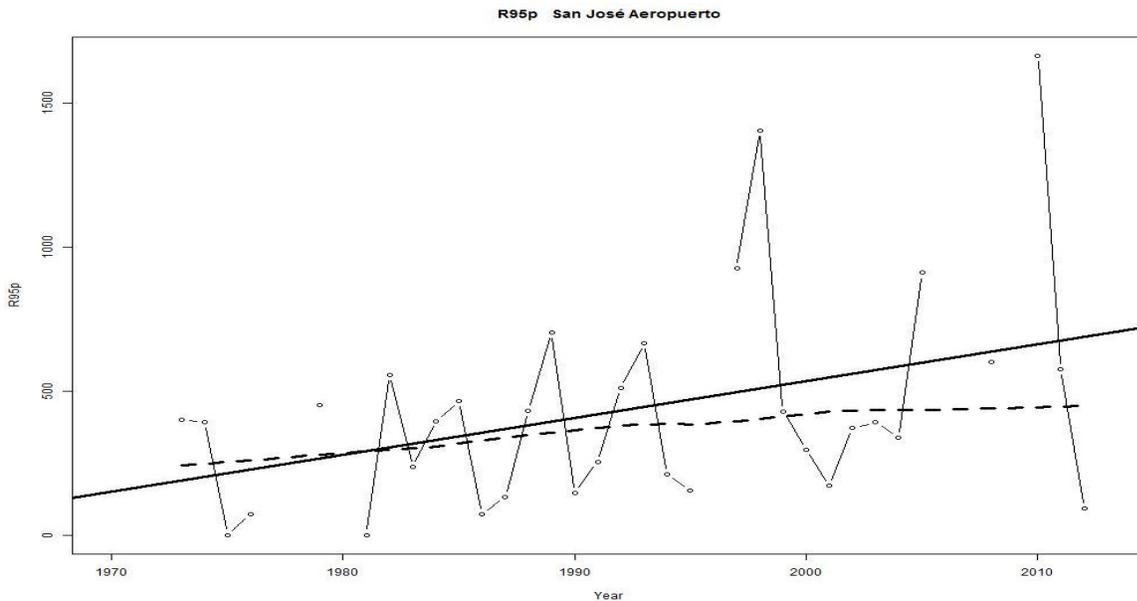


Figura 31. Precipitación en días muy húmedos en Estación Puerto de San José.

La Figura 32 presenta la precipitación promedio en días húmedos en la Estación Puerto de San José. La Figura 33 muestra el comportamiento de la precipitación anual en el periodo 1970-2013 en el Bosque Seco Tropical.

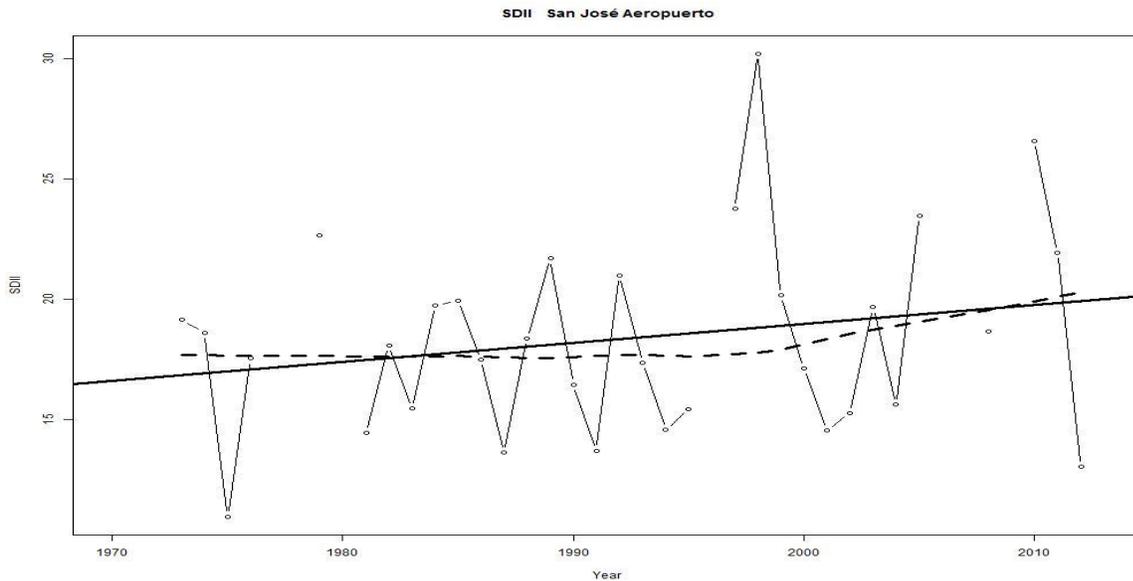


Figura 32. Precipitación promedio en días húmedos en Estación Puerto de San José.

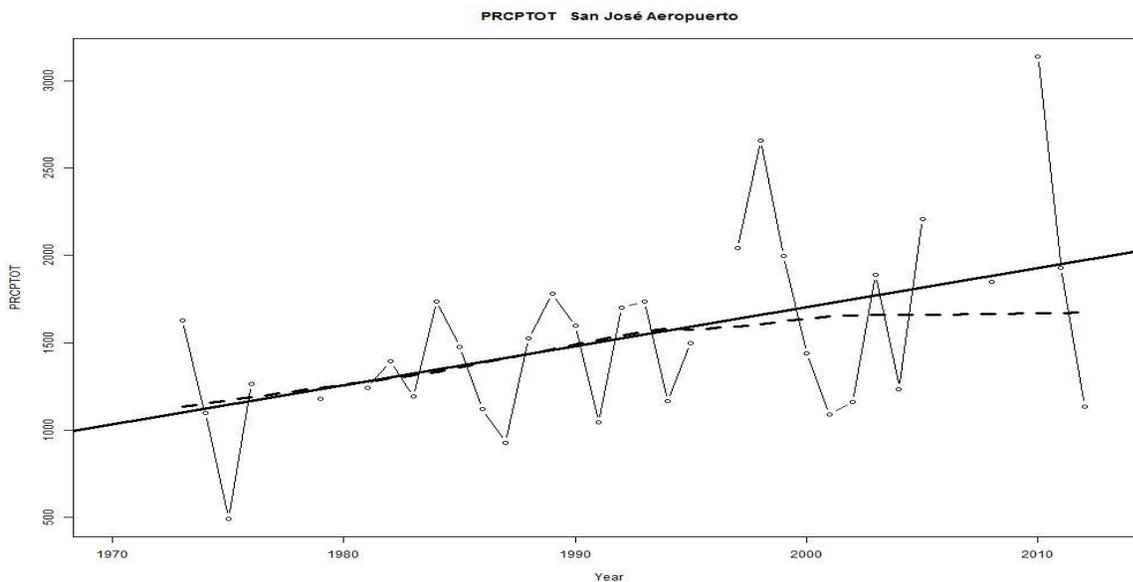


Figura 33. Comportamiento de la precipitación anual en Estación Puerto de San José.

La Figura 34 presenta las diferencias en grados Celsius entre las temperatura mínima y máxima de la Estación Puerto de San José. La Figura 35 muestra el comportamiento de las temperaturas mínimas extremas desde 1970-2013.

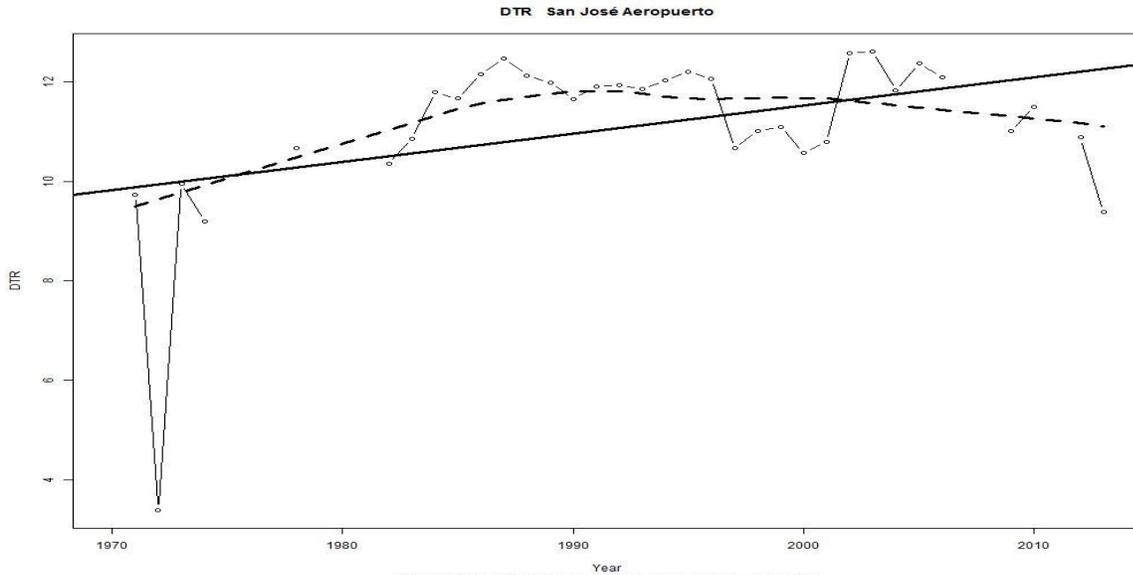


Figura 34. Comportamiento del Rango diario de temperatura en Estación Puerto de San José.

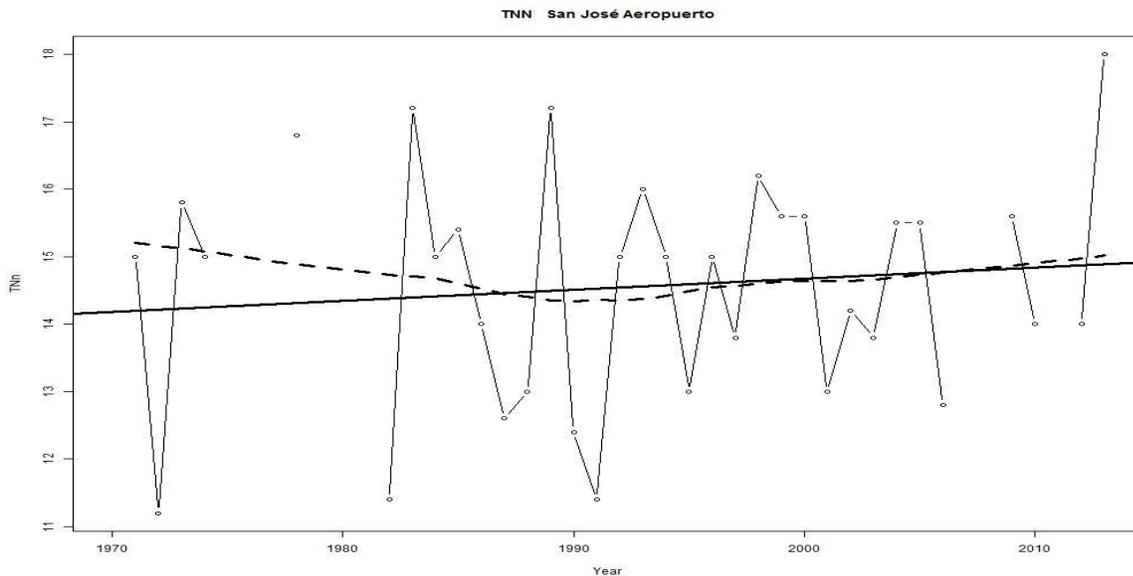


Figura 35. Temperaturas mínimas extremas en Estación Puerto de San José

La Figura 36 presenta el comportamiento de las temperatura máximas extremas en la Estación Puerto de San José.

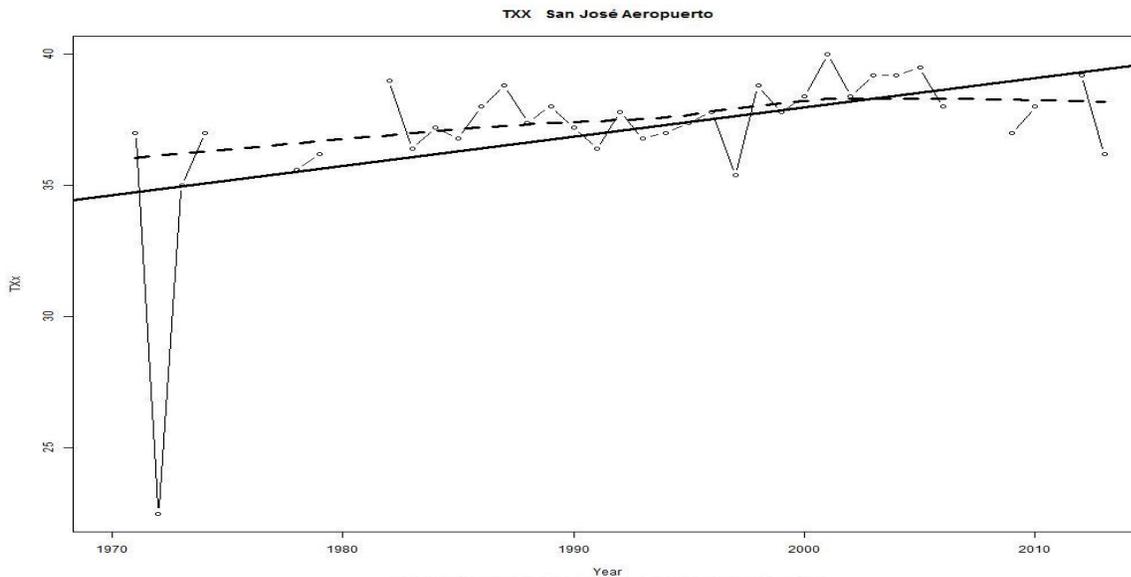


Figura 36. Temperaturas máximas extremas en Estación Puerto de San José.

La Figura 31 presenta la cantidad de precipitación en días muy húmedos al año (R95p). De acuerdo a la gráfica, la precipitación en días muy húmedos ha aumentado, indicando que los eventos extremos de lluvia han tenido incremento, llegando a tener valores de hasta 1600 mm en el año 2010. También es importante mencionar que en muchos años, principalmente las décadas de los 70's y 80's la mayoría de valores de precipitación han estado por debajo de los 250 mm, lo que indica que en estos años los eventos extremos fueron pocos, sin embargo esto no indica que hayan sido años secos, ya que no es un índice que tome en cuenta la precipitación total anual. El R95p ha tenido un aumento significativo (P-value 0.025) en el periodo 1970-2013, demostrando el aumento de los días con eventos extremos de lluvia.

En la Figura 32 se puede observar que el promedio de precipitación anual en días húmedos (SDII) ha aumentado, pero no significativamente (P-value 0.22). Los años 1998 y 2010 son los que presentan la mayor precipitación en días húmedos, llegando

alos30 mm/día. Sin embargo, a pesar de que hay dos años con precipitación alta en días húmedos, la mayoría presentan valores por debajo de los 15 mm/día.

El Bosque Seco Tropical se identifica por tener climas muy cálidos e incluso áridos donde la evapotranspiración supera ampliamente a la precipitación durante la mayor parte del año, presentando déficit de agua (Instituto Alexander von Humboldt Colombia, 1998). De acuerdo a la Figura 33 la precipitación total anual en la Estación Puerto de San José ha aumentado, con una significancia alta (P-value 0.004), con esto el déficit de agua que presenta la zona podría disminuir, ya que las diferencias entre la evapotranspiración y precipitación disminuyen a medida que esta última aumenta.

Respecto a la temperatura, en la Figura 34 el rango diurno de temperatura (DTR), presenta un aumento significativo (P-value 0.017), lo que indica que las temperaturas mínimas y máximas se han distanciado, llegando hasta los 13° C en los años 1986, 2002 y 2003. La Figura 35 refleja el comportamiento de las temperaturas mínimas extremas (TNN) en la Estación Puerto de San José, según la gráfica, la temperatura ha tenido un aumento no significativo respaldado por un P-value de 0.523, sin embargo es importante mencionar que se han presentado valores bajos, llegando incluso a los 12° C en 1982 y 1991 y valores altos como en 18° C en 2012. En general a lo largo del periodo analizado 1970-2013 las temperaturas mínimas extremas se han mantenido por encima de los 14° C.

La Figura 36 refleja el comportamiento de las temperaturas máximas extremas (TXX), teniendo un aumento significativo (P-value 0.005). La mayor temperatura alcanzada en el periodo analizado se dio en el año 2001, llegando a los 40° C, es importante mencionar que la mayoría de temperaturas máximas extremas que se han registrado en la Estación Puerto de San José han estado por encima de los 35° C, lo que indica que es una zona bastante cálida.

Jiménez, Chain & Locatelli (2011) aseguran que el bosque seco tropical en el futuro sufrirá muchos cambios, debido al cambio climático, principalmente a bosque húmedo tropical y en menor proporción a bosque muy seco tropical, debido a la disminución de

precipitación. De acuerdo a los resultados anteriormente presentados se puede deducir que el Bosque seco tropical puede convertirse en un futuro en bosque húmedo tropical, ya que su precipitación presenta una tendencia de aumento, lo cual lo hará un ecosistema más húmedo, además es mucho más probable, ya que son ecosistemas que presentan mayores similitudes (climáticas, biológicas, etc.) en comparación con el bosque muy seco tropical.

9.1.3 Bosque Húmedo Tropical: Estación Puerto Barrios, Izabal

En la Figura 37 se muestra el comportamiento de la precipitación anual en la Estación Puerto Barrios perteneciente a la zona de vida Bosque Húmedo Tropical. Se observa que la precipitación ha tenido un aumento notable, ya que desde la década de los 90's no han existido años con lluvia menor a los 2,400 mm, mientras que en años anteriores hubo algunos hasta con 1,700 mm de lluvia.

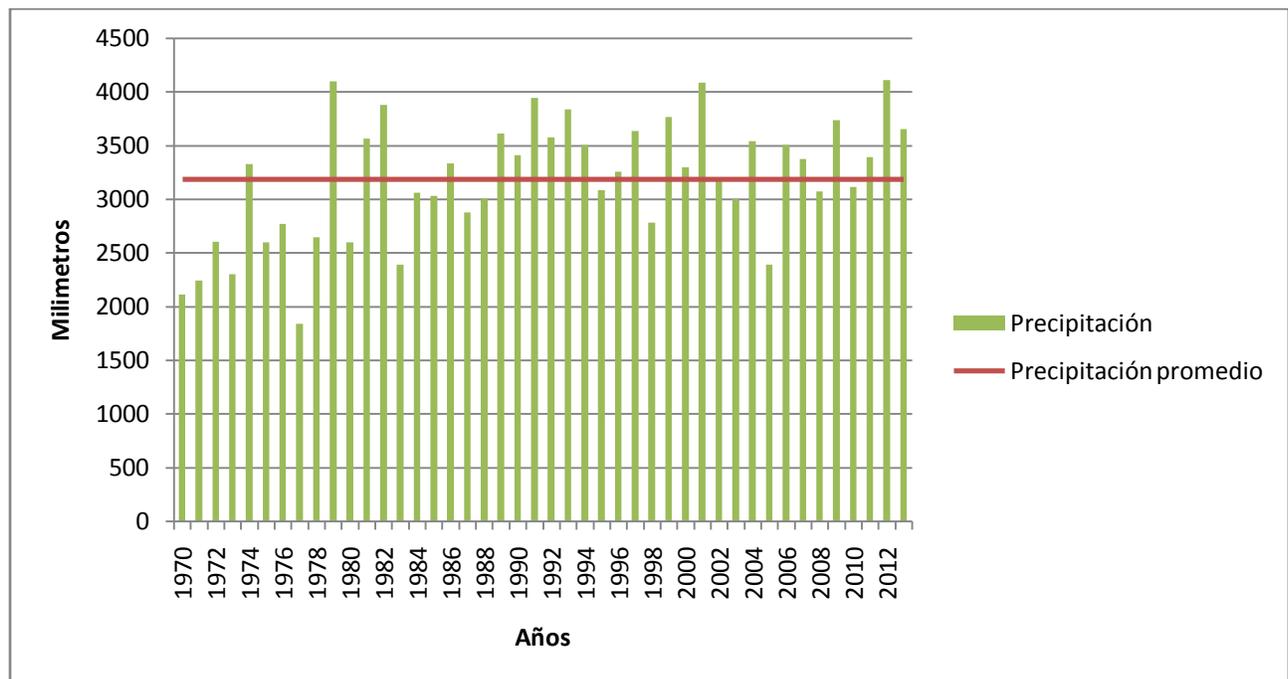


Figura 37. Comportamiento de la precipitación anual en la Estación Puerto Barrios.

En la Figura 38 se presenta el comportamiento del promedio anual de temperatura máxima para la Estación Puerto Barrios, se puede ver que el promedio general para el periodo analizado (1970-2013) es de 30.2° C, así como también que la temperatura máxima ha tenido aumento. La Figura 39 muestra el comportamiento del promedio anual de temperatura mínima para Puerto Barrios, en la misma se puede ver que la temperatura mínima también ha tenido un aumento.

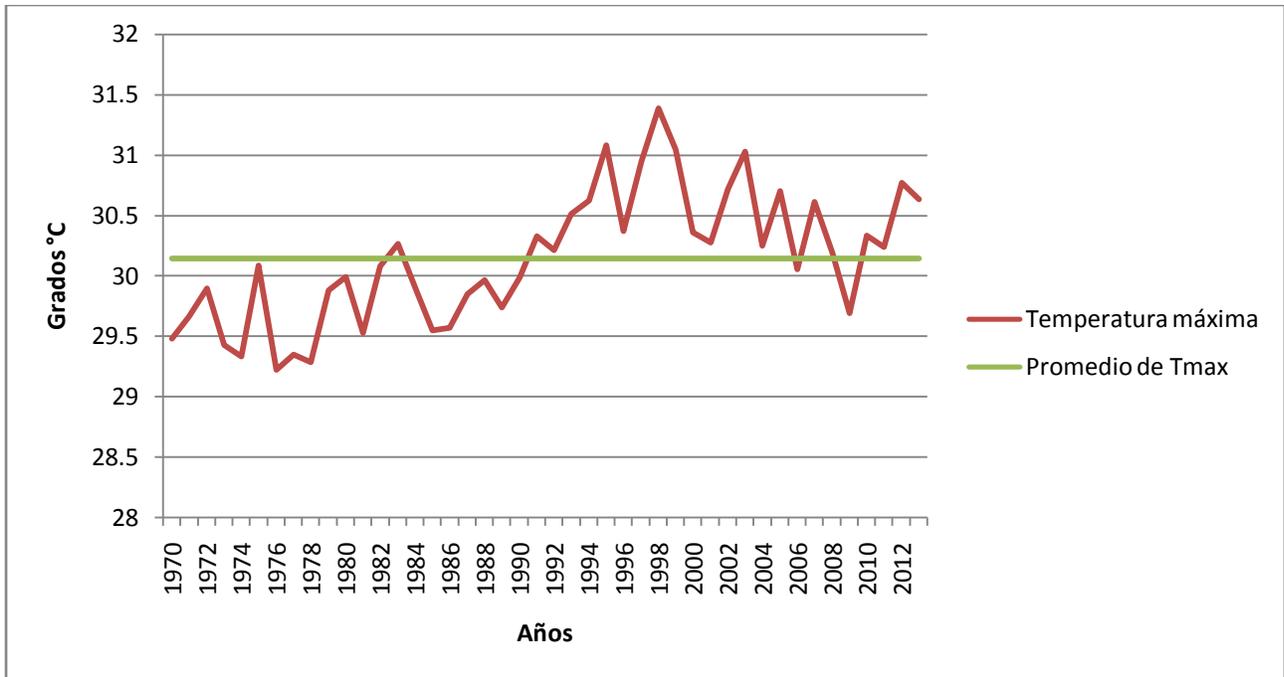


Figura 38. Comportamiento de la temperatura máxima anual en la Estación Puerto Barrios.

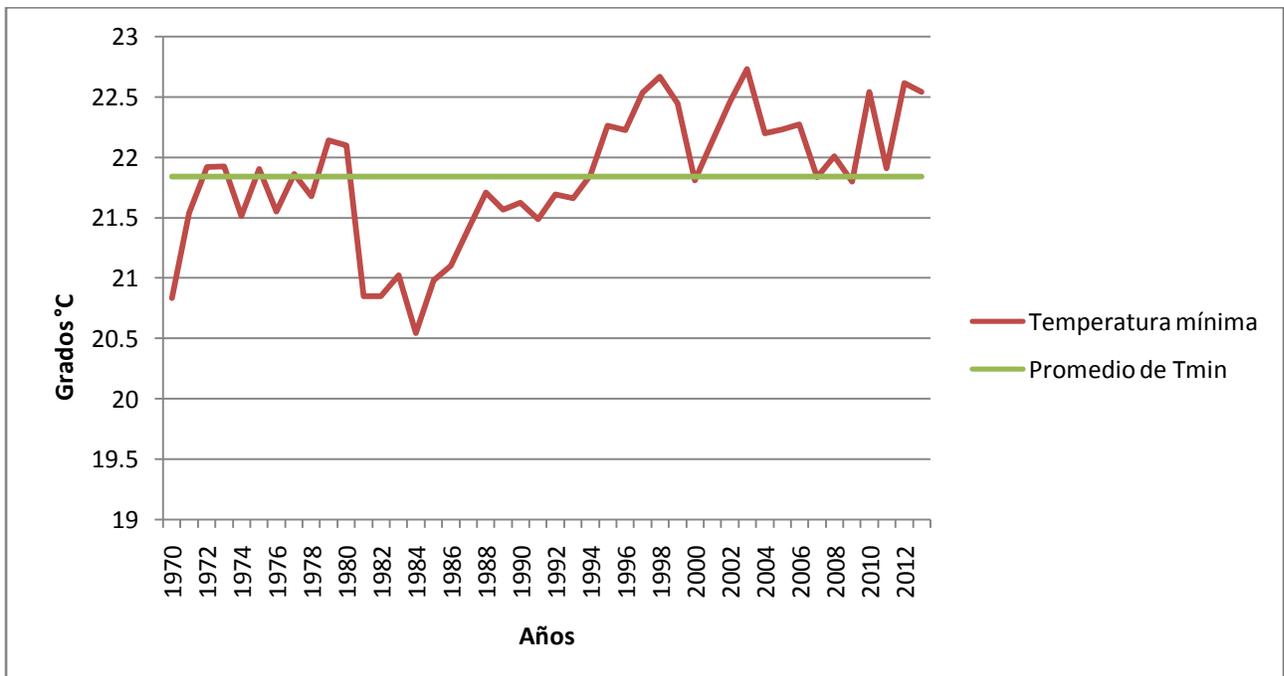


Figura 39. Comportamiento de la temperatura mínima anual en la Estación Puerto Barrios.

La Estación Puerto Barrios se encuentra en la zona de vida llamada Bosque Húmedo Tropical, esta se caracteriza por tener una precipitación anual entre 1,426 y 4,071 mm y temperatura promedio anual entre los 22.3 y 28.1° C (IARNA-URL, 2014). En la Figura 37 se puede observar que el comportamiento de la precipitación anual en esta zona de vida ha tenido aumentos, ya que la década de los 70's fue bastante seca en comparación de los demás años analizados, teniendo precipitaciones entre los 2,000 y 2,500 mm anuales, con excepción del año 1979 donde se registraron más de 4,000 mm de precipitación, se debe resaltar que todos los valores que se han registrado coinciden con la precipitación anual promedio que esta zona de vida tiene según la literatura anteriormente citada, sin embargo desde la década de los 80's ha habido un incremento en la precipitación, ya que la mayoría de años han estado por encima de los 3,000 mm que también se encuentra en el rango de precipitación promedio para dicha zona. Además se puede ver que la precipitación se ha mantenido bastante constante en cuanto a sus valores, exceptuando los años 1998 y 2005 de los cuales se puede deducir que fueron años bastante secos por la cantidad de lluvia que fue registrada.

Respecto a la temperatura se puede observar (Figura 38) que la temperatura máxima ha tenido variabilidad, ya que desde 1970 hasta 1990 los valores se encontraban por debajo del promedio (30.14° C), sin embargo a partir de 1991 se observa un aumento bastante notable, llegando incluso hasta los 31.4° C en el año 1997, por encima del promedio general del periodo analizado. Luego del aumento que se ha registrado en las temperaturas máximas desde la década de los 90's, los únicos años que tuvieron valores por debajo del promedio fueron 2006 y 2008, con lo que se demuestra que ha habido mucha variabilidad en sus valores. Algo importante de mencionar es que las temperaturas máximas no se encuentran dentro del rango que menciona la literatura anteriormente citada, debido a que los valores registrados según los resultados fueron más altos.

Las temperaturas mínimas (Figura 39) registradas en la Estación Puerto Barrios presentan mucha variabilidad, además sus valores poco coinciden con la literatura

citada, teniendo similitudes únicamente a partir de la década de los 90's. Se puede observar que desde 1970 a 1980 la temperatura se mantuvo entre los 21 y 22° C, sin embargo a partir de 1981 la temperatura mínima descendió hasta los 20.5° C, teniendo un aumento constante y llegando hasta los 22.7° C en 1998. Luego de esos movimientos constantes, la temperatura mínima se ha mantenido por encima del promedio general del periodo analizado (21.84° C), presentando incluso valores mayores a los 22.5° C.

En las figuras 40 a la 45 la línea sólida indica tendencias calculadas por regresión lineal de mínimos cuadrados y la línea punteada tendencias de regresión lineal con ponderamientos locales.

La Figura 40 muestra la precipitación en días muy húmedos en la Estación Puerto Barrios.

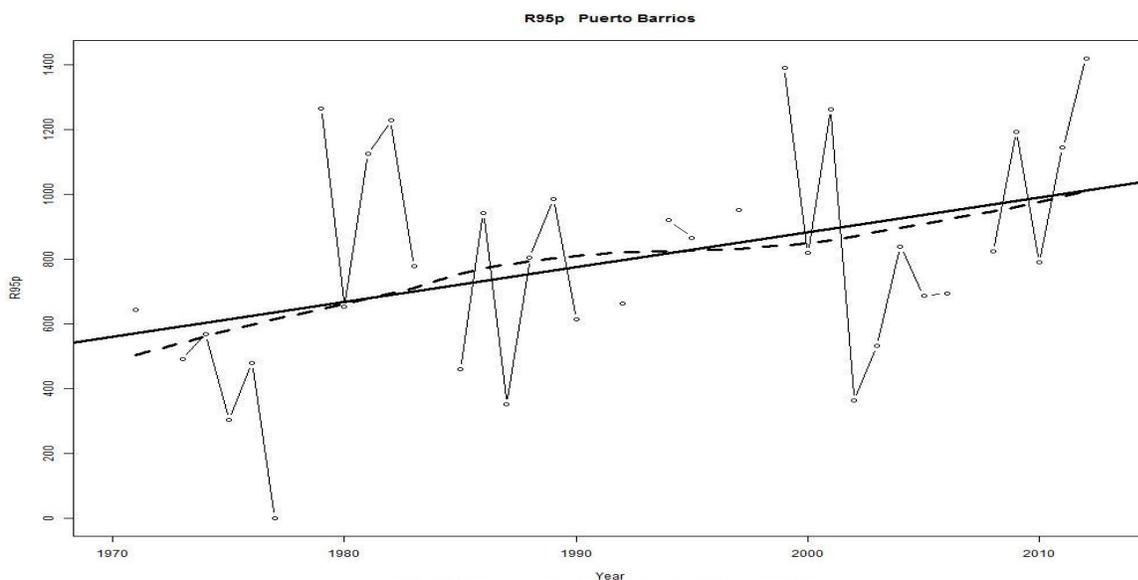


Figura 40. Precipitación en días muy húmedos en Estación Puerto Barrios.

En la Figura 41 se presenta la cantidad de lluvia promedio en días húmedos, en el periodo de 1970-2013.

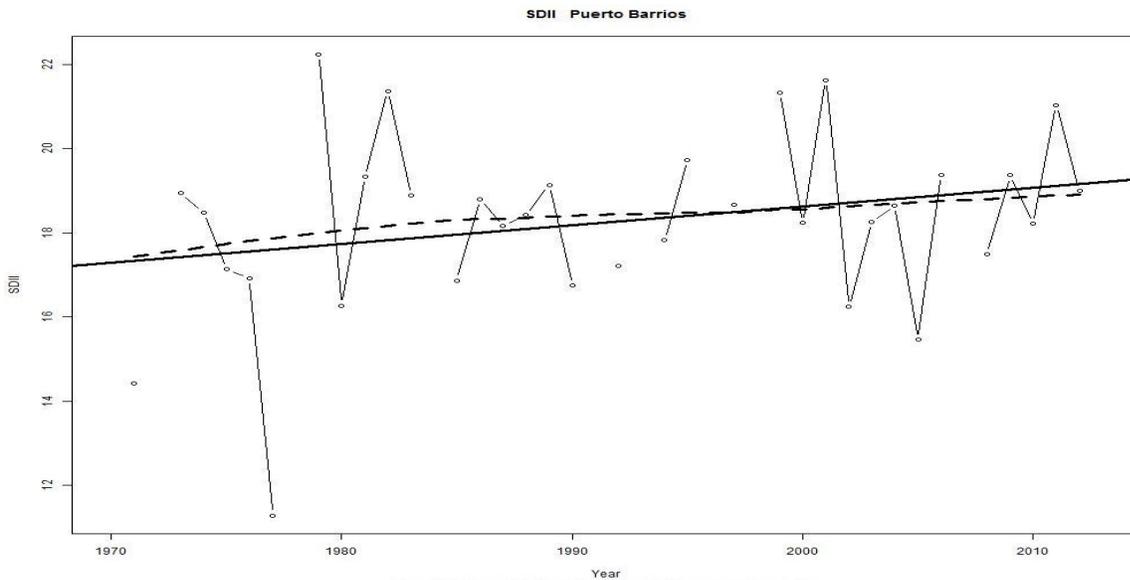


Figura 41. Precipitación promedio en días húmedos en Estación Puerto Barrios.

En la Figura 42 se puede observar el comportamiento de la precipitación total anual de la Estación Puerto Barrios. La Figura 43 muestra el rango diario de temperatura en el periodo de 1970-2013 de la Estación Puerto Barrios.

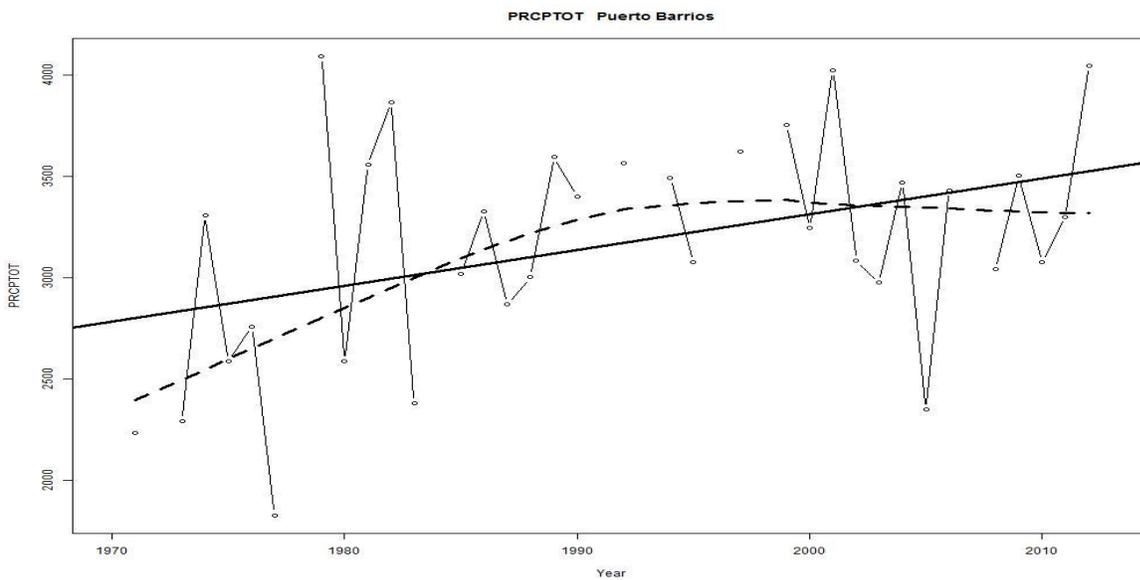


Figura 42. Comportamiento de la precipitación anual en Estación Puerto Barrios.

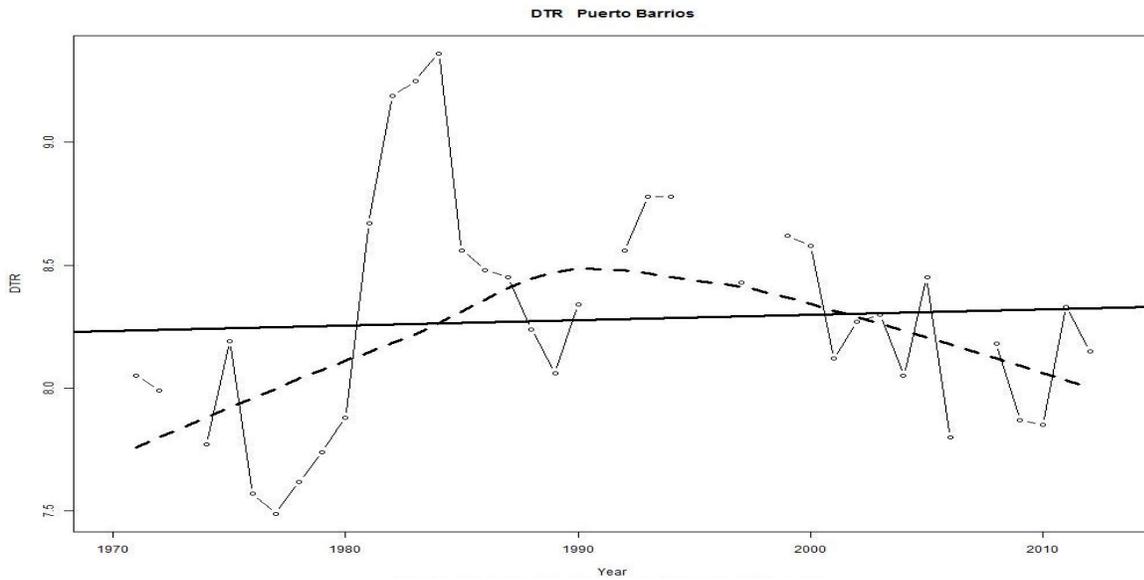


Figura 43. Comportamiento del Rango diario de temperatura en Estación Puerto Barrios.

La Figura 44 presenta el comportamiento de las temperaturas mínimas extremas, y en la Figura 45 se observa el comportamiento de las temperaturas máximas extremas en la Estación Puerto Barrios en el periodo de 1970-2013.

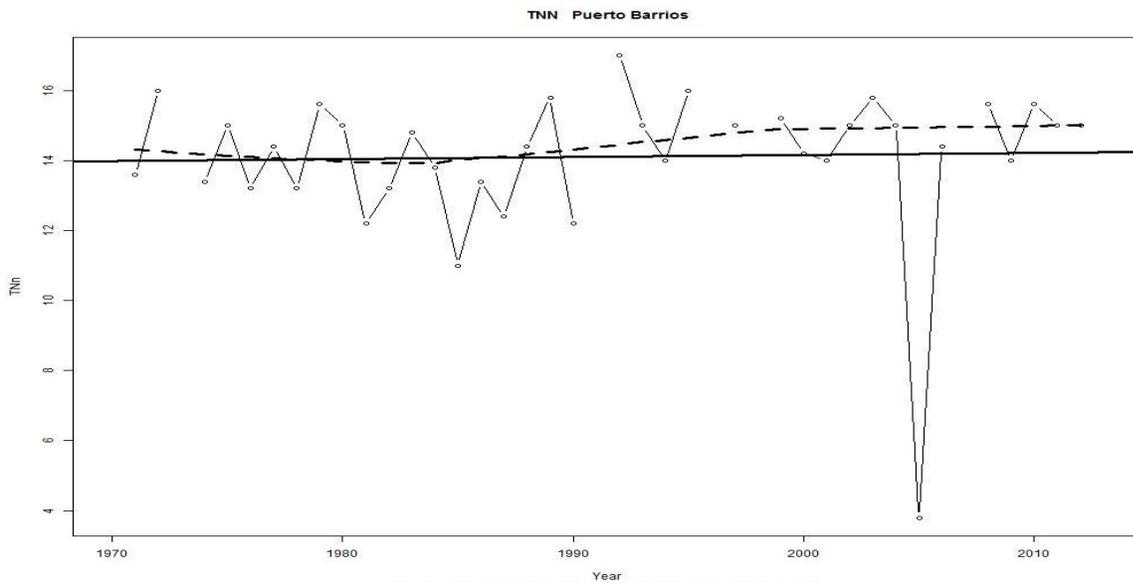


Figura 44. Temperaturas mínimas extremas en Estación Puerto Barrios.

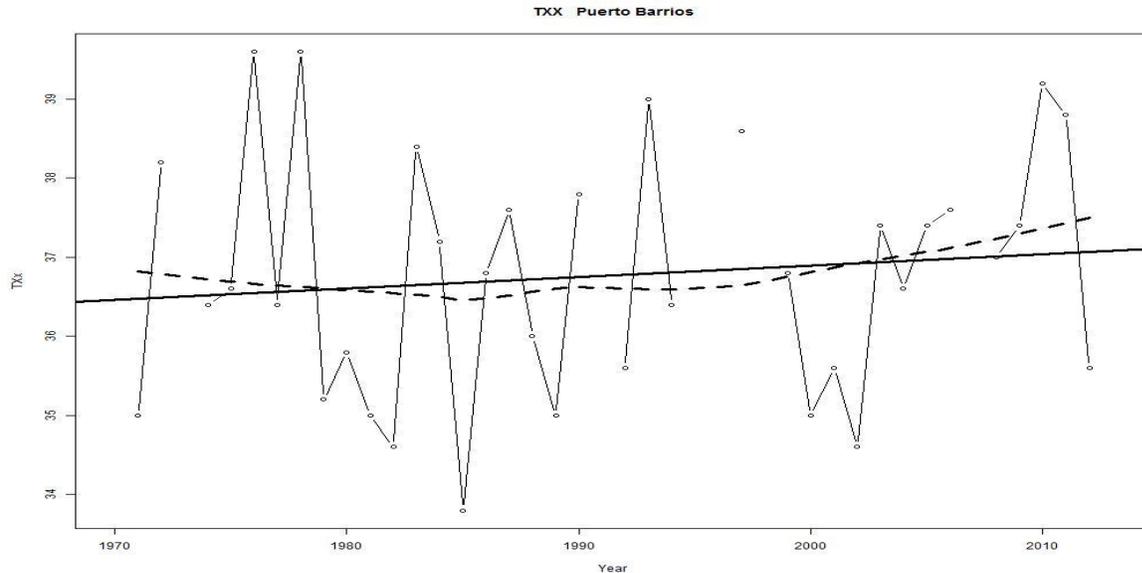


Figura 45. Temperaturas máximas extremas en Estación Puerto Barrios.

De acuerdo a una investigación realizada en Costa Rica, la zona de vida del Bosque Húmedo tropical en un futuro tendrá una transición hacia Bosque Seco Tropical de aproximadamente un 8% de su extensión, además se estima que será una de las zonas de vida más afectadas por el cambio climático para el año 2020 (Jiménez, Chain & Locatelli, 2011)

Según los resultados obtenidos en el software RClimDex la precipitación en días muy húmedos (Figura 40) ha tenido un aumento significativo (P-value 0.018), teniendo extremos de 1,400 mm en los años 1998 y 2012 y 0 mm en 1977. La precipitación anual promedio en días húmedos (Figura 41) también ha tenido un incremento, pero no es significativo (P-value 0.134), sin embargo se han registrado eventos de 0 mm/día en 1977 y 22 mm/día en 1979. Respecto a la precipitación total anual (Figura 42) se observa un aumento significativo (P-value 0.019), teniendo años (1979, 2000 y 2012) con precipitaciones cercanas a los 4,000 mm y otros (1977) con 0 mm. De acuerdo a dichos resultados se puede deducir que la precipitación ha tenido un incremento mayormente en los días muy húmedos (R95p).

En cuanto a la temperatura, el rango diurno de temperatura (Figura 43) ha tenido un aumento poco notable, no significativo (P-value 0.728), con lo que se demuestra que la temperatura mínima y la máxima no han tenido un distanciamiento importante en la escala de medición ($^{\circ}\text{C}$), sin embargo, se puede notar que ha habido mucha variabilidad, ya que las diferencias entre temperaturas máximas y mínimas han ido desde los 7.7°C en 1970 hasta los 9.4°C en los 80's, manteniéndose entre los 8 y 8.5°C a partir de la década de los 90's. Las temperaturas mínimas extremas (Figura 44) tampoco han tenido un aumento significativo (P-value 0.845) en grados Celsius, debido a que se han mantenido mayormente entre los 12 y 16°C , teniendo un valor extremo importante en 2005 con 4°C y en 1991 con 16.5°C . Las temperaturas máximas extremas (Figura 45) a pesar de no mostrar un aumento significativo (P-value 0.495) presentan una gran variabilidad, ya que en la década de los 70's se llegó a tener temperaturas extremas de casi 40°C , pero en la década de los 80's las temperaturas disminuyeron hasta los 34°C , teniendo de nuevo un aumento en el año 2009 con 39°C . De acuerdo a los resultados mostrados, se puede inferir que la variabilidad que se presenta en la Estación Puerto Barrios es interdecadal (fluctuaciones de clima a nivel de décadas).

Según IARNA-URL (2011), el Bosque Húmedo Tropical sufrirá un cambio abrupto de temperaturas altas y medias, alta variabilidad interanual y estacional de la precipitación y también una disminución de días de lluvia. Con base en los resultados presentados anteriormente, para el periodo de 1970-2013 en la Estación Puerto Barrios, la precipitación ha tenido aumentos notables, por su lado las temperaturas (máximas y mínimas) han tenido variabilidad interdecadal, sin embargo se observa una tendencia de incremento.

9.1.4 Bosque Húmedo Premontano Tropical: Estación INSIVUMEH

En la Figura 46 se presenta el comportamiento de la precipitación anual en la Estación INSIVUMEH, correspondiente al Bosque Húmedo Premontano Tropical, se puede observar que la mayor parte de años del periodo analizado (1970-2013) están por debajo de los 1,200 mm de precipitación, pero a partir del año 2005 ha habido un incremento que sobrepasa los 1,300 mm.

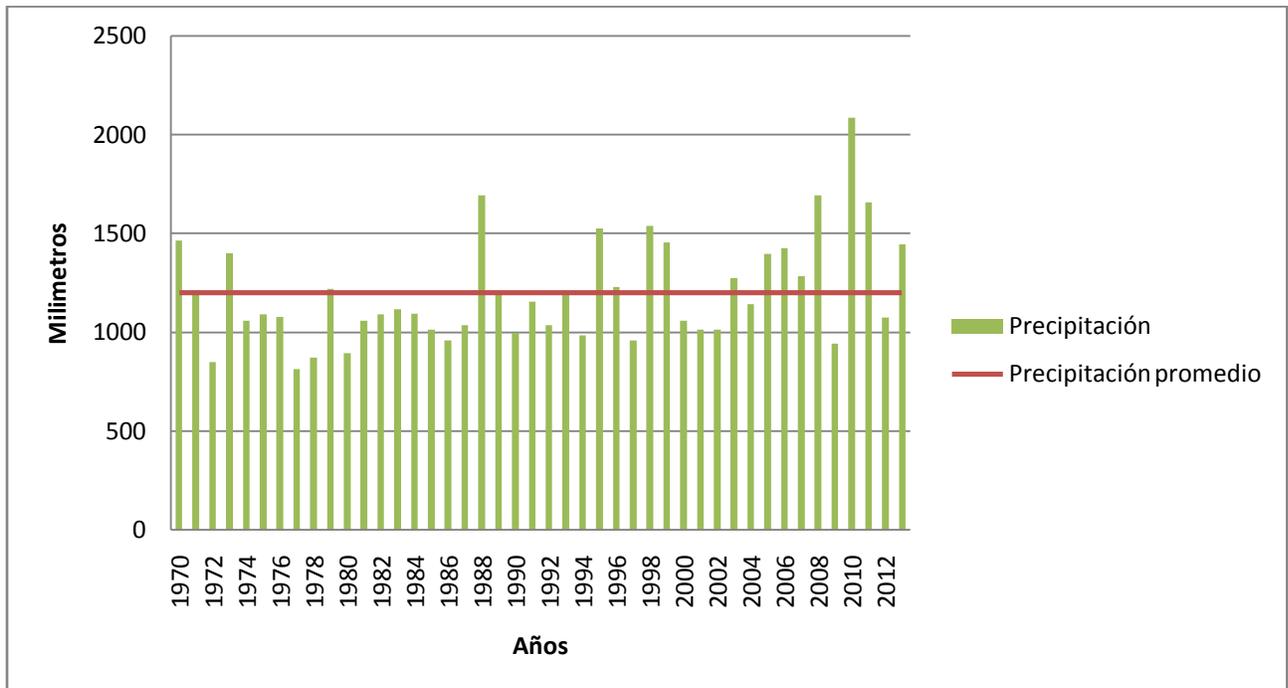


Figura 46. Comportamiento de la precipitación anual en la Estación INSIVUMEH.

La Figura 47 hace referencia al comportamiento de la temperatura máxima en la estación INSIVUMEH, en la misma se observa que la temperatura máxima a partir de la década de los 90's se encuentra por encima del promedio general del periodo analizado (25.12° C).

En la Figura 48 se muestra el comportamiento de la temperatura mínima de la estación INSIVUMEH, al igual que la temperatura máxima refleja un aumento a partir de los años 90's, llegando hasta los 16° C.

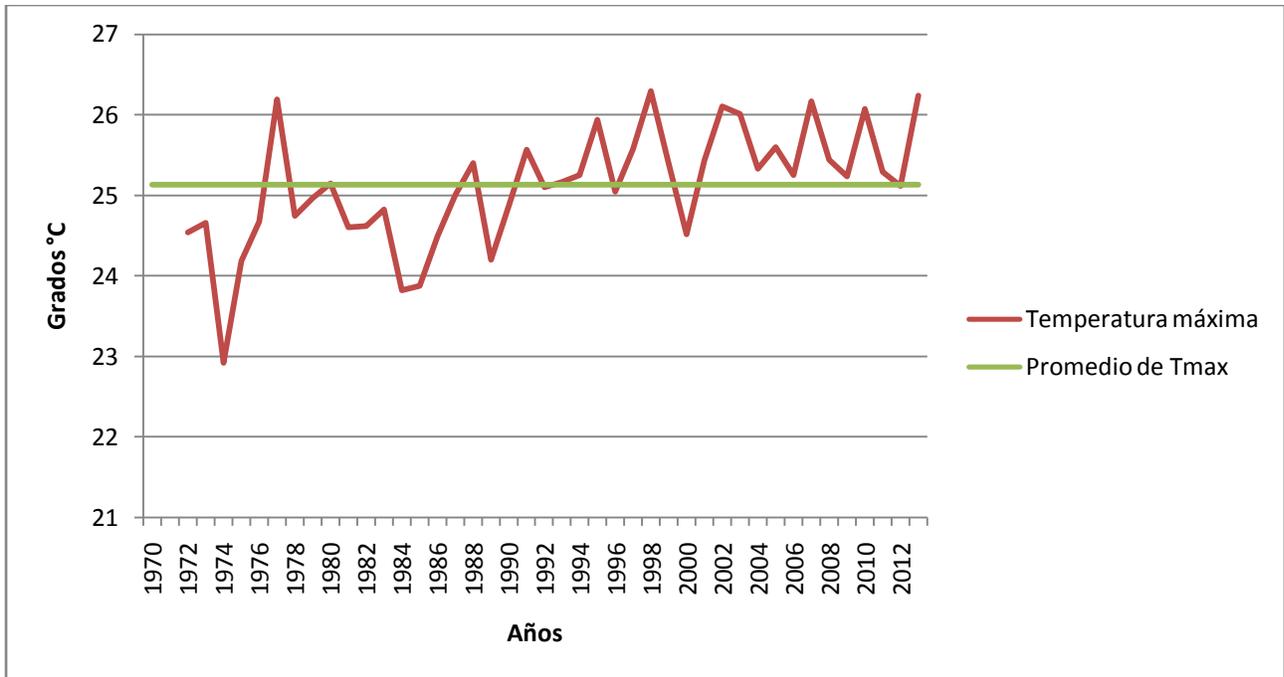


Figura 47. Comportamiento de la temperatura máxima anual en la Estación INSIVUMEH.

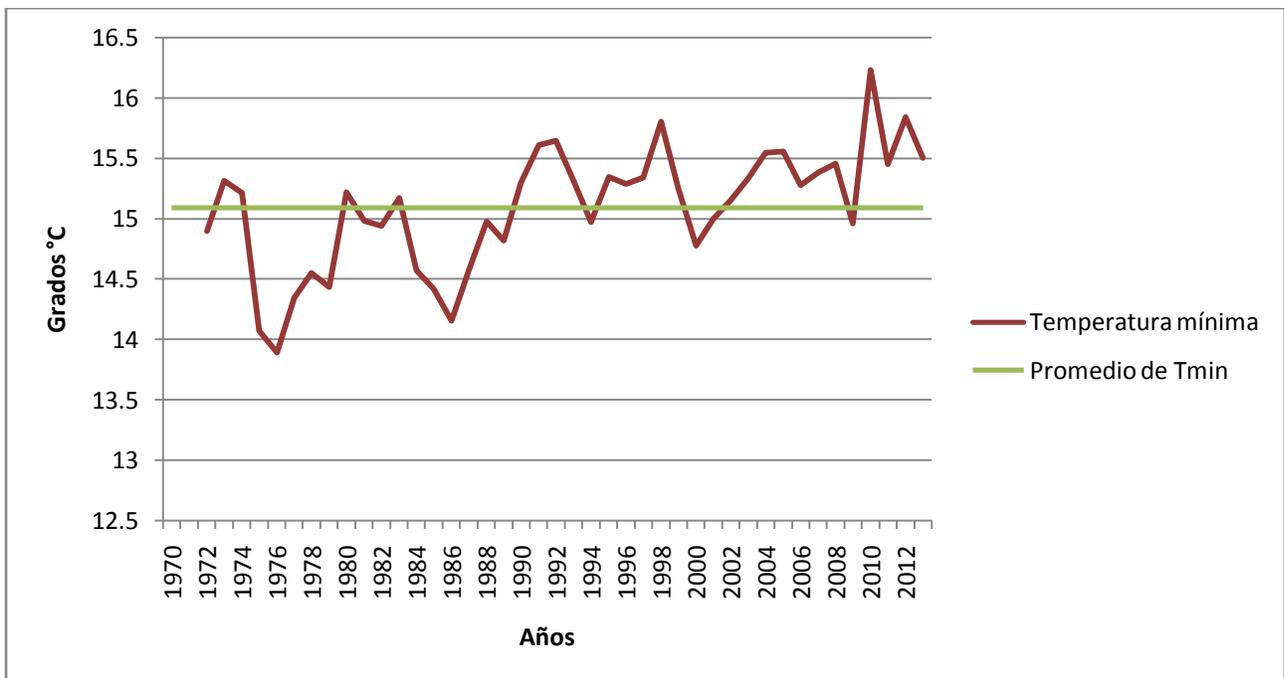


Figura 48. Comportamiento de la temperatura mínima anual en la Estación INSIVUMEH.

La estación meteorológica INSIVUMEH se encuentra en la zona de vida del bosque húmedo premontano tropical, ésta se caracteriza por poseer una precipitación anual entre 837 y 3,125 mm y temperatura promedio anual entre los 15.6 y 26.3° C (IARNA-URL, 2014). De acuerdo a los resultados presentados con anterioridad, la precipitación anual (Figura 46) tiene un promedio de 1,200 mm, además se observa que de 1970 a 1993 eran pocos los años que se encontraban por encima del promedio, sin embargo a partir de 1994 la mayoría de años han estado arriba del mismo, llegando a registrarse años como 2007, 2009 y 2010 con 1,700, 2,100 y 1,600 mm respectivamente. Cabe resaltar que todos los valores que se han registrado en la estación INSIVUMEH están en el rango de precipitación que propone la literatura citada.

El comportamiento de la temperatura máxima (Figura 47) en la estación INSIVUMEH refleja mucha variabilidad, ya que de 1972 a 1989, solamente dos años estuvieron arriba del promedio (25.12° C), éstos son 1977 y 1988 con 26.1 y 25.1° C respectivamente. Por el contrario, a partir de 1990 el único año que registró una temperatura por debajo del promedio fue el 2000 con 24.5° C, todos los demás tuvieron temperaturas máximas cercanas a los 26° C, lo cual indica que la temperatura máxima ha aumentado alrededor de 1° C en el periodo de 1970-2013, aun así los valores se encuentran dentro del rango mencionado por IARNA-URL (2014), ya que no sobrepasan los 26.3° C.

Respecto a la temperatura mínima (Figura 48) también se observa variabilidad a lo largo del periodo analizado (1970-2013). De 1972 a 1990 las mayoría de temperaturas registradas se encuentran por debajo del promedio (15.1° C), con excepción de los años 1973, 1980 y 1983. A partir del año 1990 las temperaturas presentan incrementos, ya que están por encima de los 15.1° C, excepto los años 1994, 2000 y 2009. Por tanto, se puede decir que para 2013 las temperaturas mínimas han aumentado alrededor de 1° C en comparación con 1972, sin embargo a pesar del aumento evidente que ha tenido la temperatura, se encuentra dentro del rango normal para el bosque húmedo premontano tropical. Es importante mencionar que los años 1970 y 1971 carecen de datos de temperatura y por tal razón la caracterización se realizó a partir del año 1972.

En las figuras 49 a la 54 la línea sólida indica tendencias calculadas por regresión lineal de mínimos cuadrados y la línea punteada tendencias de regresión lineal con ponderamientos locales. En la Figura 49 se puede observar la precipitación en días muy húmedos, para la estación meteorológica INSIVUMEH. La Figura 50 muestra la precipitación promedio en días húmedos.

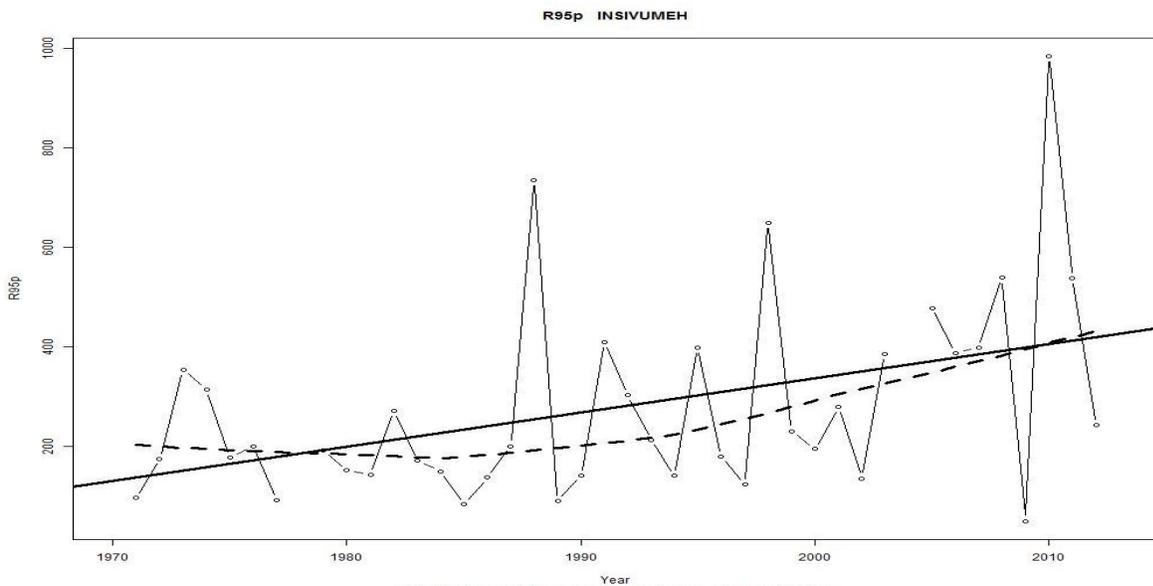


Figura 49. Precipitación en días muy húmedos en Estación INSIVUMEH.

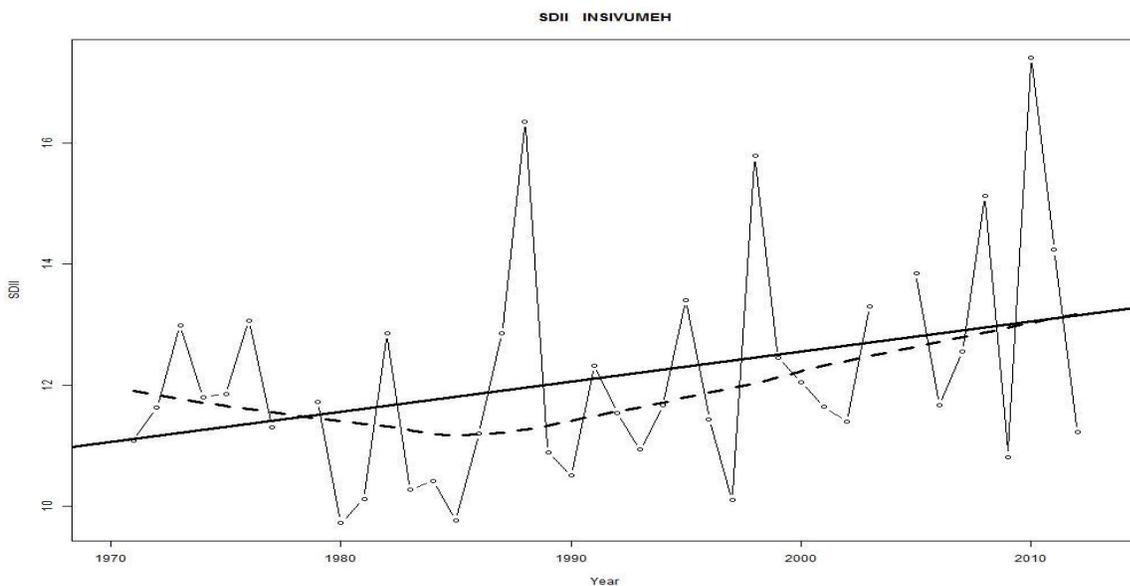


Figura 50. Precipitación promedio en días húmedos en Estación INSIVUMEH.

En la Figura 51 se presenta el comportamiento de la precipitación anual en la estación INSIVUMEH para el periodo 1970-2013.

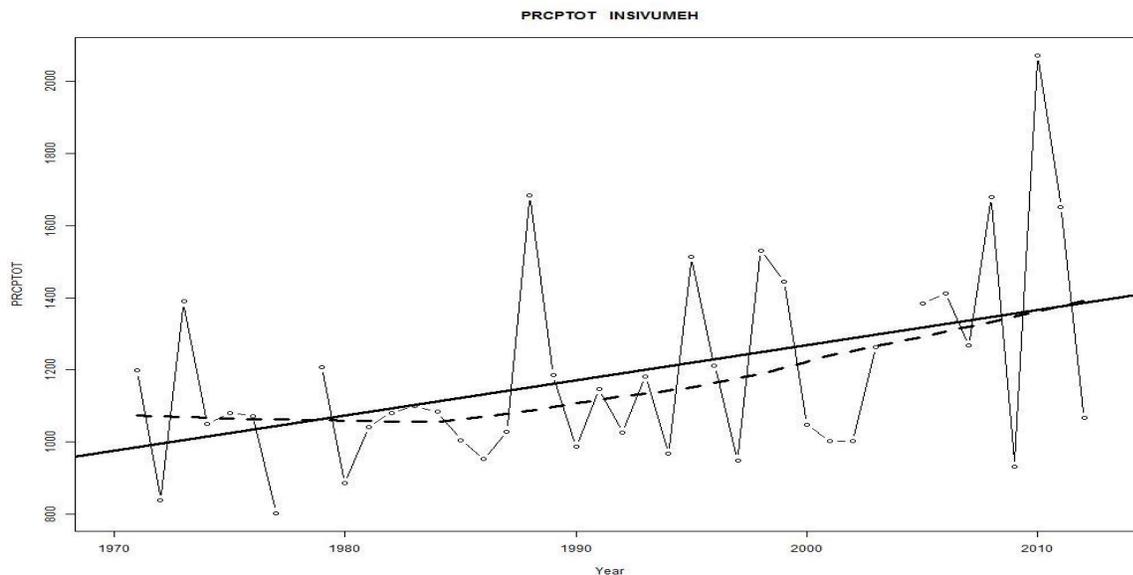


Figura 51. Comportamiento de la precipitación anual en Estación INSIVUMEH.

La Figura 52 muestra el comportamiento del rango diario de temperatura en el periodo 1970-2013 para la estación INSIVUMEH.

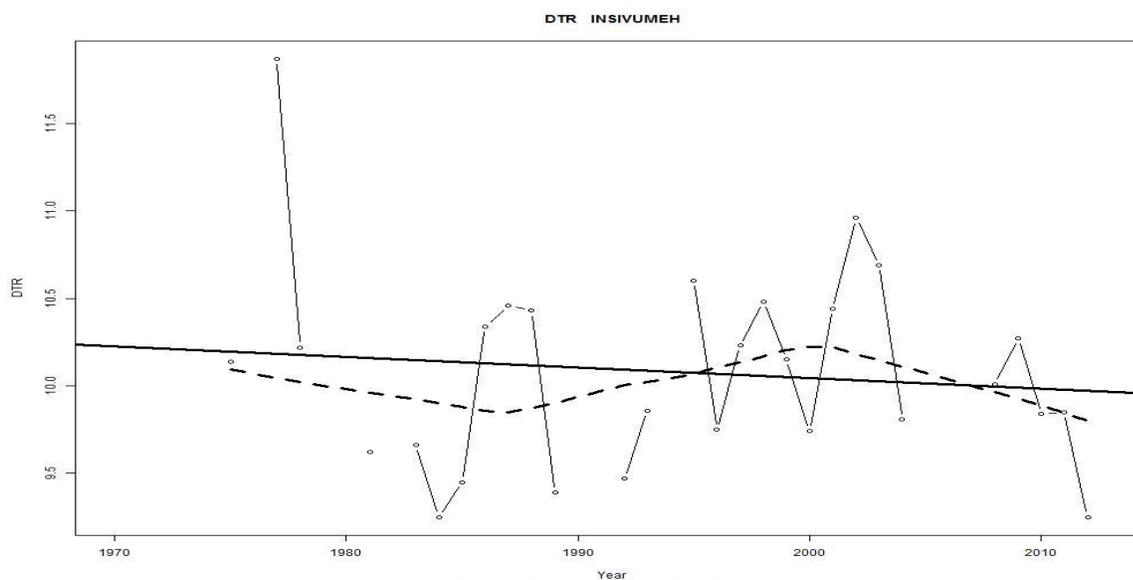


Figura 52. Comportamiento del Rango diario de temperatura en Estación INSIVUMEH.

La Figura 53 presenta el comportamiento de las temperaturas mínimas extremas en la estación INSIVUMEH de 1970 a 2013.

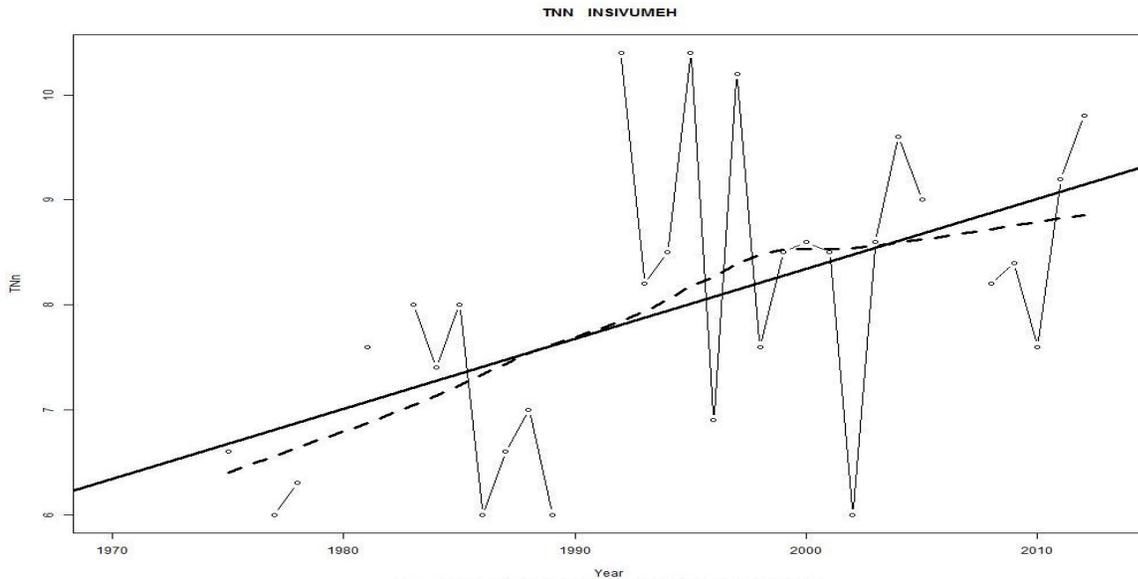


Figura 53. Temperaturas mínimas extremas en Estación INSIVUMEH.

La Figura 54 presenta el comportamiento de las temperaturas máximas extremas en la estación INSIVUMEH de 1970 a 2013.

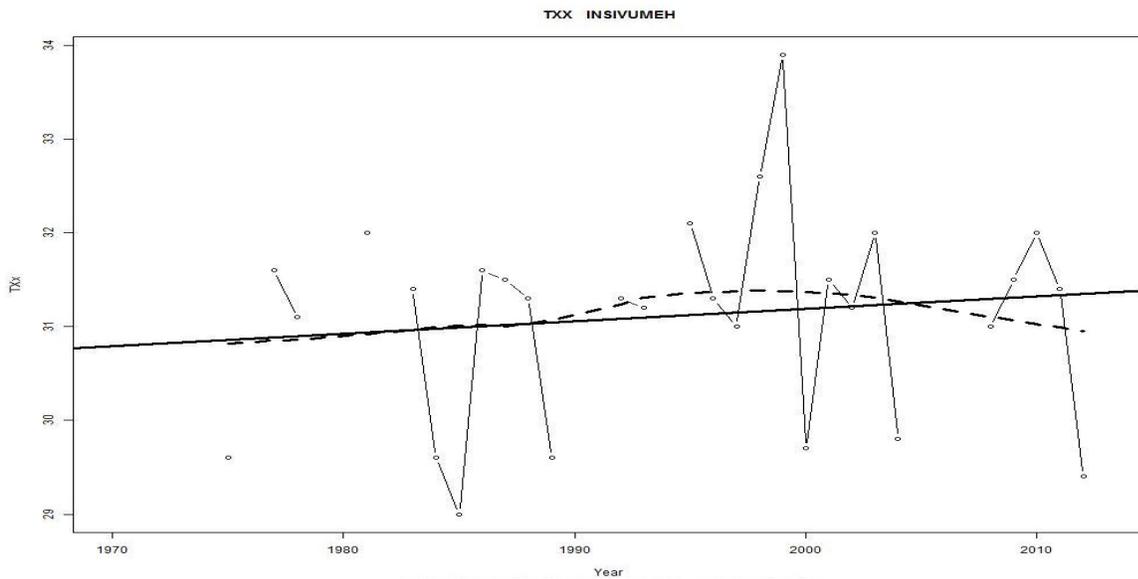


Figura 54. Temperaturas máximas extremas en Estación INSIVUMEH.

Según el estudio realizado por Jiménez, Chain & Locatelli (2011), en Costa Rica, el Bosque húmedo premontano para el periodo 2011-2040 será afectado de un 36 a 39% en sus dos escenarios (optimista y tendencial), debido a la disminución de precipitación y aumento de temperatura. A causa de estos cambios se espera que se transforme en bosque seco tropical, bosque seco premontano y bosque muy seco tropical.

De acuerdo a los resultados de RClimDex, la precipitación en días muy húmedos (Figura 49), ha tenido un aumento significativo (P-value 0.006). Se puede observar que de 1970 a 1985 la precipitación en días muy húmedos se mantenía entre los 200 y 300 mm, pero a partir 1986 tuvo un aumento evidente, que llegó a alcanzar valores extremos en los años 1988, 1998 y 2010 con 790, 620 y 1,000 mm respectivamente. Asimismo se puede ver que el año con menor precipitación en días húmedos fue 2009, llegando a los 10 mm, siendo así un año bastante seco y carente de eventos extremos.

La precipitación promedio en días húmedos anuales (Figura 50) ha tenido un incremento significativo (P-value 0.029). Se observa que el incremento se llevó a cabo a partir del año 1991, ya que anteriormente los valores de precipitación estaban en su mayoría por debajo de los 13 mm/día. Respecto a la precipitación total anual (Figura 51) se observa que ha tenido un incremento significativo (P-value 0.004), teniendo valores extremos de 1,700 y 2,100 mm en los años 1988 y 2010 respectivamente. Con dichos datos se puede afirmar que la precipitación en esta zona de vida ha tenido un aumento significativo.

El rango diurno de temperatura (Figura 52), es decir la diferencia en grados Celsius entre la temperatura máxima y la temperatura mínima, ha tenido un descenso no significativo (P-value 0.559), manteniendo la mayoría de registros entre los 9.5 y 10.5° C, excepto los años 1984, 1985, 1989, 1992 y 2012 que presentan valores por debajo de los 9.5° C y el año 1977 que presenta un valor extremo de 12° C, el cual representa la mayor diferencia en grados Celsius de la temperatura mínima y la máxima en el

periodo analizado (1970-2013), teniendo así un acercamiento no significativo entre las temperaturas máximas y mínimas.

La temperatura mínima extrema (Figura 53) ha tenido un aumento significativo (P-value 0.002), ya que en los años 70's y 80's las temperaturas se situaban entre los 6 y 7° C y a partir de 1990, los valores registrados han ido de los 8 a los 10° C, exceptuando los años 1996, 1998, 2001 y 2009. Por su parte, la temperatura máxima extrema (Figura 54) refleja un aumento no significativo (P-value 0.504), pero se puede observar que ha habido mucha variabilidad en los valores, ya que han pasado de 29° C en 1995 a los 34° C en 1999 con cambios bastante notables. Tomando en cuenta los datos anteriores se puede deducir que existen similitudes con lo afirmado por Jiménez, Chain & Locatelli (2011), ya que las temperaturas han aumentado.

9.1.5 Bosque muy Húmedo Premontano Tropical: Estación Cobán, Alta Verapaz

En la Figura 55 se presenta el comportamiento de la precipitación anual en la estación Cobán, perteneciente a la zona de vida Bosque muy Húmedo Premontano Tropical. Se puede ver que la precipitación no ha tenido mucha variabilidad, ya que en la mayoría de años los valores se encuentran cercanos al promedio general (2,069 mm).

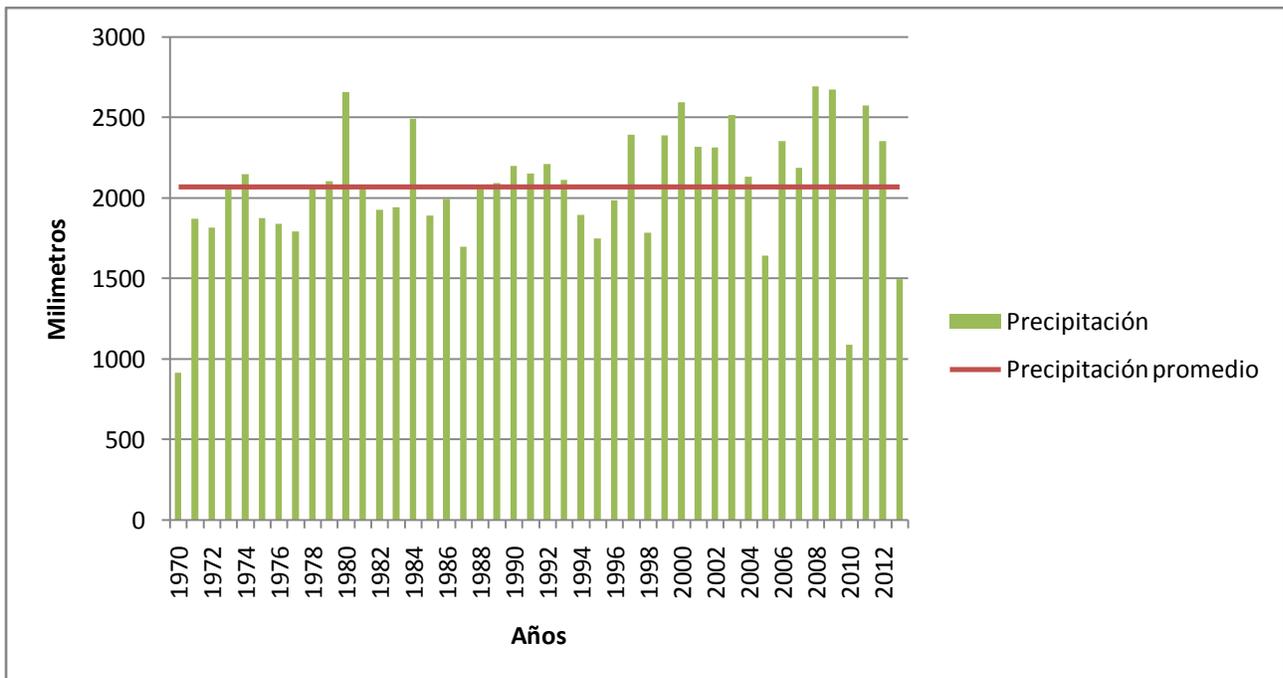


Figura 55. Comportamiento de la precipitación anual en la Estación Cobán.

La Figura 56 presenta el comportamiento de la temperatura máxima en la estación Cobán, se puede ver que los valores no han tenido cambios tan significativos, ya que la mayoría están próximos al promedio (25° C).

En la Figura 57 se presenta el comportamiento de la temperatura mínima registrada en la estación meteorológica Cobán. En la misma se observa que los valores de temperatura mínima se han mantenido entre los 12 y 14.2° C a lo largo del periodo analizado (1970-2013).

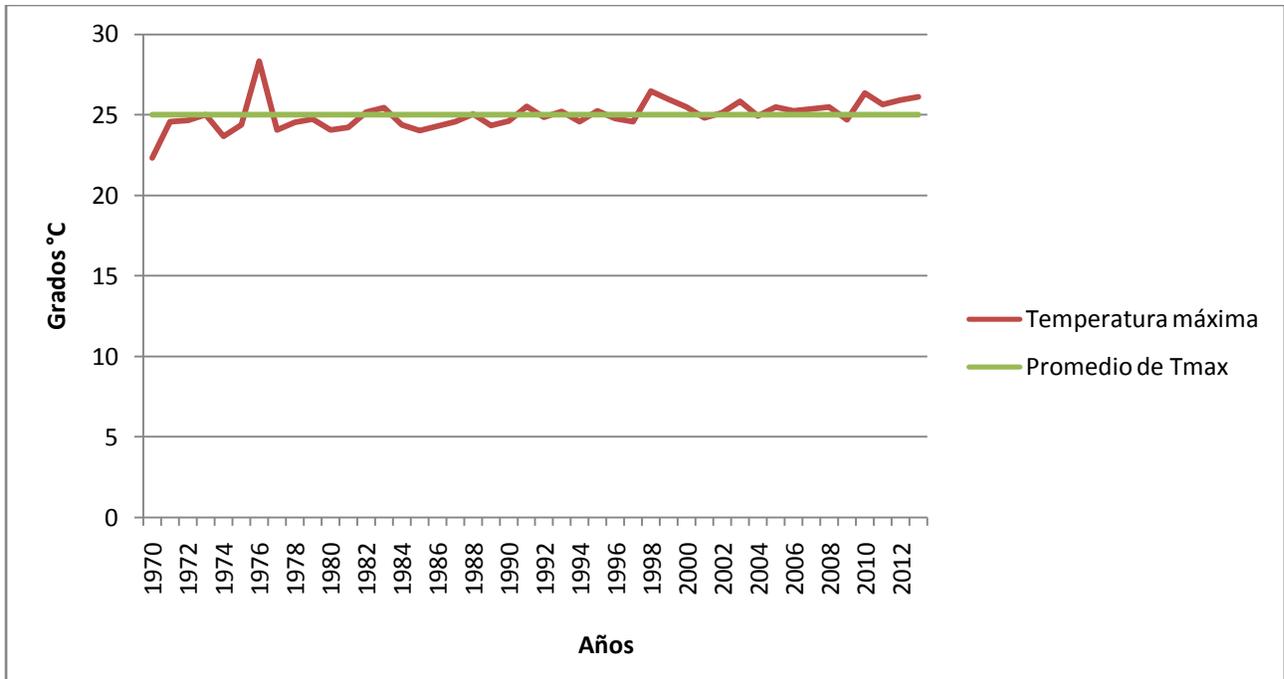


Figura 56. Comportamiento de la temperatura máxima anual en la Estación Cobán.

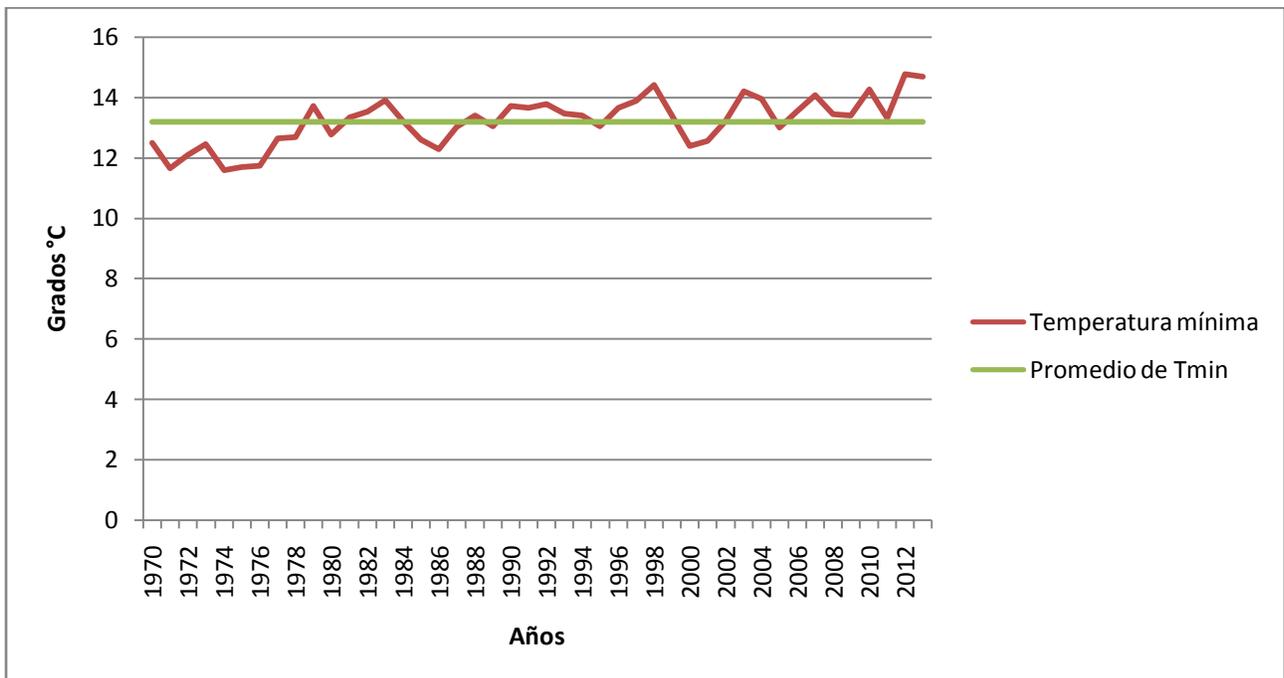


Figura 57. Comportamiento de la temperatura mínima anual en la Estación Cobán.

La estación meteorológica Cobán se encuentra dentro de la zona de vida Bosque muy Húmedo Premontano Tropical. Entre las condiciones climáticas de dicha zona de vida resaltan: una precipitación anual entre 1,559 y 4,850 mm y una temperatura promedio anual comprendida entre los 15.6 y los 25.9° C (IARNA-URL, 2014).

De acuerdo a los resultados, se puede observar que la precipitación anual (Figura 55) no ha tenido muchos cambios a lo largo del periodo analizado (1970-2013), ya que son pocos los años que se encuentran distanciados del promedio general (2069 mm), por hacer mención: 1970 con 900 mm, 1980 con 2,600 mm, 1984 con 2,500 mm, 2000 con 2550 mm, 2003 con 2,500 mm, 2008 y 2009 con 2,600 mm, 2010 con 1,050 mm, 2011 con 2,550 mm y 2,013 con 1,500 mm. Si bien es cierto no ha habido mucha variabilidad, pero se puede ver que a partir del año 1999 la mayoría de valores anuales se encuentran por encima del promedio general, indicando que la precipitación ha tenido un pequeño aumento. Sin embargo, es importante mencionar que aunque haya valores alejados de la media general, se encuentran dentro del rango que propone el IARNA-URL para ésta zona de vida.

La temperatura máxima (Figura 56) no presenta una variabilidad significativa, ya que la mayoría de los años del periodo de análisis se encuentran próximos al promedio general (25° C), exceptuando 1970 con 22.5° C, 1976 con 28.5° C y 1997 con 26° C que representan los años con valores extremos. En general, la mayoría de valores registrados en la estación Cobán para la temperatura máxima han estado entre los 24.5 y 25.5° C, reflejando que la variabilidad ha sido mínima y además se encuentran dentro del rango de temperaturas mencionadas en la literatura citada anteriormente.

Respecto a la temperatura mínima (Figura 57) se observa que los valores se encuentran entre los 12 y 14.5° C, cerca de la media general (13.2° C) y por debajo de los valores propuestos por IARNA-URL. Es importante mencionar que en la década de los 70's los valores se encontraban en su mayoría en los 12° C, sin embargo a partir de 1980 la temperatura mínima llegó a los 14° C, presentando un pequeño aumento en 2012 con 14.5° C.

En las figuras 58 a la 63 la línea sólida indica tendencias calculadas por regresión lineal de mínimos cuadrados y la línea punteada tendencias de regresión lineal con ponderamientos locales. La Figura 58 muestra el total de la precipitación en días muy húmedos en la estación Cobán y la Figura 59 presenta la precipitación promedio en días húmedos en el periodo 1970-2013.

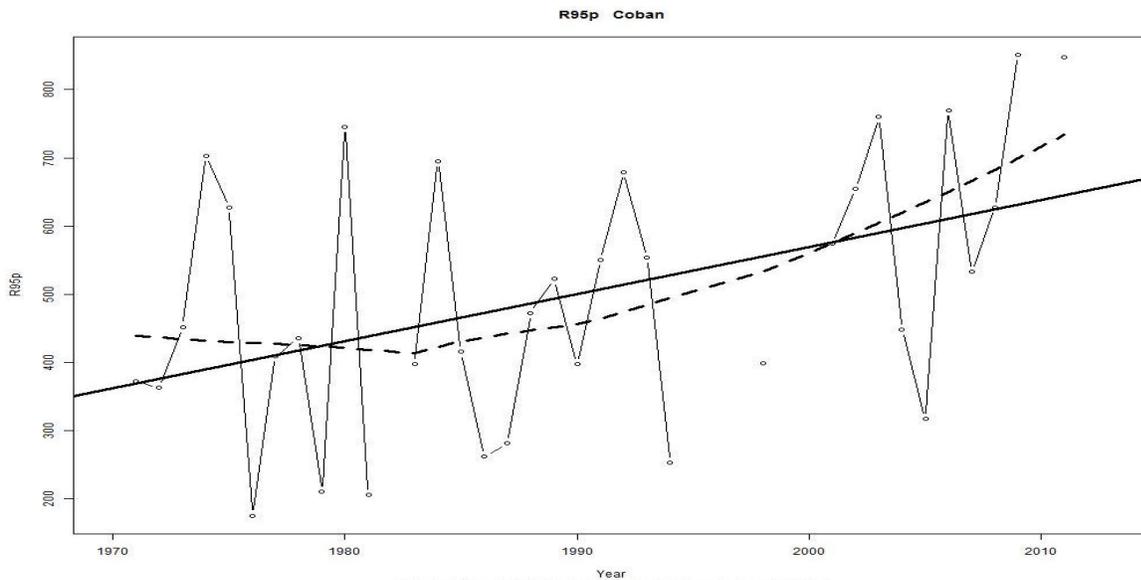


Figura 58. Precipitación en días muy húmedos en Estación Cobán.

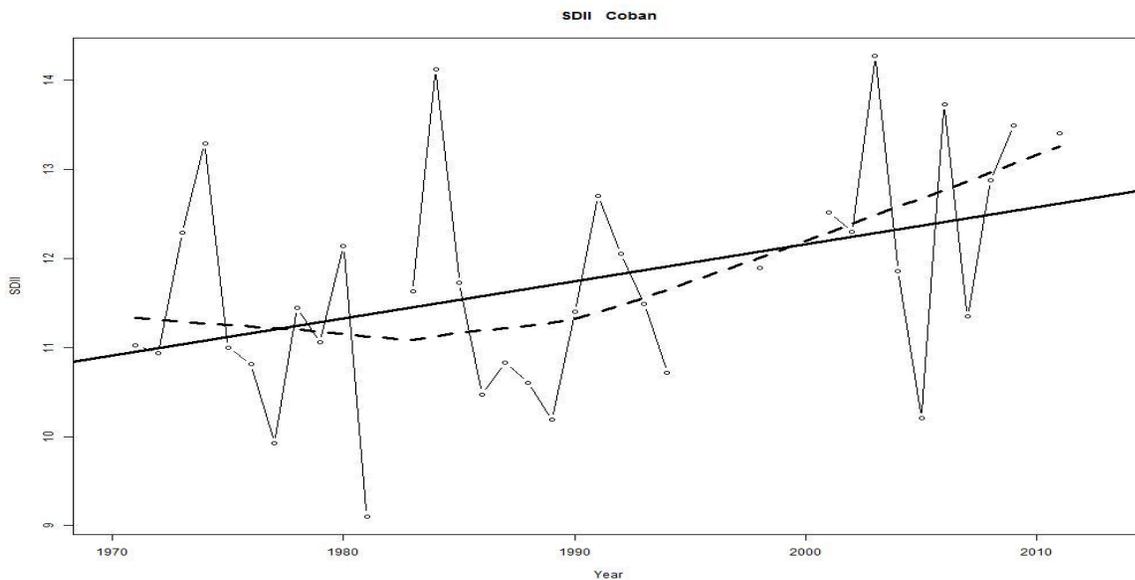


Figura 59. Precipitación anual promedio en días húmedos en Estación Cobán.

En la Figura 60 se muestra el comportamiento de la precipitación anual de la estación Cobán y la Figura 61 presenta el rango diurno de temperatura, es decir las diferencias entre temperaturas mínimas y máximas en grados Celsius.

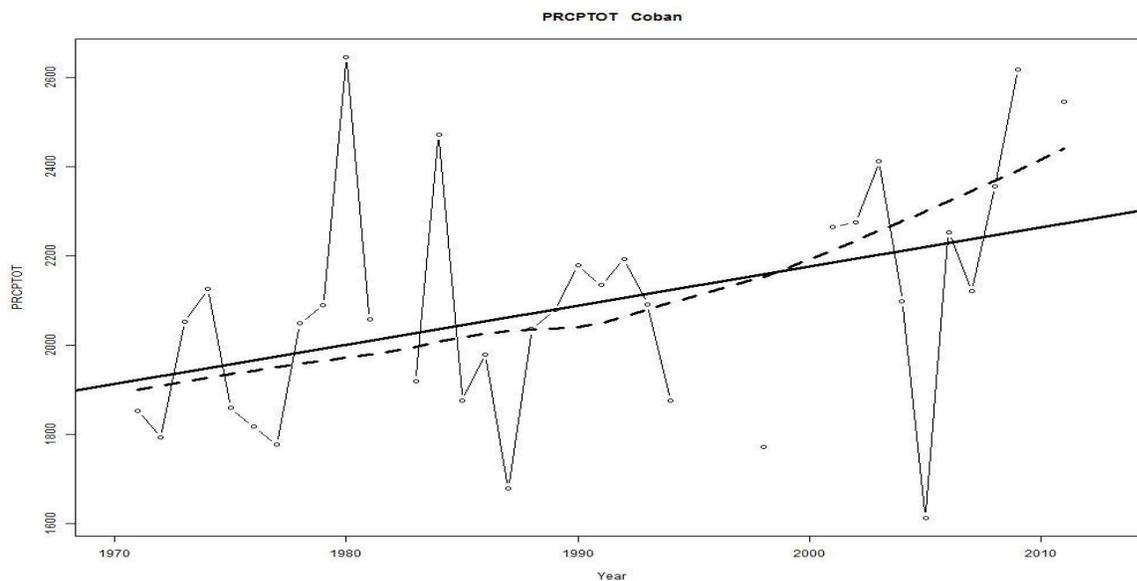


Figura 60. Comportamiento de la precipitación anual en Estación Cobán.

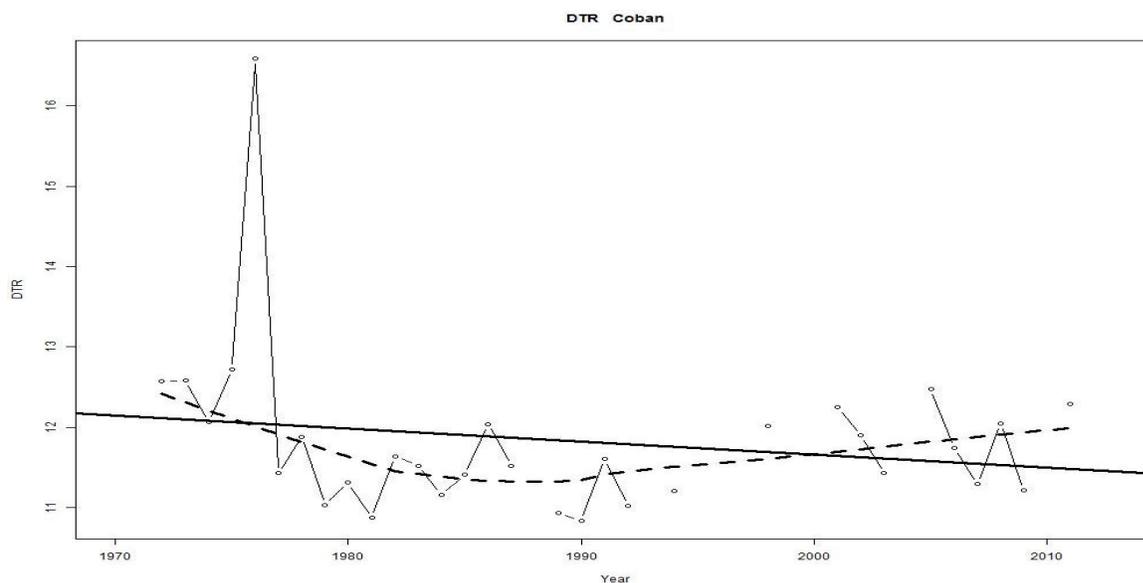


Figura 61. Comportamiento del Rango diurno de temperatura en Estación Cobán.

La Figura 62 refleja el comportamiento de las temperaturas mínimas extremas y la Figura 63 muestra el comportamiento de las temperaturas máximas extremas para la estación Cobán en el periodo de 1970 a 2013.

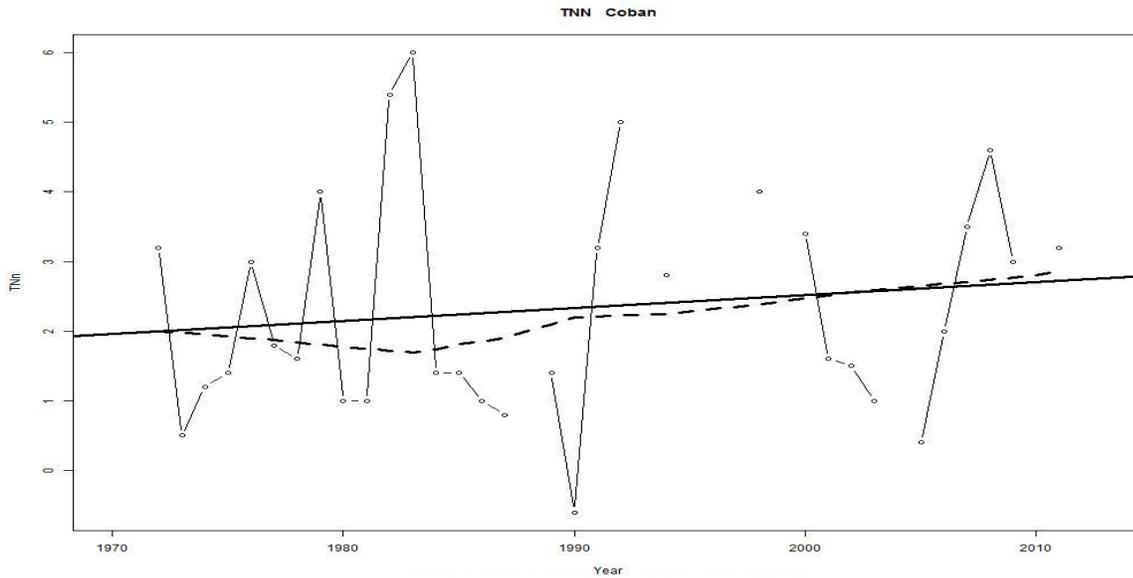


Figura 62. Temperaturas mínimas extremas en Estación Cobán.

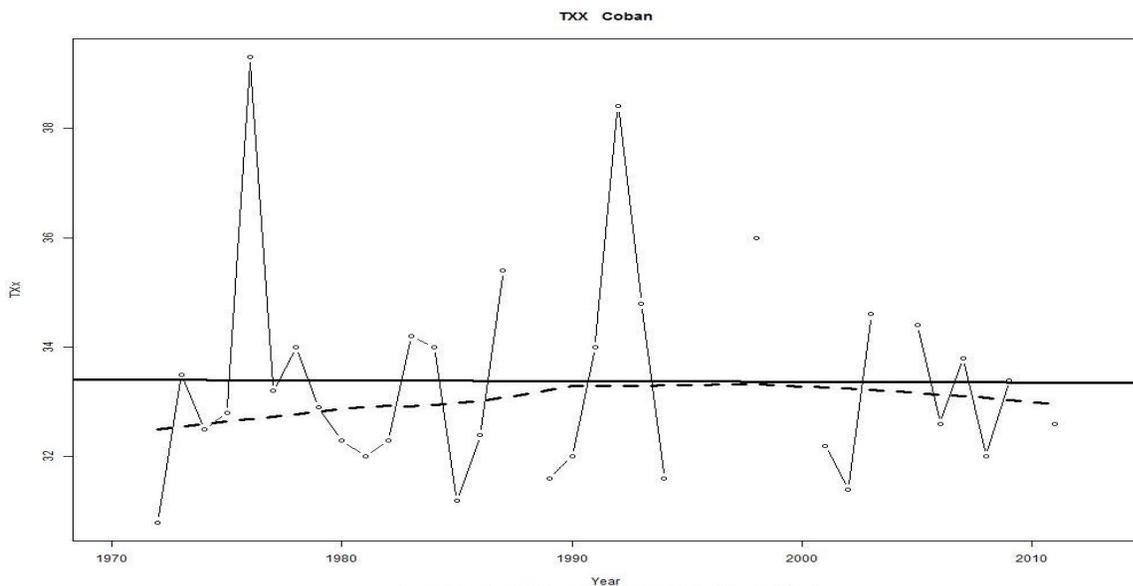


Figura 63. Temperaturas máximas extremas en Estación Cobán.

Según Jiménez, Chain & Locatelli (2011), para el periodo 2011-2040 el bosque muy húmedo premontano tropical será uno de los más afectados (40-43% de su extensión actual) por el cambio climático en los escenarios optimista y tendencial. Por su parte el IARNA-URL, (2011) afirma que en Guatemala para el año 2050 el bosque muy húmedo premontano será uno de los que más se reducirá según modelaciones en diferentes escenarios.

De acuerdo a los resultados, la precipitación en días muy húmedos (Figura 58) presenta un aumento significativo (P-value 0.008). A lo largo del periodo analizado se puede ver mucha variabilidad en los valores, ya que se han registrado años húmedos como 1980 con 750 mm, 2002 con 770 mm, 2005 con 780 mm y 2008 y 2010 con 850 mm. Por el contrario también se han registrado años secos, tales como 1976, 1979 y 1981 con valores menores a los 200mm. Es importante mencionar que a partir del año 2000 la mayoría de valores registrados se han incrementado en comparación con décadas anteriores.

La precipitación promedio en días húmedos (Figura 59) ha tenido un incremento significativo (P-value 0.015), mostrando valores extremos de 14.5mm/día en 2004 y 9 mm/día en 1991. Respecto a la precipitación total anual (Figura 60) se puede observar que ha tenido un incremento significativo (p-value 0.015), teniendo años húmedos como 1990 con 2,650 mm y 2009 con 2,600 mm y años secos como 1987 con 1,700 mm y 2005 con 1,600 mm. De acuerdo a estos resultados se puede deducir que la precipitación en la estación Cobán ha aumentado significativamente.

En cuanto a la temperatura, el rango diurno de temperatura (Figura 61) ha tenido un descenso no significativo (P-value 0.3), por tanto las diferencias entre temperaturas mínimas y máximas han tenido un acercamiento pequeño, pasando de los 12 a los 11.5° C. Las temperaturas mínimas extremas (Figura 62) han tenido un incremento no significativo (P-value 0.437), pasando de los 2° C en 1970 a los 2.5° C en 2013 y las temperaturas máximas extremas (Figura 63) han tenido un descenso no significativo (P-value 0.966) posicionandose en los 33.5° C a lo largo del periodo analizado (1970-2013).

9.1.6 Bosque Húmedo Montano Bajo Tropical: Estación Labor Ovalle, Quetzaltenango

En la Figura 64 se muestra el comportamiento anual de la estación meteorológica Labor Ovalle situada en la zona de vida Bosque Húmedo Montano Bajo Tropical. Se puede observar que a partir del año 2005 los valores han tenido sus mayores extremos, comparado con el resto del periodo analizado (1970-2004).

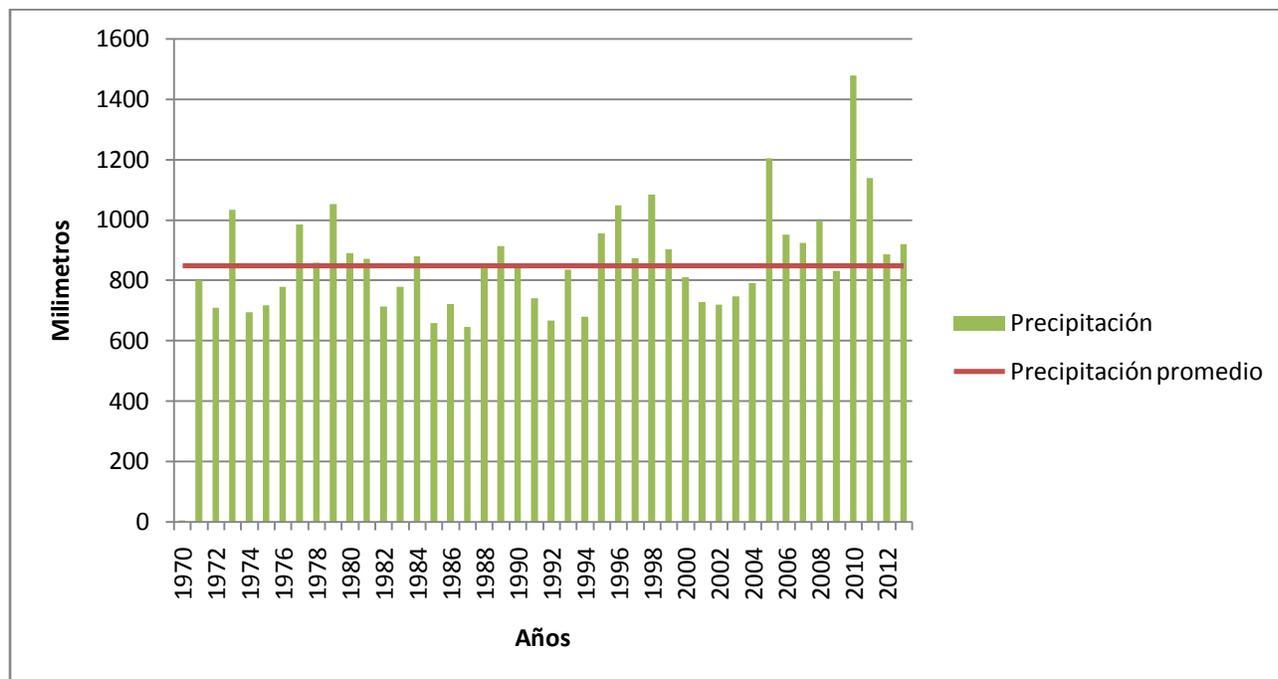


Figura 64. Comportamiento de la precipitación anual en la Estación Labor Ovalle.

En la Figura 65 se presenta el comportamiento de la temperatura máxima en la estación Labor Ovalle, reflejando mucha variabilidad a lo largo del periodo analizado (1970-2013).

La Figura 66 muestra el comportamiento de la temperatura mínima en la estación Labor Ovalle para el periodo 1970-2013 teniendo un aumento notable a partir del año 2000.

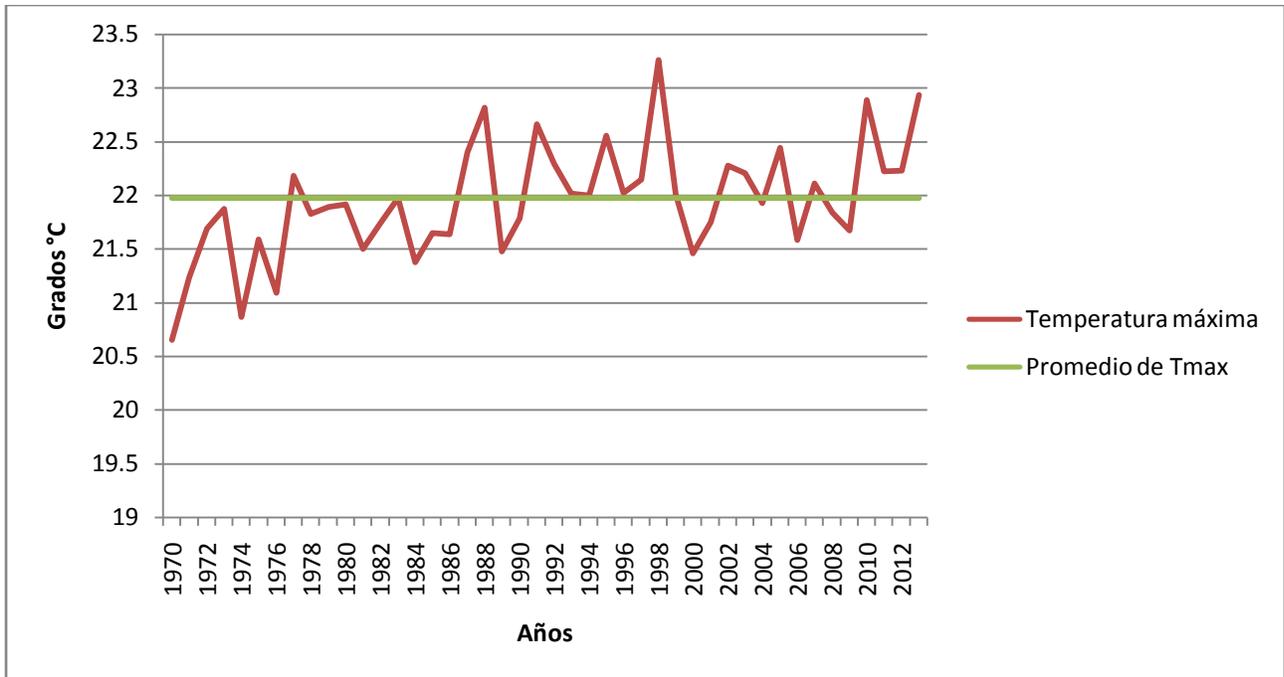


Figura 65. Comportamiento de la temperatura máxima anual en la Estación Labor Ovalle.

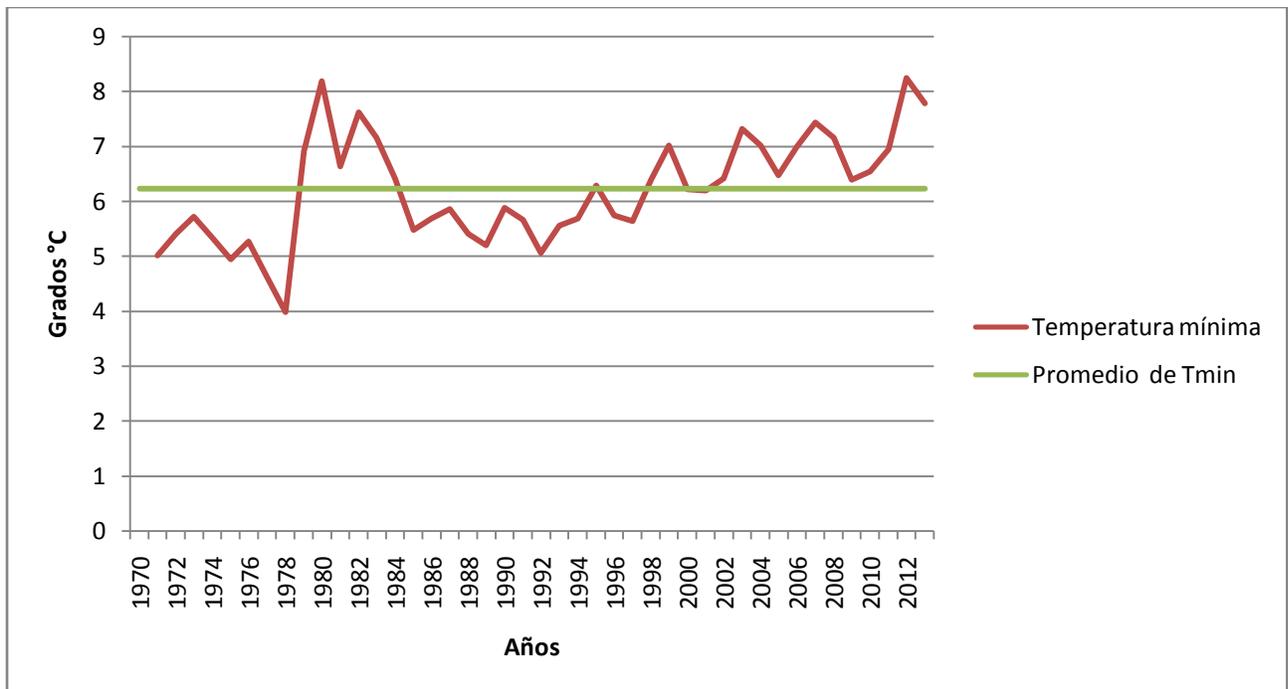


Figura 66. Comportamiento de la temperatura mínima anual en la Estación Labor Ovalle.

La estación meteorológica Labor Ovalle está ubicada en la zona de vida del Bosque Húmedo Montano Bajo Tropical que se caracteriza por condiciones climáticas como: precipitación anual entre 901 y 3,000 mm y temperatura promedio anual entre los 10 y 20° C (IARNA-URL, 2014).

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede observar que la precipitación anual (Figura 64) ha tenido variabilidad, ya que a partir de 1995 los valores de precipitación han tenido mayor distanciamiento del promedio general (847 mm), llegando a los 1,100, 1,200 y 1,500 mm en 1998, 2005 y 2010 respectivamente. También se puede ver que ha habido años con poca precipitación, tal es el caso de 1985 con 670 mm y 1987 con 650 mm. Si bien los valores han tenido muchos cambios a lo largo del periodo analizado (1970-2013) es importante mencionar que la mayoría de los registros de precipitación anual en la estación Labor Ovalle no coinciden con el rango propuesto por IARNA-URL, (2014).

La temperatura máxima (Figura 65) ha sido variable a lo largo del periodo analizado (1970-2013), debido a que las temperaturas en el periodo de 1970 a 1986 se encontraban por debajo de la media general (22° C) pero a partir de 1987 la mayoría están por encima de los 22° C, exceptuando a los años 1989, 2000, 2006 y 2009 con un rango de 21.5 a 21.8° C. Los valores más extremos que se han registrado para Labor Ovalle son 23.2° C en 1998 y 20.7° C en 1970, sin embargo todos los valores de temperatura se encuentran fuera del rango promedio propuesto por la literatura anteriormente citada.

Por su parte, la temperatura mínima (Figura 66) ha mostrado un incremento bastante notable en el periodo analizado (1970-2013), teniendo valores por encima de los 6.5° C a partir del año 1998. Es importante mencionar que la temperatura mínima en la estación Labor Ovalle ha tenido mucha variabilidad interdecadal, ya que de 1970 a 1979 las temperaturas estaban entre los 2 y 6° C, de 1980 a 1984 se mantuvieron entre los 7 y 8° C, de 1985 a 1995 se encontraban entre 5-6° C y a partir de 1997 la temperatura ha incrementado constantemente pasando de los 5.5 a los 8.1° C en 2013.

En las figuras 67 a la 72 la línea sólida indica tendencias calculadas por regresión lineal de mínimos cuadrados y la línea punteada tendencias de regresión lineal con ponderamientos locales. En la Figura 67 se presenta la cantidad de precipitación total en días muy húmedos y la Figura 68 muestra la precipitación promedio en días húmedos en la estación Labor Ovalle para el periodo 1970-2013.

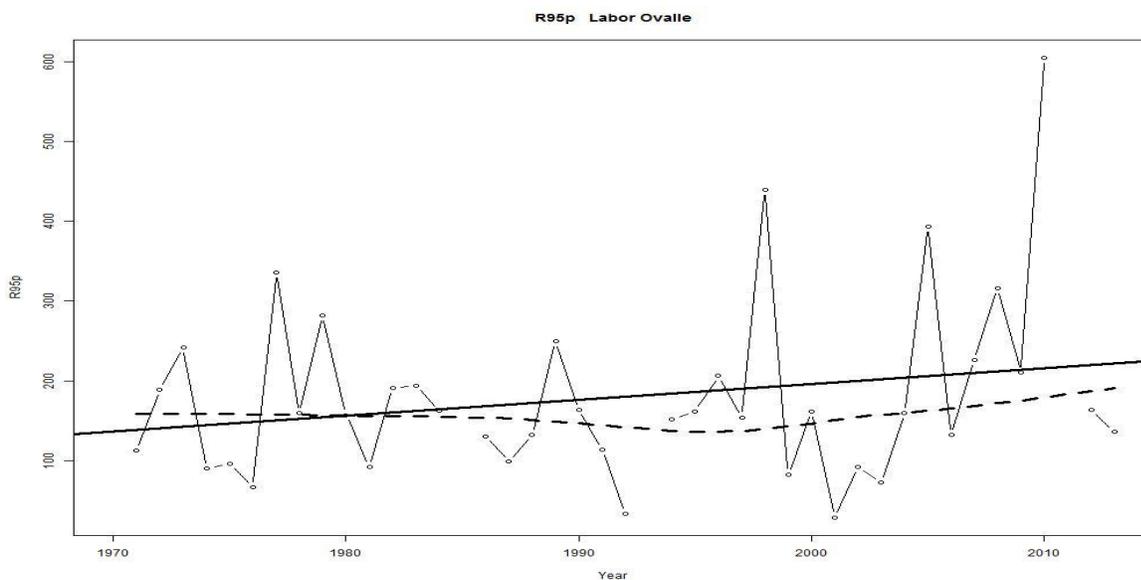


Figura 67. Precipitación en días muy húmedos en Estación Labor Ovalle.

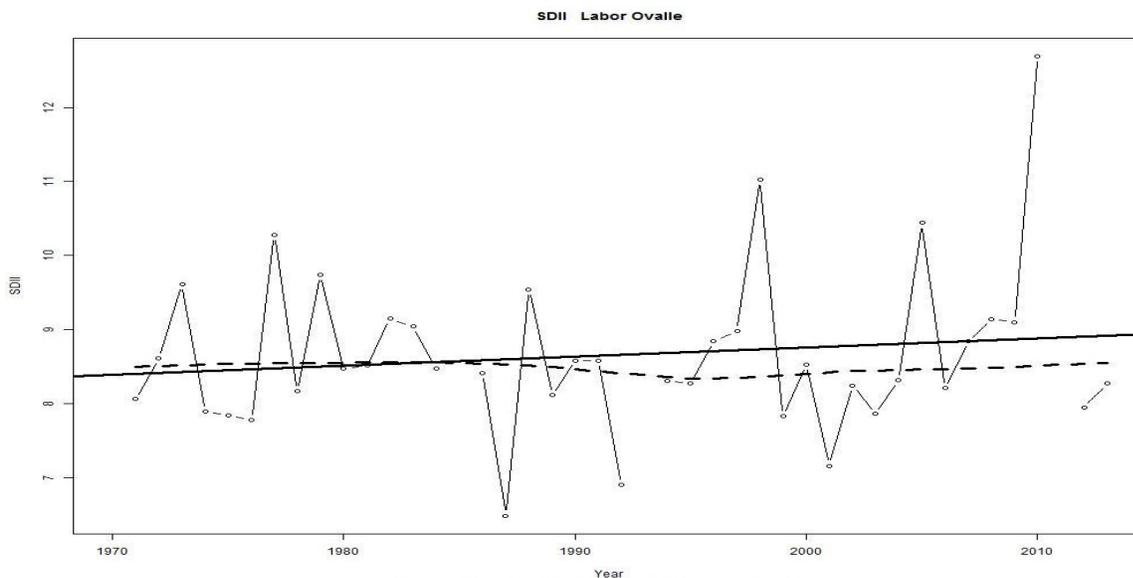


Figura 68. Precipitación promedio en días húmedos en Estación Labor Ovalle.

En la Figura 69 se puede observar el comportamiento de la precipitación anual en la estación Labor Ovalle. La Figura 70 muestra el rango diario de temperatura para el periodo 1970-2013 en la estación Labor Ovalle.

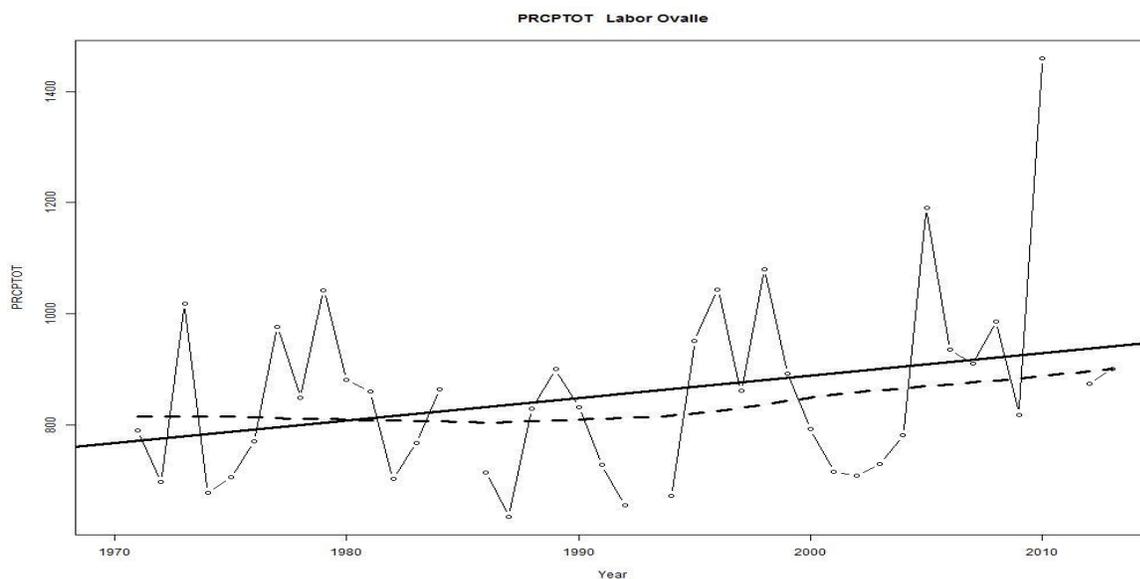


Figura 69. Comportamiento de la precipitación anual en Estación Labor Ovalle.

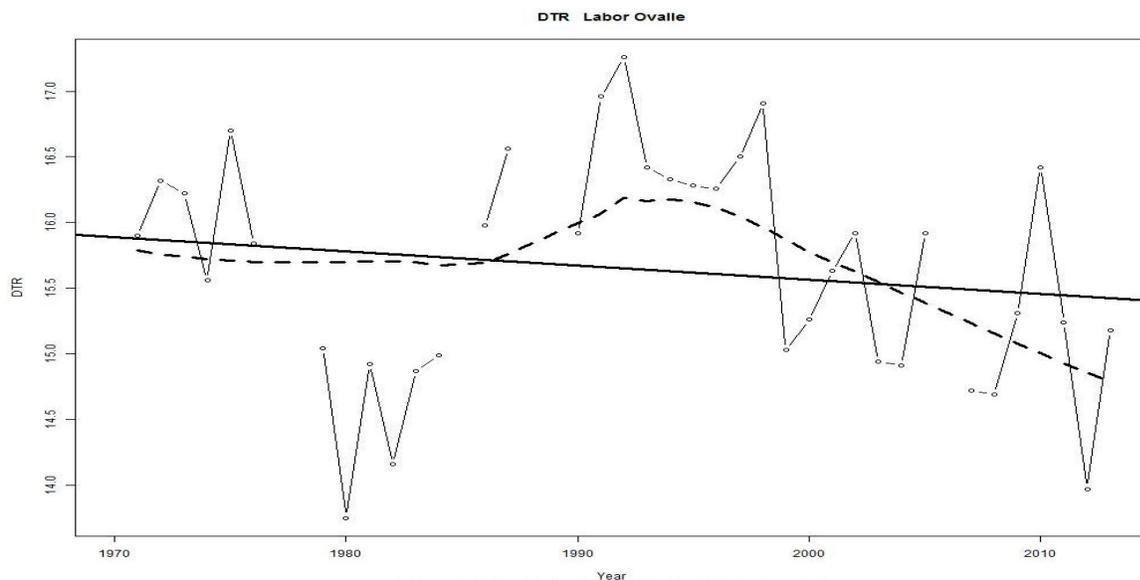


Figura 70. Comportamiento del Rango diario de temperatura en Estación Labor Ovalle.

En la Figura 71 se puede observar el comportamiento de las temperaturas mínimas extremas y la Figura 72 muestra las temperaturas máximas extremas para la estación Labor Ovalle en el periodo 1970-2013.

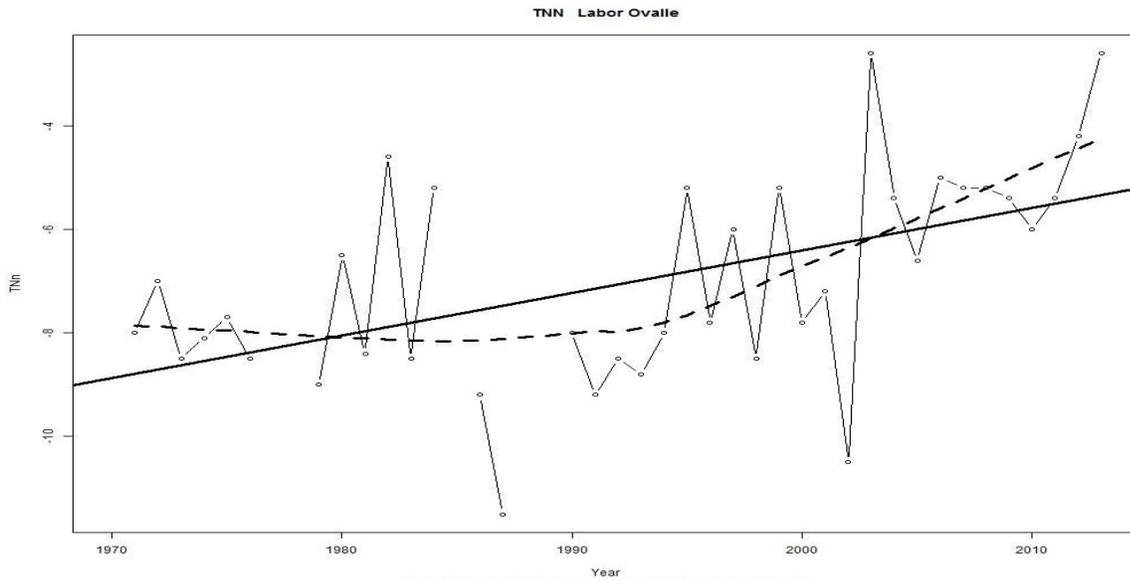


Figura 71. Temperaturas mínimas extremas en Estación Labor Ovalle.

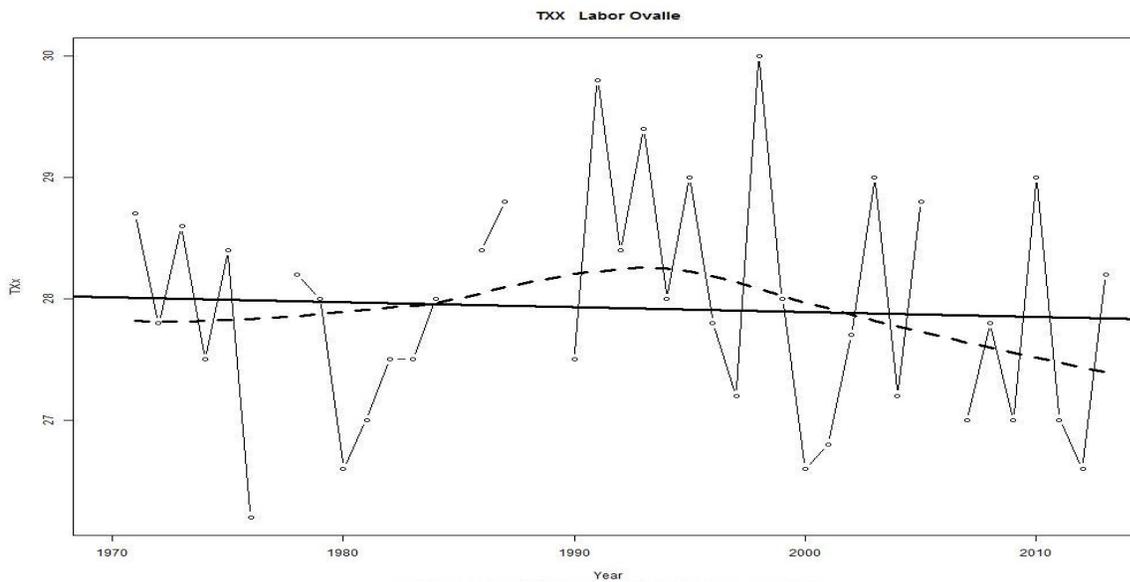


Figura 72. Temperaturas máximas extremas en Estación Labor Ovalle.

Se ha proyectado que la zona de vida del Bosque Montano Bajo Tropical en Guatemala se verá afectada por el cambio climático con aumentos de temperaturas medias y una alta variabilidad interanual y estacional (intensificación del ciclo hidrológico) de la precipitación, teniendo como consecuencias el aumento de sequías, incendios y tormentas. Con lo anterior será una de las zonas de vida más afectadas, ya que se reducirá aproximadamente un 50% de su extensión actual en diferentes escenarios (IARNA-URL, 2011).

De acuerdo a los resultados, la precipitación en días muy húmedos (Figura 67) ha tenido un aumento no significativo (P-value 0.169), llegando a registrar valores tan altos como 450 mm en 1998 y 600 mm en 2010 y años con pocos eventos extremos como 1992 con 30 mm y 2001 con 25 mm. La precipitación promedio en días húmedos (Figura 68) ha incrementado, pero no significativamente (P-value 0.392), registrando años como 1998 con 11 mm/día y 2010 con casi 13 mm/día. Si bien la precipitación en días muy húmedos (R95p) como la precipitación promedio en días húmedos (SDII) han aumentado de manera no significativo, se debe mencionar que a partir del año 1998 han registrado los mayores valores del periodo analizado (1970-2013).

Por su parte la precipitación total anual (Figura 69) ha aumentado significativamente (P-value 0.048) con aproximadamente 4.04 mm por año, lo cual indica que los años se han tornado más lluviosos en el periodo de 1970 a 2013. Se puede observar que los mayores valores de precipitación se han registrado en 1998, 2005 y 2010 con 1,050, 1200 y 1,450 mm respectivamente, así como también los años más secos han sido 1987 con 650 mm y 1992 con 670 mm.

Respecto a la temperatura, se observa que el rango diurno de temperatura (Figura 70) ha tenido un descenso no significativo (p-value 0.346) pasando de los 15.9° C en 1970 a los 15.4° C en 2013, reflejando que las temperaturas máximas y las temperaturas mínimas han tenido una aproximación de 0.5° C en 43 años. Las temperaturas mínimas extremas (Figura 71) presentan un cambio significativo (p-value 0.001) de 0.082° C al año, llegando a presentar valores de -10° C en 1987 a los -2.5° C en 2003 y 2013. Por

su parte las temperaturas máximas extremas (Figura 72) han tenido un descenso no significativo (p-value 0.743) con gran variabilidad, ya que de 1970 a 1989 los valores se encontraban entre los 26 y 28.5° C pero a partir del año 1990 los valores llegaron hasta los 30° C presentando una declinación desde el 2005 al 2013.

9.2 ANÁLISIS DE LOS EVENTOS METEOROLÓGICOS QUE SE PRODUCEN EN LAS FASES DEL ÍNDICE OCEÁNICO DEL NIÑO

Los resultados descritos anteriormente evidencian el comportamiento histórico (1970-2013) de la precipitación y temperatura en las seis zonas de vida analizadas (representando el 85.12% del territorio nacional), reflejando muchas variaciones y cambios. Los valores de precipitación han tenido un aumento notable en todas las zonas de vida objeto del presente estudio, desde el bosque muy seco hasta el bosque muy húmedo, con mayor énfasis a partir del año 2000, sin embargo, el aumento ha incluido valores extremos que se alejan considerablemente de la media general de precipitación de cada zona de vida. La temperatura también ha tenido cambios, presentando aumentos tanto en temperatura máxima como en temperatura mínima para la mayoría de zonas de vida analizadas, exceptuando el Bosque Seco Tropical (Estación Puerto de San José) y el Bosque muy Húmedo Premontano Tropical (Estación Cobán) que han mantenido valores constantes y con poca variabilidad.

Se debe resaltar que la variabilidad es una característica inherente al clima, ésta consiste en una variación en el rango de valores de las variables climáticas en un espacio geográfico a lo largo del tiempo (IARNA-URL, 2012). Por tanto, la variabilidad que presenta la temperatura y la precipitación en las seis zonas de vida para el periodo 1970-2013 podría ser incluso una característica del país debido al comportamiento de los factores que condicionan el clima en la región, tales como: la zona de convergencia intertropical (ITZC), Oscilación Sur de El Niño (ENSO), Corrientes de chorro de bajo nivel del Caribe (CLLJ) y Zona de Alta Presión del Atlántico Norte que controlan la precipitación y otros factores climáticos (viento, temperatura, humedad, etc.) en la región tropical del Hemisferio Norte (IARNA-URL, 2011). Sin embargo, es necesario

mencionar que a medida que los efectos del cambio climático aumentan, todos los fenómenos climáticos planetarios se ven alterados, por tanto las variaciones que han tenido la precipitación y la temperatura de las zonas de vida mencionadas podrían estar vinculadas al cambio climático o bien al calentamiento global que hace que la temperatura se incremente más allá del rango normal (IARNA-URL, 2012).

Según el estudio sobre cambio en la temperatura y precipitación para Centroamérica y el norte de Sudamérica en el periodo 1960-2005 existe una gran variabilidad en el clima de la región, reflejando un aumento en las temperaturas, principalmente los valores extremos y un aumento en las precipitaciones intensas, así como una disminución en los días húmedos consecutivos (Aguilar, et al., 2005), dicha información concuerda con lo reflejado en los resultados de esta investigación, ya que en la mayoría de zonas de vida analizadas los valores extremos para temperatura y precipitación han aumentado, excepto en el bosque muy seco tropical (estación meteorológica La Fragua) donde las temperaturas mínimas extremas han tenido una disminución no significativa y las zonas de vida del bosque muy húmedo premontano tropical (estación Cobán) y bosque húmedo montano bajo tropical (estación Labor Ovalle) donde la temperatura máxima extrema también refleja una disminución no significativa.

Por su parte, Guerra (2010), afirma en el análisis realizado para el periodo de 1929-2010 que la precipitación anual en la estación meteorológica INSIVUMEH ha tenido muchas fluctuaciones y tendencias de incremento y disminución a lo largo de las décadas, por hacer mención: hasta 1942 disminuyó, seguido por un incremento hasta 1962, después nuevamente disminuyó durante los años 60's y finalmente a partir de 1970 ha incrementado continuamente hasta 2010. En la presente investigación se refleja un escenario distinto respecto al comportamiento de precipitación anual, mostrando un incremento tendencial principalmente en eventos extremos, lo cual difiere con la investigación citada, dichos cambios se pueden atribuir al periodo de análisis utilizado, ya que se tomaron en cuenta los datos de precipitación anual a partir del año 1970, el cual es el punto donde se ha marcado una tendencia de incremento.

Mesoamérica es una de las regiones que enfrentará mayores cambios de clima para el presente siglo, teniendo como consecuencia un aumento de temperatura, alta variabilidad climática y una modificación del ciclo hidrológico. Guatemala por su parte es uno de los países más vulnerables al cambio climático, donde se prevé que la temperatura atmosférica y del mar aumente considerablemente. A través de investigaciones del fenómeno ENSO (El Niño/La Niña) se ha demostrado que la variabilidad de temperatura en el océano Pacífico tiene un impacto significativo en las precipitaciones del Caribe y Centroamérica, teniendo como efectos en su fase cálida (El Niño) severas sequías y en la fase fría (La Niña) intensas lluvias (IARNA-URL, 2012).

En las seis zonas de vida analizadas, la precipitación ha tenido mucha variabilidad, presentando años con lluvias intensas y otros con sequías. En el Cuadro 7 se presentan los eventos meteorológicos históricos de Guatemala (1970-2013), resaltando el mes en que afectaron y la relación que tienen con el Índice Oceánico del Niño (ONI), a partir del valor y fase del mismo, así como también el periodo en que se presentó.

Es importante aclarar que los eventos meteorológicos que se han presentado en el país no han afectado a todas las zonas de vida analizadas de igual manera, por tal razón, solamente se presentan los valores de precipitación de las estaciones meteorológicas donde se refleja un aumento o disminución notable, según sea el caso. Se puede observar que no todos los eventos meteorológicos (huracanes, tormentas, depresiones y sequías) están vinculados con las fases cálida (El Niño) ó fría (La Niña) de ENSO, haciendo mención a: los años 1974, 1989, 2005, 2008 y 2010 en donde los eventos se presentaron cuando el ENSO estaba en su fase neutra, lo cual indica que la temperatura superficial del mar (TSM) no presentaba anomalía. Por otra parte, también se percibe que en los eventos donde se presenta relación con el ENSO, las sequías se evidencian cuando ocurre El Niño, mientras que las intensas lluvias se dan cuando sucede La Niña, lo cual concuerda con la literatura anteriormente citada. Además, se debe mencionar que en todos los eventos de sequías se presenta El Niño, lo cual no sucede en la fase de La Niña.

Cuadro 7. Eventos meteorológicos en Guatemala 1970-2013 y su relación con el ONI.

Año	Evento Meteorológico	Valores de precipitación en estaciones meteorológicas *	Valor, Fase y meses de ONI**
1974	Huracán Fifi (septiembre)	Lluvias intensas en Puerto Barrios (3,300 mm) y Cobán (2,200 mm).	-0.40 (Fase neutra) (agosto-septiembre-octubre)
1989	Fuertes lluvias a nivel nacional (septiembre)	La Fragua (800 mm), Puerto de San José (1800 mm), Puerto Barrios (3,600 mm), Cobán (2,000 mm) y Labor Ovalle (900 mm).	-0.30 (Fase neutra) (agosto-septiembre-octubre)
1997	Sequía (mayo-junio-julio)	INSIVUMEH (950 mm)	1.20 (El Niño) (mayo-junio-julio)
1998	Huracán Mitch (octubre)	Lluvias intensas de 2,600 mm en Puerto de San José y de 1,100 mm en Labor Ovalle.	-1.30 (La Niña) (septiembre-octubre-noviembre)
2000	Fuertes lluvias en la región Central del país (septiembre)	Lluvias intensas de 1,000 mm en La Fragua, y de 2,600 mm en Cobán.	-0.60 (La Niña) (agosto-septiembre-octubre)
2002	Fuertes sequías a nivel nacional (septiembre)	La Fragua (600 mm), Puerto de San José (1,100 mm), Puerto Barrios (3,000 mm), INSIVUMEH (1,100 mm), Cobán (2,300 mm) y Labor Ovalle (700 mm).	0.90 (El Niño) (agosto-septiembre-octubre)
2005	Tormenta tropical Stan (octubre)	Puerto de San José (2,200 mm), INSIVUMEH (1,500 mm) y Labor Ovalle con 1,200 mm.	-0.20 (Fase neutra) (septiembre-octubre-noviembre)
2008	Depresión tropical No. 16 (octubre)	La Fragua (1,300 mm), Puerto de San José (1,900 mm), Cobán (2,700 mm), Labor Ovalle (1,000 mm).	-0.20 (Fase neutra) (septiembre-octubre-noviembre)
2009	Sequía severa (septiembre)	La Fragua (780 mm), Puerto de San José (1,100 mm), Labor Ovalle (800 mm).	0.80 (El Niño) (agosto-septiembre-octubre)
2010	Tormenta tropical Ágatha(mayo)	La Fragua (1,410 mm), Puerto de San José (3,100 mm), INSIVUMEH (1,700 mm), Labor Ovalle (1,600 mm).	0.10 (Fase neutra) (abril-mayo-junio)
2011	Depresión tropical 12E (octubre)	La Fragua (1,100 mm), Puerto de San José (2,000 mm), Puerto Barrios (4,000 mm), Cobán (2,400 mm) y Labor Ovalle (1,180 mm).	-0.80 (La Niña) (septiembre-octubre-noviembre)

*Ver figuras 19, 28, 37, 46, 55 y 64 **Ver anexo 1

Elaboración propia con base en: UNISDR & CEPREDENAC, (2013).

9.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA RELACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA CON EL ÍNDICE OCEÁNICO DEL NIÑO (ONI)

9.3.1 Correlación lineal de Pearson entre las variables meteorológicas (precipitación y temperatura máxima y mínima) y el ONI.

Con el objeto de comprobar el grado de asociación entre el comportamiento de las variables meteorológicas analizadas (precipitación, temperatura mínima y temperatura máxima) y el ONI se realizó un análisis de Correlación de Pearson en el software InfoStat. En el Cuadro 8 se presentan los valores de coeficientes y probabilidades de correlación para cada zona de vida. Se puede observar que según los coeficientes de correlación, no existe un grado de asociación lineal estadísticamente significativo entre el ONI y las variables meteorológicas en ninguna zona de vida, ya que los valores están lejos a 1 ó -1.

Cuadro 8. Coeficientes y probabilidades de la Correlación de Pearson entre las variables meteorológicas (precipitación y temperatura mínima y máxima) y el ONI.

Zona de Vida	Estación meteorológica	Variable meteorológica	Coeficientes	Probabilidades
Bosque muy Seco Tropical	La Fragua	Precipitación	-0.08	0.08
		Temperatura mínima	0.11	0.02
		Temperatura máxima	0.17	0.00
Bosque Seco Tropical	Puerto de San José	Precipitación	-0.05	0.22
		Temperatura mínima	-0.16	0.00
		Temperatura máxima	-0.13	0.00
Bosque Húmedo Tropical	Puerto Barrios	Precipitación	0.02	0.69
		Temperatura mínima	-0.03	0.55
		Temperatura máxima	-0.01	0.83
Bosque Húmedo Premontano Tropical	INSIVUMEH	Precipitación	-0.07	0.11
		Temperatura mínima	-0.01	0.83
		Temperatura máxima	0.07	0.13
Bosque muy Húmedo Premontano Tropical	Cobán	Precipitación	-0.12	0.00
		Temperatura mínima	0.03	0.45
		Temperatura máxima	-0.04	0.34
Bosque Húmedo Montano Bajo Tropical	Labor Ovalle	Precipitación	-0.03	0.55
		Temperatura mínima	-0.02	0.60
		Temperatura máxima	0.07	0.10

Fuente: Elaboración Propia.

Tomando en cuenta los resultados obtenidos en el Cuadro 8, se optó por hacer una Correlación lineal de Pearson entre la precipitación, temperatura mínima y temperatura máxima con distintas categorizaciones para el ONI. Se definieron distintas variables: la variable categoría (se categorizaron las distintas fases del ONI, donde: El Niño = 1; La Niña = 2 y fase neutra = 3); la variable Niño (donde los valores iguales o mayores a +0.05 que indican la Fase de El Niño están categorizados con el valor = 1 y las fases neutra y La Niña = 0); y la variable Niña (donde los valores iguales o menores a -0.05 que indican la Fase de La Niña están categorizados con el valor = 1 y las fases neutra y El Niño = 0). El objetivo de categorizar los valores del ONI era para comprobar si de esa manera se encontraba una correlación estadísticamente significativa, sin embargo el valor de los coeficientes obtenidos estuvieron lejanos a 1 ó -1 (Ver Anexo 2).

9.3.2 Regresión logística

Anteriormente se pudo observar que no existe relación lineal significativa entre la precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima respecto al Índice Oceánico del Niño, adicionalmente se realizó una regresión logística para comprobar a través de un modelo dicotómico si existe o no relación entre el ONI y las variables meteorológicas analizadas.

En el Cuadro 9 se presentan los valores de los coeficientes de regresión logística que determinan la relación entre en las fases del ONI (El Niño/La Niña) y las distintas variables meteorológicas analizadas. Se puede observar que únicamente la precipitación tiene relación con la fase El Niño, ya que el valor de $Pr > Chi^2$ es menor a 0.05 (significancia 5%), lo que indica que es estadísticamente significativo, además se asume que cuando la precipitación disminuye existe la probabilidad de que se presente la fase cálida de ONI (El Niño), ya que el valor que los relaciona es negativo (-0.001). Esto reafirma lo que se presentó en el Cuadro 7, donde se puede verificar que la fase cálida (El Niño) incide directamente en las lluvias, provocando sequías.

Cuadro 9. Regresión logística entre las variables meteorológicas y el ONI.

Fases del ONI	Variable	Valor	Pr > Chi ²
El Niño	Precipitación	-0.001	0.009
	Temperatura Mínima	-0.002	0.771
	Temperatura Máxima	-0.003	0.769
La Niña	Precipitación	0.000	0.662
	Temperatura Mínima	0.002	0.714
	Temperatura Máxima	-0.001	0.880

Fuente: Elaboración Propia.

Con base en los resultados obtenidos en la caracterización de temperatura y precipitación, se pudo observar que existe una tendencia general de aumento en las dos variables climáticas analizadas en las 6 zonas de vida, que representan el 85.12% del territorio nacional. Además, el análisis de Correlación Lineal de Pearson reflejó que tanto la temperatura como la precipitación no tienen relación lineal con el índice Oceánico del Niño (ONI), sin embargo, la regresión logística realizada mostró que existe probabilidad de aparición de la fase cálida del ONI, cuando la lluvia disminuye.

Respecto a la precipitación se puede notar el aumento en la frecuencia de eventos extremos (tanto sequías como exceso de lluvia), ya que a partir de 2005 se han presentado las precipitaciones más intensas y también se han presentado con más frecuencia los eventos extremos hidrometeorológicos (ver Cuadro 7).

Considerando que Guatemala es uno de los países más propensos a ser afectados por el cambio climático, la tendencia de aumento en la frecuencia de eventos extremos puede afectar negativamente al país, ya que a medida que aumentan los desastres (provocados por fenómenos meteorológicos como huracanes) el país se vuelve más vulnerable y tiene menos oportunidad de adaptarse a dichos cambios.

X CONCLUSIONES

La precipitación total anual tuvo un incremento significativo desde 1970 hasta 2013 en las seis zonas de vida analizadas (que representan el 85.12% del territorio nacional), presentándose valores extremos (por encima de la media general).

Las temperaturas máxima y mínima mostraron un incremento tendencial desde 1970 a 2013, presentado sus registros más altos (en °C) a partir del año 1995 en todas las zonas de vida analizadas.

La mayor variabilidad respecto a temperaturas máximas y mínimas se presentó en el Bosque muy Seco Tropical (La Fragua), Bosque Húmedo Tropical (Puerto Barrios), Bosque húmedo Montano Bajo Tropical (Labor Ovalle) y el Bosque Húmedo Premontano Tropical (INSIVUMEH).

En relación al análisis climático (RClimDex), se evidenció que la precipitación total anual (PRCPTOT) ha tenido un incremento significativo en las seis zonas de vida analizadas.

Los días muy húmedos (R95p) tuvieron aumento significativo en todas las zonas de vida a excepción del Bosque húmedo Montano Bajo Tropical (Labor Ovalle).

La precipitación promedio en días húmedos (SDII) presentó aumento significativo en el Bosque Húmedo Premontano Tropical (INSIVUMEH), Bosque muy Seco Tropical (La Fragua) y el Bosque muy Húmedo Premontano Tropical (Cobán).

Respecto al análisis de temperaturas en RClimDex, la temperatura mínima extrema presenta aumento significativo (en °C) en el Bosque Húmedo Premontano Tropical (INSIVUMEH) y el Bosque húmedo Montano Bajo Tropical (Labor Ovalle).

La temperatura máxima extrema y el Rango Diurno de Temperatura ha aumentado de manera significativa únicamente en el Bosque Seco Tropical (Puerto de San José).

La zona de vida que más presenta variabilidad en los valores de precipitación pluvial y temperaturas máxima y mínima (periodo 1970-2013) es el Bosque Húmedo Premontano Tropical (INSIVUMEH).

La zona de vida que presenta menor cambio significativo en los valores de precipitación pluvial y temperaturas máxima y mínima (periodo 1970-2013) es el Bosque Húmedo Montano Bajo Tropical (Labor Ovalle).

El Índice Oceánico del Niño en su fase fría (La Niña) no mostró relación con los eventos de exceso de precipitación (huracanes, depresiones y tormentas) del periodo 1970-2013 en su totalidad, solamente en los años 1998, 2000 y 2011.

El análisis de los eventos meteorológicos mostró una relación directa de la fase cálida del ONI (El Niño) con las sequías, en los años 1997, 2002 y 2009.

El análisis del Coeficiente de Correlación lineal de Pearson mostró que no existe una relación estadísticamente significativa entre el comportamiento del Índice Oceánico del Niño y las variables climáticas analizadas (precipitación y temperatura).

En la regresión logística se evidenció que cuando la precipitación disminuye, existe la probabilidad de que se presente la fase cálida de ENSO (El Niño), lo cual demuestra que ésta fase tiene incidencia directa en las lluvias.

XI RECOMENDACIONES

Caracterizar el comportamiento de la precipitación y temperatura en todas las zonas de vida de Guatemala para conocer la variabilidad climática general que se está presentando en el país y sus consecuencias en la sociedad y economía.

Realizar un análisis hidrológico en las zonas de vida analizadas, con el fin de determinar el impacto del aumento de la precipitación total anual y la variabilidad interdecadal en los balances hídricos de cada zona.

Realizar un diagnóstico general en los cultivos de secano del país, para identificar las consecuencias del aumento y variabilidad tendencial en la precipitación y temperatura (mínima y máxima) principalmente en la agricultura de subsistencia.

Mantener y mejorar el sistema de registro histórico de variables meteorológicas, para obtener resultados con mayor precisión y exactitud en futuras investigaciones.

XII BIBLIOGRAFIA

- Aguilar, E., et al. (2005). Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961–2003. *J. Geophys. Res.* 110, D23107.
- American Meteorological Society. (2012). *Clima*. Glossary of meteorology. Recuperado de: <http://glossary.ametsoc.org/wiki/Climate>
- Ávila, J., Carvajal, Y. & Gutiérrez, S. (2014). Análisis de la influencia de El Niño y La Niña en la oferta hídrica mensual de la cuenca del Río Cali. *Tecnura*. 18 (41). 120-133 pp.
- Brenes, A. & Saborío, V. (1995). *Elementos de Climatología: Su aplicación didáctica a Costa Rica*. Primera Edición. EUNED. San José, Costa Rica. 92 pp.
- Capel, J. (1999). El Fenómeno ENSO (El Niño/Oscilación del Sur) en 1997-1998: Alteraciones climáticas inducidas en el mundo. *Nimbus*. (3). 37-62 pp.
- Castro, O., Meneses, A. & Monterroso, H. (2013). *El fenómeno ENSO, sus efectos y expectativas para su seguimiento con fines de estimados en la producción. Zona cañera de Guatemala*. CENGICAÑA. 13 pp. Recuperado de: [http://www.cengicana.org/es/mapas-zona-canera/memorias/Memoria Presentaci%C3%B3n-de-Resultados-de-Investigaci%C3%B3n-2012-2013/4--Agronom%C3%ADa/Riegos/](http://www.cengicana.org/es/mapas-zona-canera/memorias/Memoria%20Presentaci%C3%B3n-de-Resultados-de-Investigaci%C3%B3n-2012-2013/4--Agronom%C3%ADa/Riegos/)
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). (2010). *Guatemala: Efectos del cambio climático sobre la agricultura*. Proyecto La Economía del cambio climático en Centroamérica. México, D.F. 71 pp.

- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de Biodiversidad). (2011). *¿Qué significa biodiversidad?*. México, D.F. Recuperado de: <http://www.conabio.gob.mx/otros/comunicacion/doctos/biodiv.html>
- CONAP (Consejo Nacional de Áreas Protegidas). (2008). *Guatemala y su biodiversidad: Un enfoque histórico, cultural, biológico y económico*. Oficina Técnica de Biodiversidad. Guatemala. 650 pp.
- Correia, K. (2012, 30 de enero). *Introduction to the El Nino and La Nina Climate Phenomena*. [Web log post]. Recuperado de: <http://kcorreia.com/2012/el-nino-la-nina/>
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., González, L., Tablada, E., Díaz, M., Robledo, C. & Balzarini, M. (2008). *Estadística para las Ciencias Agropecuarias*. Séptima Edición. Edición Electrónica. Córdoba. 373 pp.
- Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos, Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo & Greenpeace. (1995). *Congreso Nacional sobre Biodiversidad de Guatemala*. Ciudad de Guatemala.
- García, M., Piñeros, A., Bernal, F. & Ardila, E. (2012). *Variabilidad climática, cambio climático y el recurso hídrico en Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). Bogotá, Colombia. 18 pp.
- Guerra, A. (2010). *Climate-related disaster risk in mountain areas: the Guatemalan highlands at the start of the 21st Century*. Disertación Doctor of Philosophy of Science. Inglaterra. Universidad de Oxford. 258 pp.
- Guevara, J. (2008). El ABC de los índices usados en la identificación y definición cuantitativa de El Niño-Oscilación del sur (ENSO). *Terra*, 24 (35). 85-140 pp.

- Hernández, B. (2002). El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) y los frentes fríos que arriban a la región occidental cubana. *Investigaciones Marinas*, 30 (2). 3-19 pp.
- Hernández, B. & Zambrano, E. (2009). Relación entre la temperatura superficial del mar del océano pacífico oriental y las precipitaciones en la costa del Ecuador durante 1981-2006. *Acta Oceanográfica del Pacífico*. 15 (1). 1-5 pp.
- Holdridge, L. (2000). *Ecología basada en Zonas de Vida*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Quinta reimpresión. San José, Costa Rica. 216 pp.
- IARNA-URL (Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar). (2009). *Perfil Ambiental de Guatemala 2008-2009: las señales ambientales críticas y su relación con el desarrollo*. Guatemala: Autor.
- IARNA-URL (Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar). (2011). *Cambio Climático y Biodiversidad. Elementos para analizar sus interacciones en Guatemala, con un enfoque ecosistémico*. Guatemala: Autor.
- IARNA-URL (Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar). (2012). *Perfil Ambiental de Guatemala 2010-2012. Vulnerabilidad local y creciente construcción de riesgo*. Guatemala: Autor.
- IARNA-URL (Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar). (2014). *Clasificación de ecosistemas de Guatemala basada en el sistema de zonas de vida de Holdridge*. Guatemala. (Pendiente de publicar).
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt Colombia. (1998). *El Bosque seco tropical en Colombia*. Bogotá, Colombia. Recuperado de:

<http://media.utp.edu.co/ciebreg/archivos/bosque-seco-tropical/el-bosque-seco-tropical-en-colombia.pdf>

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt Colombia. (2014). *Bosques secos tropicales en Colombia*. Bogotá, Colombia. Recuperado de: <http://www.humboldt.org.co/investigacion/proyectos/en-desarrollo/item/158-bosques-secos-tropicales-en-colombia>

INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología). (2006). *Fenómeno Océano-Atmosférico “El Niño” (ENOS)*. (Informe 1-2006). Unidad de Investigación y Servicios Meteorológicos. Guatemala. 2pp.

IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático). (2001). *IPCC Third Assessment Report – Climate Change 2001 – Working Group I: The Scientific Basis*. Recuperado de: http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/?src=/climate/ipcc_tar/wg1/518.htm

IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático). (2013). *Resumen para responsables de políticas. En: Cambio Climático 2013: Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Cambridge y Nueva York. 34 pp.

Jiménez, M., Chain, A. & Locatelli, B. (2011). Efectos del cambio climático en la distribución de zonas de vida en Centroamérica. *Recursos Naturales y Ambiente*. 59 (60). 32-40 pp.

MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales) & NCAP (The Netherlands Climate Assistance Programme). (2007). *Proyecto Estudios de Cambio Climático con Énfasis en Adaptación. Guatemala: Compilación y Síntesis de los Estudios de*

Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático. Recuperado de:
http://www.marn.gob.gt/sub/portal_cambio_climatico/docs/compilacion.pdf

Martelo, M. (2003). *La precipitación en Venezuela y su relación con el sistema climático*. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales. 72 pp. Recuperado de:
http://www.inameh.gob.ve/documentos/precipitacion_venezuela_relacion_sistema%20climatico.pdf

Melgar, W. (2003). *Estado de la diversidad biológica de los árboles y bosques de Guatemala*. FAO, Roma. Recuperado de:
<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/007/j0605s/j0605s00.pdf>

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). (2009). *Climate Variability: Oceanic Niño Index*. (En red). Consultado el 28 de mayo de 2014. Disponible en:
<http://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-variability-oceanic-ni%C3%B1o-index>

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). (2012). *Frequently Asked Questions about El Niño and La Niña*. Recuperado de:
<http://www.pmel.noaa.gov/tao/elnino/faq.html>

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). (2014). *Historical El Niño/La Niña episodes (1950-present)*. Recuperado de:
http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml

Observatorio Ambiental de Guatemala. (2014). *ENOS, las siembras y el clima en Guatemala*. (2). Recuperado de:
<http://www.infoiarna.org.gt/rediarna/2014/Red%20Informa%208/Adjuntos/Boletin-OAG-2.pdf>

Pinilla, M. & Pinzón, C. (2010). *Caracterización de eventos extremos asociados a la precipitación usando RClimDex, en la parte central del departamento de Santander, Colombia*. Grupo Técnico Convenio Fundación Natura Colombia. Recuperado de: <http://fundacion.usal.es/conaec/pendrive/ficheros/ponencias/ponencias2/34-Extremos.pdf>

PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). (2009). *El cambio climático y sus efectos sobre el desarrollo humano en Guatemala*. Recuperado de: http://desarrollohumano.org.gt/sites/default/files/Cuaderno_2007-2008-1.pdf

Quispe, C., Tam, J., Saavedra, M. & Gonzáles, I. (2009). *Índice basado en presiones atmosféricas para la detección de efectos de El Niño y la Oscilación del Sur frente a la costa peruana*. Instituto del Mar de Perú (IMARPE) y Laboratorio Costero de Paita. Lima. Recuperado de: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S172799332008000200024&script=sci_arttext

Ramírez, V. & Jaramillo, A. (2009). Relación entre el Índice Oceánico del Niño y la Lluvia, en la Región Andina Central de Colombia. *Cenicafe*. 60 (2). 161-172 pp.

Sakagami, T. (2010). *El fenómeno de la Oscilación del Sur-El Niño (ENSO)*. Instituto de Tecnologías Educativas. Ministerio de Educación, España. Recuperado de: http://fjferrer.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion05/1_el_fenmeno_de_la_oscilacin_del_surel_nioenso.html

Sánchez, S. (2010, 30 de junio). *La Oscilación del Pacífico tropical: El Niño*. [Web log post]. Recuperado de: <http://cambioclimaticoenergia.blogspot.com/2010/06/la-oscilacion-del-pacifico-tropical-el.html>

Solano, E. & Stolz, W. (2009). *El Fenómeno ENOS (El Niño/Oscilación del Sur)*. Instituto Meteorológico Nacional. San José. Recuperado de: <http://www.imn.ac.cr/educacion/enos.html>

UNISDR (Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres) & CEPREDENAC (Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central). (2013). *Informe sobre la gestión integral del riesgo de desastres en Guatemala 2013*. Recuperado de: <http://eird.org/pd/docs/Informe-GIRD-Guatemala-version-preliminar-web.pdf>

Vázquez, J. (2010). *Guía para el cálculo y uso de índices de cambio climático en México*. Primera Edición. Instituto Nacional de Ecología. México. Recuperado de: http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/Guia_Indices_CC-2010.pdf

Villalobos, R. & Retana, J. (2002). *El Niño: Una revisión bibliográfica*. Instituto Meteorológico Nacional. Recuperado de: http://www.imn.ac.cr/publicaciones/estudios/Nino_rev_bibliog.pdf

WMO (World Meteorological Organization). (2013). *Elementos del Cambio Climático*. Recuperado de: http://www.wmo.int/pages/themes/climate/elements_climate_change.php

Zhang, X. (2013). *Climate Change Indices*. Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI). Recuperado de: <http://etccdi.pacificclimate.org/indices.shtml>

Zhang, X. & Yang, F. (2004). *RClimDex (1.0) Manual del Usuario*. Canadá. 22 pp. Recuperado de: <http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>

XIII ANEXOS

Anexo I

Cuadro 10. Valores del Índice Oceánico del Niño (ONI) en el periodo 1970-2013.

Año	DEF	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDE
1970	0.60	0.40	0.40	0.30	0.10	-0.20	-0.50	-0.70	-0.70	-0.70	-0.80	-1.00
1971	-1.20	-1.30	-1.10	-0.80	-0.70	-0.70	-0.70	-0.70	-0.70	-0.80	-0.90	-0.80
1972	-0.60	-0.30	0.10	0.40	0.60	0.80	1.10	1.40	1.60	1.90	2.10	2.10
1973	1.80	1.20	0.60	-0.10	-0.50	-0.80	-1.00	-1.20	-1.30	-1.60	-1.90	-2.00
1974	-1.90	-1.60	-1.20	-1.00	-0.80	-0.70	-0.50	-0.40	-0.40	-0.60	-0.80	-0.70
1975	-0.50	-0.50	-0.60	-0.70	-0.80	-1.00	-1.10	-1.20	-1.40	-1.50	-1.60	-1.70
1976	-1.50	-1.10	-0.70	-0.50	-0.30	-0.10	0.20	0.40	0.60	0.70	0.80	0.80
1977	0.60	0.60	0.30	0.30	0.30	0.40	0.40	0.40	0.50	0.70	0.80	0.80
1978	0.70	0.50	0.10	-0.20	-0.30	-0.30	-0.30	-0.40	-0.40	-0.30	-0.10	-0.10
1979	-0.10	0.10	0.20	0.30	0.20	0.00	0.00	0.20	0.30	0.50	0.50	0.60
1980	0.50	0.40	0.30	0.30	0.40	0.40	0.30	0.10	-0.10	0.00	0.00	-0.11
1981	-0.40	-0.60	-0.50	-0.40	-0.30	-0.30	-0.40	-0.40	-0.30	-0.20	-0.21	-0.10
1982	-0.10	0.00	0.10	0.30	0.50	0.70	0.70	1.00	1.50	1.90	2.10	2.20
1983	2.20	1.90	1.50	1.20	0.90	0.60	0.20	-0.20	-0.50	-0.80	-0.90	-0.80
1984	-0.50	-0.30	-0.30	-0.40	-0.50	-0.50	-0.30	-0.20	-0.30	-0.60	-0.90	-1.10
1985	-1.00	-0.90	-0.70	-0.70	-0.70	-0.60	-0.50	-0.50	-0.50	-0.40	-0.40	-0.40
1986	-0.50	-0.40	-0.20	-0.20	-0.10	0.00	0.30	0.50	0.70	0.90	1.10	1.20
1987	1.20	1.30	1.20	1.10	1.00	1.20	1.40	1.60	1.60	1.50	1.30	1.10
1988	0.80	0.50	0.10	-0.20	-0.80	-1.20	-1.30	-1.20	-1.30	-1.60	-1.90	-1.90
1989	-1.70	-1.50	-1.10	-0.80	-0.60	-0.40	-0.30	-0.30	-0.30	-0.30	-0.20	-0.10
1990	0.10	0.20	0.30	0.30	0.20	0.20	0.30	0.30	0.40	0.30	0.40	0.40
1991	0.30	0.20	0.20	0.30	0.50	0.70	0.80	0.70	0.70	0.80	1.20	1.40
1992	1.60	1.50	1.40	1.20	1.00	0.70	0.30	0.00	-0.20	-0.30	-0.20	0.00
1993	0.20	0.30	0.50	0.60	0.60	0.50	0.30	0.20	0.20	0.20	0.10	0.10
1994	0.10	0.10	0.20	0.30	0.40	0.40	0.40	0.40	0.50	0.70	1.00	1.20
1995	1.00	0.80	0.60	0.30	0.20	0.00	-0.20	-0.40	-0.70	-0.80	-0.90	-0.90
1996	-0.90	-0.80	-0.60	-0.40	-0.30	-0.20	-0.20	-0.30	-0.30	-0.30	-0.40	-0.50
1997	-0.50	-0.40	-0.10	0.20	0.70	1.20	1.50	1.80	2.10	2.30	2.40	2.30
1998	2.20	1.80	1.40	0.90	0.40	-0.20	-0.70	-1.00	-1.20	-1.30	-1.40	-1.50
1999	-1.50	-1.30	-1.00	-0.90	-0.90	-1.00	-1.00	-1.10	-1.10	-1.30	-1.50	-1.70
2000	-1.70	-1.50	-1.20	-0.90	-0.80	-0.70	-0.60	-0.50	-0.60	-0.60	-0.80	-0.80
2001	-0.70	-0.60	-0.50	-0.40	-0.20	-0.10	0.00	0.00	-0.10	-0.20	-0.30	-0.30
2002	-0.20	0.00	0.10	0.30	0.50	0.70	0.80	0.80	0.90	1.20	1.30	1.30
2003	1.10	0.80	0.40	0.00	-0.20	-0.10	0.20	0.40	0.40	0.40	0.40	0.30
2004	0.30	0.20	0.10	0.10	0.20	0.30	0.50	0.70	0.80	0.70	0.70	0.70
2005	0.60	0.40	0.30	0.30	0.30	0.30	0.20	0.10	0.00	-0.20	-0.50	-0.80

2006	-0.90	-0.70	-0.50	-0.30	0.00	0.10	0.20	0.30	0.50	0.80	1.00	1.00
2007	0.70	0.30	-0.10	-0.20	-0.30	-0.30	-0.40	-0.60	-0.80	-1.10	-1.20	-1.40
2008	-1.50	-1.50	-1.20	-0.90	-0.70	-0.50	-0.30	-0.20	-0.10	-0.20	-0.50	-0.70
2009	-0.80	-0.70	-0.50	-0.20	0.20	0.40	0.50	0.60	0.80	1.10	1.40	1.60
2010	1.60	1.30	1.00	0.60	0.10	-0.40	-0.90	-1.20	-1.40	-1.50	-1.50	-1.50
2011	-1.40	-1.20	-0.90	-0.60	-0.30	-0.20	-0.20	-0.40	-0.60	-0.80	-1.00	-1.00
2012	-0.90	-0.60	-0.50	-0.30	-0.20	0.00	0.10	0.40	0.50	0.60	0.20	-0.30
2013	-0.60	-0.60	-0.40	-0.20	-0.20	-0.30	-0.30	-0.30	-0.30	-0.20	-0.30	-0.40

(NOAA, 2014).

Significado de los títulos de cada columna:

DEF: Diciembre-Enero-Febrero

EFM: Enero-Febrero-Marzo

FMA:Febrero-Marzo-Abril

MAM: Marzo-Abril-Mayo

AMJ: Abril-Mayo-Junio

MJJ: Mayo-Junio-Julio

JJA: Junio-Julio-Agosto

JAS: Julio-Agosto-Septiembre

ASO: Agosto-Septiembre-October

SON: Septiembre-October-Noviembre

OND: October-Noviembre-Diciembre

NDE: Noviembre-Diciembre-Enero

Anexo II

Cuadro 11. Coeficientes de correlación de Pearson (precipitación) de la Estación La Fragua, Zacapa.

Variable	Coeficientes	Probabilidades
ONI	-0.0768	0.077888
Categoría	0.103398	0.017471
Niño	-0.08266	0.057686
Niña	-0.02471	0.571109

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro 12. Coeficientes de correlación de Pearson (temperatura mínima) de la Estación La Fragua, Zacapa.

Variable	Coeficientes	Probabilidades
ONI	0.106002	0.0159
Categoría	0.150638	0.000589
Niño	-0.0124	0.778507
Niña	-0.23419	7.16E-08

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro 13. Coeficientes de correlación de Pearson (temperatura máxima) de la Estación La Fragua, Zacapa.

Variable	Coeficientes	Probabilidades
ONI	0.17355526	7.1668E-05
Categoría	0.14961147	0.00063521
Niño	0.0050443	0.90881793
Niña	-0.26480347	9.2477E-10

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro 14. Coeficientes de correlación de Pearson (precipitación) de la Estación Puerto de San José, Escuintla.

Variable	Coeficientes	Probabilidades
ONI	-0.05374	0.217649
Categoría	0.108065	0.012972
Niño	-0.0792	0.069006
Niña	-0.03915	0.369315

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro 15. Coeficientes de correlación de Pearson (temperatura mínima) de la Estación Puerto de San José, Escuintla.

Variable	Coeficientes	Probabilidades
ONI	-0.15819	0.000369
Categoría	0.029676	0.50666
Niño	-0.09686	0.029857
Niña	0.128721	0.003831

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro 16. Coeficientes de correlación de Pearson (temperatura máxima) de la Estación Puerto de San José, Escuintla.

Variable	Coeficientes	Probabilidades
ONI	-0.127446557	0.004197835
Categoría	0.092626986	0.03782883
Niño	-0.100112271	0.02474622
Niña	0.026150277	0.558459987

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro 17. Coeficientes de correlación de Pearson (precipitación) de la Estación Puerto Barrios, Izabal.

Variable	Coeficientes	Probabilidades
ONI	0.017618082	0.686283
Categoría	-0.003751464	0.931468
Niño	0.020871845	0.632284
Niña	-0.032231475	0.459871

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro 18. Coeficientes de correlación de Pearson (temperatura mínima) de la Estación Puerto Barrios, Izabal.

Variable	Coeficientes	Probabilidades
ONI	-0.025965628	0.554284
Categoría	-0.054089585	0.217742
Niño	0.017531828	0.689716
Niña	0.060172452	0.170249

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro 19. Coeficientes de correlación de Pearson (temperatura máxima) de la Estación Puerto Barrios, Izabal.

Variable	Coeficientes	Probabilidades
ONI	-0.009239773	0.833355745
Categoría	-0.054526668	0.214041272
Niño	0.022071467	0.61521615
Niña	0.05251967	0.231411629

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro 20. Coeficientes de correlación de Pearson (precipitación) de la Estación INSIVUMEH, Guatemala.

Variable	Coeficientes	Probabilidades
ONI	-0.070367489	0.106290729
Categoría	-0.09043053	0.0377768
Niño	-0.008559801	0.844432744
Niña	0.102387648	0.018607582

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro 21. Coeficientes de correlación de Pearson (temperatura mínima) de la Estación INSIVUMEH, Guatemala.

Variable	Coeficientes	Probabilidades
ONI	-0.00990271	0.825876794
Categoría	-0.048961338	0.27645283
Niño	0.026964972	0.549084745
Niña	0.035728028	0.42722638

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro 22. Coeficientes de correlación de Pearson (temperatura máxima) de la Estación INSIVUMEH, Guatemala.

Variable	Coeficientes	Probabilidades
ONI	0.067382904	0.13397593
Categoría	-0.017426416	0.698641546
Niño	0.052989705	0.238801823
Niña	-0.070902434	0.114778649

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro 23. Coeficientes de correlación de Pearson (precipitación) de la Estación Cobán, Alta Verapaz.

Variable	Coeficientes	Probabilidades
ONI	-0.121996523	0.00499874
Categoría	-0.00313876	0.942639738
Niño	-0.065208887	0.134542164
Niña	0.126267102	0.003658937

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro 24. Coeficientes de correlación de Pearson (temperatura mínima) de la Estación Cobán, Alta Verapaz.

Variable	Coeficientes	Probabilidades
ONI	0.033833105	0.445819775
Categoría	-0.05145597	0.246066481
Niño	0.050131231	0.258452928
Niña	-0.004679448	0.916044066

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro 25. Coeficientes de correlación de Pearson (temperatura máxima) de la Estación Cobán, Alta Verapaz.

Variable	Coeficientes	Probabilidades
ONI	-0.042764696	0.335129137
Categoría	-0.053419943	0.228476731
Niño	0.00593672	0.893606427
Niña	0.080341422	0.069855856

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro 26. Coeficientes de correlación de Pearson (precipitación) de la Estación Labor Ovalle, Quetzaltenango.

Variable	Coeficientes	Probabilidades
ONI	-0.026049964	0.550330253
Categoría	0.136721622	0.00163843
Niño	-0.081871314	0.060113801
Niña	-0.083501881	0.055170675

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro 27. Coeficientes de correlación de Pearson (temperatura mínima) de la Estación Labor Ovalle, Quetzaltenango.

Variable	Coeficientes	Probabilidades
ONI	-0.022888992	0.6042911
Categoría	-0.015979785	0.717515721
Niño	-0.007554629	0.864202001
Niña	0.041719908	0.344716959

Fuente: Elaboración Propia.

Cuadro 28. Coeficientes de correlación de Pearson (temperatura máxima) de la Estación Labor Ovalle, Quetzaltenango.

Variable	Coeficientes	Probabilidades
ONI	0.072033634	0.101832097
Categoría	-0.016654004	0.705592343
Niño	0.054369087	0.21714884
Niña	-0.072644644	0.098953215

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo III

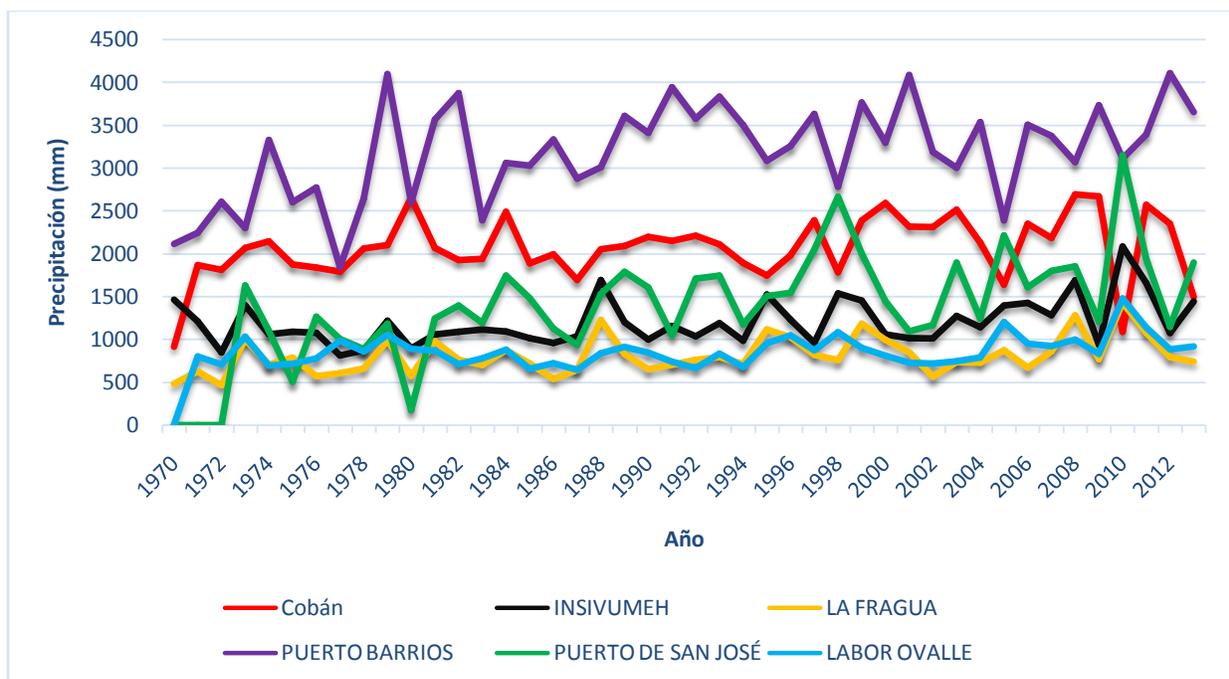


Figura 73. Comportamiento de la precipitación anual en las seis zonas de vida analizadas.

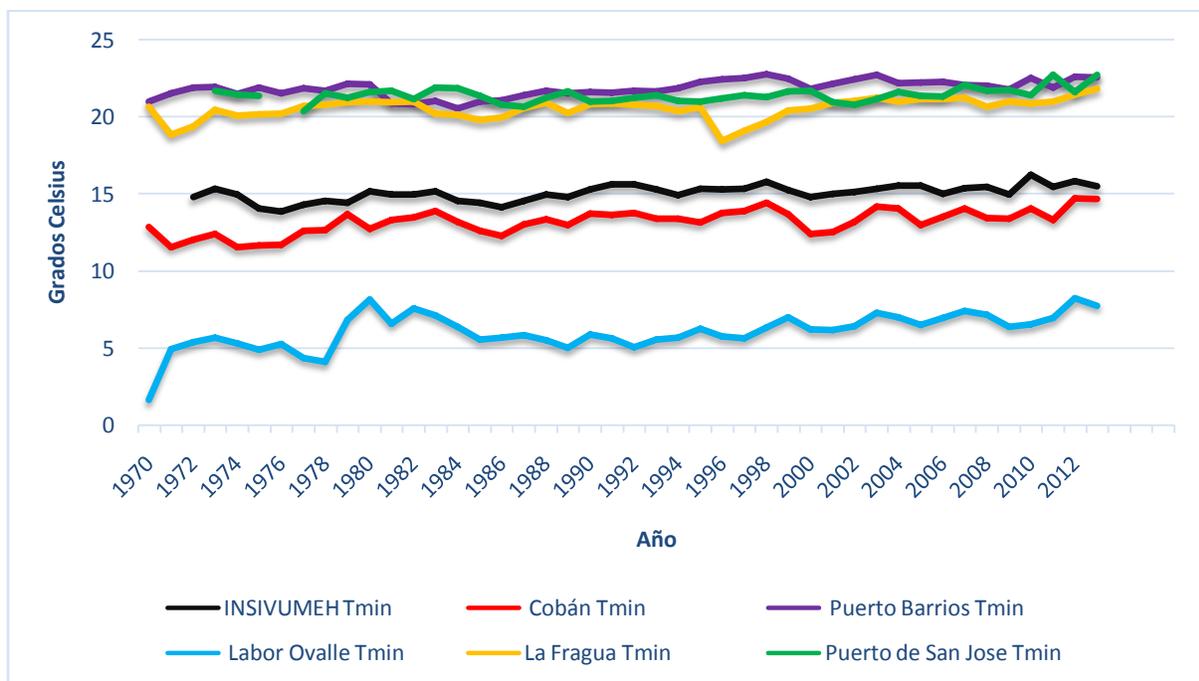


Figura 74. Comportamiento de la temperatura mínima en las seis zonas de vida analizadas.

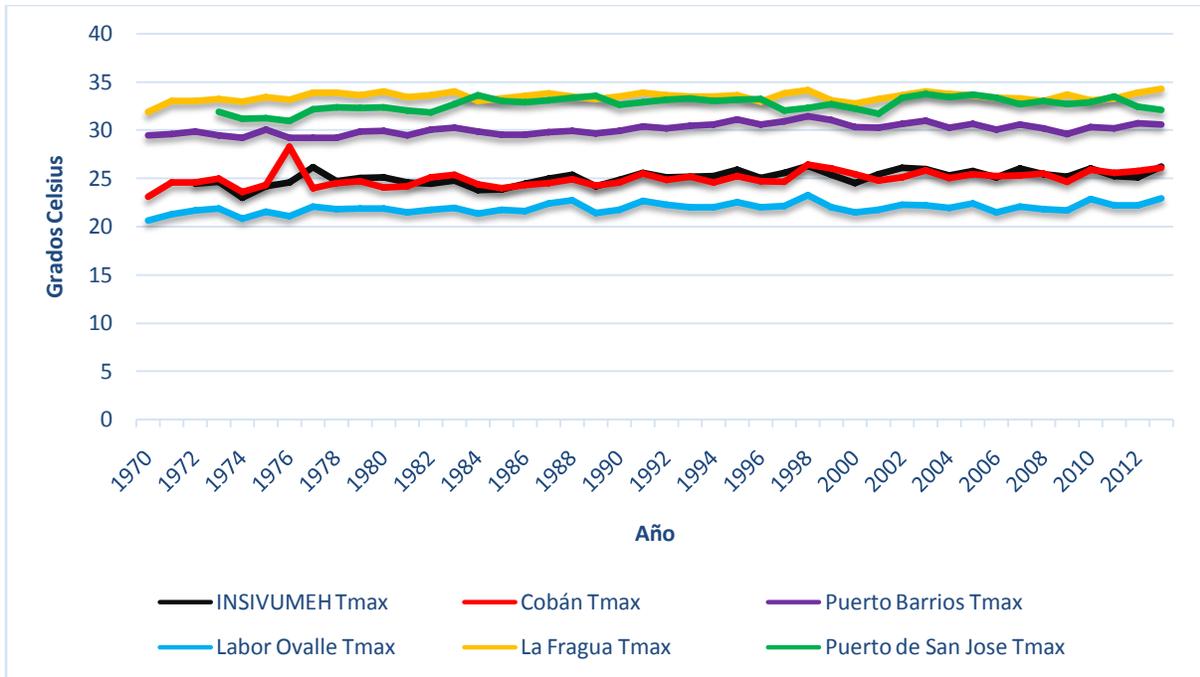


Figura 75. Comportamiento de la temperatura máxima en las seis zonas de vida analizadas.