

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES

VARIABILIDAD CLIMÁTICA LOCAL Y SU RELACIÓN CON EVENTOS DEL FENÓMENO
EL NIÑO-OSCILACIÓN DEL SUR (ENSO) EN LA VERTIENTE DEL PACIFICO
TESIS DE GRADO

CARLOS ANÍBAL RAMÍREZ CALO
CARNET 21918-09

ESCUINTLA, NOVIEMBRE DE 2015
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES

VARIABILIDAD CLIMÁTICA LOCAL Y SU RELACIÓN CON EVENTOS DEL FENÓMENO
EL NIÑO-OSCILACIÓN DEL SUR (ENSO) EN LA VERTIENTE DEL PACIFICO
TESIS DE GRADO

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

POR
CARLOS ANÍBAL RAMÍREZ CALO

PREVIO A CONFERÍRSELE
EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES EN EL GRADO
ACADÉMICO DE LICENCIADO

ESCUINTLA, NOVIEMBRE DE 2015
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR:	P. EDUARDO VALDES BARRIA, 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. LUIS MOISÉS PEÑATE MUNGUÍA

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

MGTR. JOSÉ ALFREDO SUÁREZ URRUTIA

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN

MGTR. ADÁN OBISPO RODAS CIFUENTES

MGTR. ERBERTO RAÚL ALFARO ORTIZ

ING. MANUEL RODRIGO SALAZAR RECINOS

Guatemala, 07 de octubre de 2015.

Miembros
Consejo de la Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas
Universidad Rafael Landívar
Guatemala

Honorables Miembros:

Por este medio me dirijo a ustedes para hacer constar que he asesorado al estudiante Carlos Anibal Ramírez Calo, carné: 21918-09, en la ejecución de su trabajo de graduación titulado: "Variabilidad climática local y su relación con eventos del fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) en la Vertiente del Pacífico".

Considero que el mismo cumple con los requisitos establecidos por la facultad de Ciencias Agrícolas y Ambientales, de la Universidad Rafael Landívar, por lo que recomiendo su aprobación.

Sin otro particular,

Atentamente,



Ing. Agr. MSc. José Alfredo Suárez Urrutia
Colegiado no. 3535
Cod. URL 23627



Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante CARLOS ANÍBAL RAMÍREZ CALO, Carnet 21918-09 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES, de la Sede de Escuintla, que consta en el Acta No. 06150-2015 de fecha 30 de octubre de 2015, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

VARIABILIDAD CLIMÁTICA LOCAL Y SU RELACIÓN CON EVENTOS DEL FENÓMENO
EL NIÑO-OSCILACIÓN DEL SUR (ENSO) EN LA VERTIENTE DEL PACIFICO

Previo a conferírsele el título de INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES en el grado académico de LICENCIADO.

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



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



AGRADECIMIENTOS

A:

Dios por haberme dado la sabiduría, fuerza de voluntad y bendiciones a lo largo de mi vida y culminar uno de mis objetivos.

A mi madre Josefa Calo por su esfuerzo en darme la oportunidad de estudio, por apoyarme en mis metas y el esfuerzo de ayudarme a cumplirlas.

A mi hermana Eugenia Ramírez por su apoyo incondicional en todo momento de la vida.

A mis abuelos María Raymundo (†), Juan Calo (†), Pablo Ramírez y Micaela Ajuallip, por la dedicación y enseñanzas sembradas en mis padres, por ser ejemplo a seguir de superación a pesar de todas las circunstancias de la vida.

Al MSc. Alfredo Suárez por su apoyo en la realización y corrección como asesor del presente trabajo de tesis.

Al Ing. Jorge Berrios por compartir sus conocimientos conmigo y apoyo en el proceso como persona profesional y de vida.

A la Universidad Rafael Landívar y Escuela Nacional Central de Agricultura (ENCA), por brindarme el conocimiento y formarme como profesional.

Al Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, por la oportunidad de realizar mi trabajo de tesis.

DEDICATORIA

A:

Dios: Ser supremo, por darme la vida, ser la luz y guiarme en el camino correcto de la vida.

Mi madre: Josefa Calo por el amor, cariño, dedicación, sus sacrificios, el apoyo económico, sobre todo por ser su hijo y la comprensión durante mis años de estudio.

Mis hermanas: Eugenia y Kimberly Calo por el esfuerzo, el apoyo físico y emocional para culminar mis estudios como profesional y ser ejemplo de superación a seguir en mi vida.

A mis abuelos: Maria Raymundo (†), Juan Calo (†), ángeles que desde el cielo cuidan a mi madre y a nuestra familia.

A mi tía: Magdalena Calo (†) por sus sabios consejos e impulsarme a seguir adelante.

Familia: Mis hermanos, primos, tíos y sobrinos que de alguna u otra forma me han apoyado en cada etapa de mi vida.

A mi amigo: Berry por haber compartido parte de su tiempo, conocimiento y ser perseverante conmigo para crecer en la vida profesional y culminar uno de mis objetivos en la vida.

A mis compañeros: Francisco Polanco, Sandy Reyes, Doris Yool, Nancy Galan, Ada Pinzón, Jamelin Cadenas, Abner Flores, Esly Cifuentes y Arnulfo Estrada por el apoyo, esfuerzo y dedicación que compartimos en nuestra etapa universitaria.

ÍNDICE

Página

RESUMEN	I
SUMMARY	II
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	2
2.1. ASPECTOS GENERALES DEL CLIMA	2
2.2. VARIABILIDAD CLIMÁTICA	3
2.2.1. Escalas de la variabilidad climática.....	3
2.2.2. Variabilidad climática en Guatemala.....	5
2.3. CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL	9
2.3.1. Cambio climático.....	9
2.3.2. Tendencias regionales del clima.....	10
2.4. FENÓMENO EL NIÑO-OSCILACIÓN DEL SUR (ENSO).....	13
2.4.1. Fase cálida (El Niño).....	15
2.4.2. Fase neutral	16
2.4.3. Fase fría (La Niña)	16
2.4.4. Caracterización de las fases cálidas (El Niño) y frías (La Niña) del fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) mediante el índice 3.4.....	17
2.4.5. Efectos de El Niño-Oscilación del Sur (ENSO).....	20
2.5. CLIMA EN GUATEMALA	22
2.5.1. Comportamiento histórico de temperatura y precipitación de Guatemala.....	24
2.6. RCLIMDEX	26
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	28
3.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	28
3.2. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO.....	29
IV. OBJETIVOS	30
4.1 GENERAL.....	30
4.2 ESPECÍFICOS.....	30
V. METODOLOGÍA	31
5.1 AMBIENTE	31
5.2 SUJETO Y/O UNIDADES DE ANÁLISIS.....	31
5.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN	31
5.4 INSTRUMENTO.....	31
5.5 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	32

5.5.1	Ubicación y recopilación de información e integración de datos meteorológicos.....	32
5.5.2	Control de calidad	35
5.5.3	Integración mensual, cálculo del promedio y desviación estándar para precipitación y temperatura.....	40
5.5.4	Determinación de anomalía estandarizada de temperatura media y precipitación.....	41
5.5.5	Elaboración de matriz de análisis para cálculo de anomalías de temperatura y precipitación y obtención de coeficientes de correlación con desfase mensual	42
5.5.6	Determinación de la relación entre la variabilidad de eventos del ENSO, con las variaciones locales de temperatura y lluvia en la vertiente del Pacífico	45
VI.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	48
6.1	RELACIÓN ENTRE LA VARIABILIDAD DE EVENTOS DEL ENSO, CON LAS VARIACIONES LOCALES DE TEMPERATURA Y LLUVIA EN LA VERTIENTE DEL PACÍFICO.	48
6.1.1	Identificación de las anomalías de temperatura y precipitación durante etapas de eventos Niño o Niña.....	48
6.1.2	Determinación del grado de asociación de temperatura y precipitación con el fenómeno ENSO.....	56
VII.	CONCLUSIONES	63
VIII.	RECOMENDACIONES.....	65
IX.	BIBLIOGRAFÍA	66

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Información básica de estaciones meteorológica.....	34
Cuadro 2. Formato de archivo requerido de estaciones meteorológicas para el control de calidad mediante el software Rclimindex.....	36
Cuadro 3. Cuadro de coeficientes de correlación de Pearson mensuales con desfases de meses de temperatura estación San Antonio el Valle....	44
Cuadro 4. Eventos El Niño en 1982-2012 en base al índice ENSO 3.4.....	45
Cuadro 5. Eventos La Niña en 1982-2012 en base al índice ENSO 3.4.....	46
Cuadro 6. Anomalías promedio obtenidas de temperatura y precipitación según los periodos El Niño (fase cálida) 1982-2012.....	52
Cuadro 7. Anomalías promedio obtenidas de temperatura y precipitación según los periodos La Niña (fase fría) 1982-2012.....	55
Cuadro 8. Correlación de temperatura y precipitación con el fenómeno ENSO a nivel mensual, con desfases de meses (1982-2012).....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Curva de mejor ajuste, de las tendencias observadas en la temperatura.....	7
Figura 2. Curva de mejor ajuste, de las tendencias observadas en la precipitación.....	8
Figura 3. Temperatura media en los meses de enero, abril, julio y octubre, 1950 a 2000 en la región de Centroamérica (en grados centígrados y grados de latitud y longitud).....	12
Figura 4. Precipitación en los meses de enero, abril, julio y octubre, 1950 a 2000 en la región Centroamericana (en milímetros y grados de latitud y longitud).....	12
Figura 5. Descripción de las fases del fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENSO).....	17
Figura 6. Regiones El Niño establecidas para la vigilancia del fenómeno ENSO.....	19
Figura 7. Comportamiento de la anomalía de temperatura media anual del aire.....	24
Figura 8. Anomalías de precipitación anual (1961-1990).....	25
Figura 9. Días al año con lluvia mayor a 40 mm, Ciudad de Guatemala, período 1970-2003.....	25
Figura 10. Mapa de estaciones meteorológicas en la vertiente del Pacífico de Guatemala.....	33
Figura 11. Diagrama de box-plot mensuales de series de datos para visualizar anomalías de temperatura y precipitación.....	37
Figura 12. Diagrama de box-plot anual de series de datos para visualizar anomalías de temperatura y precipitación.....	38
Figura 13. Archivo de texto de outliers.txt y tmaxmin.txt para anomalías o valores fuera de rango de temperatura y precipitación.....	39

Figura 14.	Integración de datos a nivel mensual, cálculo de promedio y desviación estándar para las variables de temperatura y precipitación.....	40
Figura 15.	Anomalía de temperatura no estandarizada y estandarizada vrs anomalía ENSO 3.4.....	41
Figura 16.	Cálculo de anomalía con valor de z.....	42
Figura 17.	Cálculo de coeficiente de correlación sin desfase (rojo), un mes de desfase (azul) y dos meses de desfase (verde).....	43
Figura 18.	Gráficos de dispersión a nivel mensual con desfases hasta dos meses de temperatura y precipitación con ENSO 3.4.....	44
Figura 19.	Anomalías de temperatura anual 1982 – 2012, en la Vertiente del Pacífico de Guatemala.....	49
Figura 20.	Anomalías de temperatura anual 1982 – 2012, en la Vertiente del Pacífico de Guatemala.....	50
Figura 21.	Promedio anual de anomalías de temperatura de 1982-2012 en la Vertiente del Pacífico de Guatemala.....	51
Figura 22.	Comportamiento de anomalías de temperatura y precipitación en eventos El Niño.....	53
Figura 23.	Promedio anual de anomalías de temperatura y precipitación de 1982-2012 en la Vertiente del Pacífico de Guatemala.....	54
Figura 24.	Efecto del ENSO en temperatura a nivel mensual (1982-2012).....	59
Figura 25.	Efecto del ENSO en precipitación a nivel mensual (1982-2012).....	59
Figura 26.	Correlación de temperatura y el fenómeno ENSO con el índice 3.4 con desfases de meses en la Vertiente del Pacífico.....	61
Figura 27.	Correlación de precipitación y el fenómeno ENSO con el índice 3.4 con desfases de meses en la Vertiente del Pacífico.....	62

VARIABILIDAD CLIMÁTICA LOCAL Y SU RELACIÓN CON EVENTOS DEL FENÓMENO EL NIÑO-OSCILACIÓN DEL SUR (ENSO) EN LA VERTIENTE DEL PACÍFICO

RESUMEN

Las variaciones del clima en Guatemala están condicionadas por una serie de manifestaciones atmosféricas como: ondas del este, frentes fríos, la oscilación de la zona de convergencia intertropical, tormentas tropicales y actualmente el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés). El conocimiento del fenómeno El Niño aún es incierto; las variaciones del clima en la región guatemalteca y de los eventos ENSO dificultan su entendimiento así como el análisis y predicción de sus impactos en la región. Esta investigación determinó la relación entre la variabilidad entre eventos del ENSO, con la anomalías de temperatura y precipitación en la Vertiente del Pacífico de Guatemala, con su índice El Niño 3.4, entre 1982-2012. El análisis de serie de tiempo de anomalías de temperatura muestra épocas frías (los ochenta) y cálidas (los noventa). Para la región del país, el fenómeno ENSO (fase cálida) aporta disminución de lluvias e incrementa la temperatura, caso contrario sucede con La Niña. Las mejores correlaciones mensuales respecto al ENSO, se sitúan para temperatura en los meses de diciembre a marzo y para precipitación de junio a septiembre. Para ambas variables se obtuvo una buena correlación (r), siendo para temperatura con desfase de 2 meses (0.38) y precipitación sin desfase (0.28). Además, se evidencia que la mejor correlación, existe en la parte baja central de la Vertiente del Pacífico y menos correlación en la parte alta; efecto que puede estar atribuido a la topografía del país, siendo muy importante en las variaciones climáticas de Guatemala.

LOCAL WEATHER VARIABILITY AND ITS RELATION WITH EL NIÑO SOUTHERN OSCILLATION (ENSO) IN THE PACIFIC WATERSHED

SUMMARY

The weather variations in Guatemala are determined by a series of atmospheric manifestations like: tropical waves, weather fronts, intertropical convergence zone oscillation, and currently the El Niño Southern Oscillation (ENSO). Knowledge on the El Niño phenomenon is uncertain; the weather variations in the Guatemalan region and ENSO events make understanding the same difficult, as well as its analysis and prediction of its impact on the region. This research study determined the variability relation among ENSO events, with temperature anomalies and precipitations in the Pacific watershed of Guatemala, with an “El Niño” index of 3.4, between 1982 and 2012. The analysis of the temperature inconsistency period show cold (eighties) and warm seasons (nineties). For the country’s region, the ENSO phenomenon (warm phase) results in a reduction of rains and increases the temperature, the opposite as with La Niña. The best monthly correlations with regard to the ENSO take place from December to March in terms of temperature, while regarding precipitation from June to September. For both variables, a good correlation was obtained (r), with a difference of 2 months (0.38) regarding temperature and the precipitation without difference (0.28). Additionally, it is proven that the best correlation takes place in the lowest central part of the Pacific watershed and less correlation in the high area. Such effect might be due to the country’s topography, which is very important in the climatic variations of Guatemala.

I. INTRODUCCIÓN

Guatemala es un país que se encuentra ubicado en el istmo centroamericano entre el océano Pacífico y Atlántico, y entre dos grandes masas continentales: América del Norte y América del Sur. Las variaciones climáticas en esta zona se deben a la influencia de los océanos, posición geográfica con respecto al Ecuador y a las variaciones en el comportamiento de la zona de convergencia intertropical (ZCIT). Adicionalmente, estudios recientes han demostrado que el istmo también se encuentra fuertemente influenciado por los eventos de El Niño-Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés), y que estos eventos tienen especial incidencia en la agricultura.

Además, la particular posición geográfica y las condiciones socioeconómicas predominantes de la región, existe un alto riesgo a los desastres, en particular a los asociados a la variabilidad climática y eventos extremos. A lo largo de los años, se han registrado eventos como las inundaciones y las sequías, que han sido los causantes de situaciones de emergencia. En los últimos 30 años Guatemala ha sido afectada por diferentes eventos extremos como: El Niño fase cálida fuerte (1997), el huracán Mitch (1998), la tormenta tropical Stan (2005) y la depresión tropical Agatha más inundaciones provocadas por la fase fría La Niña (2010), los cuales han ocasionado grandes pérdidas económicas, daños a infraestructura, pérdida de recursos naturales y pérdidas de vidas humanas.

La variabilidad climática existente en el territorio guatemalteco es evidente y afecta al país, por lo que fue necesario determinar de forma cuantitativa si las anomalías que genera el fenómeno ENSO, se reflejan en las variaciones de regímenes de lluvia y temperatura.

Esta investigación se realizó con el fin de determinar anomalías de variación local y el grado de asociación de las variables de temperatura y precipitación con el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur y su índice El Niño 3.4, el cual determina la fase cálida o fría, para la vertiente del Pacífico.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. ASPECTOS GENERALES DEL CLIMA

El concepto de clima asociado a la naturaleza y el estado del ambiente, ha venido cambiando conforme la evolución del ser humano desde su concepción etimológica que significa inclinación proveniente de la raíz griega *Klaimatus*. Hasta la aceptación en el vocabulario meteorológico internacional (VMI) que dice que clima es el: “conjunto fluctuante de las condiciones atmosféricas caracterizado por los estados y evoluciones del tiempo en una porción determinada del espacio” (OMM, 1966).

Otra definición de clima hace referencia al estado del ambiente como resultado de las interacciones entre las variables atmosféricas como la radiación solar, temperatura, lluvia, humedad relativa, presión atmosférica y viento, conjuntamente con las características de un lugar determinado como la altitud y posición geográfica, la vegetación, cercanía a océanos y lagos, hidrografía y montañas entre otras (IARNA-URL, 2009).

En estas definiciones existen tres ideas principales: el clima es una expresión de cómo se comporta la atmósfera, existe un sistema de fluctuaciones y el clima hace referencia a una zona o porción determinada del espacio.

El sistema climático es complejo e interaccionan, además de la atmósfera como componente central, los océanos y otras superficies de agua (hidrósfera), las masas mundiales de hielo (criósfera), la superficie y vegetación del suelo (biósfera) y las características geofísicas del planeta y su relación con el sol (litósfera), por lo consiguiente, para describir el clima hay que tener en cuenta las mediciones y la interrelaciones entre estos factores (OMM, 2003; IARNA-URL, 2003).

2.2. VARIABILIDAD CLIMÁTICA

Se denomina variabilidad climática a las variaciones del rango medio de las condiciones climáticas y otras estadísticas del clima (como las desviaciones típicas, los fenómenos extremos, etc.) en un espacio geográfico a lo largo del tiempo, que se extienden más allá de la escala de un fenómeno meteorológico en particular. Dicha variabilidad se atribuye a procesos naturales internos que ocurren dentro del sistema climático (variabilidad interna), o a variaciones en el forzamiento externo natural o antropogénico (variabilidad externa) (IPCC, 2007).

En otra definición, en un sentido más general se le considera como: “la característica intrínseca del clima que se manifiesta por cambios del clima en el tiempo” y en un sentido más estricto como: “la secuencia de las oscilaciones de las variables climatológicas alrededor de la normal” entendiéndose por normal, los valores promedio de una serie continua de mediciones de una variable climatológica durante un período de por lo menos 30 años (Pabón, 1997 citado por IARNA-URL, 2003; Montealegre, 2004).

2.2.1. Escalas de la variabilidad climática

El clima como bien se ha dicho, varía en diferentes escalas de tiempo y espacio. Dentro de sus fluctuaciones temporales, las siguientes se consideran las de mayor trascendencia en la determinación y modulación de procesos atmosféricos (Montealegre, 2004).

- a) **Estacional:** a esta escala corresponde la fluctuación del clima a nivel mensual. La determinación del ciclo anual de los elementos climáticos es una fase fundamental dentro de la variabilidad climática a este nivel. Uno de los fenómenos que se asocia a esta escala de variabilidad es la migración de la Zona de Convergencia Intertropical – ZCIT (sistema productor de lluvias), es considerada como una de las más importantes fluctuaciones climáticas de la

escala estacional y su dinámica explica un buen porcentaje de la variabilidad de la precipitación (Montealegre, 2004).

- b) Intraestacional:** es una escala que refiere a periodos cortos de horas a unos pocos días, se presentan dentro de las estaciones, oscilaciones que determinan las condiciones de tiempo durante semanas e inclusive de uno a dos meses. Dado que su amplitud es pequeña en comparación con las del ciclo anual, las oscilaciones de esta pasan desapercibidas (Montealegre, 2004).

- c) Interanual:** a esta escala corresponden las fluctuaciones que se presentan en las variables climatológicas de año en año. Como ejemplo percibimos que la precipitación de invierno de un lugar determinado, no siempre es la misma de un año a otro, sino que fluctúa por encima o por debajo de lo normal. La variabilidad climática, enmarcada dentro de esta escala, podría estar relacionada con alteraciones en el balance global de radiación. Un ejemplo típico de la variabilidad climática interanual corresponde a los fenómenos enmarcados dentro del ciclo El Niño y La Niña -Oscilación del Sur (Montealegre, 2004).

- d) Interdecadal:** las fluctuaciones que se presentan en el clima en esta escala se mide a nivel de décadas. Comparativamente con la variabilidad interanual, la amplitud de estas oscilaciones es menor. Razón por la cual, este tipo de variabilidad pasa desapercibida para el común de la gente. No obstante, estas oscilaciones de largo plazo están influyendo notablemente en las actividades de la sociedad en ciclos interdecadales y resultan muy importantes en la determinación de posibles tendencias en las variables climáticas (Montealegre, 2004).

2.2.2. Variabilidad climática en Guatemala

Centro América generalmente está siendo afectada de manera periódica e inexacta, por anomalías climáticas; éstas pueden estar relacionadas con señales o fuentes de variabilidad climática directa o las transportadas por efecto de teleconexiones del clima. Guatemala ya siente el efecto de dicha variabilidad, presentándose reducciones de la productividad de los ecosistemas, con repercusiones sociales en los procesos de empobrecimiento, migración, desplazamientos internos y deterioro de la calidad de vida de la población, principalmente la rural y la urbano marginal (IARNA-URL, 2003).

La posición geográfica del país tiene efecto determinante sobre el clima interno. La distancia al océano y las barreras montañosas determinan la existencia de zonas de intensa precipitación en las laderas de las montañas, donde la temperatura es generalmente templada y de zonas de menor precipitación en las áreas que se encuentran protegidas por importantes barreras montañosas (Sierra de las Minas), donde el clima es caliente (MARN, 2007).

Para la región centroamericana, y en particular Guatemala en la región de la costa del Pacífico, es de especial importancia la ocurrencia de la zona donde convergen los vientos alisios, que se conoce como Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). Esta zona se desplaza hacia el sur o arriba del ecuador durante el invierno del hemisferio Norte, cuando se establece la época seca de noviembre a marzo en el país. En el verano del hemisferio norte entre abril y octubre, la ZCIT se desplaza hacia el norte provocando la mayor parte del desplazamiento de vientos húmedos hacia el país, las variaciones en la posición de la ZCIT delimita la presencia o ausencia de precipitaciones a nivel de mesoescala, dichas regiones influenciadas poseen precipitaciones con más de 200 días al año; tal es el caso de Guatemala y Centroamérica (MARN, 2007; Neff, Bove & Genovez, 2006).

En el marco general de temperatura y precipitación se sobrepone la variabilidad climática del país que determina las variaciones en el clima de un año a otro, la cual se ha venido incrementando en los últimos 10 años; esta variabilidad climática induce anomalías en el clima que hacen que las condiciones promedio del clima sean condiciones que no se observan normalmente. En el país, los cambios estacionales de precipitación y temperatura asociados principalmente con la recurrencia interanual de los eventos de El Niño y La Niña es un efecto bien documentado de los eventos ENSO produciendo un periodo de condiciones secas (Neff, *et al*, 2006) afectan el normal desarrollo de actividades en los sectores sociales, económicos y productivos. (MARN, 2007).

a) Variabilidad en la temperatura

La variabilidad climática interanual en la temperatura media anual de Guatemala muestra la existencia de una tendencia al incremento de sus valores que está condicionada por el predominio de anomalías positivas (valores superiores al promedio del período) observados durante la década de los 90; los años de mayores anomalías positivas aparentemente corresponden con aquellos en que se produjeron eventos El Niño. Según las proyecciones de Sempris, Anderson, Cherrington, Pérez, Flores y Carillo (2008), basadas en registros meteorológicos del periodo 1961-1990, la temperatura promedio en el mes de julio fue de 29 °C. Las proyecciones indican que para el año 2020 la temperatura promedio de julio ascenderá a 30.5 °C, y en el 2080 alcanzará los 34.5 °C (Sempris *et al.*, 2008). Así mismo el análisis (figura 1) de la normal climática de los registros climáticos para 1961-2001 y su respectiva variabilidad, se distinguen tres períodos escalonados y que se identifican como período fresco, período cercano a la normal y período caluroso equivalente a un aumento promedio de 1.1 °C en las últimas cuatro décadas y de más o menos 0.5 °C en los años más alejados del valor medio (MARN, 2002).

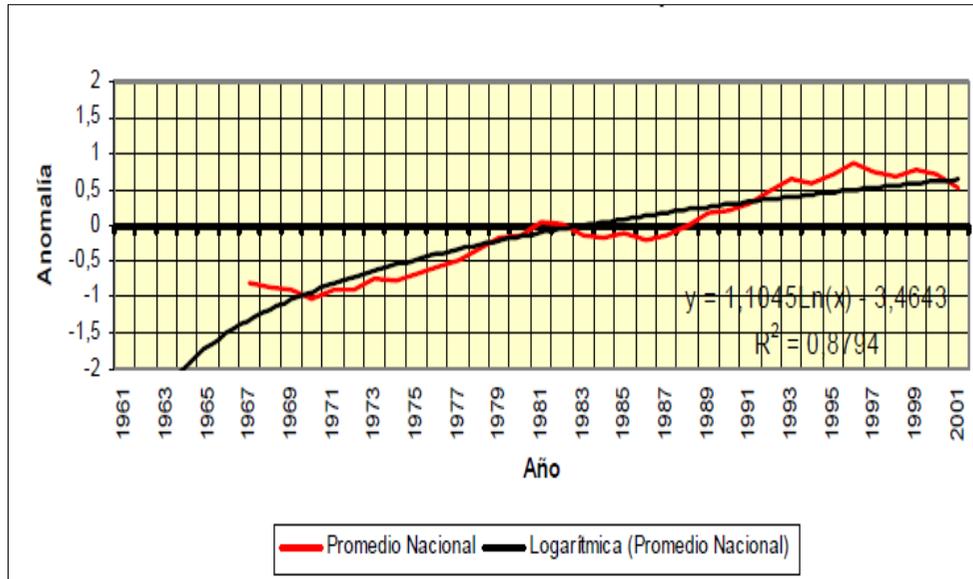


Figura 1. Curva de mejor ajuste, de las tendencias observadas en la temperatura (MARN, 2002).

b) Variabilidad en la precipitación

En cuanto al comportamiento de la lluvia (figura 2) se observan oscilaciones cuasi-decadales reguladas por fuentes de variabilidad climática de corto y largo período de los Océanos Pacífico y Atlántico. La variabilidad climática interanual en la precipitación total anual de Guatemala, revela un notable predominio de las anomalías negativas de lluvia (valores inferiores al promedio del período), a partir de la década de los años 70. Respecto al periodo 1988 a 2001 analizado en el estudio en el análisis de la “Variabilidad Climática en Guatemala realizado por el MARN”, existe un promedio nacional de tres por ciento en la precipitación en los últimos 14 años, pareciera ser despreciable; sin embargo se observan a lo largo de la serie variaciones anuales de más o menos nueve por ciento en algunos casos relacionados con fuentes de variabilidad climática El Niño y La Niña, o eventos extremos de sequía y huracanes intensos como el huracán Mitch (MARN, 2002).

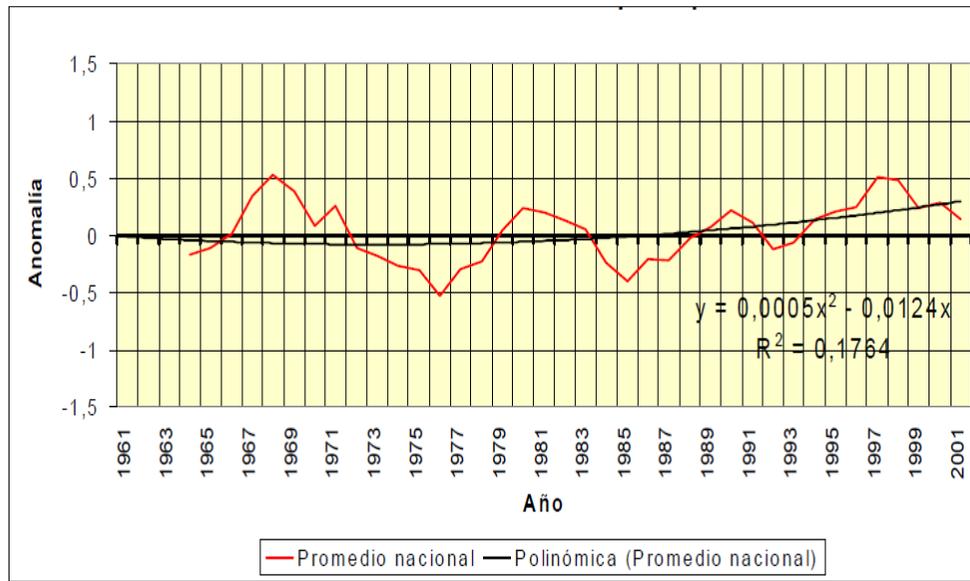


Figura 2. Curva de mejor ajuste, de las tendencias observadas en la precipitación (MARN, 2002).

Además los principales efectos negativos del cambio en el clima ya son evidentes sobre los ecosistemas de Guatemala, estos efectos están relacionados con el aumento de la temperatura, implicando una mayor demanda de agua en la vegetación y una disminución de la disponibilidad hídrica consecuentes de sequías e irregularidades de precipitaciones. Con gran probabilidad de que los impactos de dichos cambios sean más rápidos que la capacidad de adaptación de los ecosistemas naturales (IARNA-URL, 2011).

Giorgi (2006), en su análisis del comportamiento de las variables climáticas en Centroamérica, asume que esta región será una de las más afectadas, especialmente por los incrementos de sequías. Según los escenarios de clima a futuro, son las precipitaciones las que han mostrado más variabilidad y tienden a la disminución con patrón periódico en las regiones subtropicales. Las estaciones secas registran niveles de humedad más bajos, tanto en América Central como en el Caribe (Neelin, Münnich, Su, Meyerson & Holloway, 2006; citados por IARNA-URL, 2011).

2.3. CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL

2.3.1. Cambio climático

Según el Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) lo define como variaciones del valor medio del estado del clima medible estadísticamente, persistiendo por largos períodos de tiempo generalmente decenios o más años. El cambio climático es atribuido a la variabilidad natural de la tierra o como consecuencia de la actividad antropogénica a la atmósfera y uso de la tierra (IPCC, 2007).

En otra definición la Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC) de las Naciones Unidas, en el artículo 1, define el cambio climático como “el cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables” (IPCC, 2007).

En el cuarto reporte del IPCC (IPCC, 2007), se establece que el calentamiento del sistema climático es inequívoco, que se evidencia en los incrementos de las temperaturas medias del aire y el océano, el derretimiento generalizado del hielo y la nieve y la elevación del nivel medio del mar.

Establece que los cambios significativos que se han dado son en la temperatura, con un incremento de 0.74 °C en la tendencia lineal a cien años (1906-2005), probablemente, los años más recientes han sido los más cálidos en los últimos 13 siglos. Evidenciado mayor calentamiento en la litósfera que en la hidrósfera (IARNA-URL, 2011). El aumento en el nivel del mar concuerda con el calentamiento global, el cual aumentó en 1.8 mm anuales correspondientes entre 1961 y 2003. Además, concuerda con la disminución observada de los glaciares y nieves con un promedio anual de 2.7%. Las tendencias de precipitación observadas entre 1950 y 2005 muestran un aumento en las regiones de América del Norte y Sur, mientras que en

otras regiones como el Mediterráneo, África y Asia han disminuido, ocasionando probablemente aumento de sequías. Otro cambio observado es el aumento en la actividad ciclónica tropical en el océano del Atlántico norte (IPCC, 2007).

El cambio climático no es un acontecimiento novedoso, ya que el clima de la Tierra ha evolucionado siempre, con procesos generalmente lentos y debido a causas naturales propias o exteriores al planeta. La originalidad de este cambio climático que lo diferencia de otros procesos semejantes es, lo abrupto de su expresión, mediante episodios extremos e incluso violentos y, sobre todo, en periodos cortos tiempo, es decir, tiempo real. Por su carácter climatológico, el cambio climático actual es un fenómeno incierto, variable y presente, y es en estas características donde la comunidad científica-política atribuye a que si obedece a causas naturales (clásicas o geológicas) o si ha de atribuirse claramente a la intervención del ser humano (antropogénico), debido a que el principal agente perturbador identificado, el CO₂, tiene su origen en la actividad económica del ser humano (IARNA-URL, 2011).

2.3.2. Tendencias regionales del clima

Para el caso de Centroamérica todos los efectos negativos más importantes que generará el cambio climático, muestran una perspectiva que apuntan a que las áreas tropicales resultan ser las más frágiles y expuestas, y por ello lo sufrirán con mayor intensidad. Siendo los trópicos los más vulnerables por razones geográfico-meteorológicas, además que en estas regiones coinciden una mayor pobreza por motivos complejos que siguen siendo objeto de discusión en el ámbito político nacional (IARNA-URL, 2011). Durante las últimas décadas en América Latina se ha presentado una alta variabilidad climática, observando importantes cambios en la precipitación y aumentos en la temperatura. Las tendencias de los niveles de precipitación muestran una disminución, sobre todo en la región oeste del istmo y un aumento de la temperatura alrededor de 1 °C en Mesoamérica. Además, los cambios en el uso del suelo han intensificado la explotación de los recursos naturales y exacerbado muchos

procesos de degradación de suelos (Magrin, García, Choque, Gimenez, Moreno, NObre y Villamizar, 2007).

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), en su segundo informe: “La economía del cambio climático en Centroamérica”, establece que para el 2050, Centroamérica podría sufrir los impactos indicados en el rango entre 1.0 a 2.0 °C y, para el 2100, a partir de aproximadamente 2.5 °C hasta 5 °C en algunos países (CEPAL, 2011).

Fernández, Amador y Campos (2006), en su reporte sobre “Los Impactos y adaptación al cambio climático y eventos extremos en Centro América”, señalan que el incremento de la temperatura mínima es particularmente claro, no así en las tendencias de la temperatura máxima. Sin embargo, en el rango diurno de temperatura (máxima menos mínima) hay un patrón general de disminución en el mismo período.

Con el fin de tener una perspectiva general de las condiciones climáticas de la región se construyó una climatología histórica que cubre el período de 1950 a 2000 y cuenta con los datos de temperatura media anual en grados centígrados (°C) y precipitación acumulada anual en milímetros (mm). En la figura 3 se hace una representación espacial de la temperatura media para los meses de enero, abril, julio y octubre. Mostrando mayores temperaturas en los meses de abril y julio, relativo a octubre y enero, y en las zonas bajas y costeras relativas a las zonas de mayor altitud. Las temperaturas más elevadas se presentan en la región del Pacífico, y se ha identificado cierto patrón entre las anomalías de temperatura y la ocurrencia del ENSO, lo que implica condiciones más cálidas en +0.5 °C. Con respecto a precipitación (figura 4) es posible identificar una ligera disminución de la precipitación media anual en los periodos de 1980 a 2006, para los meses analizados identificando época seca de diciembre a abril, y otra húmeda de mayo a noviembre, aproximadamente, con algunas variaciones (CEPAL, 2011).

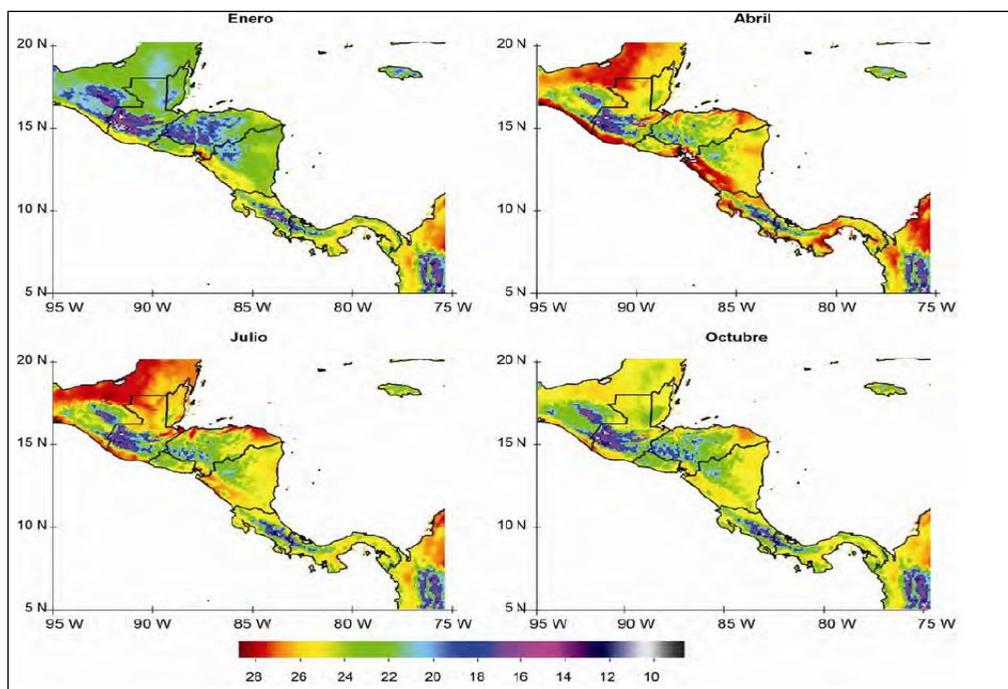


Figura 3. Temperatura media en los meses de enero, abril, julio y octubre, 1950 a 2000 en la región de Centroamérica (en grados centígrados y grados de latitud y longitud) (CEPAL, 2011).

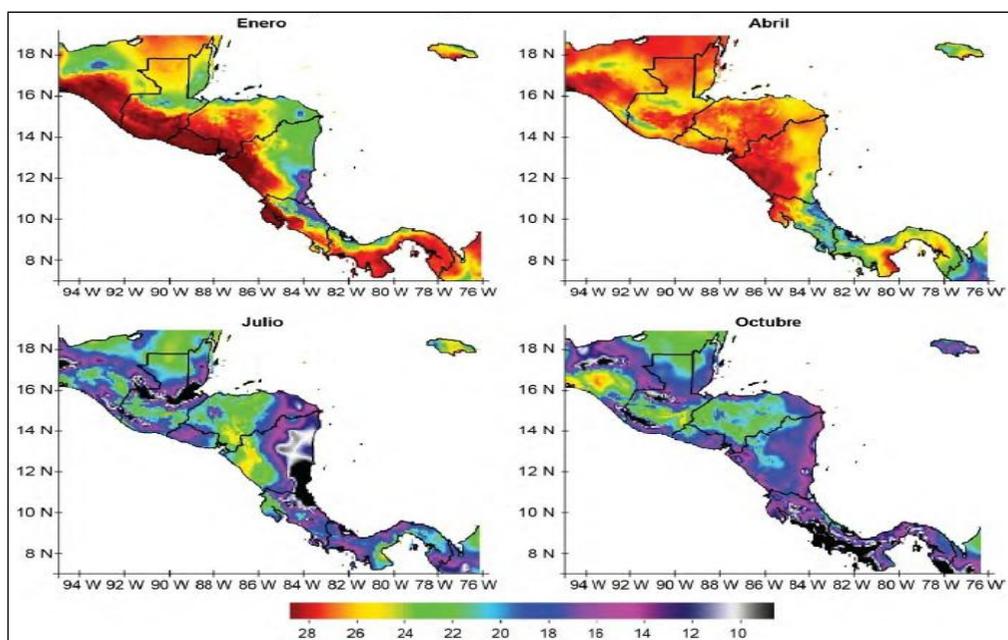


Figura 4. Precipitación en los meses de enero, abril, julio y octubre, 1950 a 2000 en la región Centroamericana (en milímetros y grados de latitud y longitud) (CEPAL, 2011).

Como consideraciones para Centroamérica, los modelos de previsión ante el cambio climático anuncian, pese a la variabilidad que se alterará notablemente las estadísticas y las series anuales, una reducción en la disponibilidad de agua como consecuencia de duros períodos de sequía, las tormentas tropicales serán más frecuentes e intensas. De ahí, de las inundaciones, sequías y erosión, se deriva la primera y más grave consecuencia, que es la reducción de la producción agraria y la alimentación, ante sala de la hambruna (pero el hambre sin hacer énfasis es un tema generalizado en gran número de países, incluyendo casi todos los de Centroamérica y muy especialmente Guatemala, plena región afectada por los más serios impactos climáticos, desgraciadamente muy numerosos, que con mayor debilidad intrínseca y aparente habrán de hacer frente a esas amenazas.

2.4. FENÓMENO EL NIÑO-OSCILACIÓN DEL SUR (ENSO)

Actualmente diversas investigaciones oceanográficas y meteorológicas demuestran la existencia de eventos climáticos extremos de escala global (Villalobos y Retana, 2000) asociados a interacciones inestables entre el océano y la atmósfera. Uno de los eventos a escala global de interacción océano-atmósfera más importantes, que se desarrolla a escala interanual, se conoce en la comunidad científica con el nombre de El Niño Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés), o comúnmente, con el nombre de El Niño (Maturana, Bello, & Manley, 2004).

Este fenómeno se refiere a las variaciones anuales y estacionales, al menos desde el inicio del Holoceno, de la temperatura superficial del mar, las lluvias convectivas, la presión del aire superficial y la circulación atmosférica, que se producen en el océano Pacífico ecuatorial. Generalmente conocido como “El Niño”, el nombre se atribuye a los pescadores de la costa del desierto de Sechura (Piura, Perú), por la identificación de una corriente cálida superficial en el océano Pacífico Tropical, que se dirigía de occidente a oriente está alcanzado su máxima expresión a finales de año, situándose frente a las costas de Ecuador y Perú época que la relacionan con la celebración del

nacimiento del Niño Jesús; de ahí su nombre (Montealegre & Pabon, 2000; CEPAL, 2011; Maturana *et al.* 2004; IARNA-URL, 2011).

El ciclo ENSO consiste en una oscilación entre una fase cálida (El Niño) y una fase fría (La Niña), que se manifiesta principalmente a través de un calentamiento o enfriamiento anormal de la temperatura superficial del mar (TSM) en el océano Pacífico ecuatorial central y oriental. Estas variaciones de la TSM alcanzan las costas norte y sur de América y traen consigo alteraciones significativas en los patrones climáticos, que se desarrollan incluso a nivel global en algunas regiones (Maturana *et al.* 2004).

A ciencia cierta no se sabe cuándo ocurrirá evento caliente (El Niño) o frío (La Niña), por ende el fenómeno El Niño, se observa mediante componentes oceánicos-atmosféricos como bien se ha dicho, principales que son la temperatura superficial del mar y la presión atmosférica.

Así, la componente oceánica del ciclo ENSO está caracterizada por la aparición de fuertes anomalías positivas (durante El Niño) o negativas (durante La Niña) de temperatura superficial del mar (TSM) en regiones específicas de la cuenca del Pacífico tropical y costa sudamericana, las que se prolongan por varios meses consecutivos. Las anomalías positivas de TSM se asocian al hundimiento de la termoclina y reducción de la surgencia costera, mientras que las anomalías negativas de TSM se asocian a elevación de la termoclina y fortalecimiento de la surgencia. El nivel del mar también experimenta anomalías positivas (durante El Niño) y negativas (durante La Niña), en la región del Pacífico tropical y costa sudamericana (Maturana *et al.* 2004).

La componente atmosférica del ciclo ENSO –denominado Oscilación del Sur (OS)- está asociada con una fluctuación interanual cuasi-sincrónica de dos sistemas de depresión a gran escala: el sistema de baja presión atmosférica superficial, ubicado sobre el lado oeste del océano Pacífico ecuatorial, y el sistema de alta presión atmosférica superficial, ubicado en los subtrópicos orientales del océano Pacífico sur,

respectivamente (Maturana *et al.* 2004). El índice más usado para identificar las fases de esta “oscilación del sur” (OS), se conoce con el nombre de índice de la oscilación del sur (SOI, por sus siglas en inglés). La oscilación del sur se describe de forma bimodal, es decir, la variación en la presión atmosférica media mensual, al nivel del mar, entre las estaciones de observación climática ubicadas en el Pacífico ecuatorial occidental (Darwin, en las Islas Galápagos, Ecuador), y pacífico central (Australia y Tahití, en Indonesia), existiendo dos fases: una negativa (IOS negativo), caracterizada por el descenso de la presión atmosférica superficial en el sector oriental del océano Pacífico (El Niño), y otra positiva (IOS positivo), donde la presión atmosférica superficial aumenta en el mismo sector (La Niña) (Maturana *et al.* 2004; Montealegre & Pabon, 2000; IARNA-URL, 2011).

2.4.1. Fase cálida (El Niño)

Durante un evento de El Niño, se observa un debilitamiento de los vientos alisios del este que convergen en el Pacífico ecuatorial y un calentamiento de la superficie del mar en el océano Pacífico ecuatorial del este y central, este calentamiento se manifiesta a través de anomalías positivas de la TSM (figura 5). Como consecuencia del debilitamiento de los alisios en la atmósfera se reduce la fuerza de empuje que impone al agua superficial oceánica, originándose un retorno de las aguas cálidas desde Australia hasta las costas Sudamericanas, por lo que se reduce el afloramiento de aguas profundas, ricas en nutrientes efecto que repercute a la industria pesquera de las costas de Perú y Ecuador. Además, se muestra un aplanamiento de la termoclina (zona situada debajo de la superficie del océano, donde cambia la temperatura del agua), mientras que en la superficie de esta capa y en aguas profundas la temperatura es relativamente constante (Montealegre & Pabon, 2000; IARNA-URL, 2011).

Además, se pueden observar presiones atmosféricas a nivel del mar superiores al promedio en el lado oeste del Pacífico tropical y en algunas regiones del océano Índico, y por el contrario, presiones atmosféricas a nivel del mar relativamente bajas hacia el sureste del Pacífico tropical (Maturana *et al.* 2004).

2.4.2. Fase neutral

Durante condiciones normales, los vientos alisios dominantes cerca de la superficie provienen del este en el océano Pacífico tropical, provocando inusualmente que las precipitaciones tropicales se acumulen hacia el lado oeste (Indonesia) (figura 5). Dado que la temperatura de superficie del mar es relativamente elevada en esta región (mayor que 28 °C), el aire es más ligero existiendo menor presión atmosférica, por lo que se origina una atmósfera inestable, causando que exista una gran evaporación y formación de nubes, produciendo las lluvias sean intensas (IARNA-URL, 2011).

2.4.3. Fase fría (La Niña)

La Niña es la fase inversa del Niño, se caracteriza por fortalecimiento de los vientos alisios que soplan hacia el este, originados en la zona de convergencia intertropical, así como su desplazamiento temprano de su posición habitual hacia el norte (figura 5). Esto favorece el ascenso de aguas (termoclina) mucho más profundas y, por lo tanto, más frías que lo normal hacia la superficie en el lado este del Pacífico ecuatorial, estos afloramientos marinos favorecen a la industria de la pesca para las regiones de Perú y Ecuador. En este caso las temperaturas oceánicas ecuatoriales son más bajas de lo normal, entre 1 °C y 4 °C, por lo que las corrientes atmosféricas y oceánicas se debilitan y convergen en el centro del Pacífico ecuatorial. Además, durante esta fase la presión atmosférica es más baja que lo normal sobre el sector de Indonesia y el norte de Australia y más alta que lo normal sobre el Pacífico tropical del este (CEPAL, 2011; IARNA-URL, 2011; Maturana *et al.* 2004)

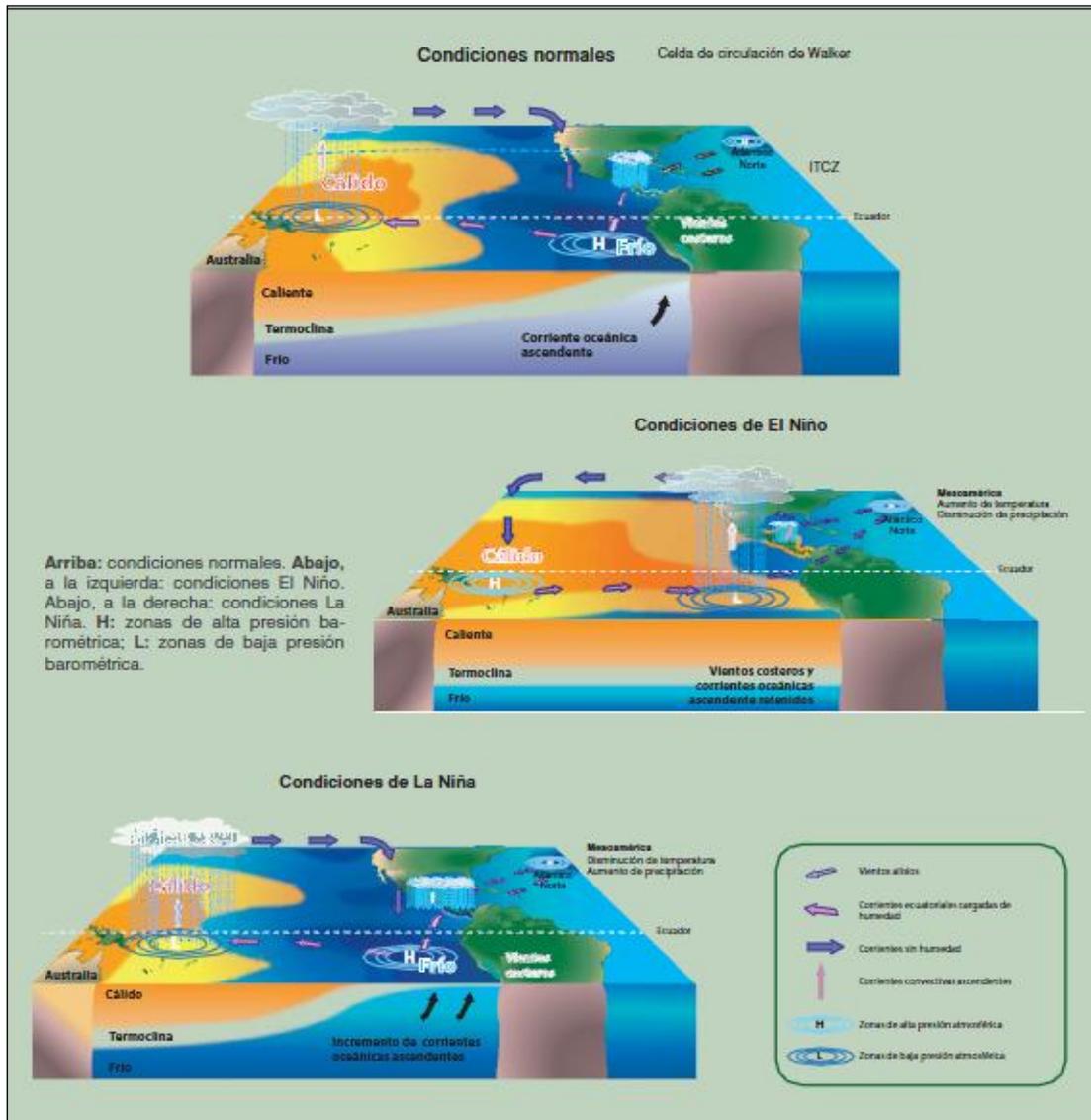


Figura 5. Descripción de las fases del fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) (IARNA-URL, 2011).

2.4.4. Caracterización de las fases cálidas (El Niño) y frías (La Niña) del fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) mediante el índice 3.4.

El fenómeno ENSO, para su caracterización de fases ya sea Niño o Niña está asociado a las anomalías positivas y negativas que se observan durante varios meses en aguas del océano Pacífico Tropical y las diferencias de presión atmosférica entre el oeste y este del Pacífico. Por ende la temperatura superficial del mar (TSM), es un indicador de

la dinámica del océano Pacífico y en consecuencia, una importante herramienta para el seguimiento y vigilancia de los fenómenos El Niño y La Niña (Montealegre, 2012).

Para el seguimiento de las anomalías de la TSM, se han establecido cuatro regiones muy bien definidas (figura 6) en la franja tropical del océano Pacífico (Montealegre, 2012).

- Región occidental: (Región Niño 4): Entre las latitudes 5° norte y 5° sur y las longitudes 160° Este y 150° Oeste.
- Región central; (Región Niño 3): Entre las latitudes 5° norte y 5° sur y las longitudes 90° y 150° oeste.
- Región centro-occidental: (Región Niño 3.4): Entre las latitudes 5° norte y 5° sur y las longitudes 120° y 170° oeste.
- Región oriental: (Región Niño 1+2): Entre las latitudes 0° y 10° sur y las longitudes 90°y 80° oeste.

En cada una de estas regiones se mide la temperatura de la superficie del mar en grados celsius y se determinan sus anomalías.

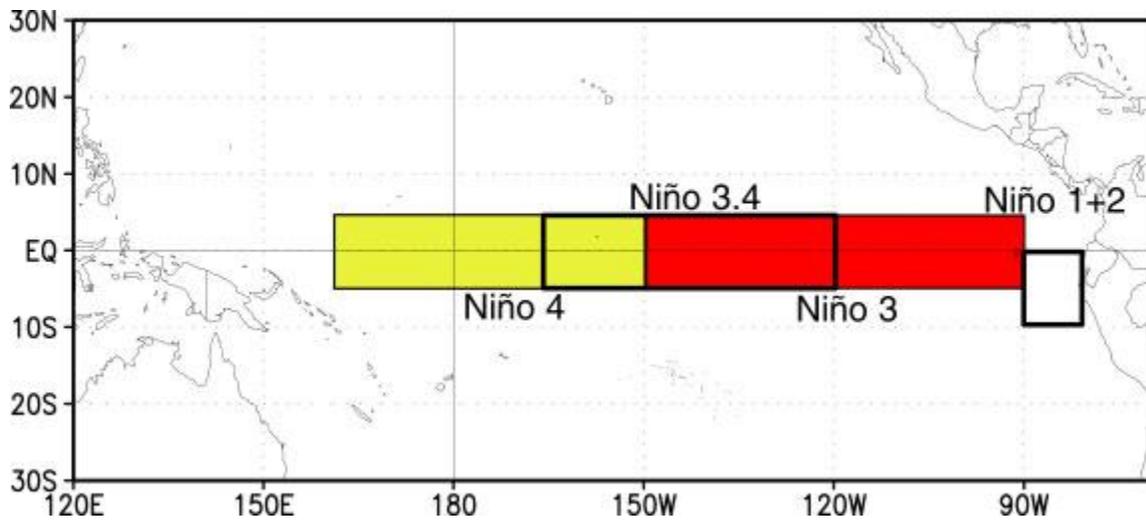


Figura 6. Regiones El Niño establecidas para la vigilancia del fenómeno ENSO (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov>)

Los índices de las regiones Niño 3 y Niño 3.4, son los más utilizados debido a que en la región central del Pacífico Tropical se observan los mayores contrastes de la termodinámica oceánica respecto al fenómeno ENSO, el cual se refleja mejor para la región de Centroamérica.

Como ya se ha mencionado, el ENSO es la causa principal de la mayor variabilidad climática para la región tropical del océano Pacífico, y dentro de la escala de variabilidad interanual en el océano Pacífico Tropical son posibles tres condiciones: El Niño (calentamiento extremo), condiciones normales y La Niña (enfriamiento extremo) (Montealegre, 2012). Dado que los fenómenos El Niño y La Niña están asociados con el aumento o disminución de anomalías de la temperatura superficial del mar, uno de los indicadores más utilizados para hacer seguimiento a estos fenómenos es el Índice del Niño 3.4, desarrollado por la Administración Nacional del Océano y la Atmósfera (NOAA, por sus siglas en inglés). Este índice es calculado a partir de mediciones de la temperatura superficial del mar en el sector central del Pacífico Tropical frente a las costas de Suramérica. En condiciones El Niño, el índice el Niño 3.4 debe ser igual o superior a +0.5 grados celsius de anomalía, mientras que en condiciones La Niña, el índice debe ser igual o inferior a -0.5 grados celsius (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov>).

2.4.5. Efectos de El Niño-Oscilación del Sur (ENSO).

El fenómeno ENSO conocido como El Niño, como bien se ha dicho es un fenómeno oceánico (TSM) y atmosférico (IOS), que afecta a escala global, pero principalmente las regiones que se encuentran en la región del Pacífico.

Se ha evidenciado que el fenómeno ENSO es un factor importante que controla las variaciones del clima en múltiples escalas de tiempo. IARNA-URL (2011), asumen que los eventos ENSO ocurrirán con mayor frecuencia e intensidad, especialmente fases cálidas (El Niño). Argeñal (2010), evidencia que el fenómeno El Niño provoca disminución de lluvias durante casi toda la temporada lluviosa, en especial en el mes de agosto y octubre donde el déficit de lluvia fácilmente supera el 60 %, y en abril las temperaturas se incrementan en más de 0.6 °C en las regiones centro, sur oriente y occidente de país.

En Centroamérica El Niño usualmente se asocia a períodos de sequía ligeros a severos y prolongados en el Pacífico y a un aumento variable de las lluvias sobre la vertiente del trópico (PNUMA, CCAD & SICA, 2005). En el Pacífico contribuye a una disminución en la disponibilidad del recurso hídrico debido a la anomalía en la precipitación, el aplazamiento de los días secos, la alta ocurrencia de incendios forestales, las precipitaciones son más intensas y de periodo corto que afectan la infiltración de aguas de escorrentía además de provocar deslizamientos e inundaciones repentinas (Brenes, 2002).

Trenberth & Stepaniak (2001), establecen que El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) es la causa principal de la variabilidad del clima en América Latina; fenómeno natural causante de los mayores impactos socioeconómicos. Que durante las últimas tres décadas la región ha enfrentado impactos climáticos relacionados con la intensificación de ocurrencia del ENSO, con eventos extremadamente intensos, siendo en 1997-1998 que afectó la fase El Niño con sequías y en 1998-1999 y en el 2010 afectando la fase La Niña provocando fuertes inundaciones. Además, los principales efectos negativos

del cambio en el clima ya son evidentes sobre los ecosistemas de Guatemala, estos efectos están relacionados con el aumento de la temperatura, implicando una mayor demanda de agua en la vegetación y una disminución de la disponibilidad hídrica, consecuentes de sequías e irregularidades de precipitaciones. Con gran probabilidad de que los impactos de dichos cambios sean más rápidos que la capacidad de adaptación de los ecosistemas naturales (IARNA-URL, 2011).

Pinilla & Pinzón (2012), concluyen que la ocurrencia de los eventos “El Niño” en Colombia, alteran significativamente la disminución de la precipitación en las dos temporadas secas del año (especialmente el segundo trimestre) y en el primer trimestre de la temporada lluviosa. Siendo la fase Niña que aumenta la precipitación tanto en fase seca como en lluviosa. Además, que la ocurrencia e intensidad del ciclo ENSO es muy variable en el tiempo, es muy difícil fijar un patrón estadístico para determinar las relaciones entre la variabilidad de la precipitación y el acontecer de eventos El Niño o La Niña.

En otro estudio de importancia sobre el tema a nivel global, Yadav, Yoo, Kucharski y Abid (2010), en su informe “*¿Por qué el ENSO está influenciando las precipitaciones de invierno en el Noroeste de India en las décadas recientes?*”, en donde el estudio examina los cambios a lo largo de las décadas que El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) ha influenciado la variabilidad interanual de las precipitaciones del invierno en el noroeste de la India (NWIWP, por sus siglas en inglés). El autor llega a la conclusión de que la variabilidad interanual de NWIWP está influenciada por el fenómeno del ENSO en la última década y apoya dicha conclusión en una coherencia entre los conjuntos distintos de observación empleados en el estudio y confirmados por modelos numéricos.

Las anomalías climáticas que genera el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur, impactan directamente a nuestra región por la posición geográfica respecto al Ecuador y por estar paralelamente en la región del Océano Pacífico, impactos como las tormentas, sequías, temperaturas anormalmente elevadas o fuertes precipitaciones que provocan

inundaciones, todas estas asociadas al ENSO, no solo provocan daños a la propiedad e infraestructura, sino también la pérdida de vidas humanas. Así mismo la variabilidad climática que posee el país es evidente y afecta la productividad agrícola, disponibilidad del recurso agua, producción pesquera, transporte, telecomunicaciones, infraestructura civil y además la diseminación de enfermedades respiratorias e infecciosas. El Niño, por lo tanto, no debe ser visto solamente desde el punto de vista climático o atmosférico, sino debe ser atendido y comprendido como un sistema integrado desde su conocimiento, los efectos que puede causar, la vulnerabilidad que poseemos como país y por último abastecernos de medidas para la adaptación, reducir la vulnerabilidad y mitigar el efecto de este fenómeno.

2.5. CLIMA EN GUATEMALA

Centroamérica como zona climática de la Tierra, se encuentra ubicada en la franja de los climas cálidos entre los 30 grados y 0 grados de latitud norte con predominio de temperaturas elevadas y clima tropical estacional con dos estaciones claramente marcadas; una seca y calurosa (verano) y la otra menos calurosa y con lluvias torrenciales (invierno) (IARNA-URL, 2003).

En particular, Guatemala se encuentra localizada en la parte norte del istmo centroamericano; entre las coordenadas geográficas 13.8 ° y 17.8 ° de latitud norte, 88.3 ° y 92.2 ° de longitud oeste, ocupando parte de la Península de Yucatán y de la Sierra Madre. Colinda al norte y oeste con México, al este con El Salvador, Honduras, Belice y el mar Caribe y al sur con el Océano Pacífico. En el país, las elevaciones van desde 0 hasta 4,210 msnm en la cordillera volcánica; el 20 por ciento del territorio se encuentra a elevaciones superiores a los 1,700 msnm como parte de la meseta central y altiplano. También se cuenta con costas en el Océano Pacífico y en el mar Caribe, depresiones orográficas, llanuras en el oriente, y tierras bajas en el norte (IARNA-URL, 2003).

La hidrografía del país está compuesta de tres grandes celdas de circulación de humedad del aire y escorrentía de sus ríos, a través de las vertientes del Océano

Pacífico, Atlántico y Golfo de México. Las incursiones de humedad y de fenómenos meteorológicos que acá se producen forman parte de las características locales del clima (IPCC, 2007).

La influencia meteorológica en el clima de Guatemala viene dada fundamentalmente por los cambios estacionales en la circulación zonal del viento en la troposfera y estratosfera inferior, por la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) y actualmente el fenómeno El Niño. Según Herrera (2003), citado por IARNA-URL (2003), caracterizan la fenomenología de la región y particularmente la de Guatemala de la siguiente forma:

- Temporada fría: se extiende de diciembre a febrero, se registran en promedio cada mes de 3 a 4 olas de frío, siendo enero el mes de mayor probabilidad de registro de la ola más fría.
- Temporada cálida: en los meses de marzo y abril, los períodos más intensos y prolongados de calor se registran al final de la temporada cediendo gradualmente con la transición a la época de lluvias.
- La temporada de lluvias se inicia tempranamente en la boca costa suroccidental en la segunda quincena de abril; posteriormente se registra un proceso de generalización hacia la meseta central en la segunda quincena de mayo y tardíamente a regiones de El Caribe y Petén en la primera quincena de junio.

En la distribución intraestacional de la lluvia predomina la distribución bimodal, o en dos subperíodos por efecto de la reducción en las lluvias en los meses de julio y agosto; a estas reducciones la agricultura las denomina canículas o veranillos, la canícula debe ser considerada como un fenómeno climático irregular y en promedio se encuentran centrada en dos períodos: a) la primera canícula se presenta entre el 10 al 20 de julio y b) la segunda canícula puede ocurrir entre el 5 y el 15 de agosto de cada año (IARNA-URL, 2003).

2.5.1. Comportamiento histórico de temperatura y precipitación de Guatemala

Los registros de la temperatura superficial global y de Guatemala en particular, muestran una clara tendencia al calentamiento de la atmósfera, derivada en gran medida por las concentraciones de Gases de efecto invernadero (GEI) de origen antropogénico. El comportamiento histórico de la serie de temperatura media anual de Guatemala para el período 1961-1990 (Figura 7) muestra la existencia de una tendencia al incremento de sus valores, es decir predominio de anomalías positivas (valores superiores al promedio anual del período) a finales de la década de los años 70; relacionando las anomalías positivas correspondientes a eventos El Niño-Oscilación del Sur (MARN, 2001; 2007).

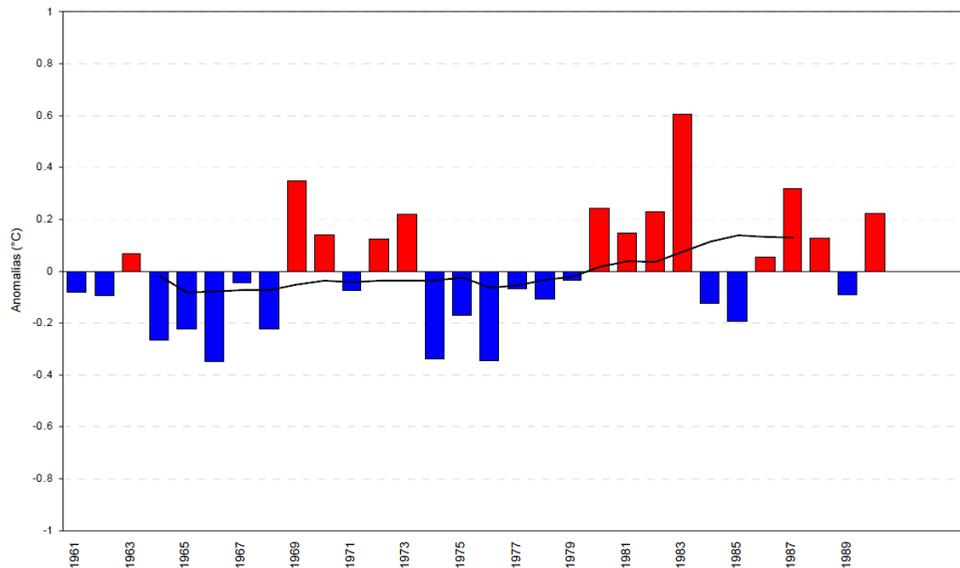


Figura 7. Comportamiento de la anomalía de temperatura media anual del aire (MARN, 2007).

En cuanto el comportamiento histórico de precipitación (Figura 8) se evidencia el predominio de las anomalías negativas de lluvia (valores inferiores al promedio anual del período) a partir de la década de los años 70. Estas anomalías representan una tendencia estadísticamente significativa de la reducción de los acumulados anuales de lluvias (MARN, 2007).

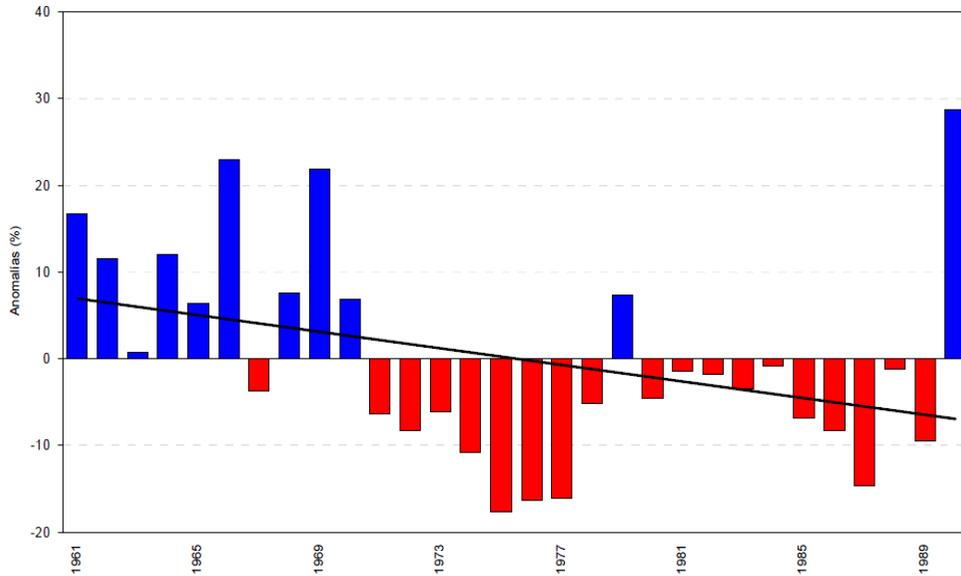


Figura 8. Anomalías de precipitación anual (1961-1990) (MARN, 2007).

No obstante el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN, 2007) analiza el comportamiento histórico de la precipitación (Figura 9) atribuyendo que los eventos extremos en precipitación son más frecuentes en los últimos años.

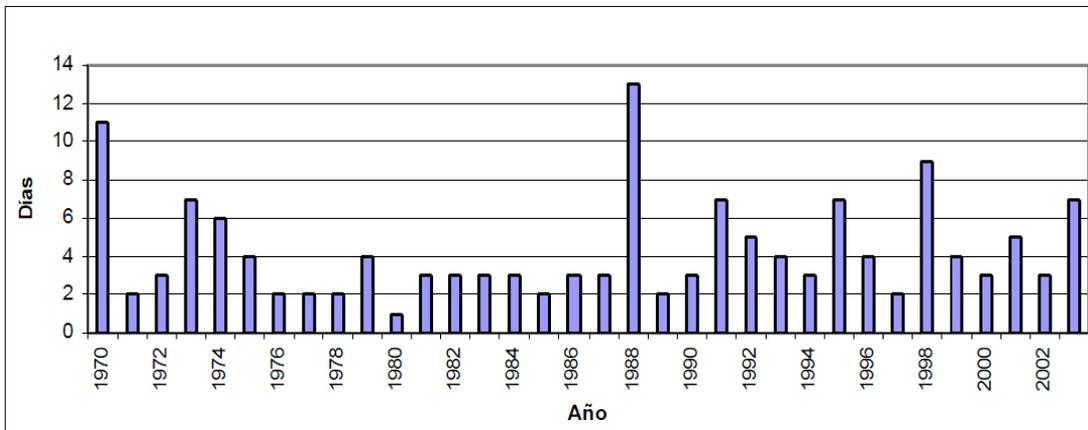


Figura 9. Días al año con lluvia mayor a 40 mm, Ciudad de Guatemala, período 1970-2003 (MARN, 2007).

2.6. RCLIMDEX

RClimDex es un programa basado en Microsoft Excel que proporciona un paquete computacional fácil de usar para el cálculo de Índices de extremos climáticos para monitorear y detectar cambio climático. Rclimdex_extraQC.r, es una rutina que corre sobre la plataforma R. Se origina en el software de control de calidad y cálculo de índices de cambio climático desarrollada por Environment Canada para el Expert Team on Climate Change Detection and Indices y representa una modificación de la versión “oficial” de éste. Incluye un conjunto rutinas adicionales (Extra_QC) para un control de calidad más preciso e intensivo (Aguilar, Sigró & Brunet, 2009).

El control de calidad, que consiste en someter a las series a test estadísticos simples y a inspección visual mediante gráficos específicos, permite también avanzar a problemas de continuidad u homogeneidad que las mismas puedan presentar.

Hoy en día se dispone de menos registros necesarios para realizar análisis fiables de variabilidad y cambio climático a escalas regionales, globales o continentales. Además de ello, los datos que se disponen presentan una calidad inexacta que es cuestionable su utilización en cualquier estudio climático, si estos con anticipación no han sido sometidos a un proceso de control de calidad y verificación de su homogeneidad (Brunet, 2010).

Los procesos de control de calidad se aplican para detectar e identificar los errores que ocurren durante la adquisición, manipulación, formato, transmisión y archivo de los datos (Aguilar, Brunet, Auer, Peterson y Wieringa, 2003) ya que el control de calidad de datos no todo es automático, ya que existe un proceso de control de calidad por el hombre.

Por lo consiguiente, los datos de calidad no tienen que ser medidos necesariamente con excelentes sensores climáticos, pero es esencial que su calidad sea conocida y demostrable. Solís (2009), refiere que al someter al estudio los datos de las estaciones

meteorológicas debe especificarse si tienen o no un proceso de control de calidad y brindar que proceso llevó para realizarlo al momento de tomar criterios de correcciones, debido a que influye en el control de calidad de datos los puntos de control en cada proceso que pasa el dato que se origina hasta que finalmente es guardado, demostrando que los datos analizados detectan que alrededor del 14% son malos o dudosos, por lo que necesita su inspección y propiamente su corrección para recuperarlos.

Araya (2011), en su estudio “Resultados de un control de calidad para datos horarios de precipitación, irradiación, velocidad y dirección de viento” encontró que del total de estaciones analizadas, las pruebas utilizadas permitieron detectar la existencia de valores fuera de la normal en un 0.2% de las series de precipitación, en un 2.9% en las series de flujo neto de radiación solar, así como en un 1.5% para velocidad y dirección predominante de viento. Demostrando que las pruebas de control de calidad muestran ser efectivas en la detección de valores atípicos que en su momento pasaron desapercibidos en el control de calidad manual.

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Guatemala por su posición geográfica posee diversidad de climas en diferentes regiones, esto a causa de una gran variabilidad climática ocasionada por fenómenos naturales como: depresiones y tormentas tropicales, sistemas de alta y baja presión, huracanes, la zona de convergencia intertropical (ZCIT) y sobre todo el efecto del fenómeno ENSO en la región del Pacífico, que ha ocasionado sequías e inundaciones, afectando económicamente al país.

Actualmente, los estudios de variabilidad climática no cuentan con información suficiente sobre cómo el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur afecta el territorio guatemalteco de manera cuantitativa y como este fenómeno afecta las variables climáticas de precipitación y temperatura; siendo éstas las principales que se registran para estudiar los efectos ocasionados por inundaciones y sequías

La problemática que se planteo para justificar el desarrollo de este trabajo, fue la falta de un análisis que permitiera determinar el grado de asociación entre la variabilidad climática local y el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur. Que a su vez permitiera determinar cuantitativamente, con base en los niveles de precipitación pluvial y los cambios en la temperatura ambiental, las anomalías ocasionadas por efecto del ENSO a lo largo de periodos de tiempos determinados; así mismo, el grado de asociación que tienen respecto a su indicador de variabilidad climática más relacionado para el caso de Guatemala el cual es el índice El Niño 3.4, que determina las fases del fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur.

3.2. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

Actualmente no se conoce cuanto disminuyen o aumentan las variables meteorológicas de precipitación y temperatura a nivel local, con relación a las fases El Niño o La Niña del fenómeno ENSO. Los eventos del ENSO han sido asociados de manera cualitativa con sequías (eventos del Niño) y grandes acumulados de lluvia (eventos de la Niña); sin embargo, la duración e intensidad de los eventos no han sido relacionados directamente de manera cuantitativa con disminuciones o aumentos de las variables mencionadas anteriormente. Se espera que con este estudio se aporte información relevante que permita observar si las anomalías mensuales en precipitación pluvial y temperatura dentro de la vertiente del Pacífico, están condicionadas por la influencia del fenómeno ENSO.

El estudio se propuso para la vertiente del Pacífico, por la existencia de información de estaciones meteorológicas automáticas del ICC y del INSIVUMEH, adicionalmente por ser el área donde la entidad financiante -el Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC)- apoya acciones para desarrollar procesos adecuados de mitigación y adaptación al cambio climático, mediante sus programas de investigación de clima e hidrología y sostenibilidad de sistemas productivos. Además, de sus programas de implementación, siendo gestión de riesgo de desastres y manejo integrado de cuencas; paralelo a estos cuatro, está involucrado en conjunto el programa de desarrollo de capacidades y divulgación el cual maximiza; el impacto del ICC. A a partir de los resultados obtenidos de este estudio, se obtuvieron unas conclusiones y recomendaciones generales, ya sea en el incremento o disminución de las variables de lluvia y temperatura según la relación existente entre las fase del evento El Niño-Oscilación del Sur, sirviendo como base para estudios técnicos-científicos, como planes de adaptación en el racionamiento del recurso hídrico y manejo de cultivos posteriores que permitan obtener aplicaciones prácticas para crear y promover acciones y procesos que faciliten la adaptación y mitigación al cambio climático.

IV. OBJETIVOS

4.1 GENERAL

Determinar si existe relación entre la variabilidad de eventos del ENSO, con las variaciones locales de temperatura y precipitación en la vertiente del Pacífico.

4.2 ESPECÍFICOS

- Identificar las anomalías de temperatura durante etapas de eventos Niño o Niña.
- Identificar las anomalías de precipitación durante etapas de eventos Niño o Niña.
- Determinar el grado de asociación de las variables de temperatura y precipitación con el fenómeno ENSO con el índice El Niño 3.4.

V. METODOLOGÍA

5.1 AMBIENTE

El estudio se llevó a cabo en las instalaciones del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, ubicado en CENGICANÑA, finca Camantulul, km 92.5 carretera al Pacífico, en el municipio de Santa Lucia Cotzumalguapa, departamento de Escuintla. Las instalaciones están ubicadas geográficamente en las coordenadas de longitud 91° 3' 19.33" O y latitud 14° 19' 50.02 N y a 300 msnm.

5.2 SUJETO Y/O UNIDADES DE ANÁLISIS

Las unidades de análisis evaluadas fueron los registros de precipitación y temperatura a nivel mensual de las estaciones meteorológicas del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC) y el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), ubicadas en la vertiente del Pacífico y su grado de asociación con el índice mensual El Niño 3.4.

5.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación realizada fue tipo descriptiva, debido a que consistió en la recolección de datos, cálculos de anomalías y análisis para describir qué efectos tiene el fenómeno ENSO a nivel mensual para el periodo 1982 – 2012, según las variables de temperatura y precipitación. Además, explicar el grado de asociación que tiene la temperatura y precipitación con el fenómeno ENSO y el efecto que pueda causar o no para dichas variables.

5.4 INSTRUMENTO

Los medios utilizados fueron las bases de datos meteorológicas de las estaciones con que cuentan el ICC y el INSIVUMEH.

El software RclimDex se utilizó para realizar control de calidad de los datos obtenidos, con el objetivo de detectar, indicar y corregir valores erróneos que pudieran haber pasado desapercibidos como parte del control de calidad manual.

Además, se utilizaron las herramientas de análisis de regresión y gráficos de dispersión de Microsoft Excel para obtener el análisis de regresión y correlación lineal de las variables meteorológicas, con los índices del fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), este índice se obtuvo de las anomalías de la temperatura superficial del mar (TSM), a través de la Administración Nacional del Océano y la Atmósfera (NOAA, por sus siglas en inglés) disponibles en la base de datos de su sitio web en internet.

Otra herramienta que se utilizó fue el programa ArcGis en base en el método de interpolación IDW, para obtener los mapas de correlación de temperatura y precipitación y el efecto del fenómeno ENSO en base al índice El Niño 3.4, a nivel de la Vertiente del Pacífico de Guatemala.

5.5 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

5.5.1 Ubicación y recopilación de información e integración de datos meteorológicos.

El enfoque del estudio llevado a cabo fue a nivel de la Vertiente del Pacífico de Guatemala, por lo que las estaciones meteorológicas utilizadas tuvieron que estar dentro del límite de la Vertiente del Pacífico (figura 10).

La información utilizada fue del periodo 1982 al 2012, de las estaciones meteorológicas del ICC e INSIVUMEH (cuadro 1), estas debieron de contener al menos cinco años de registro de información referente a las variables de precipitación y temperatura a nivel diario.

Los datos de anomalías del Índice El Niño 3.4 se obtuvieron de la Administración Nacional del Océano y la Atmósfera (NOAA, por sus siglas en inglés)

(<http://www.cpc.ncep.noaa.gov>), los cuales ya viene dados por mes y se agruparon conforme a los años de estudio, así mismo se establecieron las fases para el fenómeno ya sea evento Niño o Niña.

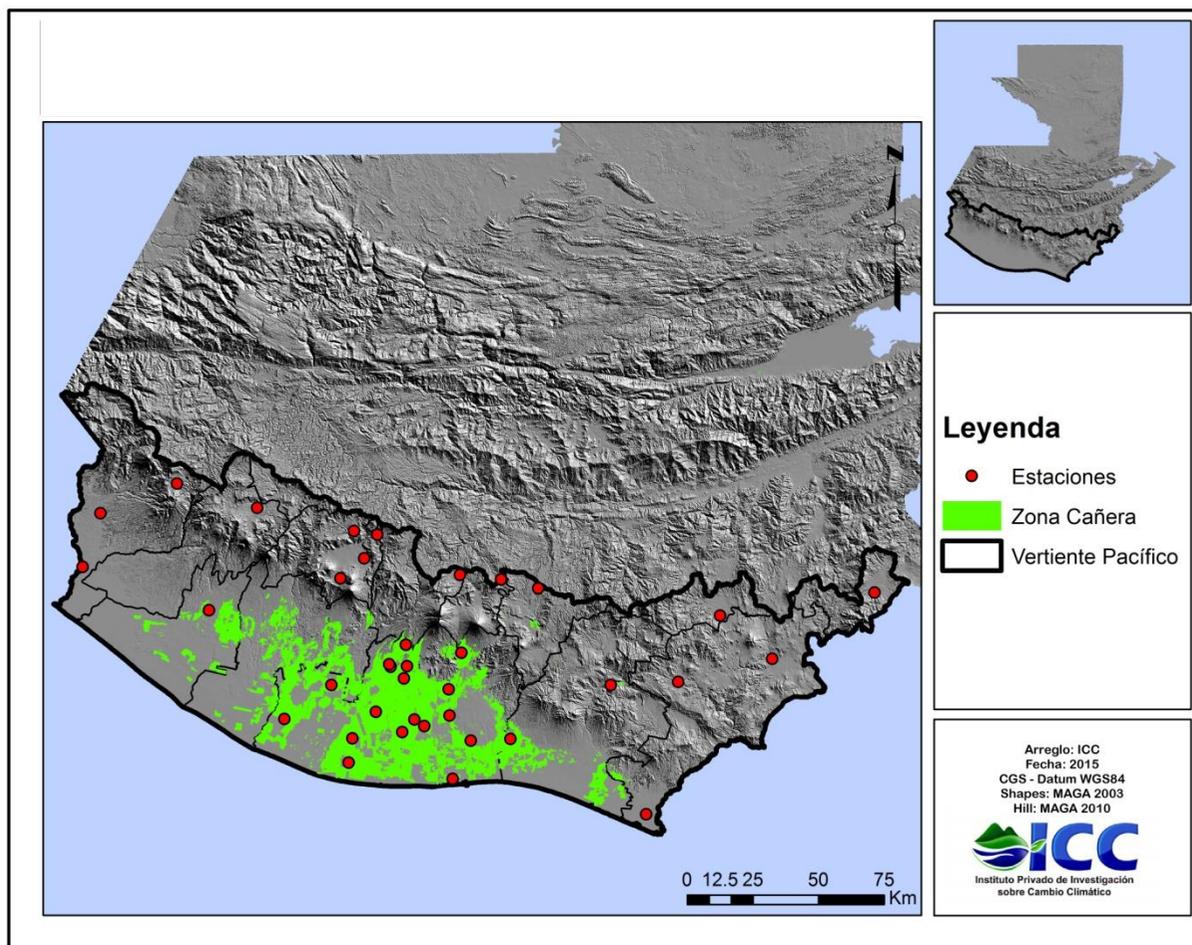


Figura 10. Mapa de estaciones meteorológicas utilizadas en la Vertiente del Pacífico de Guatemala (Melvin Navarro, FAUSAC 2015)

Cuadro 1. Información básica de estaciones meteorológicas.

Estación	Institución	Longitud (°)	Latitud (°)	Altitud (msnm)	Años de registro
California	ICC	-90.62941	14.07115	24	16
Santa Ana	ICC	-90.84606	14.243005	157	16
Belen	ICC	-91.09398	14.77415	148	15
Mangalito	ICC	-90.99261	14.323797	401	14
San Patricio	ICC	-90.96854	14.140619	70	11
Cengicaña	ICC	-91.05547	14.330962	300	5
Tehuantepec	ICC	-91.10344	14.168625	60	5
El Bálsamo	ICC	-91.00374	14.281468	280	5
Puyumate	ICC	-91.25991	14.261557	86	5
San Antonio el Valle	ICC	-91.20096	13.995364	10	5
Amazonas	ICC	-90.76998	14.066614	28	5
Trinidad	ICC	-90.84401	14.153762	68	5
Irlanda	ICC	-91.42687	14.145889	20	5
Bonanza	ICC	-91.18724	14.078341	29	5
Monte Alegre	ICC	-91.01156	14.098205	42	9
Bouganvilia	ICC	-90.93335	14.11769	60	5
Los Tarros	ICC	-90.99605	14.396702	712	7
Catarina	INSIVUMEH	-92.073	14.8533	20	42
La Ceibita	INSIVUMEH	-89.885	14.4845	961	42
Quezada	INSIVUMEH	-90.036	14.2597	980	42
Sabana Grande	INSIVUMEH	-90.8003	14.3672	740	42
Jardín Mil Flores	INSIVUMEH	-90.6238	14.4542	1189	41
Asunción Mita	INSIVUMEH	-89.7035	14.334	478	40
El Capitán	INSIVUMEH	-91.14056	14.693056	1562	40
San Marcos	INSIVUMEH	-91.8018	14.954	2358	40
Los Esclavos	INSIVUMEH	-90.2737	14.2517	737	39
Montufar	INSIVUMEH	-90.155	13.8089	10	39
San José Aeropuerto	INSIVUMEH	-90.8353	13.9365	8	39
Suiza Contenta	INSIVUMEH	-90.6567	14.6167	2105	39
INSIVUMEH	INSIVUMEH	-90.5263	14.5852	1502	38
Santiago Atitlán	INSIVUMEH	-91.2255	14.6257	1580	37
Retalhuleu	INSIVUMEH	-91.6913	14.5198	200	35
Camantulul	INSIVUMEH	-91.0505	14.3217	280	32
Labor Ovalle	INSIVUMEH	-91.5182	14.8687	2400	31
Esquipulas	INSIVUMEH	-89.3385	14.5553	1000	20
Santa María El Tablón	INSIVUMEH	-91.1758	14.7875	2397	18
Alameda ICTA	INSIVUMEH	-90.802	14.6337	1776	10
Tecún Umán Fegua	INSIVUMEH	-92.137	14.6705	28	8

(Elaboración propia, a partir de datos de ICC)

5.5.2 Control de calidad

Los datos recopilados de las estaciones se sometieron a controles de calidad mediante el software RclimDex estableciendo un formato requerido por el programa para su corrimiento, posteriormente se ejecutó y se obtuvieron ficheros donde se indican específicamente los errores que pudieron haber pasado desapercibidos como parte del control de calidad manual que se realizó desde el funcionamiento de las estaciones con el fin de corregir los mismos.

a) Establecimiento de formato Rclimindex para su análisis

Para la utilización del software Rclimindex fue necesario que a los datos diarios recopilados se les estableciera un formato específico previo a que el programa pudiera correr y obtener el control de calidad de datos, dicho formato se detalla a continuación:

- Archivo de texto ASCII
- Un registro (fila) por día
- Seis campos (columnas) por registro: año (YYYY), mes (MM), día (DD), precipitación acumulada diaria (en mm), temperatura máxima diaria (°C, con un valor decimal), temperatura mínima diaria (°C, con un valor decimal).
- Los campos deben ir delimitados por tabulador (otros delimitadores como espacio o incluso comas son tolerables, pero problemáticos).
- Los valores ausentes deben ser consignados como -99.9 y si para un registro (día) no existe ninguno de los tres valores (precipitación, temperatura máxima y mínima) no es necesario incluirlo. Se muestra a continuación (cuadro 2) un ejemplo de formato válido:

Cuadro 2. Formato de archivo requerido de estaciones meteorológicas para el control de calidad mediante el software Rclimdex.

Año	Mes	Día	PP	Tmax	Tmin
1997	2	1	0.0	40.0	21.0
1997	2	2	0.0	39.0	20.0
1997	2	3	0.5	40.0	23.0
1997	2	4	0.0	38.0	21.0
1997	2	5	0.0	38.0	21.0
1997	2	6	-99.9	-99.9	-99.9
1997	2	7	0.0	35.0	20.0
1997	2	8	0.0	34.0	20.0
1997	2	9	0.0	35.0	20.0
1997	2	10	0.0	35.0	20.0
1997	2	11	0.0	30.0	22.0
1997	2	12	0.0	36.0	20.0
1997	2	13	0.0	34.0	20.0
1997	2	14	0.0	35.0	22.0
1997	2	15	0.0	39.0	21.0
1997	2	16	0.0	34.0	23.0
1997	2	17	0.0	33.0	24.0
1997	2	18	0.0	31.0	20.0
1997	2	19	0.0	37.0	20.0
1997	2	20	0.0	37.0	21.0
1997	2	21	0.0	38.0	22.0
1997	2	22	0.0	37.0	22.0
1997	2	23	0.0	36.0	21.0
1997	2	24	0.0	39.0	21.0
1997	2	25	0.0	40.0	21.0
1997	2	26	24.0	32.0	19.0
1997	2	27	0.0	29.0	21.0
1997	2	28	0.0	38.0	21.0
1997	2	29	-99.9	-99.9	-99.9
1997	2	30	-99.9	-99.9	-99.9
1997	2	31	-99.9	-99.9	-99.9

Datos
faltantes

Mes de 31 días

(Elaboración propia, a partir de datos de Rclimdex)

b) Corrimiento del paquete R y Extra_QC de Rclimdex para el control de calidad

Luego de establecer el formato para cada una de las estaciones meteorológicas a someter al control de calidad, se ejecuta el programa Rclimdex para obtener los ficheros Extra_QC del control de calidad. Dicho programa Rclimdex generó ficheros de controles de calidad de los datos corridos, detallando las especificaciones para cada uno.

Dentro de las especificaciones se tienen por ejemplo tres archivos gráficos, los cuales fueron útiles para una inspección visual simple de los valores fuera de rango de las variables. Uno de estos archivos (miestacion_boxes.pdf), contiene un diagrama de box-plot mensuales para la serie datos (figura 11), el cual graficó las anomalías mensuales para las variables de estudio fuera de la tendencia de las variables de temperatura y precipitación.

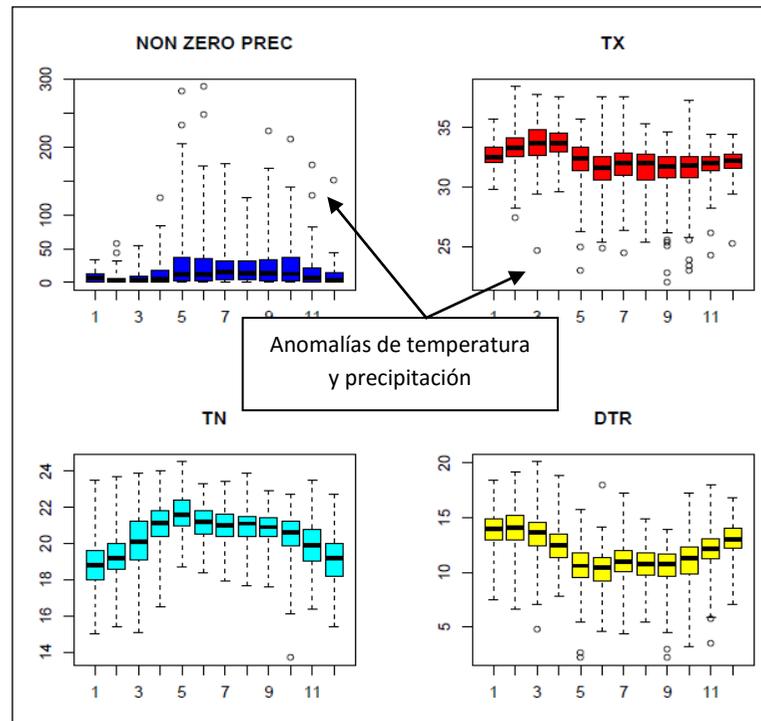


Figura 11. Diagrama de box-plot mensuales de series de datos para visualizar anomalías de temperatura y precipitación.

Otro de estos archivos (miestacion_boxseries.pdf) consistió en un diagrama de box-plot anuales, el cual graficó las anomalías anuales para las variables de estudios fuera de la tendencia de los valores medios para cada variable (figura 12).

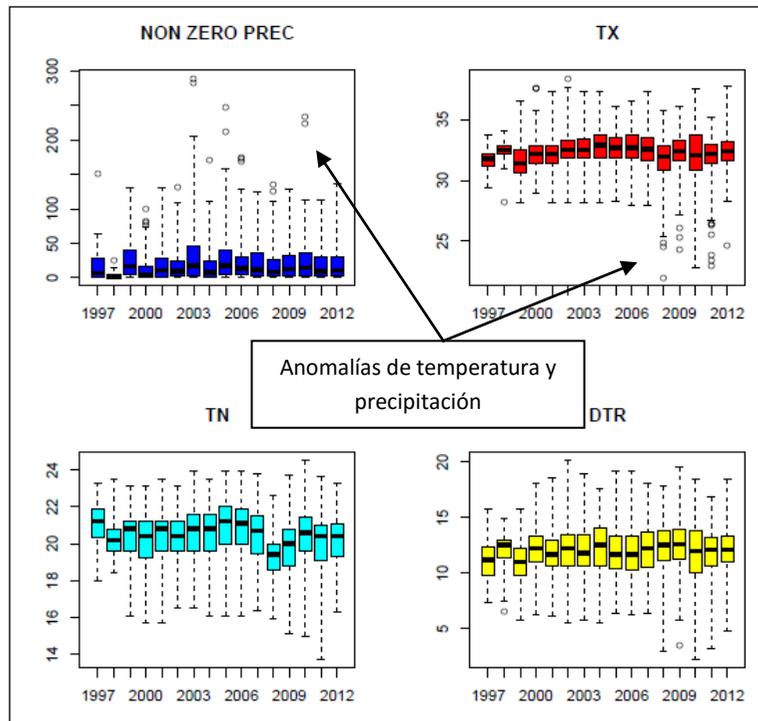


Figura 12. Diagrama de box-plot anual de series de datos para visualizar anomalías de temperatura y precipitación.

El tercer archivo (miestacion_rounding.pdf), consistió en un diagrama de frecuencia, éste grafica la tendencia para cada una de las variables a estudiar.

Dentro de los archivos generados, se obtuvieron otros ocho archivos de texto. El cual, uno de estos fue (miestacion_duplicates.txt), que mostró fechas duplicadas en caso de que una combinación de año/mes/día aparezca más de una vez. El siguiente archivo (miestacion_outliers.txt) mostró valores observados determinados como outliers (valores fuera de rango). El archivo (miestacion_tmaxmin.txt) mostró registros en los que la temperatura máxima es inferior o igual a la mínima. El siguiente (miestacion_tn_flatline.txt) mostró valores de temperatura mínima que se encuentren por lo menos tres valores consecutivos idénticos. Naturalmente, se excluye la precipitación 0.0. En caso de series redondeadas al entero, este test es de poca utilidad. Otro archivo es (miestacion_tx_flatline.txt) análogo al anterior, para

temperatura máxima. Posteriormente (miestacion_tn_jumps.txt) mostró diferencias en temperatura mínima en dos días consecutivos superiores a 20 °C y (miestacion_tx_jumps.txt) análogo al anterior, para temperatura máxima. El último archivo (miestacion_toolarge.txt) muestra valores considerados excesivamente elevados (valor absoluto > 50 para temperatura máxima y mínima y 200 mm para precipitación).

Para mayor facilidad se utilizaron únicamente los ficheros más relevantes los cuales fueron: (miestacion_outliers.txt) y (miestacion_tmaxmin.txt); las cuales muestran puntualmente los errores o anomalías fuera de rango tanto para precipitación como para temperatura (figura 13).

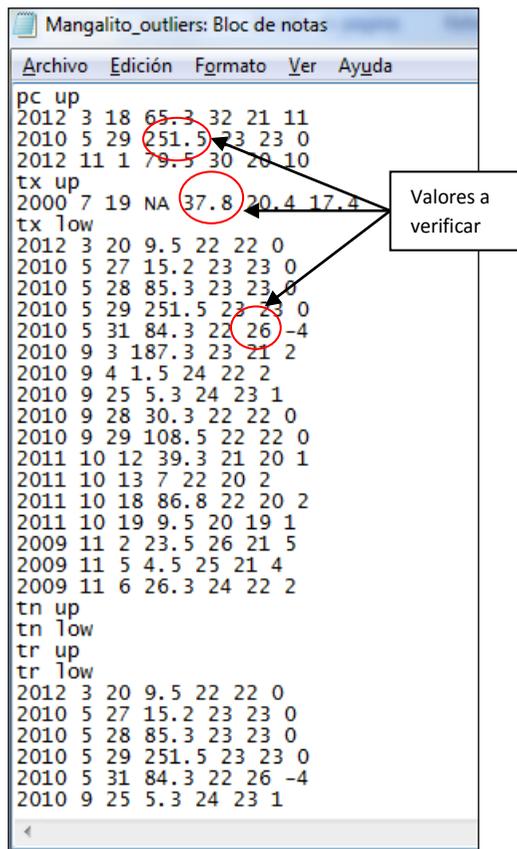


Figura 13. Archivo de texto de outliers.txt y tmaxmin.txt para anomalías o valores fuera de rango de temperatura y precipitación.

c) Análisis e inspección de ficheros Extra_QC

La información obtenida de los ficheros anteriormente descritos, se analizó uno por uno mediante inspección visual de los errores encontrados por el programa, el cual indicó específicamente donde se encontraban los errores para cada variable de temperatura y precipitación identificando el año, mes y día. Posteriormente, de cada valor identificado se tuvo que decidir; si se trata de un valor correcto (validación), si es un valor incorrecto y puedo sustituirlo (valor correcto es evidente, puedo consultar la ficha original), poder corregirlo o si se trata de un valor incorrecto, pero no puedo inferir su valor real, lo cual se procederá a la corrección del valor por medio de estimación con datos de estaciones meteorológicas cercanas.

5.5.3 Integración mensual, cálculo del promedio y desviación estándar para precipitación y temperatura

Obtenidos los datos a nivel diario por cada estación y con su respectivo control de calidad de cada estación, se procedió a agrupar a nivel mensual en base a tablas dinámicas en Excel, calculando su media y desviación estándar a nivel mensual de todo el periodo analizado de 1982 al 2012 para las variables de temperatura y precipitación para posteriormente realizar el cálculo de su anomalía a nivel mensual (figura 14).

2	Rótulos de fila	1982	1983	1984	2007	2008	2009	2010	2011	2012	Total general	Promedio	DEV. EST
3	1	26.39	26.22	25.89	26.38	25.79	25.71	26.24	26.01	26.16	25.25	25.69	0.61
4	2	27.02	26.94	27.04	26.12	26.82	26.45	27.72	26.69	27.16	25.80	26.23	0.69
5	3	27.49	27.11	27.05	27.14	27.35	26.94	28.18	26.84	27.65	26.84	27.17	0.63
6	4	28.43	29.19	28.04	28.85	28.33	27.98	29.74	28.15	28.06	27.96	28.38	0.52
7	5	28.08	29.39	27.86	28.44	28.55	28.44	28.40	28.61	28.40	27.83	28.34	0.42
8	6	27.68	28.80	27.41	28.10	27.67	28.16	28.08	27.63	28.14	27.36	27.84	0.36
9	7	27.91	28.57	27.16	27.85	27.38	28.58	27.64	27.41	28.06	27.35	27.74	0.40
10	8	28.33	28.32	27.33	27.52	27.69	28.20	27.67	27.64	27.91	27.37	27.77	0.39
11	9	27.26	27.64	26.63	27.86	27.53	28.47	26.93	27.60	27.80	27.03	27.39	0.44
12	10	27.08	27.45	27.32	26.58	27.34	28.30	26.94	26.02	27.53	26.87	27.15	0.52
13	11	27.01	27.41	26.16	26.62	26.13		26.48	26.34	26.34	26.39	26.68	0.44
14	12	26.56	26.82	25.69	25.88	25.84		24.78	25.70	26.24	25.71	26.01	0.61
15	Total general	27.44	27.82	26.97	27.28	27.20	27.73	27.39	27.05	27.46	26.82		

Figura 14. Integración de datos a nivel mensual, cálculo de promedio y desviación estándar para las variables de temperatura y precipitación.

5.5.4 Determinación de anomalía estandarizada de temperatura media y precipitación

Según el comportamiento de las variables de temperatura y precipitación, las cuales son de frecuencia ascendente-descendentes, se puede decir que siguen una distribución normal, por lo que para el cálculo de las anomalías se procedió a utilizar la estandarización o normalización con los valores de z; donde el valor z de un valor x de un conjunto de datos, es la distancia a la que se encuentra x por encima o por debajo de la media, medida en unidades de la desviación estándar. Esto con el fin de visualizar la tendencia, suavizar la serie de datos y encontrar una mejor correlación de las anomalías de dichas variables como se puede observar en la figura 15.

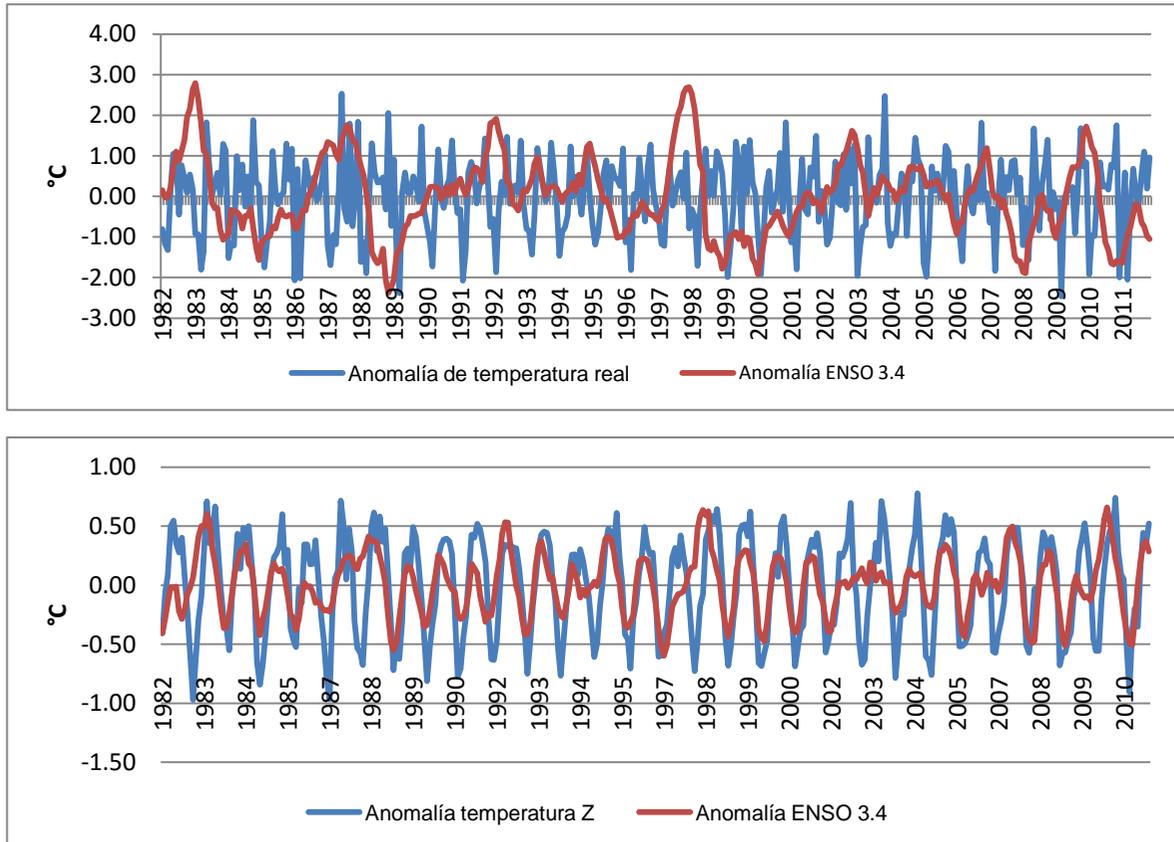


Figura 15. Anomalía de temperatura no estandarizada y estandarizada vrs anomalía ENSO 3.4

Dado el valor Z se describe la fórmula:

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

Donde:

z = dato estandarizado o normalizado

x = valor nominal del dato a estandarizar

μ = media aritmética del conjunto de datos

σ = desviación estándar.

5.5.5 Elaboración de matriz de análisis para cálculo de anomalías de temperatura y precipitación y obtención de coeficientes de correlación con desfase mensual

Luego de la agrupación mensual, obtener su media y desviación estándar se procedió a realizar un matriz de Excel en la cual como primer paso fue la obtención de la anomalía de ambas variables con la fórmula de valor z (figura 16), posteriormente se agruparon ordenadas por fila a nivel mes del periodo 1982-2012 para la identificación de anomalías de temperatura y precipitación para los eventos más fuertes en etapa Niño y Niña con base en los objetivos específicos 1 y 2.

2009	2010	2011	2012	Total general	Promedio	DEV. EST.
23.65	24.68	25.17	25.37	24.31	24.37	2.32
23.76	25.68	25.07	25.70	24.64	24.68	2.35
23.02	26.27	24.96	26.07	25.33	25.30	2.31
24.14	25.95	25.38	26.30	25.97	25.99	1.89
22.95	25.25	26.13	26.25	25.75	25.74	2.02
22.09	24.71	25.45	25.43	25.18	25.24	2.06
25.32	24.56	25.03	25.65	25.26	25.28	1.99
24.86	24.31	24.97	25.36	25.10	25.21	1.91
24.84	23.65	25.09	25.35	24.62	24.72	1.85
24.89	25.06	23.81	25.13	24.75	24.77	1.80
24.36	24.81	25.20	25.47	24.87	24.94	2.12
24.58	23.94	25.03	24.84	24.48	24.55	2.22
24.04246575	24.90835227	25.10712329	25.57568306	25.02295288		
2009	2010	2011	2012			
-0.31	0.13	=SI((AR3=""", """, (AR3-SAT3)/SAU3)	0.44			
-0.39	0.42	0.17	0.44			
-0.99	0.42	-0.15	0.33			
-0.98	-0.02	-0.32	0.16			
-1.38	-0.25	0.19	0.25			
-1.53	-0.26	0.10	0.09			
0.02	-0.36	-0.12	0.18			
-0.18	-0.47	-0.12	0.08			
0.06	-0.58	0.20	0.34			
0.07	0.16	-0.53	0.20			
-0.27	-0.06	0.12	0.25			
0.02	-0.27	0.22	0.13			

Figura 16. Cálculo de anomalía con valor de z.

Con base en las anomalías obtenidas anteriormente se agruparon por columna del periodo 1982-2012 a nivel mensual, por lo que esta matriz sirvió para realizar el cálculo de correlación a nivel de desfase mensual de las anomalías de las variables de temperatura y precipitación. Estos desfases consistieron en: sin desfase de mes (enero vrs enero), un mes de desfase (enero vrs febrero) y dos meses de desfase (enero vrs marzo) y así consecutivamente según el mes a obtener el coeficiente de correlación de Pearson (figura 17). El desfase tiene el objetivo de ver los efectos que tiene el fenómeno ENSO producidos en el Océano Pacífico Ecuatorial y los efectos retardados de hasta dos meses que influyen en la temperatura y precipitación en la Vertiente del Pacífico de Guatemala.

Además, se obtuvieron los gráficos de dispersión (figura 18) para visualizar las tendencias de correlación mensual y con la fórmula estadística de Excel (coeficiente.R) a esta extrayéndole la raíz cuadrada, se obtuvieron los coeficientes de correlación de Pearson para ambos casos, dando como resultado el cuadro base mensual por cada estación con desfases de meses (cuadro 3).

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	ENSO	enero	enero	Febrero	Febrero	ENSO	Marzo	ENSO	Abril	ENSO	Mayo	ENSO	Junio	ENSO	Julio	ENSO	Agosto	ENSO	Septiembre
15	1982	0.15	0.12	-0.02	-0.03	-0.02	0.15	0.24	0.06	0.69	-0.47	1.1	-0.87	0.88	-1.52	1.11	-1.07	1.39	-1.62
16	1983	2.79	-0.45	2.41	-0.49	1.81	-0.58	1.13	-0.09	1.04	1.89	0.59	0.29	-0.15	-0.30	-0.29	-0.57	-0.28	-0.53
17	1984	-0.93	-1.72	-0.33	-1.04	-0.36	-0.80	-0.39	-1.52	0.46	-3.03	-0.79	-2.02	-0.48	-2.39	-0.48	-2.25	-0.29	-2.30
18	1985	-1.14	-2.09	-1.05	-2.11	-0.99	-1.05	-0.98	-2.13	0.74	-1.09	-0.79	-1.51	-0.53	-0.93	-0.32	-0.86	-0.47	-0.44
19	1986	-0.78	-1.55	-0.78	-0.11	-0.57	-2.30	-0.34	-2.17	0.35	-1.87	0.04	-2.02	0.15	-1.86	0.33	-2.18	0.61	-2.18
20	1987	1.34	-1.24	1.3	-0.97	1.25	-0.05	1.02	-0.92	0.9	0.99	1.38	1.90	1.58	-1.34	1.76	-1.11	1.67	0.23
21	1988	0.75	-0.97	0.5	-0.09	0.09	0.04	-0.46	0.97	1.37	0.72	-1.54	-0.07	-1.65	-0.28	-1.58	-1.09	-1.29	-1.02
22	1989	2.04	-0.19	-1.39	-2.74	-1.32	-1.96	-1.09	-0.99	0.76	-1.17	-0.67	-0.84	-0.48	-0.25	-0.49	-0.58	-0.47	-0.82
23	1990	-0.02	-0.08	0.23	-0.35	0.24	-0.21	0.24	0.32	0.21	0.29	-0.07	-0.27	0.03	0.13	0.23	0.37	0.03	0.39
24	1991	0.44	0.95	0.21	0.18	0.03	1.53	0.2	2.06	0.5	0.61	0.71	0.56	0.7	0.24	0.62	0.31	0.35	0.30
25	1992	1.84	0.98	1.91	0.55	1.61	1.62	1.36	0.36	1.14	-0.45	0.37	0.78	0.31	-0.80	-0.18	-0.74	-0.24	-0.35
26	1993	0.12	0.39	0.25	0.25	0.44	0.00	0.81	0.06	0.97	0.58	0.63	-0.02	0.33	-0.40	0.02	-1.03	0.2	-0.39
27	1994	0.03	0.00	-0.13	0.75	0.05	0.51	0.12	-0.46	0.19	0.15	0.34	-0.52	0.13	0.17	0.53	-0.76	0.28	-0.36
28	1995	0.98	1.04	0.73	0.87	0.41	1.03	0.15	0.53	0.12	0.59	-0.06	0.99	-0.21	0.26	-0.49	0.48	-0.76	-0.23
29	1996	-0.83	-0.50	-0.87	-0.26	-0.6	-0.82	-0.42	-0.41	-0.48	-0.62	-0.33	0.74	-0.13	-0.07	-0.26	-0.47	-0.37	0.77
30	1997	-0.61	0.93	-0.36	0.52	-0.19	0.68	0.25	0.64	0.75	0.02	1.29	0.14	1.7	1.13	2.02	0.86	2.21	0.56
31	1998	2.53	2.12	2.14	1.45	1.45	0.68	0.78	1.57	0.62	1.65	-0.93	2.21	-1.28	0.97	-1.33	0.79	-1.11	0.20
32	1999	-1.67	-0.46	-1.31	-1.14	-0.97	0.18	-0.94	-0.04	0.88	0.23	-1.05	-0.63	-0.87	-1.22	-1.23	0.06	-1.01	-1.24
33	2000	-1.92	-0.92	-1.53	-0.99	-1.14	0.24	-0.77	-0.65	0.73	-1.19	-0.62	-0.83	-0.5	0.49	-0.37	0.45	-0.51	0.54
34	2001	-0.83	-0.32	-0.61	-0.05	-0.38	-0.55	-0.26	-0.05	-0.25	-0.11	0.03	-0.31	0.1	0.84	0.05	1.35	-0.17	0.57
35	2002	-0.07	1.31	0.23	0.36	0.1	0.55	0.16	0.08	0.3	0.15	0.78	0.08	0.76	0.96	0.97	1.13	1.11	-0.05
36	2003	1.19	-0.50	0.77	0.88	0.59	1.08	0.03	0.33	-0.48	1.21	-0.17	0.18	0.21	0.96	0.03	0.71	0.24	1.19
37	2004	0.17	-0.04	0.14	0.36	-0.12	0.20	0.06	-0.56	0.21	-0.33	0.11	0.00	0.47	0.24	0.72	1.54	0.75	1.14
38	2005	0.53	-0.68	0.24	0.25	0.33	1.48	0.29	1.48	0.35	-0.11	0.4	0.96	0.25	0.72	0.06	0.61	-0.09	0.76
39	2006	-0.93	-0.07	-0.64	-0.70	-0.65	-0.83	-0.19	-0.84	0.06	-0.51	0.2	-0.42	0.13	0.54	0.4	1.01	0.62	0.90
40	2007	0.69	1.31	0.09	1.04	-0.04	0.05	0	0.89	0.28	0.81	-0.1	0.66	-0.43	1.41	-0.62	0.52	-0.95	0.60
41	2008	-1.86	0.34	-1.89	0.75	-1.15	-0.26	-0.95	-0.05	-0.67	0.19	-0.48	-1.19	-0.03	-0.88	0.03	0.18	-0.28	0.10
42	2009	-1.03	0.55	-0.68	-0.24	-0.55	-1.37	-0.27	0.01	0.18	-0.09	0.47	0.98	0.72	1.35	0.71	0.84	0.75	2.32
43	2010	1.5	0.34	1.22	1.74	1.08	1.56	0.59	1.45	0.17	0.65	-0.65	0.61	-1.13	0.87	-1.32	0.28	-1.65	0.37
44	2011	-1.64	1.40	-1.27	1.35	-0.98	-0.81	-0.76	0.05	-0.43	0.25	-0.18	0.45	-0.26	0.98	-0.64	1.13	-0.74	0.58
45	2012	-1.08		-0.69		-0.58		-0.39		0.05		0.31		0.53		0.73		0.51	

Figura 17. Cálculo de coeficiente de correlación sin desfase (rojo), un mes de desfase (azul) y dos meses de desfase (verde).

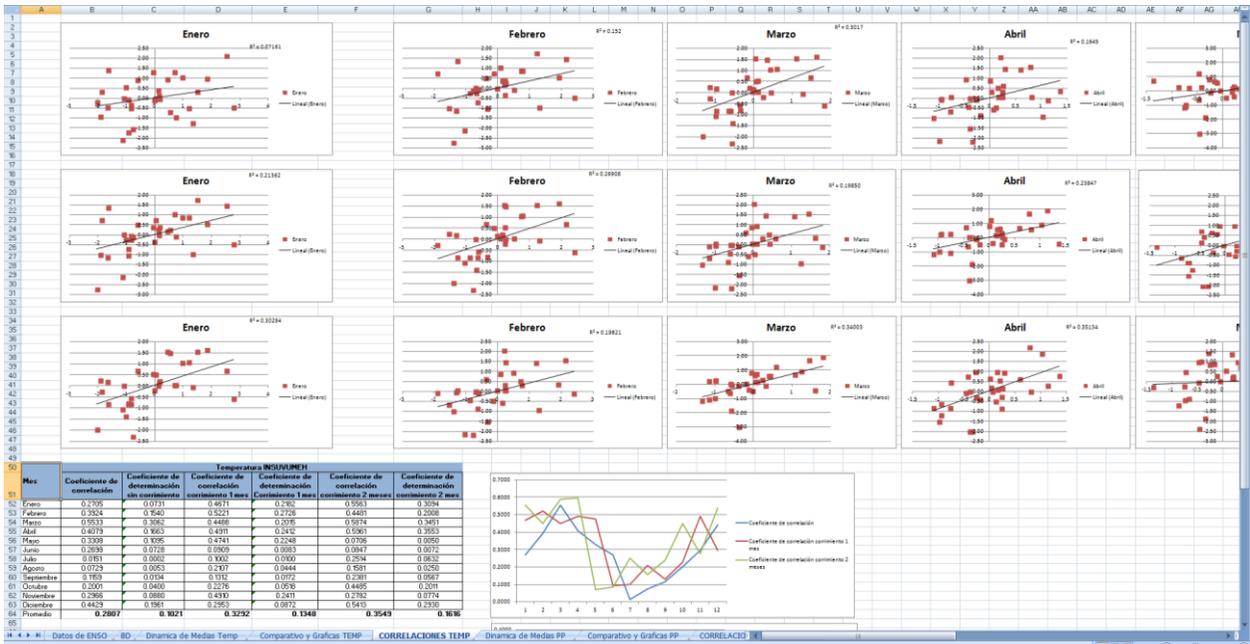


Figura 18. Dispersión a nivel mensual con desfases hasta dos meses de temperatura y precipitación con ENSO 3.4.

Cuadro 3. Cuadro de coeficientes de correlación de Pearson mensuales con desfases de meses de temperatura estación San Antonio el Valle.

Mes	Coefficiente de correlación	Coefficiente de correlación sin desfase	Coefficiente de correlación desfase 1 mes	Coefficiente de correlación desfase 1 mes	Coefficiente de correlación desfase 2 meses	Coefficiente de correlación desfase 2 meses
Enero	0.7512	0.5643	0.9230	0.8519	0.8832	0.7801
Febrero	0.8858	0.7846	0.7969	0.6350	0.8230	0.6774
Marzo	0.8738	0.7635	0.9024	0.8143	0.6220	0.3868
Abril	0.8167	0.6671	0.5864	0.3439	0.6294	0.3962
Mayo	0.0807	0.0065	0.8910	0.7939	0.9558	0.9135
Junio	0.4966	0.2466	0.7920	0.6272	0.7550	0.5701
Julio	0.5616	0.3154	0.6711	0.4504	0.9224	0.8508
Agosto	0.5862	0.3437	0.8421	0.7092	0.5881	0.3459
Septiembre	0.9088	0.8260	0.6120	0.3745	0.3872	0.1499
Octubre	0.7173	0.5145	0.4310	0.1857	0.7922	0.6275
Noviembre	0.4768	0.2273	0.7055	0.4977	0.7640	0.5837
Diciembre	0.6131	0.3759	0.7675	0.5890	0.9099	0.8280
Promedio	0.6474	0.4696	0.7434	0.5727	0.7527	0.5925

5.5.6 Determinación de la relación entre la variabilidad de eventos del ENSO, con las variaciones locales de temperatura y lluvia en la vertiente del Pacífico

a) Identificación de las anomalías de temperatura y precipitación durante etapas de eventos Niño o Niña

Se procedió a identificar los periodos más fuertes tanto para eventos en etapa de El Niño como La Niña en el periodo de análisis según los eventos más fuertes que identifica la Administración Nacional del Océano y la Atmósfera (NOAA, por sus siglas en inglés) en base a las anomalías ENSO 3.4; posteriormente calculadas ya las anomalías obtenidas por cada estación meteorológica a nivel mensual de 1982 – 2012, se realizó la integración de las anomalías por periodos separados tanto en evento El Niño identificado como Eno y La Niña identificado como Ena; como se muestran en los cuadros 4 y 5, esto con el fin de ver la variaciones que existen en las variables de temperatura (°C) y precipitación (mm) en eventos más fuertes con respecto al fenómeno ENSO y su índice ENSO 3.4 en la Vertiente del Pacífico de Guatemala.

Cuadro 4. Eventos El Niño en 1982-2012 con base en el índice ENSO 3.4

Periodos El Niño	Clasificación
Mayo de 1982 - Junio de 1983	Eno 1
Septiembre de 1986 - Enero de 1988	Eno 2
Mayo de 1991 - Mayo de 1992	Eno 3
Agosto de 1994 - Febrero de 1995	Eno 4
Mayo de 1997 - Mayo de 1998	Eno 5
Junio de 2002 - Marzo de 2003	Eno 6
Agosto de 2004 - Enero de 2005	Eno 7
Septiembre de 2006 - Enero de 2007	Eno 8
Julio de 2009 - Abril de 2010	Eno 9

Cuadro 5. Eventos La Niña en 1982-2012 con base en el índice ENSO 3.4

Periodos La Niña	Clasificación
Octubre de 1984 - Julio de 1985	Ena 1
Mayo de 1988 - Junio de 1989	Ena 2
Septiembre de 1995 - Marzo de 1996	Ena 3
Junio de 1998 - Junio de 2000	Ena 4
Septiembre de 2000 - Febrero de 2001	Ena 5
Agosto de 2007 - Mayo de 2008	Ena 6
Junio de 2010 - Abril de 2011	Ena 7
Agosto de 2011 - Marzo de 2012	Ena 8

b) Determinación del grado de asociación de las variables de temperatura y precipitación con el fenómeno ENSO con el índice El Niño 3.4

Para la determinación del grado de asociación de temperatura y precipitación con el fenómeno ENSO, se utilizaron los coeficientes de correlación de Pearson, este índice es fue de vital importancia para nuestro estudio, ya que indica el grado de asociación que existe entre variables.

Se utilizaron los coeficientes de cada una de las estaciones de estudio a nivel mensual previamente calculados como se mencionó en el cuadro 3, con su respectivo desfase de meses. Para el cual se obtuvieron los coeficientes de correlación general a nivel mensual de enero a diciembre sin desfase, un mes de desfase y dos meses de desfase, por lo que posteriormente se analizaron los coeficientes de correlación con el fin de observar en que mes del año afecta o tiene mejor relación el fenómeno ENSO en las variables de temperatura y precipitación; además de ello se analizó en que desfase de meses tiene mejor correlación el efecto recesivo del fenómeno para cada una de las variables.

Para determinar la correlación existente entre el fenómeno ENSO y las variables de temperatura y precipitación, se tomo como base una escala de correlación según los valores de correlaciones obtenidos en la que:

Para temperatura:

<i>Correlación (r) entre:</i>	<i>Corresponden a:</i>
0.00 y 0.27	Muy baja
0.27 y 0.36	Baja
0.36 y 0.46	Buena
0.46 y 0.71	Muy buena

Para precipitación:

<i>Correlación (r) entre:</i>	<i>Corresponden a:</i>
0.00 y 0.23	Muy baja
0.23 y 0.28	Baja
0.28 y 0.33	Buena
0.33 y 0.56	Muy buena

Además de analizar la correlación a nivel mensual con sus respectivos desfases de meses del periodo de estudio, se observó la relación entre el fenómeno ENSO y las variables de temperatura y precipitación a nivel gráfico de Vertiente del Pacífico, obteniéndose así mismo seis mapas, donde se obtuvieron correlaciones de temperatura y precipitación a nivel de Vertiente del Pacífico y el índice El Niño 3.1. Estos mapas se realizaron con la ayuda del EPS-USAC Melvin Navarro, con la utilización de ArcGis con base en el método de interpolación IDW, en el cual se utilizaron los coeficientes de correlación de las 38 estaciones meteorológicas con los desfases de: sin desfase, un mes de desfase y dos meses de desfase, de las variables temperatura y precipitación. Utilizando la escala de correlación anteriormente establecida y el método de interpolación, se puede observar el efecto de desplazamiento de cómo se correlaciona el fenómeno ENSO a nivel de vertiente con las variables climáticas de temperatura y precipitación.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 RELACIÓN ENTRE LA VARIABILIDAD DE EVENTOS DEL ENSO, CON LAS VARIACIONES LOCALES DE TEMPERATURA Y LLUVIA EN LA VERTIENTE DEL PACÍFICO.

6.1.1 Identificación de las anomalías de temperatura y precipitación durante etapas de eventos Niño o Niña

La variabilidad climática en Guatemala es evidente y es afectada de manera constante y de forma inexacta, su variabilidad debido a su posición geográfica entre el Océano Pacífico y Atlántico, el efecto de sistemas de bajas presiones, depresiones y tormentas tropicales, la zona de convergencia intertropical, la topografía la cual determina el clima interno y reflejan los diferentes microclimas de la región. Actualmente y de gran importancia se suma a la variabilidad climática del territorio guatemalteco el fenómeno de escala global El Niño Oscilación del Sur (ENSO) que tiene efecto sobre las variables climáticas, siendo las más afectadas la temperatura y precipitación, las cuales tiene su repercusión en la productividad del sistema agrícola, recursos naturales y sistema social; tanto a nivel económico, infraestructura y vida humana.

Como resultado de la variabilidad climática en la región de la vertiente del Pacífico de Guatemala del periodo de estudio 1982 – 2012 (figura 19), se obtuvieron anomalías de temperaturas en el que se observa dos periodos marcados con descenso e incremento de temperaturas. En el primer periodo se puede observar un descenso en las temperaturas, las cuales la mayor parte de anomalías negativas se pueden observar en la década de los 80, por lo que podría deberse a que en estos años la mayor parte de eventos ENSO fueron de predominancia Niña (fase fría). El segundo periodo, se observa con un incremento de las temperaturas en parte de la década de los 90 (97-98) y la década de inicios de siglo, esto debido a que la mayor parte de eventos ENSO en estas décadas son de influencia Niño (fase cálida), a la vez puede observarse una tendencia de incrementos en las siguientes décadas esperándose que se presenten más eventos extremos en su fase cálida El Niño, como se puede observar en la figura 19.

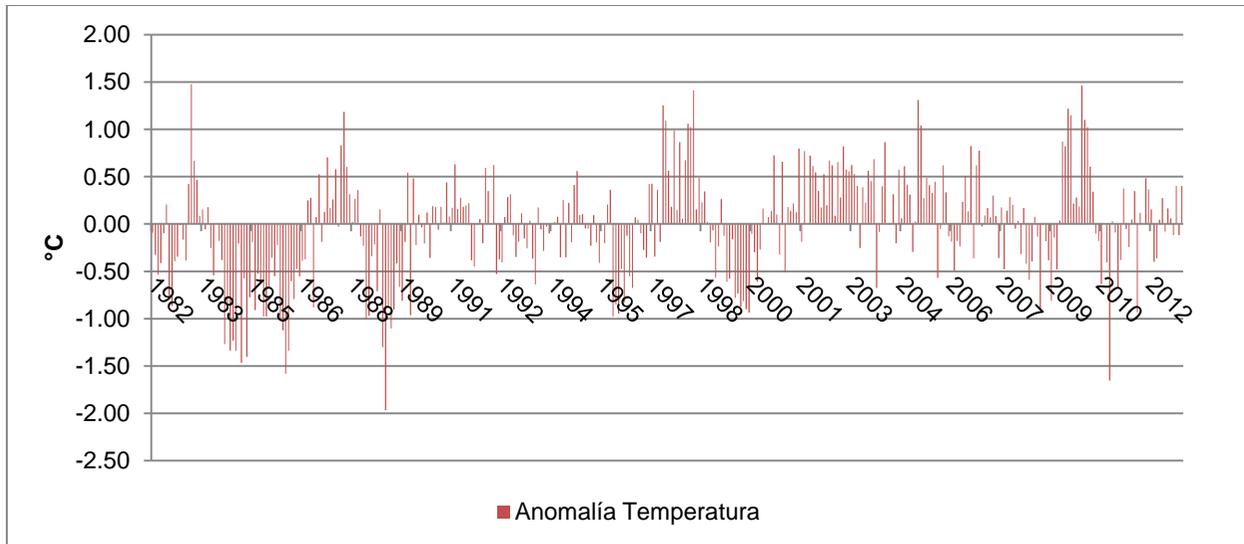


Figura 19. Anomalías de temperatura anual 1982 – 2012, en la Vertiente del Pacífico de Guatemala.

Así mismo, se obtuvieron anomalías de precipitación del mismo período de estudio, en el que se observó que existe predominancia de anomalías negativas a lo largo de la serie (figura 20), debido a que existe mayor frecuencia de eventos de El Niño en su fase cálida, que se han venido presentando más frecuentemente y con mayor intensidad.

Exceptuando los finales de 1995 y principios de 1996, a partir del segundo semestre del 1998 hasta el primer semestre de inicio de siglo; así como muy marcadamente el año 2010 y principios del 2011, donde se observan las anomalías positivas de dichos periodos, siendo la causa debido a efectos de La Niña en su fase fría.

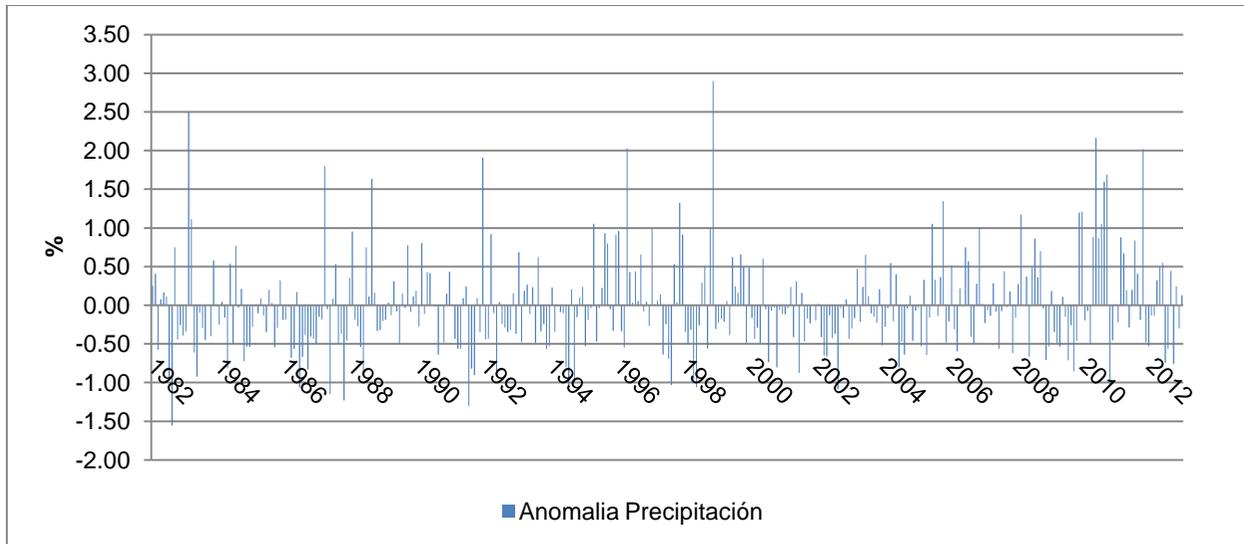


Figura 20. Anomalías de temperatura anual 1982 – 2012, en la Vertiente del Pacífico de Guatemala.

a) Eventos El Niño (Fase cálida).

Como bien se sabe, distintos fenómenos climáticos afectan el país en distintos sistemas, más aún en el recurso natural, siendo uno de ellos el recurso hídrico, uno de los más importantes, afectado en la disponibilidad, ya sea por exceso o déficit de dicho recurso. Siendo uno de ellos el fenómeno ENSO, el cual como bien se ha dicho posee influencia en el recurso hídrico asociado a su fase cálida El Niño, con la disminución de las lluvias y por ende los caudales de los ríos en la región, así mismo, inciden en el aumento de las temperaturas del ambiente. Por lo cual, estas causas de las anomalías en dichas variables dan lugar a sequías, incendios forestales, olas de calor y disminución en la producción agrícola, entre otros.

Según la serie analizada de 1982 – 2012, mostró que los años más cálidos o con anomalías positivas fueron 1983, 1987, 1997, 1998, 2002 y 2009; con un promedio anual de 0.44 °C, siendo el año más cálido 1983, con una anomalía positiva de 0.49 °C (figura 21), siendo estos años los más afectados en general por las anomalías positivas superiores a 0.5 °C registrados en el índice ENSO 3.4.

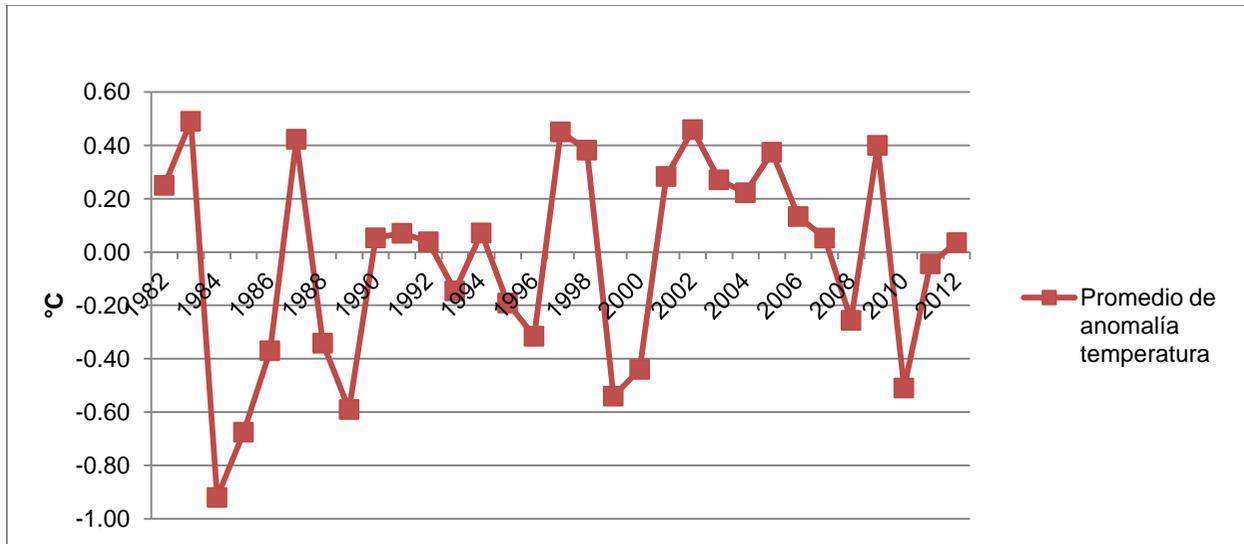


Figura 21. Promedio anual de anomalías de temperatura de 1982-2012 en la Vertiente del Pacífico de Guatemala.

Como resultado del análisis realizado, se clasificaron nueve eventos El Niño durante el periodo de estudio 1982 – 2012 como se indicó anteriormente, de los cuales se obtuvieron de manera satisfactoria las anomalías de las variables de temperatura y precipitación.

Los resultados obtenidos (cuadro 6) demuestran de forma concreta lo que se ha venido hablando de forma cualitativa a nivel de país de Guatemala, lo que ocasiona el efecto del ENSO en su fase cálida EL Niño, se demuestra que dicha fase para la región registra efectos positivos en el aumento de grados centígrados para la variable de temperatura, caso contrario, lo que provoca para la variable de precipitación, ocasionando un efecto negativo que repercute en la disminución de su porcentaje, afectando en la disponibilidad; es decir, un déficit de dicha variable.

Con base en lo descrito anteriormente, se puede observar en el cuadro 6, que los resultados demuestran que para la variable de temperatura ocasiona anomalías positivas a lo largo de los eventos El Niño, ocasionando anomalías positivas en promedio de 0.45 °C, una mínima de 0.22 °C hasta un máximo de 0.83 °C en sus intensidades más fuertes. A lo largo de la serie analizada se observa que los periodos

más fuertes para las anomalías del ENSO 3.4, corresponden a los periodos donde las anomalías positivas se expresan mucho mayor, siendo los periodos más fuertes: Eno 9, Eno 5, Eno 6 y Eno 1; desde su mayor anomalía causada hasta la menor entre las anomalías más fuertes, siendo sus anomalías positivas 0.83 °C, 0.79 °C, 0.51 °C y 0.48 °C; respectivamente. Así mismo se observa el efecto contrario que ocasiona en la precipitación, provocando en sus eventos extremos la disminución de su porcentaje desde un 11% hasta un 27% menos y un 20% promedio menos en su total promedio de lluvia, repercutiendo en la disponibilidad en la región. Los resultados, también concuerdan con los mismo eventos más fuertes que provocó el evento ENSO en la temperatura, las cuales sus anomalías negativa fueron: Eno 9, Eno 1, Eno 6 y Eno 5 causando 0.27%, 0.26%, 0.24% y 0.23 menos en su disponibilidad respetivamente para cada evento.

Cuadro 6. Anomalías promedio obtenidas de temperatura y precipitación según los periodos El Niño (fase cálida) 1982-2012.

Periodos El Niño	Clasificación	Anomalía ENSO 3.4	Anomalía temperatura °C	Anomalía precipitación %
Mayo de 1982 - Junio de 1983	Eno 1	1.55	0.48	-0.26
Septiembre de 1986 - Enero de 1988	Eno 2	1.20	0.22	-0.15
Mayo de 1991 - Mayo de 1992	Eno 3	1.26	0.23	-0.17
Agosto de 1994 - Febrero de 1995	Eno 4	0.93	0.29	-0.19
Mayo de 1997 - Mayo de 1998	Eno 5	1.80	0.79	-0.23
Junio de 2002 - Marzo de 2003	Eno 6	1.07	0.51	-0.24
Agosto de 2004 - Enero de 2005	Eno 7	0.68	0.28	-0.18
Septiembre de 2006 - Enero de 2007	Eno 8	0.87	0.40	-0.11
Julio de 2009 - Abril de 2010	Eno 9	1.08	0.83	-0.27

Los resultados anteriores apoyan de forma concreta y veraz los efectos positivos y negativos para temperatura y precipitación respectivamente. Esto debido a que los eventos se expresan muy fuertemente sobrepasando la anomalía de 0.5 °C para establecerlo como evento El Niño, siendo un mínimo de 0.68 °C hasta un 1.80 °C en promedio en su mayor expresión de el índice ENSO 3.4. Cabe mencionar que cada evento se expresa de forma diferente en cuanto a duración e intensidad, esto debido a que el evento de mayor duración en la serie de análisis fue el evento Eno 2 de

septiembre de 1986 a enero de 1988 con una duración de 17 meses provocando una anomalía promedio de 0.22 °C de temperatura y 15 % menos de lluvia. A diferencia del evento Eno 9, el cual tuvo una duración de 6 meses el cual provocó la mayor anomalía positiva y negativa registrada (0.83 °C y -27 %) e intensamente el que mayor anomalía promedio del ENSO 3.4 fue el evento Eno 5 (1.80 °C) que provocó un aumento de 0.62 °C y -0.23 % de precipitación (figura 22).

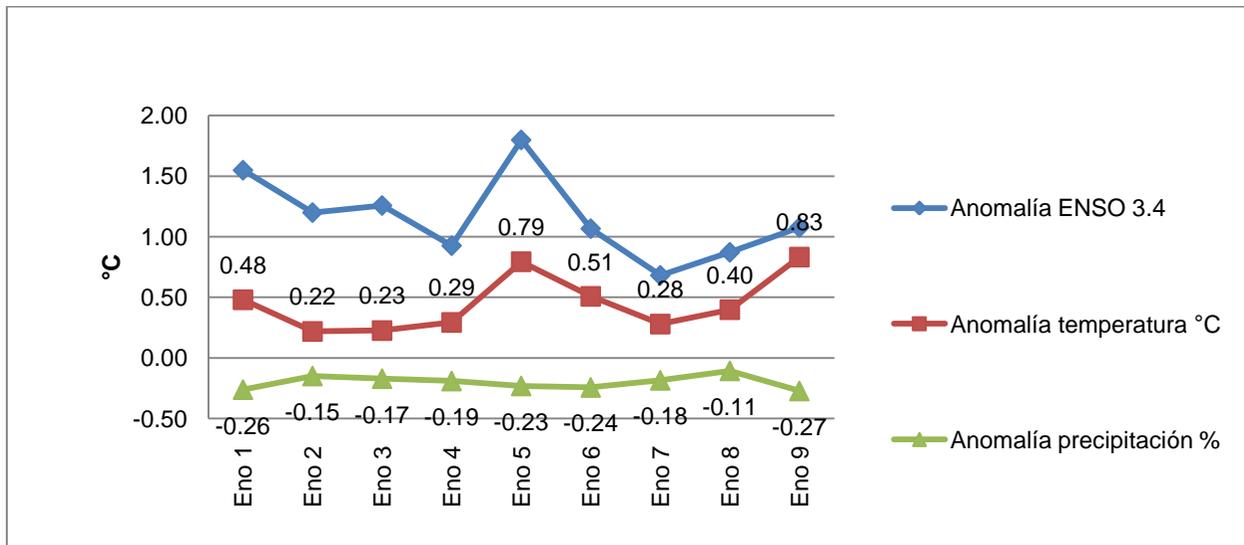


Figura 22. Comportamiento de anomalías de temperatura y precipitación en eventos El Niño

b) Eventos La Niña (Fase fría).

En Guatemala, durante La Niña, se ha relacionado dicha fase a la ocurrencia de anomalías negativas con la variable de temperatura asociados a periodos más fríos, a diferencia de lo que provoca con la precipitación, esta fase registra anomalías positivas en los incrementos de lluvia, con eventos de precipitación muy intensos, crecidas de ríos, avalanchas e inundaciones en las planicies de la costa sur de la Vertiente del Pacífico de Guatemala, con las consecuentes repercusiones sobre el recurso hídrico y la sociedad del país.

La distribución de las anomalías negativas de la serie de 1982 - 2012 analizadas como se muestra en la figura 23, mostró varios periodos significativos por debajo de la media, el primero de tres años corresponde de 1984 a 1986, caracterizándose por presentar el mayor registro negativo de toda la serie en 1984 (0.92 °C). Otros periodos significativos fueron los años 1988 - 1989; 1999 - 2000; y por último el año 2010; las cuales presentaron periodos mayores con anomalías negativas (0.34 - 0.59; 0.54 - 0.44; y 0.51 °C; respectivamente).

Así mismo, las anomalías positivas para precipitación también mostraron las mismas tendencias en algunos periodos con respecto a estar por encima de la media en porcentaje, siendo así 1984-86, 88-89, 99-00, 07-08 y 2010; los cuales se caracterizaron por poseer las mayores anomalías positivas para precipitación (0.39, 0.26, 0.20; 0.33, 0.26; 0.39, 0.30; 0.30, 0.37 y 0.50 %, respectivamente), causando un incremento porcentualmente de la media anual promedio para dichos años. Esto repercutió como se ha dicho en el recurso hídrico con la excedencia de dicha variable, ocasionando grandes acumulados de lluvia en la costa sur, dichos incrementos dieron lugar a la saturación de suelos en la región, los cuales ocasionaron deslaves así como la salida de cauces y ríos de las cuencas principales que abarcan la vertiente del Pacífico.

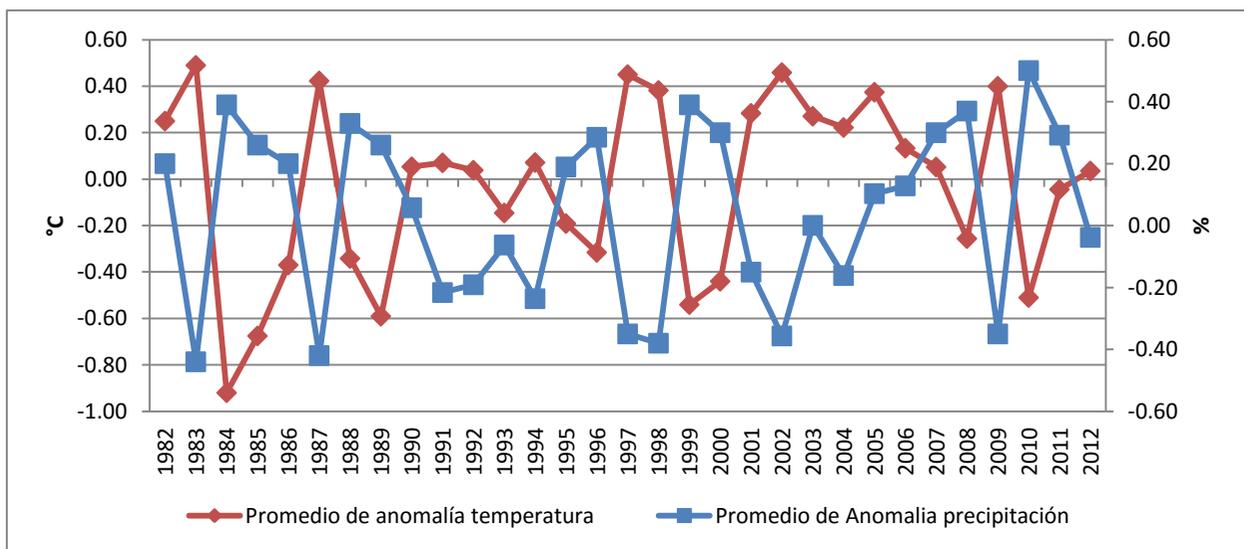


Figura 23. Promedio anual de anomalías de temperatura y precipitación de 1982-2012 en la Vertiente del Pacífico de Guatemala.

Así mismo se clasificaron ocho eventos extremos en el periodo de estudio de 1982 – 2012, de los cuales se obtuvieron las anomalías tanto de temperatura como precipitación. Los resultados obtenidos hacen referencia a lo aludido por las personas de la región y a nivel nacional como país, que dicho fenómeno ENSO en su fase fría registra disminución de temperatura y aumentos en la precipitación como se observa en el cuadro 7, con los periodos específicamente seleccionados. Dicha fase es muy similar a su fase cálida, solo que ésta al contrario provoca un registro negativo de 0.42 °C y un aumento de 0.23 por ciento en sus promedios de temperatura y precipitación respectivamente. Pudiendo provocar en temperatura descensos de 0.24 hasta 0.66 grados centígrados, a la vez sucede todo lo contrario en la variable de precipitación dando un aumento en su disponibilidad de 10% hasta un 48% en promedio general; este último en eventos muy extremos de La Niña de gran intensidad, además se asociarse a otros eventos climáticos atmosféricos con las tormentas tropicales.

Cuadro 7. Anomalías promedio obtenidas de temperatura y precipitación según los periodos La Niña (fase fría) 1982-2012.

Periodos La Niña	Clasificación	Anomalía ENSO 3.4	Anomalía temperatura °C	Anomalía precipitación %
Octubre de 1984 - Julio de 1985	Ena 1	-0.98	-0.60	0.20
Mayo de 1988 - Junio de 1989	Ena 2	-1.53	-0.66	0.24
Septiembre de 1995 - Marzo de 1996	Ena 3	-0.87	-0.34	0.20
Junio de 1998 - Junio de 2000	Ena 4	-1.21	-0.24	0.16
Septiembre de 2000 - Febrero de 2001	Ena 5	-0.76	-0.33	0.16
Agosto de 2007 - Mayo de 2008	Ena 6	-1.28	-0.37	0.10
Junio de 2010 - Abril de 2011	Ena 7	-1.30	-0.46	0.48
Agosto de 2011 - Marzo de 2012	Ena 8	-0.85	-0.39	0.27

En este estudio, la precipitación presentó menor rango de variación con respecto a las anomalías de temperatura, donde la variación fue mucho mayor, teniendo en cuenta que las variaciones de la correlación de temperatura están determinadas principalmente por características como la fisiografía del país. No obstante, entre los ocho eventos de análisis realizados, se puede observar que existen tres periodos sobresalientes, donde las anomalías del índice ENSO 3.4 se expresaron mayormente,

dando lugar a las más fuertes anomalías negativas para temperatura y positivas para precipitación; siendo el evento Ena 1 y 2, así como el Ena 7 con anomalías negativa y positiva respectivamente para cada evento, siendo para el primero una disminución de 0.60 °C y un incremento del 20 %, el segundo reportó un descenso de la temperatura de 0.66 °C y el aumento de 24 % en precipitación; dando a conocer que este fue el evento que mayor anomalía causó para la variable de temperatura de la serie de estudio. Por último, se tiene el evento que se dio en el segundo semestre del 2010 y que finalizó a principios del 2011, el cual registró un periodo frío con un descenso de 0.46 °C, además de sobresalir, por el hecho de caracterizarse que fue el que más aportó en el aumento de precipitación con un 48% más del promedio general de lluvia. Dicho porcentaje es efecto tanto del efecto de La Niña así como de la época lluviosa que se estable para la región de la vertiente principalmente de la costa sur, provocando en sí grandes cantidades de acumulados de lluvia, aumento de caudales de los ríos que por ende da la salida de sus causes que provocaron inundaciones, afectando la vida social de las personas así como la infraestructura del país.

6.1.2 Determinación del grado de asociación de temperatura y precipitación con el fenómeno ENSO

Parte fundamental del estudio llevado a cabo, fue determinar la relación que existe entre el fenómeno ENSO y las variables de temperatura y precipitación, ya que anteriormente, se ha visto que está ligado intrínsecamente de forma directa tanto positiva como negativamente a dichas variables dependiendo de la fase El Niño o La Niña. No obstante es de vital importancia saber la asociación que tiene con ambas variables, basándose en sus coeficiente de correlación de Pearson a nivel mensual de cada una de las estaciones utilizadas, sus desfases de meses para verificar los efectos recesivos y la escala de correlación previamente establecidas, a nivel de Vertiente del Pacífico de Guatemala.

Como resultado de las correlaciones (r) obtenidas (cuadro 8) para temperatura se obtuvo una correlación baja (0.34) entre el ENSO versus sin desfase de mes, a diferencia que al aumentar el desfase de uno y dos meses, se obtuvo una buena

correlación (0.36 y 0.38) entre dicha variable, demostrando que el efecto del fenómeno ENSO en cuanto a la variable de temperatura posee mejor influencia con desfase de dos meses, así mismo se observa conforme se aumenta los desfases de meses mejoran los coeficientes de correlación a nivel mensual, es decir que las anomalías que se producen en el Océano Pacífico Ecuatorial en la región del Niño 3.4, repercuten o reflejan sus efectos en la región de la vertiente del país hasta los dos meses después de haberse registrado. A diferencia de la precipitación, dicho estudio mostró todo lo contrario con una correlación buena en promedio general en resultados sin desfase y con un mes desfase entre el fenómeno (0.28), y una correlación baja cuando se aumenta el desfase de dos meses para precipitación con un r de 0.27. Se podría decir que los efectos de las anomalías de la temperatura superficial que se registran en el océano pacífico, poseen una respuesta más rápida en la variable precipitación de la región.

Aunque la escala de correlación para esta última variable es menor que la temperatura, ya que a diferencia de la temperatura sus valores se mantiene más constantes a lo largo de grandes áreas. Mientras que el comportamiento de precipitación puede estar atribuido a las variaciones (duración e intensidad) múltiples de los microclimas que posee el país, ya que difiere mucho de unos kilómetros a otros en distintos lugares de la costa sur y a nivel de vertiente.

Cuadro 8. Correlación de temperatura y precipitación con el fenómeno ENSO a nivel mensual, con desfases de meses (1982-2012).

Mes	Correlación sin desfase		Correlación desfase de 1 mes		Correlación desfase de 2 meses	
	Temperatura	Precipitación	Temperatura	Precipitación	Temperatura	Precipitación
Enero	0.2638	0.1959	0.4280	0.3032	0.4788	0.2871
Febrero	0.4114	0.3499	0.4483	0.2977	0.4726	0.2149
Marzo	0.4795	0.3112	0.4912	0.2020	0.3794	0.3344
Abril	0.4432	0.2055	0.3538	0.3045	0.4133	0.2211
Mayo	0.3233	0.1686	0.3524	0.2054	0.3885	0.2679
Junio	0.2097	0.1994	0.4256	0.3535	0.4044	0.4889
Julio	0.3701	0.3622	0.3756	0.5050	0.4192	0.3390
Agosto	0.3552	0.4958	0.3862	0.3312	0.2504	0.1863
Septiembre	0.3971	0.3472	0.2687	0.1777	0.2478	0.3016
Octubre	0.2981	0.1735	0.2479	0.3229	0.3525	0.2358
Noviembre	0.2370	0.3575	0.3257	0.2532	0.2717	0.1704
Diciembre	0.3013	0.2815	0.2700	0.1888	0.4217	0.2906
Promedio	0.3408	0.2875	0.3645	0.2873	0.3750	0.2784

Así mismo, se observa que en la variable de temperatura muestra mejores resultados de correlaciones para los meses de diciembre a marzo (figura 24), para el cual coincide con la época seca en Guatemala, donde los incrementos en la temperatura y reducciones en la precipitación son efectos del clima local de la región, teniendo en cuenta al momento de presenciar un efecto de El Niño en esta época que los valores de ambas variables se verán intensificados y se verán afectados en la disponibilidad (déficit o exceso), repercutiendo en los recursos más importantes del país como lo son el hídrico y la agricultura.

En cuanto a la variable de precipitación, mostró mejores correlaciones en los meses de junio a septiembre en el que dicho fenómeno se conjunta con la época invierno del territorio guatemalteco (figura 25), donde se aumenta los acumulados de lluvia respecto a los meses anteriores en las costas sur, oriente y occidente del país de manera normal. Sin embargo, se tiene que tener en cuenta también si se presentase el fenómeno en su fase fría, La Niña, el cual trae consigo como se ha visto anteriormente en dicho estudio el aumento promedio de los acumulados de lluvia; incrementando su duración e intensidad, siendo los más afectados la población con la crecida de los

caudales de los ríos provocando inundaciones a poblaciones así como daños a la infraestructura del país.

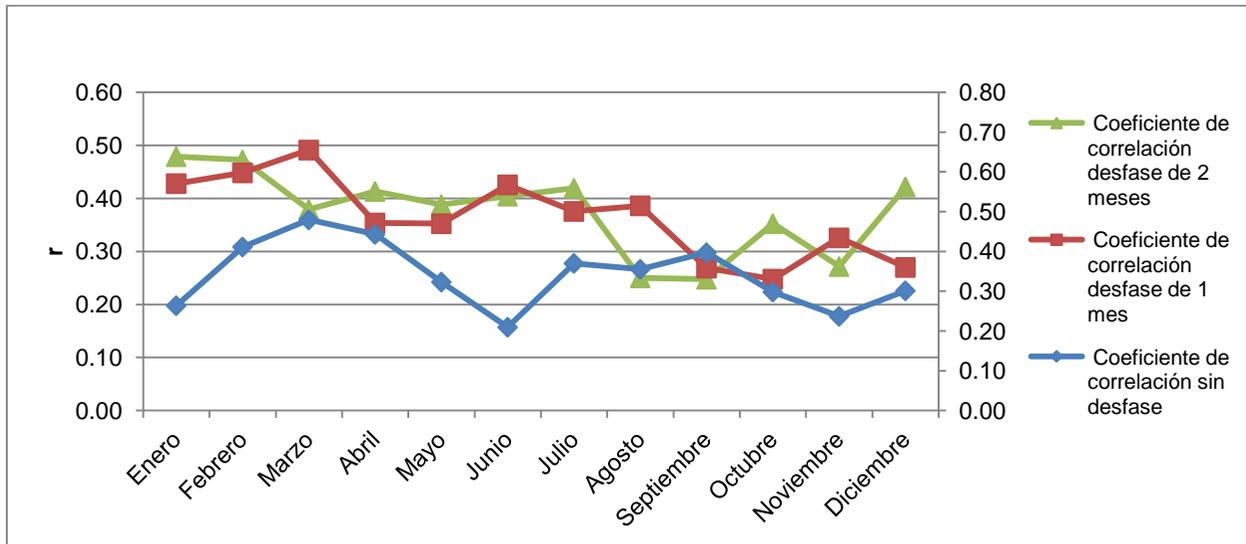


Figura 24. Efecto del ENSO en temperatura a nivel mensual (1982-2012).

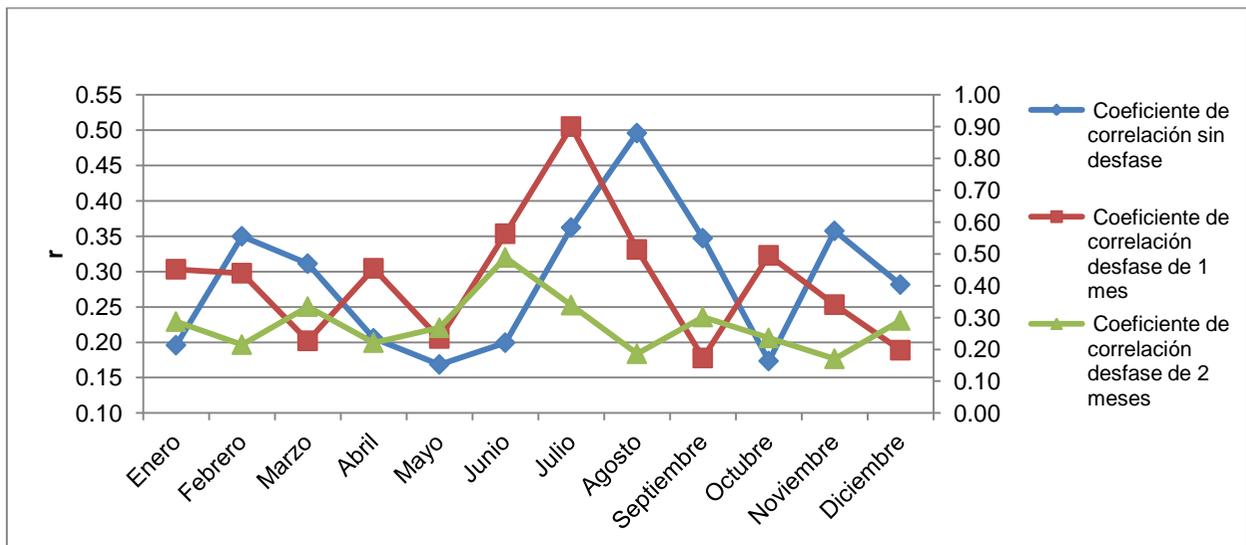
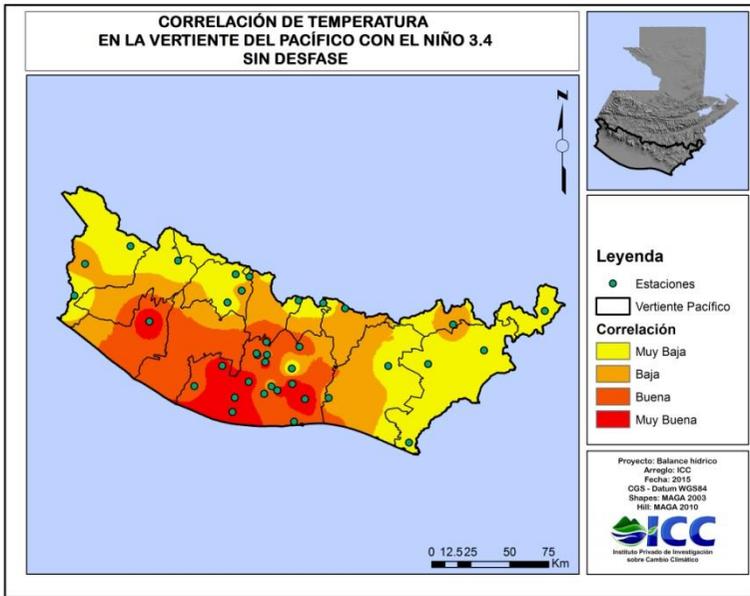


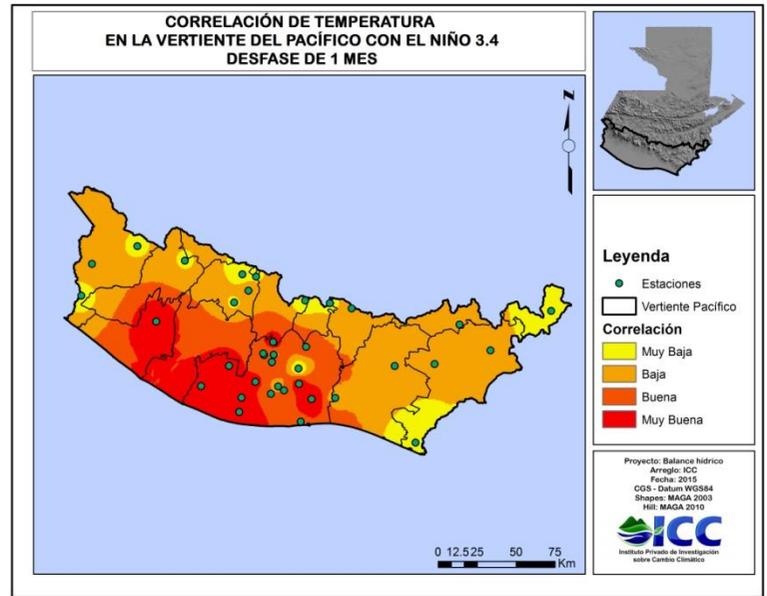
Figura 25. Efecto del ENSO en precipitación a nivel mensual (1982-2012).

A nivel de Vertiente del Pacífico se observa en la figura 26, la distribución espacial de los coeficientes de correlación mediante la interpolación de sus valores; observándose como se correlaciona mucho mejor a nivel de desfase de dos meses el efecto del fenómeno ENSO y la variable de temperatura, en otras palabras, como se extiende su rango de correlación del centro hacia la parte alta de la Vertiente, desde una correlación muy buena al centro, buena y sucesivamente hasta muy baja, en las partes altas y orientes de la Vertiente del Pacífico. Hay que tener en cuenta que dicho efecto de correlación podría deberse a la distribución de las estaciones climatológicas que están principalmente en la región central de la Vertiente, además de que en estas estaciones se dieron los mejores valores de correlaciones (0.64 – 0.75). Sin embargo otro de los factores que se observa en el comportamiento, es la topografía de la región debido a que las áreas más cercanas al océano Pacífico son planicies donde los efectos se ven mejor reflejados por la no existencia de obstáculos o barreras que puedan impedir dicho efecto del fenómeno, a diferencia de la parte alta de la región donde la topografía es mucho más pronunciada con cadenas montañosas y volcánicas, pudiendo tener efectos indirectos sobre el fenómeno ENSO.

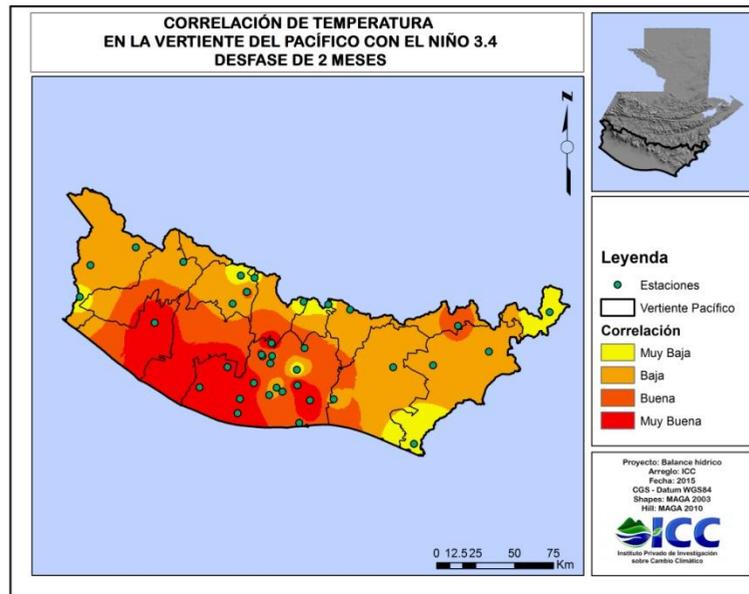
A la vez, se observa para la variable de precipitación (figura 27) el mismo comportamiento a nivel de vertiente que la temperatura, donde se presentan muy buenas correlaciones con el fenómeno, éstas se reflejan a nivel central de la región y mientras aumentan los metros sobre el nivel del mar hasta su parte alta de la delimitación, así como hacia la región oriente del país, los valores de r disminuyen. Cabe mencionar que la muy baja correlación para la región oriente, puede estar ligada como bien se ha dicho a efectos topográficos y climáticos entre las cadenas montañosas, efectos de barlovento y sotavento que influyen fuertemente en el bloqueo y/o en el desplazamiento de grandes masas de vapor que afectan la variable de precipitación en esta zona, ya que se caracteriza por ser una región muy seca para Guatemala.



(a)

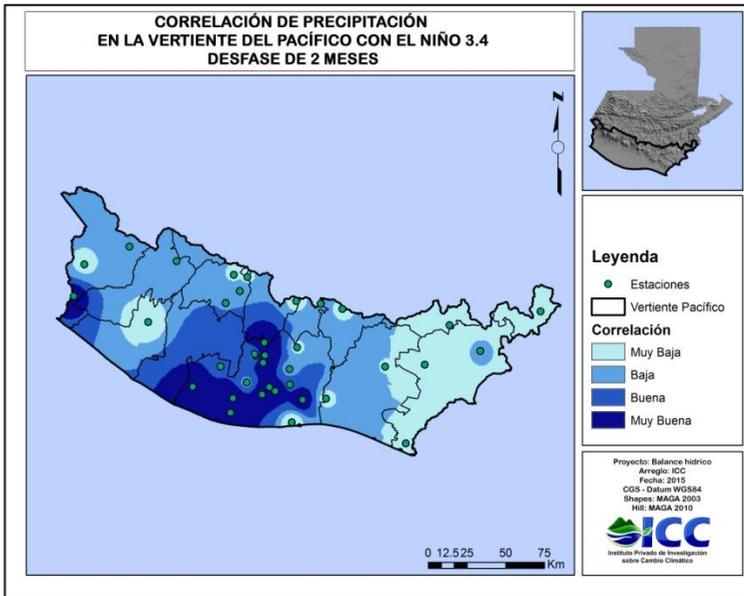


(b)

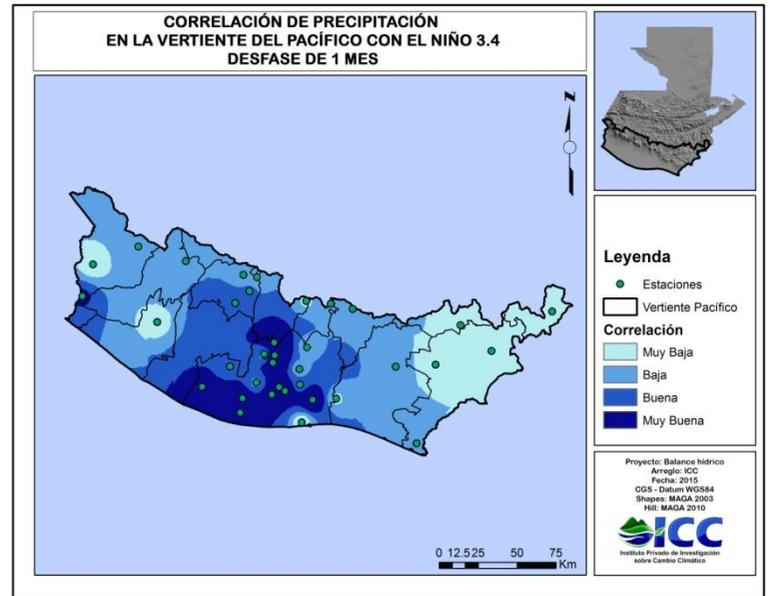


(c)

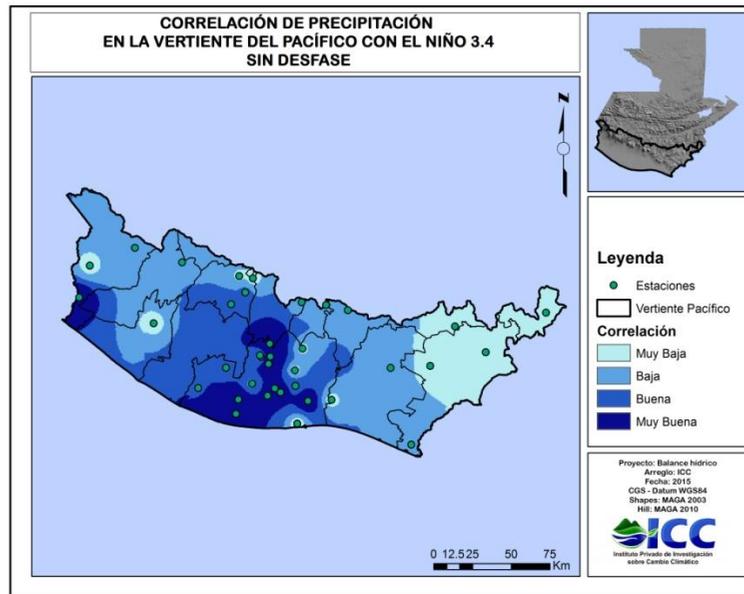
Figura 26. Correlación de temperatura y el fenómeno ENSO con el índice 3.4 sin desfase (a), desfase de un mes (b) y desfase de dos meses (c), en la Vertiente del Pacífico.



(a)



(b)



(c)

Figura 27. Correlación de precipitación y el fenómeno ENSO con el índice 3.4 sin desfase (a), desfase de un mes (b) y desfase de dos meses (c), en la Vertiente del Pacífico.

VII. CONCLUSIONES

- El fenómeno ENSO, provocado por las anomalías de la temperatura superficial en el Océano Pacífico, es una de las condicionantes océano-atmosféricas que están intrínsecamente ligadas al comportamiento de las variables de temperatura y precipitación con aumentos o disminuciones según sea la fase del fenómeno ENSO.
- Con base en el estudio realizado el fenómeno ENSO en sus eventos más fuertes, El Niño (fase cálida) afecta directamente las variables de temperatura y precipitación, representando anomalías positivas (aumentos) de temperatura en promedio de 0.45 °C; y para precipitación refleja anomalías negativas (disminución) en un 20% menos en su total promedio de lluvia. En su fase fría La Niña, los efectos negativos sobre la temperatura son disminuciones en promedio general de 0.42 °C. Así mismo, el efecto en precipitación se refleja con aumentos en promedio de 23% más en la lluvia de la región.
- Cada evento del ENSO tanto Niño como Niña, se expresa de manera diferente cuanto a duración e intensidad según sus anomalías registradas. El fenómeno ENSO posee relación con respecto a las dos épocas climáticas que predominan en Guatemala, siendo la variable de temperatura con una buena correlación (0.40) en la época de verano en los meses de diciembre a marzo, lo cual se debe de tener cuenta la presencia de un fase cálida del ENSO, que afecta aún más las variables de temperatura y precipitación, intensificándose en este periodo. Así mismo, la variable de precipitación concuerda con muy buenas correlaciones (0.34) para los meses de junio a septiembre, que concuerdan con la presencia de la época lluviosa (invierno), lo cual ante la presencia de un evento de La Niña para estas fechas puede repercutir en los acumulados de lluvia para la región incrementando su duración e intensidad, tomando en cuenta que los efecto directos recaen sobre el recurso hídrico provocando en sus mayores expresiones inundaciones.
- El efecto del ENSO para las variables de temperatura demuestra un mejor efecto para el desfase de 2 meses con un buena correlación de 0.38, lo cual evidencia que

las anomalías de la temperatura superficial del mar que se producen en el Océano Pacífico, no poseen un efecto inmediato ante esta variable, cabe mencionar que el clima de una región puede verse afectado, a través de patrones de teleconexiones que se llevan a cabo a grandes distancias, a diferencia de la precipitación donde los rangos de los valores son mucho menores en correlación aún así sigue siendo buena, la cual se obtiene sin desfase de meses con un valor de 0.28.

- Además se evidencia que la mejor correlación para ambas variables existe en la parte baja central de la Vertiente del Pacífico y menos correlación en la parte alta; efecto que puede estar atribuido a la topografía de la región donde juega un papel muy importante en las variaciones climáticas, haciendo más evidente el efecto del ENSO según la disposición cercana al océano pacífico tropical y microclimas existentes de Guatemala.

VIII. RECOMENDACIONES

- Es importante utilizar técnicas que suavicen una serie de datos por lo que dicho estudio podría realizar el cálculo de anomalía de temperatura y precipitación en base a la fórmula de promedio móvil. Siendo este muy similar a la fórmula de valor de Z, para la comparación de resultados en base a esta técnica estadística.
- Mejorar la captura de información de estaciones meteorológicas en la parte alta de la vertiente del pacífico, mejorando la densidad de estaciones ya que la correlación se ve afectada por la misma.
- El índice IOS y MEI, son índices que ayudan también al monitoreo del fenómeno ENSO, por lo que podría realizar la comparación de dichas variables climáticas utilizadas y su relación de tal forma de ver los efectos tiene con estos índices para la vertiente.
- Existen otros fenómenos de gran escala como la Oscilación del Norte Atlántico (NAO, por sus siglas en inglés) y relaciones no lineales entre estos fenómenos que afectan el clima de Guatemala, las cuales deben ser incluidas en futuros trabajos de investigación a fin de mejorar la estimación de las teleconexiones de variables macroclimáticas con la variabilidad climática local y su distribución espacial en el país.
- En base al estudio, se puede monitorear el fenómeno a través del Instituto Internacional de Investigación sobre el Clima y Sociedad (IRI, por sus siglas en inglés). Siendo importante para generar medidas de mitigación y adaptación para el sector azucarero, como diversos sectores de la población guatemalteca ante tal fenómeno y al cambio climático.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, E., Sigró, J., & Brunet, M. (2009). *Rclimdex con funcionalidades extras de control de calidad*. Recuperado el 6 de Agosto de 2013, de <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDI/software.shtml>
- Aguilar, E., Brunet, M., Auer, I., Peterson, T., & Wieringa, J. (2003). *Guidelines on Climate Metadata and Homogenization, WCDMP-No. 53, WMO-TD No.1186*. World Meteorological Organization. Geneva: Autor.
- Araya, J. L. (2011). *Resultados de un control de calidad para datos horarios de precipitación, irradiancia, velocidad y dirección del viento*. Costa Rica: Autor.
- Argeñal, F. J. (2010). *Variabilidad climática y cambio climático en Honduras*. Honduras: Secretaria de Recursos Naturales (SERNA) y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD.
- Brenes, C. (2002). *El fenómeno ENOS; Descripción e impactos sobre el Istmo Centroamericano, Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá, Proyecto VULSAC de la Secretaría del Consejo Agropecuario Centroamericano*. San José, Costa Rica.
- Brunet, M. (2010). *Datos e indicadores para detectar y atribuir eventos al cambio climático: los registros históricos del clima y su problemática*. Universidad de Rovira i Virgili, Tarragona, España.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). (2011). *La economía del cambio climático en Centroamérica*. México: Naciones Unidas.
- Fernandez, W., Amador, J., & Campos, M. (2006). *Impacts and adaptation to climate change and extreme events in Central America*. San Jose, Costa Rica: Comité Regional Recursos Hidráulicos (CRRH) del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA).
- Giorgi, F. (2006). Climate change hot-spots. *Geophysical Research , Lett.*, 33, L08707.
- IARNA-URL (Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar). (2003). *Informe ambiental de Guatemala y bases para la evaluación sistemática del estado del ambiente 2002-2005*. Guatemala: Autor.
- 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). (2012a). *Cambio climático y biodiversidad: un análisis de sus interacciones para Guatemala*. Guatemala: Autor.
- IARNA-URL (Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar). (2012b). *Perfil Ambiental de Guatemala 2010-2012. Vulnerabilidad local y creciente construcción de riesgo*. Guatemala: Autor.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate). (2007a). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III para el cuarto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Ginebra, Suiza: Organización Meteorológica Mundial (OMM) y Programa de las Naciones Unidas (PNUMA).
- Magrin, G., García, C. G., Choque, D. C., Giménez, J., A.R. Moreno, G. N., Nobre, C., & Villamizar, A. (2007). *Latin America. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, ML Parry, OF Canziani, JP Palutikof, PJ van der (eds)*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales). (2001). *Primera Comunicación sobre Cambio Climático*. Guatemala de la Asunción: Autor.
- MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales). (2002). *Variabilidad climática en Guatemala, Fase II-Proyecto Cambio Climático*. Guatemala: Autor.
- MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales). (2007). *Guatemala: Compilación y síntesis de los estudios de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático*. Guatemala: Autor.
- Maturana, J., Bello, M., & Manley, M. (2004). Antecedentes históricos y descripción del fenómeno El Niño, Oscilación del Sur. *Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile, Departamento de Oceanografía*, 1-15.
- Montealegre, J. (2004). *Escalas de variabilidad climática*. IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia), Meteorología. Colombia: Autor.

- Montealegre, J. E. (2012). *Informe final: Determinación de las alteraciones de la precipitación y temperatura del aire durante los fenómenos El Niño y La Niña, con base en los datos históricos de las estaciones meteorológicas en la región capital (Bogotá y Cundinamarca)*. Bogotá, Cundinamarca: PRICC (PLAN REGIONAL INTEGRAL DE CAMBIO CLIMÁTICO REGIÓN CAPITAL).
- Montealegre, J. E., & Pabon, J. D. (2000). La variabilidad climática interanual asociada al ciclo el niño-la niña–oscilacion del sur y su efecto en el patron pluviometrico de colombia. *Meteorología Colombiana* 2, pp. 7 – 21.
- Neff, H., J. Bove, F., & Genovez, J. V. (2006). *El clima y la naturaleza de la ocupación del postclásico en la costa sur de Guatemala*. Guatemala: Museo Nacional de Arqueología y Etnología.
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). (s.f.). *Climate Prediction Center of The National Centers for*. Recuperado el 10 de Septiembre de 2013, de <http://www.cpc.ncep.noaa.gov>
- OMM (Organización Meteorológica Mundial). (1966). *Vocabulario meteorológica mundial*. Ginebra, Suiza.
- OMM (Organización Meteorológica Mundial). (2003). *Nuestro clima futuro*. Ginebra, Suiza: Autor. Obtenido de www.wmo.int/pages/publications/showcase/documents/WMO952-S.pdf
- Pinilla, M. C., & Pinzón, C. (2012). *Influencia del ciclo ENOS sobre la precipitación en los municipios de Betulia, San Vicente de Chucurí, Zapotoca y Girón, departamento de Santander, Colombia*. España: Grupo técnico Convenio Fundación Natura Colombia -ISAGEN E.S.P.-
- PNUMA/CCAD (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo), SICA (Sistema de Integración Centro América). (2005). *Perspectivas del medio ambiente 2004. GEO, Centroamérica*.
- Puerta Orozco, O. L., & Carvajal Escobar, Y. (Enero-Junio de 2008). Incidencia de El Niño-Oscilación del Sur en la precipitación y temperatura del aire en Colombia utilizando el Climate Explorer. *INGENIERIA & DESARROLLO* (23), 15.
- Sempris, E., Anderson, E., Cherrington, E., Perez, J., Flores, A., & Carillo, R. (2008). *Potential impacts of climate change on biodiversity in Central America, México and the Dominican Republic*. Ciudad de Panamá, Panamá: CATHALAC, USAID.
- Solís, O. (2009). *Control de calidad de datos para estudios de cambio climático*. Peru: Autor.

- Trenberth, K. E., & Stepaniak, D. P. (2001). Indices of El Niño Evolution. *National Center for Atmospheric Research*, 5.
- Vanlesberg, S., Fibbi, L., Ibarrola, S., & Chiara, C. (Sin fecha). *Datos meteorológicos, su control y tratamiento*. Argentina: Autor.
- Villalobos, R., & Retana, J. A. (2000). *El Niño: una revisión bibliográfica*. Autor: Instituto Meteorológico Nacional Gestión de Desarrollo.
- Yadav, R., Yoo, J., Kucharski, F., & Abid, M. (2010). *Why is ENSO influencing northwest India winter precipitation in recent decades*. Pune, India: American Meteorological Society.