



## 2

# CLIMA DE GUATEMALA TENDENCIAS OBSERVADAS E ÍNDICES DE CAMBIO CLIMÁTICO

**Autores:** Walter Arnaldo Bardales Espinoza<sup>1</sup>, Claudio Castañón<sup>2</sup> y José Luis Herrera Herrera<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, [bardaleswa@gmail.com](mailto:bardaleswa@gmail.com)

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, [claudiocastanon@gmail.com](mailto:claudiocastanon@gmail.com)

<sup>3</sup>Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de San Carlos de Guatemala, [herreramet@gmail.com](mailto:herreramet@gmail.com)

**Forma de citar este capítulo:**

Bardales Espinoza, W. A., Castañón, C., & Herrera Herrera, J. L. (2019). Clima de Guatemala, tendencias observadas e índices de cambio climático. En E. J. Castellanos, A. Paiz-Estévez, J. Escribá, M. Rosales-Alconero, & A. Santizo (Eds.), *Primer reporte de evaluación del conocimiento sobre cambio climático en Guatemala*. (pp. 20–39). Guatemala: Editorial Universitaria UVG.



#### Mensajes clave:

- La región centroamericana es afectada por anomalías climáticas que provocan variabilidad, siendo la más conocida y relevante la de El Niño Oscilación Sur.
- En Guatemala, tanto la temperatura como la precipitación muestran una tendencia al aumento en las últimas décadas. Estos cambios se deben a la variabilidad climática, así como al calentamiento global.
- En los últimos años, Guatemala se ha visto afectada más intensamente por eventos extremos. Entre estos eventos destacan las canículas severas y prolongadas, el retraso en el establecimiento de la temporada de lluvias y el aumento de días con lluvias intensas.



# RESUMEN

La parte central de este capítulo la constituye el análisis de tendencias históricas en las variables climáticas de Guatemala para buscar si existe algún patrón cambiante por década. La tendencia de la precipitación revela un aumento en el promedio nacional a partir de la década de los noventa, con máximos extremos en los años 1997, 1998, 2010 y 2011. Además, las tendencias en temperatura media muestran un claro aumento (calentamiento) de 1.5 °C en el periodo 1961-2015. Los años con temperaturas mayores corresponden con aquellos en que se produjeron eventos de El Niño. Estas tendencias, al aumento en las últimas tres décadas, pueden ser producto tanto de la variabilidad climática como del calentamiento global de la atmósfera debido al cambio climático antropogénico. Estos resultados se refuerzan con los índices de cambio climático, agregando que, en el caso de la precipitación, el aumento es tanto en cantidad como en intensidad, porque se están registrando más días con lluvias intensas durante el año.

En cuanto a eventos extremos, destaca la alta actividad ciclónica en el periodo 1998-2011 que resultó en grandes pérdidas humanas y económicas para Guatemala. Más recientemente destacan las canículas severas y prolongadas en los años 2012, 2014, 2015 y 2018; también se muestra un retraso en el establecimiento de la temporada de lluvias y una disminución del máximo de lluvia en junio para varios años. En cuanto a ondas de calor, para los años 2015, 2016 y 2017, la mayoría de las estaciones meteorológicas del país superaron el récord de temperatura máxima diaria, esto en concordancia con los registros mundiales que clasificaron esos años como los más cálidos en la historia de los registros climáticos globales.

En su parte introductoria, este capítulo describe los aspectos fundamentales de las fuentes de variabilidad más conocidas en la región y sus principales impactos en Guatemala, así como las relaciones con la actividad ciclónica y la caracterización de las temporadas de frentes fríos, variación de la lluvia anual y temperatura media. Dentro de los eventos extremos meteorológicos analizados, en su contexto conceptual e impactos en Guatemala, se encuentran: eventos extremos de lluvia y tormentas severas (tanto de origen ciclónico como no ciclónico); eventos extremos de temperatura máxima y mínima (olas de calor, heladas y olas de frío); situaciones de sequía (especialmente en las regiones del país que presentan áreas con menor humedad y semiáridas); y eventos extremos de viento en superficie.



# CONTENIDO

<b>2.1</b>	<b>Variabilidad climática</b> .....	<b>24</b>
2.1.1	Fuentes de variabilidad climática para la región centroamericana .....	24
2.1.2	El Niño Oscilación del Sur (ENOS).....	24
2.1.2.1	El Atlántico Tropical Norte.....	26
2.1.2.2	La Oscilación Decadal del Pacífico .....	26
2.1.3	Variabilidad climática en Guatemala.....	26
2.1.4	Tendencias recientes de las variaciones de clima en Guatemala .....	28
2.1.4.1	Variación y tendencias de la precipitación anual.....	28
2.1.4.2	Variación y tendencias de la temperatura media .....	29
<b>2.2</b>	<b>Eventos extremos</b> .....	<b>31</b>
2.2.1	Eventos extremos de lluvia y tormenta.....	31
2.2.2	Sequía.....	33
2.2.3	Eventos extremos de temperatura.....	34
2.2.3.1	Olas de calor.....	34
2.2.3.2	Heladas y olas de frío.....	34
<b>2.3</b>	<b>Índices de cambio climático</b> .....	<b>35</b>
<b>2.4</b>	<b>Análisis de vacíos</b> .....	<b>36</b>
<b>2.5</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>37</b>

## 2.1 Variabilidad climática

Las variables climáticas cambian continuamente en espacio y tiempo, y son estas las que describen las características del clima de una región. Las variables climáticas tienden a oscilar en el transcurso del tiempo, causando modificaciones temporales en el clima, lo que se denomina «variabilidad climática» (Montealegre, 2009).

Las formas más conocidas de variabilidad climática son las estaciones del año, que representan a aquellas características particulares del clima asociadas al movimiento de traslación de la tierra. Las estaciones son una característica propia del clima que han dejado huella en el desarrollo social e histórico de la humanidad. Existen testimonios anecdóticos y antropológicos que demuestran la adaptación humana a la variabilidad climática que repercute primeramente en la salud y la supervivencia.

Parte de los cambios observados en el país sobre la productividad de los ecosistemas (agropecuarios especialmente) en las últimas décadas, que son discutidos en el **capítulo 6** de este reporte, pueden deberse tanto al cambio climático como a la variabilidad climática; estos fenómenos están estrechamente concatenados y son difícilmente discernibles, particularmente si los datos climáticos históricos disponibles son limitados.

Para cuantificar la variabilidad climática se utilizan distintas escalas de tiempo (intraestacional, estacional, anual y decadal) en las que se desarrollan fenómenos oceánicos y atmosféricos; estos fenómenos producen anomalías positivas (aumentos) o negativas (disminuciones) en las variables climáticas, cuantificadas principalmente en términos de precipitación pluvial (lluvia) y temperatura del aire.

La diferencia en los valores de las variables climáticas, alrededor de un valor de comparación, permite determinar tendencias en las que los valores de las variables mantienen un comportamiento similar. Frecuentemente, este valor de comparación es el mismo promedio de los datos y, en este caso, lo que se mide es una anomalía. Los lapsos en que se miden estas tendencias han sido llamados periodos o fases; por ejemplo, se llama fase positiva y negativa a los pe-

riodos de calentamiento y enfriamiento anormal de las aguas superficiales de los océanos, o simplemente fase cálida y fría (Herrera & Pineda, 2002).

La alternación entre dos fases o cambios de fase se llama «oscilación»; por ejemplo, los cambios de presión atmosférica en regiones del Pacífico ecuatorial se llaman Oscilación del Sur. Por otro lado, a dos fases en el mismo sentido o signo se les llama «ciclos»; por ejemplo, la duración de las fases cálidas y frías del Pacífico y Atlántico completan un ciclo. Y para el retorno de condiciones o fenómenos en forma irregular se utiliza el calificativo «acíclico» (Herrera & Pineda, 2002).

### 2.1.1 Fuentes de variabilidad climática para la región centroamericana

Centroamérica, de manera recurrente y con cierta periodicidad inexacta, es afectada por anomalías climáticas (Jiménez, 2000 citado por Herrera & Pineda, 2002); estas pueden estar relacionadas con señales o fuentes de variabilidad climática directa o las transportadas por efecto de teleconexiones del clima. Estas teleconexiones se refieren a variaciones climáticas que ocurren en una región distante pero que influyen en la región de interés; por ejemplo, el calentamiento del Pacífico ecuatorial influye en el clima de Centroamérica como se describe en el siguiente apartado.

La región centroamericana se ve fuertemente influenciada por los dos océanos que la rodean. El océano Pacífico, que en su parte ecuatorial cubre casi la mitad de la circunferencia terrestre, tiene un papel preponderante en la regulación del clima; así que, toda perturbación en su intercambio con la atmósfera tiene repercusiones sobre el conjunto del planeta. A continuación, se describen las fuentes de variabilidad climática más reconocidas y estudiadas que influyen en el clima de Guatemala.

### 2.1.2 El Niño Oscilación del Sur (ENOS)

Este patrón climático consiste en la oscilación de parámetros de temperatura del agua cada cierto número de años en el Pacífico ecuatorial, asociado a un fenómeno de cambio de presión atmosférica conocido como Oscilación del Sur. Estos dos fenómenos



mantienen una estrecha relación a través de la circulación océano-atmósfera o el modelo de circulación Walker (Quintana, 1990).

Para cuantificar estos cambios de presión atmosférica, entre Oceanía y el Pacífico sur oriental, se creó un índice llamado «Índice de Oscilación del Sur» (IOS).

Este índice, cuando es negativo (fase negativa), corresponde al debilitamiento generalizado de la presión (ocurrencia de El Niño) y aumento hacia el sector de Australia y Oceanía (Figura 2-1); situación opuesta ocurre cuando el índice es positivo (fase positiva), donde se da un fortalecimiento generalizado de la presión (ocurrencia de La Niña) (Quintana, 1990).

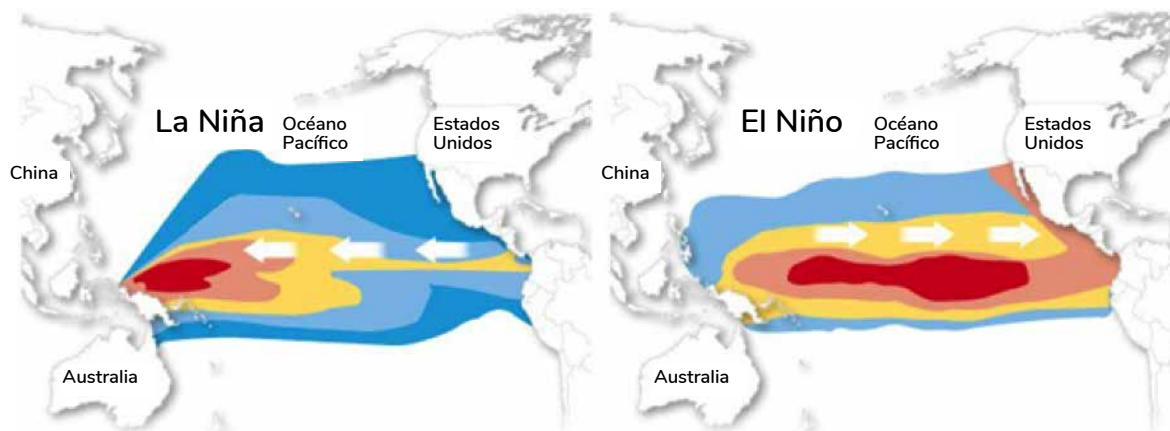


Figura 2-1 Corriente cálida de El Niño y corriente fría de La Niña. Las flechas representan el movimiento de las corrientes en los fenómenos de El Niño y de La Niña. Las coloraciones rojas y naranjas denotan aguas a mayor temperatura; mientras que las coloraciones celestes y azules representan temperaturas más bajas. Adaptado de Harbott & Hosseini (2017).

Este fenómeno de oscilación de presión atmosférica se acopla a una oscilación de la temperatura superficial del mar entre una fase cálida (El Niño) y una fase fría (La Niña) a lo largo del Pacífico tropical. Este fenómeno se considera una de las fuentes de variabilidad climática más estudiadas a nivel mundial, ya que tiende a modificar los patrones de temperatura y lluvia en varias regiones de la tierra (Ropelewski, Halpert (1996), Jones, Trewin (2000), IPCC (2007), citados por Méndez, Ramírez, Cornejo, Zárate, & Cavazos, 2010), especialmente en la región centroamericana, que es una de las regiones con fuerte dependencia a este fenómeno. El Niño trae condiciones más secas para Guatemala y La Niña condiciones de mayor precipitación.

Del año 1950 al 2017 se han registrado 23 fenómenos de El Niño y 20 de La Niña (NOAA, 2018b). Todos los fenómenos son diferentes

tanto en el tiempo atmosférico que generan como en magnitud y duración de la anomalía de temperatura superficial del mar (Figura 2-2) (INSIVUMEH, 2000).

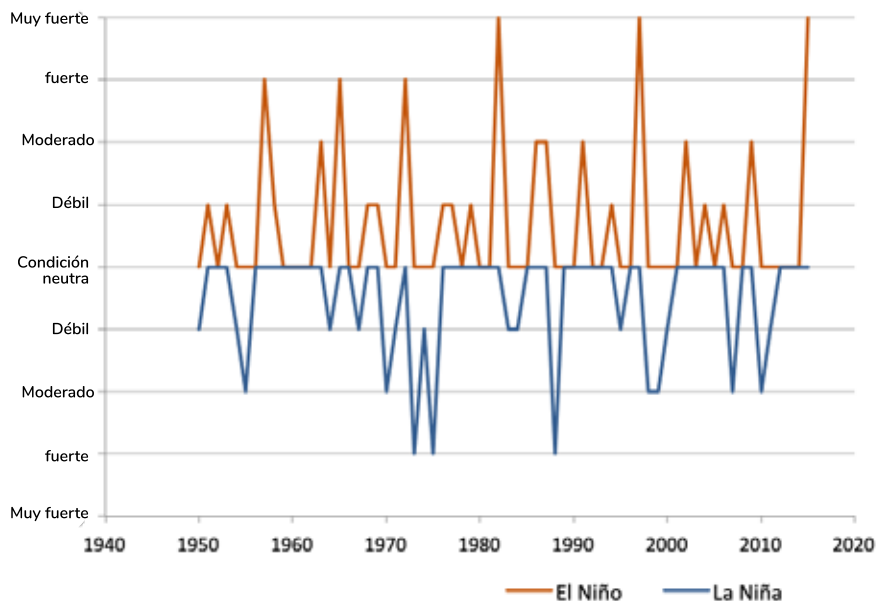


Figura 2-2 Clasificación de El Niño Oscilación Sur (ENOS) por categorías de intensidad y años, con base en la temperatura superficial del mar, periodo 1950-2016. El color naranja muestra la intensidad de efectos de El Niño (fase cálida) y el color azul los de La Niña (fase fría). Adaptado de NOAA (2018b).

### 2.1.2.1 El Atlántico Tropical Norte

El Atlántico Tropical Norte (ATN) es otra zona de teleconexión que tiene influencia sobre la variable precipitación; Philander citado por Alfaro & Cid (1999) indica que el ATN presenta una variación interanual importante. Knaff citado por Alfaro & Cid (1999) hace mención que existe una relación entre la fase cálida y fría del ATN y la región centroamericana; estas relaciones están en función de que la fase cálida produce un debilitamiento de los vientos alisios asociado al anticiclón subtropical del Atlántico norte. En condiciones de anticiclón, el aire desciende sobre el suelo desde las capas altas de la atmósfera provocando situaciones de tiempo estable y ausencia de precipitaciones.

Existe una estrecha relación entre las oscilaciones del Atlántico Tropical Norte y del Atlántico Norte (OAN). En la fase cálida o positiva de la OAN, el anticiclón se fortalece y su posición es más occidental en el Atlántico norte, produciendo aumento en la velocidad media de los vientos alisios como consecuencia del incremento del gradiente de presión atmosférica. Los vientos alisios que alcanzan Centroamérica frenan la formación de nubes a lo largo del litoral pacífico (Brenes y Saborio [1994] citados en Herrera & Pineda, 2002). En la fase fría o negativa de la OAN, el anticiclón se debilita ocupando una posición más oriental en el Atlántico norte, disminuyendo el gradiente de presión atmosférica sobre el mar Caribe. Alfaro (2005) indica que el Atlántico en fase cálida es más activo en ciclones tropicales; pero en fase fría tiende a ser menos activo.

### 2.1.2.2 La Oscilación Decadal del Pacífico

La Oscilación Decadal del Pacífico (ODP) es otra teleconexión asociada a la variabilidad climática de larga duración en el océano Pacífico, que afecta principalmente la cuenca de ese océano. Esta oscilación consta de una fase cálida y una fase fría; sus efectos más importantes en el clima se dan cuando las fases cálidas o frías de la ODP y el ENOS coinciden y se tornan mucho más fuertes, como en el caso de El Niño 1982-1983 y El Niño 1997-1998, este último ha sido el más documentado a nivel de Centroamérica (INSIVUMEH, 2000). La ODP, conocida popularmente como el «fenómeno

de La Madre», es manifestada por el calentamiento anormal de las aguas superficiales frente a las costas occidentales de Canadá y Estados Unidos (fase positiva) y periodos de enfriamiento anormal (fase negativa); cada una de estas fases de mayor periodo dura aproximadamente entre 20 y 30 años (Stolz [2000] citado por Herrera & Pineda, 2002). Alfaro (2005) sugiere que la mayor fuente de variabilidad de la actividad ciclónica del Pacífico del este, depende de esta oscilación; la frecuencia de ciclones aumenta en fases cálidas y disminuye en fases frías.

### 2.1.3 Variabilidad climática en Guatemala

El territorio de Guatemala se caracteriza por un accidentado relieve y la influencia oceánica a través de tres vertientes; el componente oceánico es determinante en la variabilidad del clima e impacta de manera diferente según las características fisiográficas de las distintas regiones. Las relaciones entre los componentes de variabilidad del clima y las oscilaciones océano-atmosféricas, de menor y mayor periodo, inducen anomalías respecto a la precipitación pluvial y temperatura del aire como variables fundamentales (Herrera & Pineda, 2002).

En Guatemala, el fenómeno de El Niño se puede manifestar con altas temperaturas antes del inicio de la temporada de lluvias, canículas severas, fuerte déficit o exceso de lluvias en las vertientes del Caribe y Pacífico, e irregularidad en el establecimiento, distribución y terminación de la temporada de lluvias. Por el contrario, el fenómeno de La Niña se encuentra más relacionado con excesos de lluvias y eventos hidrometeorológicos extremos (INSIVUMEH, 2000). Fuertes temporales de lluvia con daños a la infraestructura se registraron en los eventos de La Niña 1999-2000 y 2010-2011.

Las fases del ENOS tienen un efecto significativo en la cantidad de lluvia registrada en cada región climática de Guatemala, pero su efecto más notorio es durante la época lluviosa, la cual se ve afectada en cantidad y distribución de lluvia. Una de las regiones que no se ve afectada por este fenómeno es la región del Caribe y es porque tiene una mayor dependencia de lo que sucede en el océano Atlántico tropical. Al correlacionar los datos de lluvia y las anomalías de

temperatura superficial del mar para la región occidental del Pacífico se obtienen valores negativos en la época lluviosa, lo que indica que al incrementarse la temperatura del mar se espera que la cantidad de lluvia descienda y viceversa (Bardales, Gómez, Campos, Ordóñez, & Machuca, 2016).

Las relaciones o efectos del ENOS también han sido establecidas respecto al número de ciclones o tormentas nombradas en la cuenca del océano Atlántico, mar Caribe y golfo de México (con promedio de 11 ciclones). La actividad ciclónica es inhibida en los años de El Niño, como sucedió en las temporadas de 1982 y 1983, con un mínimo histórico de seis y cuatro ciclones nombrados; o en las de 1986 y 1987 con seis y siete ciclones; también en las temporadas de 1991, 1992 y 1993 con ocho, seis y ocho ciclones respectivamente; la de 1997 con siete ciclones; la de 2009 con nueve ciclones; y la temporada de 2014 con ocho ciclones. Por el contrario, en los años de La Niña, la actividad ciclónica es superior al pro-

medio; por ejemplo, en la temporada de 1998 fueron 14 ciclones nombrados y durante las temporadas de 2010 y 2011 fueron 19 ciclones en cada una (NHC, 2018; NOAA, 2018a). En la cuenca este del Pacífico norte (con promedio de 15 ciclones nombrados) no se logran discernir plenamente los efectos de aumento o disminución de actividad ciclónica con relación al ENOS. Lo más destacable es la amenaza del paso de ciclones sobre Centroamérica y su reactivación o formación sobre los litorales de El Salvador, Guatemala y la zona ciclogénica del golfo de Tehuantepec. Alfaro (2005) sugiere que la mayor fuente de variabilidad de la actividad ciclónica en esta cuenca depende de la ODP (NHC, 2018).

En cuando a los frentes fríos (con un promedio de 11 frentes fríos, de noviembre a febrero), se percibe que estos también son inhibidos por El Niño, porque se registran menos número de frentes fríos que durante el fenómeno de La Niña (Cuadro 2-1) (Herrera, 2007).

**Cuadro 2-1** Caracterización de frentes fríos que afectaron la Península de Yucatán y el territorio guatemalteco y su relación con los fenómenos El Niño y La Niña, periodo 1982-2008

Año	Fase predominante	Frentes fríos
1982-1983	El Niño	9
1986-1987	El Niño	6
1988-1989	La Niña	11
1997-1998	El Niño	5
1999-2000	La Niña	13
2000-2001	La Niña	13
2007-2008	La Niña	16

**Nota:** Fase predominante = fase del fenómeno de oscilación del sur (IOS), en el que «El Niño» indica una mayor presencia de la fase cálida, mientras que «La Niña» se refiere a la dominancia de una fase fría. Adaptado de Herrera (2007).

En Guatemala, el ATN en fase fría tiende a producir una menor cantidad de lluvia, principalmente en los departamentos de Petén, Alta Verapaz e Izabal; esto está asociado a que hay menos energía para la evaporación en el océano Atlántico, por lo que el

contenido de humedad disminuye. Las otras regiones también se ven afectadas con disminución de lluvias, pero tiende a ser menos marcado (INSIVUMEH, 2018b).



### 2.1.4 Tendencias recientes de las variaciones de clima en Guatemala

Para analizar la variación y tendencias de la lluvia y temperatura en Guatemala se comparó la información proveniente de dos análisis diferentes. En la elaboración de este capítulo se realizó una evaluación de la variación de la lluvia y temperatura por estación para el periodo de 1981 a 2016. Estos resultados se compararon con el análisis de Herrera & Pineda (2002), quienes realizaron una caracterización de los históricos de lluvia y temperatura del año 1960 al 2000; esa información se complementó con los registros del estudio del Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH, 2018b) para el periodo de 2001 a 2016. Los resultados se presentan a continuación, pero por tratarse de metodologías, periodos y bases de datos distintas, los valores pueden variar, aunque se observaron las mismas tendencias.

#### 2.1.4.1 Variación y tendencias de la precipitación anual

El promedio de lluvia anual a nivel nacional ha aumentado 52 mm desde 1981 según el análisis realizado en este capítulo. El promedio fue de 1753 mm para el periodo de 1981 al 2000; mientras que para el periodo de 2001 a 2016, el promedio fue de 1805 mm. Al evaluar la variación de lluvia por

localidad, se observa que el 62 % de las estaciones evaluadas tiene un incremento de lluvia para el periodo de evaluación, presentando una variación de entre uno a 43 % respecto al promedio climático de la estación (de 1981 a 2000); mientras que el 28 % de las estaciones presentó una disminución de la lluvia anual, siendo la variación de entre -1 y -30 % respecto al promedio climático de la estación (Figura 2-3).

El comportamiento histórico de la precipitación pluvial en Guatemala de 1960 a 2016 (Figura 2-4) muestra oscilaciones cuasidecadales, reguladas por fuentes de variabilidad climática de corto y largo periodo en los océanos Pacífico norte, Atlántico norte y Pacífico ecuatorial. La tendencia de la precipitación revela un aumento promedio nacional del 3 %, especialmente en la década de los noventa; en años anormalmente húmedos, las anomalías nacionales alcanzan el 9 % (Herrera & Pineda, 2002; INSIVUMEH, 2018b).

A finales de la década de los sesenta se registró anomalía positiva en la precipitación en las regiones de la meseta y altiplanos, depresión del río Motagua y valles de oriente. Esa anomalía estuvo enmarcada dentro de la fase fría de las oscilaciones decadales del Pacífico norte y Atlántico norte, y con posterioridad a la fase cálida de El Niño 1965-1966. En cambio, en las regiones del golfo de México, mar Caribe y océano Pacífico predominó anomalía negativa (Herrera & Pineda, 2002).

En la década de los setenta dominó la anomalía negativa en la precipitación, en las regiones de la meseta y altiplanos, depresión del río Motagua y valles del oriente; estuvo más acentuada en los años 1975-1977, los cuales están enmarcadas dentro del cambio de fase en el Pacífico norte y Atlántico norte. También se manifestaron las fases cálidas de El Niño en los años 1972-1973 y 1976-1977, y las fases frías de La Niña en los años 1970-1971 y 1974-1975. Por el contrario, en las planicies del océano Pacífico se registró una pro-

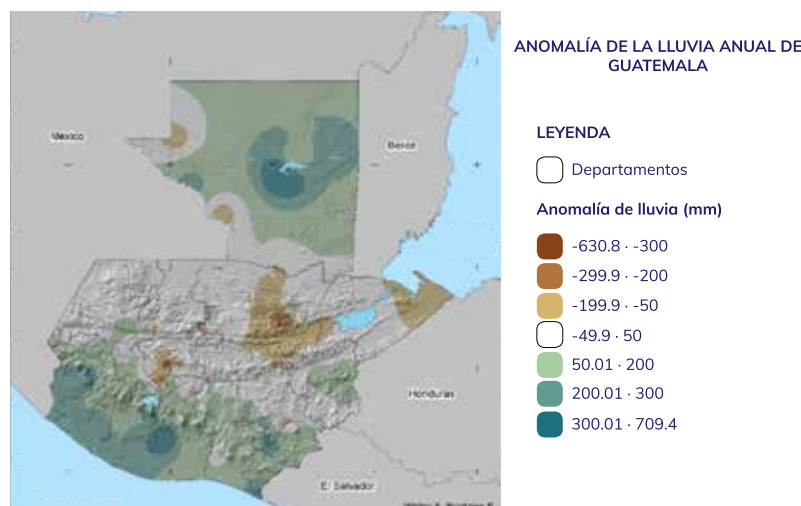


Figura 2-3 Anomalía de lluvia anual en milímetros a nivel local, periodo base 1981-2000, comparado con el periodo de evaluación 2001-2016. Elaboración propia, basado en INSIVUMEH (2017), INDE (2017) y EMPAGUA (2017).

longada anomalía positiva en la precipitación a principios de la década de los setenta (años 1970-1973) (Herrera & Pineda, 2002).

En la década de los ochenta dominó la anomalía negativa en la precipitación en todas las regiones del país, más acentuada en los años de 1984 a 1987. Esta anomalía negativa estuvo enmarcada dentro de la fase cálida de las oscilaciones decadales del Pacífico norte y Atlántico norte; también se manifestó una de las fases cálidas más fuertes, como El Niño 1982-1983 y posteriormente El Niño 1986-1987 (en fase de las oscilaciones decadales y del Pacífico ecuatorial), y la fase fría de La Niña en los años 1988-1989 (Herrera & Pineda, 2002).

En la década de los noventa dominaron anomalías positivas en la precipitación en todas las regiones del país, más acentuadas en los años 1995-1998, con indicios de cambio hacia finales de la década; este comportamiento ocurrió con relación a la prolongación de la fase positiva en el Pacífico norte y Atlántico norte. También se manifestaron las fases cálidas de El Niño en los años 1991-1993 y 1997-1998 (en fase de las oscilaciones decadales y del Pacífico ecuatorial), y la prolongada fase fría de La Niña en 1999-2001 (Herrera & Pineda, 2002).

En los años 2000 a 2016, de acuerdo con las estaciones meteorológicas analizadas en el estudio de variabilidad y cambio climático en Guatemala (INSIVUMEH, 2018b), se observó predominio de anomalías positivas a partir del año 2005 y máximo de anomalía en los años 2010 y 2011. En lo que respecta a El Niño 2002-2004, a inicios de los años 2000, se observó reducción en las anomalías. Por el contrario, a inicios de los años 2010 se registró La Niña 2010-2011 con anomalías positivas extremas, en el orden de 300 a 500 %, que provocaron graves daños a la infraestructura del país. A mediados de la década se registró El Niño 2014-2015. Las oscilaciones decadales del Pacífico y Atlántico norte registraron predominio de fase negativa.

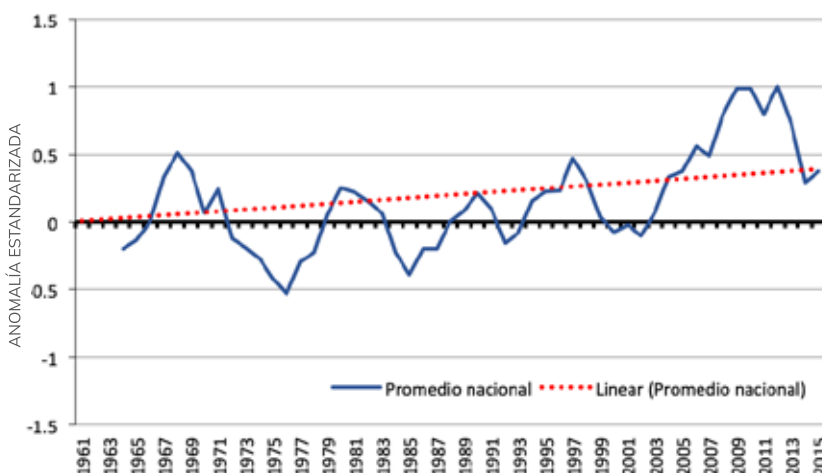
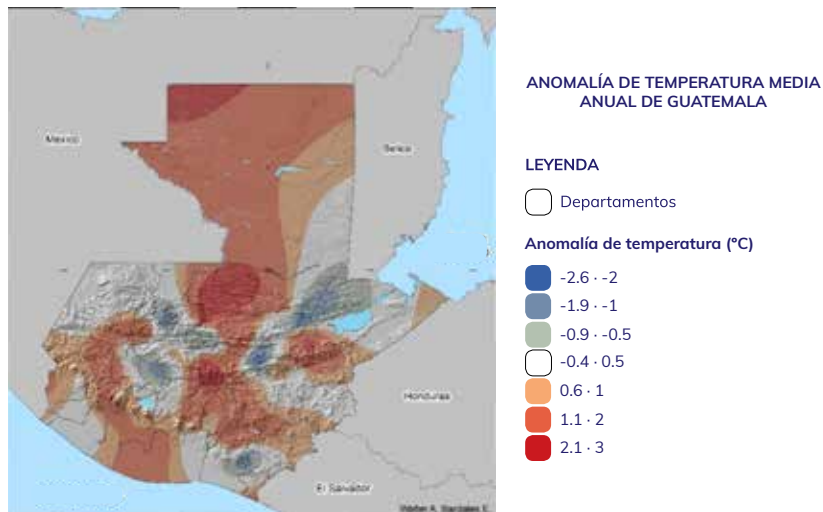


Figura 2-4 Tendencias observadas en la precipitación (en milímetros) en Guatemala, periodo 1961-2017. La línea azul muestra los datos por año del promedio de precipitación nacional, mientras que la línea roja punteada muestra la tendencia en estos datos. Elaboración propia, basado en Herrera & Pineda (2002) e INSIVUMEH (2017).

#### 2.1.4.2 Variación y tendencias de la temperatura media

La temperatura media anual para Guatemala ha mostrado un incremento promedio de 0.6 °C desde 1971. La temperatura promedio anual en el periodo de 1971 a 2000 fue de 20.9 °C y en el periodo de 2001 a 2016 fue de 21.5 °C, con un incremento promedio de 0.6 °C. Al evaluar la variación de temperatura por localidad, el 77 % de las estaciones evaluadas mostró un incremento de temperatura para el periodo de evaluación, reflejando una variación de la temperatura de entre 0.2 a 13 % respecto al promedio climático de la estación (de 1971 a 2000); mientras que el 23 % de las estaciones presentó una disminución de la temperatura, reflejando una variación de temperatura de entre -1 y -13 % respecto al promedio climático de la estación (Figura 2-5).

El comportamiento histórico de la temperatura en Guatemala muestra una clara tendencia al incremento en sus valores (calentamiento), condicionada por el predominio de anomalías positivas a finales de los años 80. Los años con mayores anomalías positivas aparentemente corresponden con aquellos en los que se produjeron eventos de El Niño. A las tendencias de la temperatura, aparte de la variabilidad climática de corto y largo perio-



**Figura 2-5** Anomalía de la temperatura media anual en grados Celsius a nivel local, periodo base 1971-2000, comparado con el periodo de evaluación 2001-2016. Elaboración propia, basado en INSIVUMEH (2017) e INDE (2017).

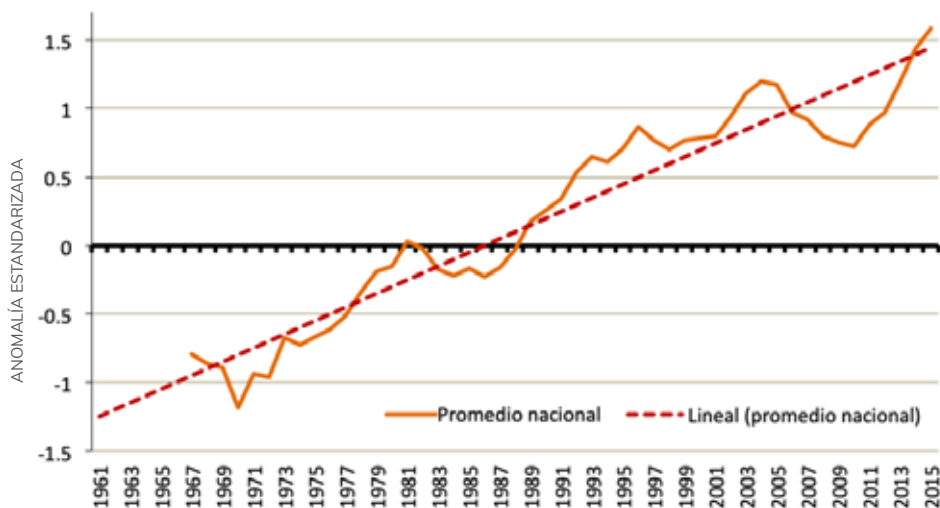
do, también se suman los efectos del calentamiento global de la atmósfera, cuyo aumento promedio durante el periodo 1961-2015, a nivel país, fue de 1.5 grados Celsius (Figura 2-6), aún más alto en regiones con mayor sensibilidad climática (Herrera & Pineda, 2002).

En las décadas de los sesenta y setenta se presentó mucha dispersión en las anomalías promedio de temperatura, posiblemente por factores no climáticos. Sin embargo, la generalidad apunta a un periodo de predominancia de anomalías negativas hasta aproximadamente el año 1977, enmarcado en la fase negativa de las oscilaciones del Pacífico norte y Atlántico norte. También se manifestaron las fases cálidas de El Niño en los años 1972-1973, 1976-1977, y las fases frías de La Niña en 1970-1971 y 1974-1975 (Herrera & Pineda, 2002).

En la década de los ochenta predominaron anomalías promedio de temperatura ligeramente por debajo de la norma climática (periodo cercano a la norma), enmarcadas dentro de las fases cálidas del Pacífico norte y Atlántico norte. En esta década se manifestó una de las fases cálidas más fuertes, tal es el caso de El Niño 1982-1983 y posteriormente El Niño 1986-1987 (en fase de las oscilaciones decadales y del Pacífico ecuatorial); así como la fase fría de La Niña en los años 1988-1989 (Herrera & Pineda, 2002).

Durante la década de los noventa se registró una tendencia creciente en las anomalías promedio de temperatura; cuantitativa y cualitativamente resultó ser una de las décadas más calurosas (periodo caluroso), con máximos significativos en los años de 1995 a 2000 que corresponde al quinquenio más cálido del siglo. En esta década se registraron las fases cálidas de El Niño 1991-1993 y 1997-1998 (en fase de las oscilaciones decadales y del Pacífico ecuatorial), y la prolongada fase fría del Pacífico ecuatorial de La Niña 1999-2001 (Herrera & Pineda, 2002).

De los años 2000 a 2016, de acuerdo con las estaciones meteorológicas analizadas en el estudio de variabilidad y cambio climático en Guatemala (INSIVUMEH, 2018b), se observó la tendencia y persistencia de anomalías positivas, con máximos de 1.8 °C en los años de 2002 a 2007 y de 1.4 °C en los años de 2013 a 2014; relacionadas con el registro prolongado de El Niño 2002-2004 y El Niño 2014-2015, que acentuaron las anomalías absolutas. Las oscilaciones decadales del Pacífico y Atlántico norte registraron predominio de fase negativa.



**Figura 2-6** Tendencias observadas en la temperatura media (expresada en grados Celsius) en Guatemala, periodo 1961-2017. La línea naranja muestra el promedio anual de temperatura nacional y la línea punteada muestra la tendencia en estos datos. Elaboración propia, basado en Herrera & Pineda (2002) e INSIVUMEH (2017).

## 2.2 Eventos extremos

Los eventos extremos corresponden a fenómenos meteorológicos raros o inusuales en determinado lugar y época del año. Aunque las definiciones de raro son diversas, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2013) establece que la «rareza normal» de un fenómeno meteorológico extremo sería igual o superior al percentil 90, o igual o inferior al percentil 10 de la estimación de la función de densidad de probabilidad observada.

### 2.2.1 Eventos extremos de lluvia y tormenta

Taylor y Alfaro (2005) indican que la variabilidad de la lluvia es el elemento climático o meteorológico más estudiado en Centroamérica, la cual está influenciada por los centros de alta presión subtropical del Atlántico norte, centros de baja presión, zona de convergencia intertropical, ingreso de frentes fríos, migración de ondas tropicales del este y ciclones tropicales.

De los eventos extremos de lluvia, generalmente se derivan crecidas e inundaciones. En Guatemala ha habido inundaciones asociadas al paso de ondas tropicales del este y eventos convectivos (lluvias intensas en áreas llanas, es decir, no causadas por efectos orográficos), tal es el caso de las inundacio-

nes urbanas en ciudad de Guatemala, Mazatenango, Quetzaltenango, Escuintla y Antigua Guatemala; así también inundaciones asociadas a sistemas frontales o frentes fríos, como las inundaciones en el área de Petén, parte baja de Alta Verapaz, norte de Quiché e Izabal, en los meses de noviembre a marzo (INSIVUMEH, 2015b).

Los eventos extremos de tormenta son aquellos que adquieren características de Tormenta Local Severa, con manifestaciones de daños estructurales locales. Dentro de sus efectos se registran fuertes ráfagas de viento, actividad eléctrica, lluvia intensa y granizo (Calzadilla, Proenza, Pereira, & Pupo, 2010).

Guatemala es un país altamente expuesto debido a la aproximación e ingreso de eventos ciclónicos (Figura 2-7 y Cuadro 2-2), dentro de los cuales se puede destacar el Huracán Mitch que ingresó a Guatemala el 31 de octubre de 1998 y atravesó el país como depresión tropical, provocando grandes pérdidas, damnificados y fallecidos. La tormenta Agatha, que ingresó al país el 28 de mayo de 2010, provocó temporales de lluvia con graves daños estructurales por coincidir con fuerte actividad eruptiva del volcán Pacaya (INSIVUMEH, 2010, 2011, 2016; NOAA, 2018a).



Cuadro 2-3 Histórico de eventos ciclónicos que han afectado a Guatemala, periodo 1974-2016

Año	Tipo de evento	Nombre
1974	huracán	Fifí
1997	huracán	Olaf
1997	huracán	Paulina
1998	huracán	Mitch
2005	tormenta	Stan
2010	tormenta	Agatha
2011	depresión tropical	12/E
2016	huracán	Earl

Nota: Elaboración propia, basado en INSIVUMEH (2010, 2011, 2014) y NOAA (2018c)

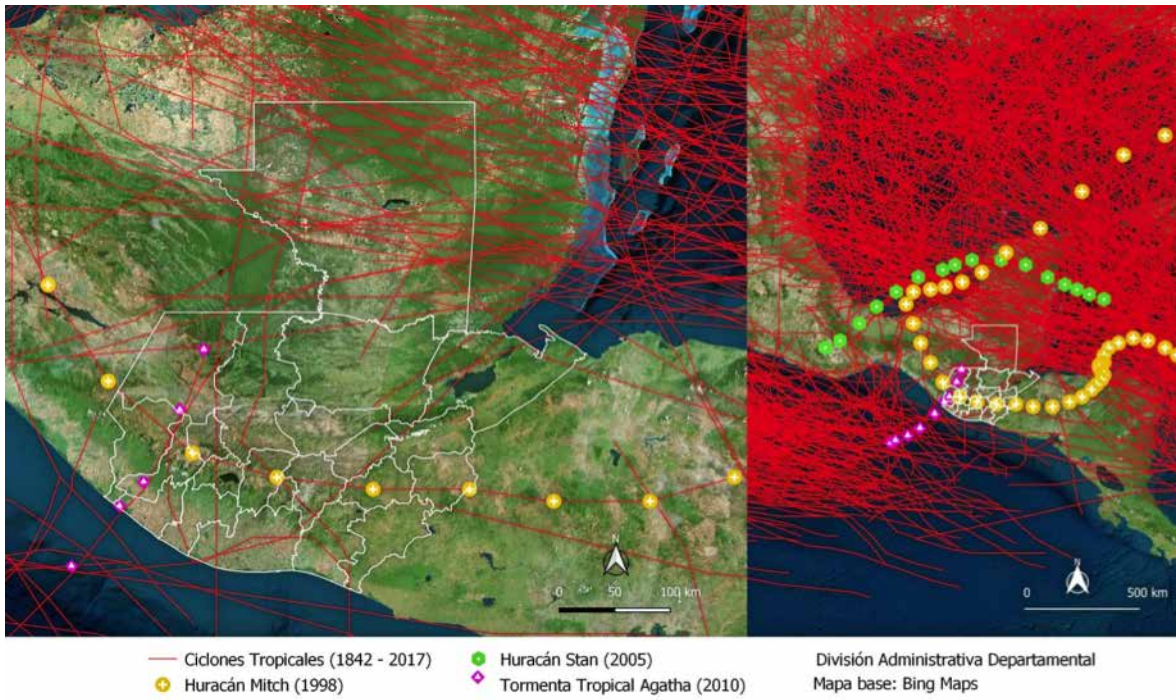


Figura 2-7 Ciclones tropicales que afectaron directa o indirectamente a Guatemala durante el periodo 1851-2016. Las líneas rojas muestran el recorrido de cada evento. Elaboración propia, basado en NOAA (2018c).



Pacay (2015) realizó un estudio de eventos extremos de lluvia diaria en Guatemala utilizando una base de datos de 103 estaciones de registros pluviométricos durante el periodo de 1970 a 2014. Determinó que entre el 26 y 28 % de los eventos extremos de lluvia

registrados están asociados a ciclones tropicales y el resto (entre el 72 y 74 %) son de origen no ciclónico; pero los valores históricos más altos fueron de origen ciclónico (Cuadro 2-3).

**Cuadro 2-3** Valores máximos de lluvia diaria registrados, periodo 1970-2014, relacionados con eventos extremos

Estación	Departamento	Año	Evento	ppt máxima registrada
Puerto de San José	Escuintla	1998	Mitch	467.0
San Antonio Ilotenango	Quiché	2000	Evento no ciclónico	430.5
Montúfar	Jutiapa	2010	Agatha	426.0
Tiquisate	Escuintla	1982	Paul	382.4
El Mirador	Santa Rosa	1995	Evento no ciclónico	364.0
San Antonio Ilotenango	Quiché	2001	Iris	340.5
Retalhuleu	Retalhuleu	1982	Paul	337.0
El Capitán (San Lucas Tolimán)	Sololá	2010	Agatha	322.0
Jurún Marinalá (Palín)	Escuintla	2010	Agatha	309.0
Media Legua	Santa Rosa		Evento no ciclónico	301.0

**Nota:** ppt máxima registrada = Precipitación máxima registrada por la estación, dada en milímetros. Elaboración propia, basado en Pacay (2015).

### 2.2.2 Sequía

La sequía se expresa como condición de déficit de humedad o agua, que resulta de la combinación de eventos meteorológicos, características físico-geográficas del territorio y la acción del humano sobre el medio. Se registran situaciones de sequía en el abastecimiento de agua para las ciudades, industrias, actividades agropecuarias, generación de hidroelectricidad, entre otras; así como en el contenido de humedad de la atmósfera. Puede causar daños irreversibles y pérdidas en actividades productivas de extensas regiones, con implicaciones en la salud y seguridad alimentaria (MAGA & INSIVUMEH, 2002).

En Guatemala, las zonas con mayor aridez presentan más vulnerabilidad a la falta o irregularidad de la lluvia estacional y repetibilidad de la sequía, un proceso que, si es persistente, puede modificar las condiciones del lugar. Este comportamiento se observa en parte de los departamentos del centro del país, en la depresión del río Motagua hacia el oriente y en los valles del suroriente (MAGA & INSIVUMEH, 2002).

Es importante considerar las regiones del país que presentan áreas con menor humedad y semiáridas, caracterizadas porque la vida de las plantas es corta. Esas regiones se encuentran básicamente confinadas en los valles del oriente, parte de la cuenca del río Motagua, la mayor parte del departamento de Baja Verapaz, parte de los departamentos de Huehuetenango y Quiché (cuenca del río Chixoy), noreste de Petén y una franja angosta en el litoral pacífico. El resto del país está representado por climas húmedos (Herrera, 2007).

Dentro de los fenómenos, reconocidos y estudiados, que inducen irregularidad en las características de la temporada de lluvias, desde su establecimiento hasta su finalización, se encuentran el fenómeno de El Niño, canícula severa o prolongada, subsidencia y aceleración de alisios del noreste. La disminución de la lluvia dentro del periodo lluvioso es conocida regionalmente como canícula o veranillo, un fenómeno irregular tanto en el comportamiento de sus parámetros como en su distribución geográfica; en Guatemala, afecta principalmente a las regiones de occidente, centro y oriente. El primer periodo de ca-

nicula se puede presentar, en promedio, del 10 al 20 de julio, cuando registra el mayor número de días sin lluvia y porcentaje de registro; el segundo periodo de canícula se puede registrar del 5 al 15 de agosto. En los años de registro de canícula, pueden discernirse

efectos de irregularidad en la temporada lluviosa o sequía, especialmente cuando el fenómeno adquiere mayores características de intensidad y duración (Cuadro 2-4) (INSIVUMEH, 2018a).

**Cuadro 2-4** Irregularidades en el periodo de lluvias que han desencadenado en sequías, periodo 1991-2018

Año	Irregularidades en la temporada de lluvias
1991	Retraso en la temporada de lluvias, provocando sequía agrícola e hidrológica
1998	retraso en el establecimiento de temporada de lluvias y déficit pluviométrico
2009	Canícula severa y prolongada
2012	Canícula severa y prolongada
2014	Canícula severa y prolongada
2015	Canícula severa y prolongada
2018	Canícula severa y prolongada

**Nota:** Elaboración propia, basado en INSIVUMEH (2012, 2014, 2015a, 2018b).

## 2.2.3 Eventos extremos de temperatura

### 2.2.3.1 Olas de calor

El fenómeno de olas de calor se trata de episodios de temperaturas anormalmente altas, que se mantienen varios días y afectan a una región específica (AEMET, s/f). Este fenómeno ocurre cuando el valor de temperatura máxima diaria ha superado el percentil 90, al menos por tres días consecutivos (Bardales et al., 2016). En Guatemala, las olas de calor suelen presentarse de marzo a mayo y son más recurrentes en los departamentos de Zacapa, Jalapa, Chiquimula, El Progreso, Jutiapa, Izabal y Petén. De forma general, cuando se presenta una ola de calor, la temperatura aumenta aproximadamente 1 °C por arriba del umbral; pero en algunas temporadas, la temperatura ha aumentado entre 3 °C a 8.7 °C. Durante El Niño, las olas de calor tienden a ser de mayor duración y altas temperaturas, así como la extensión territorial que tienden a afectar (Bardales et al., 2016).

En la época seca y calurosa del año 1998, se registraron grandes incendios forestales en la península de Yucatán, Guatemala, Honduras y El Salvador, promovidos por altas temperaturas y olas de calor. Durante el 2015, 2016 y 2017, la mayoría de las estaciones meteorológicas de INSIVUMEH su-

peraron el récord de temperatura máxima diaria, efecto reportado en la mayor parte de Guatemala (Bardales et al., 2016). Además, la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2018) consideró estos años como los más cálidos de la histórica de registros climáticos a nivel mundial.

### 2.2.3.2 Heladas y olas de frío

Meteorológicamente, las heladas ocurren cuando la temperatura es menor o igual a 0 °C. Sin embargo, la susceptibilidad o daños por heladas pueden presentarse en los seres vivos aun cuando la temperatura no haya llegado a los cero grados Celsius. En algunos casos se necesitan temperaturas muy por debajo de 0 °C para causar daños (INSIVUMEH, 1986).

La elevación mínima para que ocurra una helada en Guatemala es de 1700 msnm, lo que representa un 20 % del territorio nacional susceptible a este fenómeno. La época de mayor probabilidad de heladas es la comprendida desde noviembre hasta marzo; sin embargo, eso no quiere decir que no puedan darse en otros meses. Es bastante seguro que desde la media noche hasta la madrugada ocurra una helada, si la elevación, época y características del lugar son favorables. En promedio, la temporada de heladas tiene una duración aproxi-

mada de 120 días con desviación estándar de 20 días, lo que causa que sea una amenaza climato-lógica importante para la agricultura del altiplano central y occidente del país (INSIVUMEH, 1986). Dentro de las heladas con mayor daño a la agricultura se pueden mencionar las de los años 1991, 2001, 2002 y 2005.

En Guatemala se han registrado otros eventos extremos relacionados a las heladas y olas de frío, tal es el caso de la caída de nieve y la formación de escarcha. Por ejemplo, el 3 de enero de 2008 se registró un evento extremo de caída de nieve en las faldas del volcán Tajumulco (San Marcos) y en Santa Ana (Quetzaltenango) por el paso de un frente frío sobre el país; así también, el 22 de diciembre de 2008 se reportó otra caída de nieve en las faldas del volcán Tajumulco. Por otro lado, el 23 de enero de 2013 se registró la formación de escarcha en los conos volcánicos del Tajumulco, Santa María y Acatenango (CONRED, 2013; Hemeroteca PL, 2016). Estas caídas de nieve se han vuelto más frecuentes en la última década.

### 2.3 Índices de cambio climático

El Grupo de Expertos en Detección e Índices de Cambio Climático (ETCCDI por sus siglas en inglés), conformado por la OMM, el proyecto Climate and Ocean: Variability, Predictability and Change y la Comisión Conjunta de Oceanografía y Meteorología Marítima, ha propuesto un conjunto de 27 indicadores para evaluar las tendencias de cambio climático; estos indicadores utilizan las variables de lluvia, temperatura máxima y mínima (Vázquez, 2010). En el 2005, Aguilar et. al (2005) realizaron el primer análisis de cambios de precipitación y temperatura extrema en Centroamérica y Norte de Sudamérica; en el 2010, Guerra (2010) realizó un análisis de la tendencia y extremos de lluvia; y en el 2016, el INSIVUMEH realizó la actualización de los índices para 38 estaciones. Al final todos concluyen en lo siguiente<sup>1</sup> (Figura 2-8 y Figura 2-9):

- La cantidad de lluvia anual está aumentando, los días muy húmedos están aumentando (días con lluvia mayor al percentil 95).

- Se están registrando más días con lluvias intensas durante el año. El índice simple de intensidad de lluvia diaria está aumentando; pero la lluvia máxima anual no presenta cambios significativos, aunque se están registrando más días con lluvias mayores a 20 mm.
- Los días húmedos consecutivos y días secos consecutivos no presentan una tendencia definida, por lo que se puede asociar a la variabilidad climática.
- Las noches frías están disminuyendo y las noches cálidas están aumentando.
- Los días fríos están disminuyendo y los cálidos están aumentando.
- La temperatura mínima y máxima extrema está aumentando.
- La duración de periodos fríos está disminuyendo y los periodos cálidos están aumentando.
- La amplitud térmica está disminuyendo. La temperatura media mensual ha aumentado en los últimos 25 años.

<sup>1</sup> Para información más detallada de cada uno de los índices, consultar las referencias bibliográficas citadas.

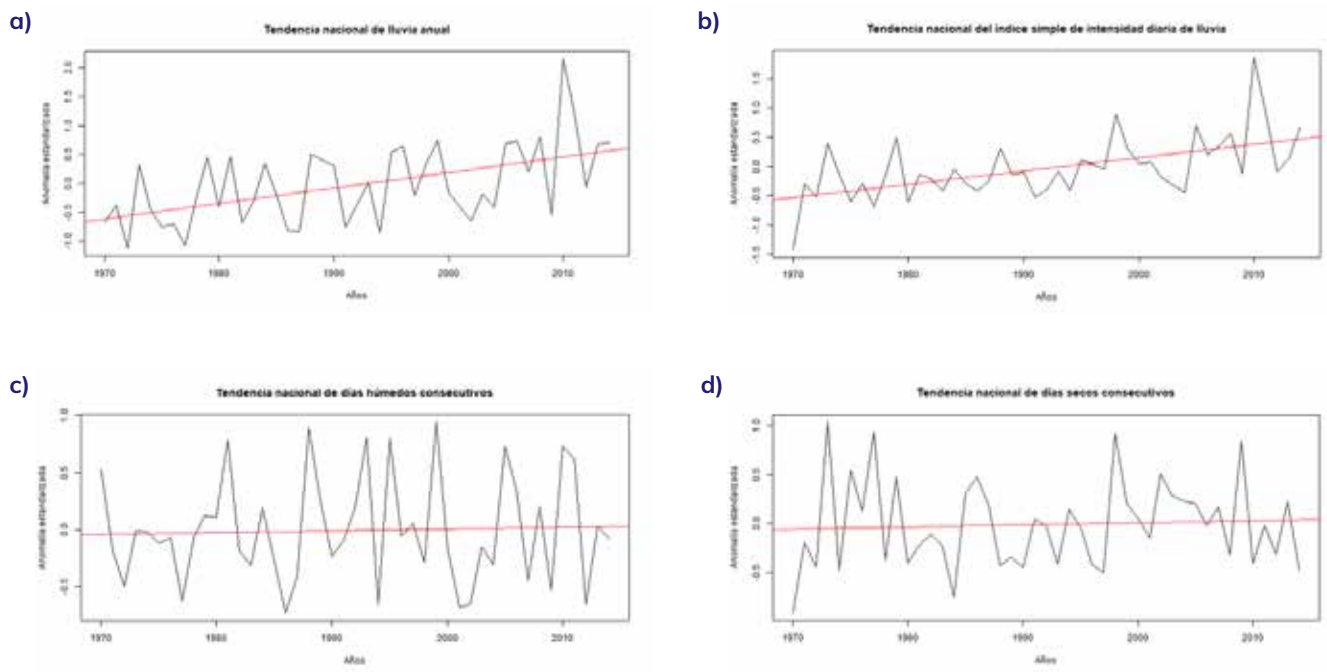


Figura 2-8 Comportamiento de la lluvia a nivel nacional, periodo de 1970-2015: **a)** Tendencia nacional de la lluvia anual, **b)** Tendencia nacional del índice simple de intensidad diaria de lluvia, **c)** Tendencia nacional de días húmedos consecutivos y **d)** Tendencia nacional de días secos consecutivos. La línea gris representa la anomalía en los valores anuales promedio, mientras que la línea roja la tendencia. Elaboración propia, basado en INSIVUMEH (2017).

36

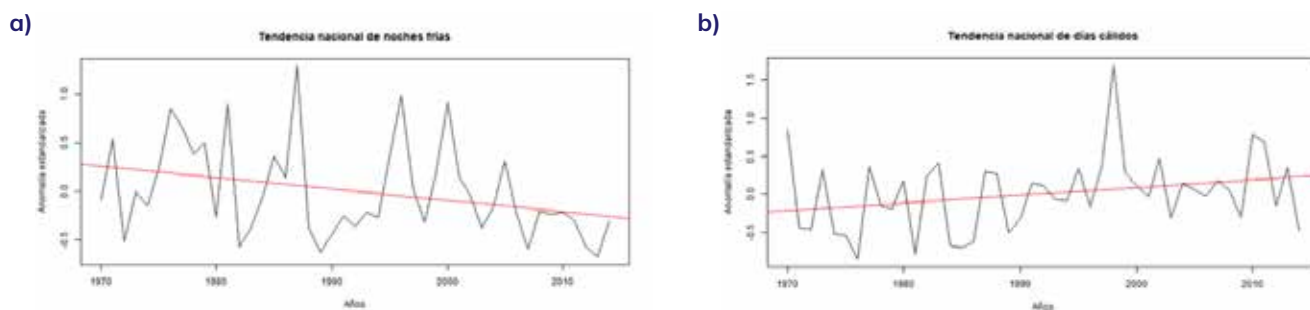


Figura 2-9 Comportamiento de la temperatura mínima y máxima a nivel nacional, periodo de 1970-2015: **a)** Tendencia nacional de noches frías, **b)** Tendencia nacional del días cálidos. La línea gris representa la anomalía en los valores anuales promedio, mientras que la línea roja la tendencia. Elaboración propia, basado en INSIVUMEH (2017).

## 2.4 Análisis de vacíos

Las distintas instituciones de los sectores académico, público, privado e independiente, carecen de una metodología consensuada para los análisis de tendencias de variables fundamentales (como precipitación pluvial y temperatura del aire) en lo que respecta a la serie temporal de estudio, las estaciones meteorológicas y regiones climáticas utilizadas. Al emplearse diferentes criterios, se dificulta la comparación de los resultados de los estudios realizados en el país.

No se han desarrollado estudios sobre otras fuentes de variabilidad climática que afectan a la región. Actualmente, los esfuerzos de investigación se han concentrado en las fuentes de variabilidad climática del océano Atlántico y Pacífico, dejando de lado las fuentes de variabilidad climática de corto periodo como: Madden-Julian, la corriente de chorro de bajo nivel del Caribe, influencia del alta subtropical del Atlántico, etc.

## 2.5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA). (2018a). 1998 Tropical cyclone advisory archive. Recuperado el 16 de agosto de 2018, de <https://www.nhc.noaa.gov/archive/1998/1998archive.shtml>
- Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA). (2018b). Cold & warm episodes by season. Recuperado de [http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis%7B\\_%7Dmonitoring/ensostuff/ONI%7B\\_%7Dv5.php](http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis%7B_%7Dmonitoring/ensostuff/ONI%7B_%7Dv5.php)
- Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA). (2018c). Tropical cyclone climatology. Recuperado el 1 de julio de 2018, de <https://www.nhc.noaa.gov/climo/>
- Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (s/f). Olas de calor en España desde 1975. España: Área de Climatología y Aplicaciones Operativas.
- Aguilar, E., Peterson, T. C., Obando, P. R., Frutos, R., Retana, J. A., Solera, M., ... Mayorga, R. (2005). Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961-2003. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 110(23), 1–15. <https://doi.org/10.1029/2005JD006119>
- Alfaro, E. J. (2005). Variación de la frecuencia de los ciclones tropicales en el Atlántico y Pacífico tropical del este debido a variaciones decadales e interanuales de la temperatura superficial del mar. En *Memorias del «XI Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología y XIV Congreso Mexicano de Meteorología»* (p. 11). Cancún, México.
- Alfaro, E. J., & Cid, L. (1999). Ajuste de un modelo VAR-MA para los campos de anomalías de precipitación en Centroamérica y los índices de los océanos Pacífico y Atlántico Tropical. *Atmósfera*, (12), 205–222.
- Bardales, W., Gómez, R., Campos, L., Ordóñez, S., & Machuca, N. (2016). Variabilidad climática en Guatemala durante el período 1970-2015. En *II Congreso Nacional de Cambio Climático de Guatemala*. Quetzaltenango, Guatemala. Recuperado de [https://issuu.com/congresodelcambioclimaticogt/docs/variabilidad\\_climatica\\_1970-2015\\_wa](https://issuu.com/congresodelcambioclimaticogt/docs/variabilidad_climatica_1970-2015_wa)
- Calzadilla, D., Proenza, J., Pereira, P., & Pupo, D. (2010). Caracterización de las tormentas locales severas en Holguín. *Ciencias Holguín*, 16(2), 1–8.
- Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED). (2013). Boletín informático no. 3046 - Nieve en Ixchiguán, San Marcos. Recuperado el 18 de agosto de 2018, de [https://conred.gob.gt/www/index.php?option=com\\_content&view=article&id=747:boletin-informativo-no-3046-nieve-en-ixchiguan-san-marcos&catid=37&Itemid=1010](https://conred.gob.gt/www/index.php?option=com_content&view=article&id=747:boletin-informativo-no-3046-nieve-en-ixchiguan-san-marcos&catid=37&Itemid=1010)
- Empresa Municipal de Agua (EMPAGUA). (2017). Base de datos históricos. Guatemala.
- Guerra, A. (2010). *Climate-related disaster risk in mountain areas: the Guatemalan highlands at the start of the 21st Century*. Universidad de Oxford.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2013). Glosario. En S. Planton (Ed.), *Cambio climático 2013. Bases físicas. Contribución del grupo de trabajo I al quinto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático* (p. 22). Cambridge, Reino Unido y Nueva York, Estados Unidos de América.
- Harbott, M., & Hosseini, M. (2017). La Niña and El Niño: How these crazy siblings influence the global climate system – Clim'Blog. Recuperado de <https://student-climates.wordpress.com/2017/10/30/la-nina-el-ni-no-crazy-siblings-influence-global-climate-system/>
- Hemeroteca Prensa Libre. (2016, diciembre 18). ¿Realmente cayó nieve en Guatemala? Prensa Libre. Recuperado de <https://www.prensalibre.com/hemeroteca/realmente-cayo-nieve-en-guatemala>
- Herrera, J. L. (2007). *Ensayo sobre formulación y validación de un índice de anomalía de presión atmosférica, para pronóstico a corto y mediano alcance: Puerto Barrios, Izabal, Guatemala*. Guatemala.
- Herrera, J. L., & Pineda, D. E. (2002). *Variabilidad climática en Guatemala*.



- Instituto Nacional de Electrificación (INDE). (2017). Base de datos. Guatemala.
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH). (1986). *Caracterización de las heladas en Guatemala*. Guatemala.
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH). (2000). *El Fenómeno El Niño 1997-98 en Guatemala: resumen*. Guatemala.
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH). (2010). *Análisis meteorológico del mes de mayo 2010*. Guatemala.
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH). (2011). *Análisis meteorológico del mes de marzo 2011*. Guatemala.
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH). (2012). *Análisis meteorológico del mes de julio, 2012*. Guatemala.
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH). (2014). *Análisis meteorológico del mes de agosto 2014*. Guatemala.
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH). (2015a). *Análisis meteorológico del mes de agosto de 2015*. Guatemala.
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH). (2015b). *Análisis meteorológico del mes de enero 2015*. Guatemala.
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH). (2016). *Análisis meteorológico del mes de agosto de 2016*. Guatemala.
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH). (2017). Base de datos. Recuperado el 20 de junio de 2018, de [http://www.insivumeh.gob.gt/?page\\_id=1671](http://www.insivumeh.gob.gt/?page_id=1671)
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH). (2018a). Boletín Climático No. 07-2018. Recuperado el 7 de octubre de 2018, de <http://www.insivumeh.gob.gt/?p=4106>
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH). (2018b). *Variabilidad y cambio climático en Guatemala*. Guatemala.
- Méndez, J., Ramírez, A., Cornejo, E., Zárate, A., & Cavazos, T. (2010). Teleconexiones de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO) a la precipitación y temperatura en México. *Investigaciones Geográficas*, (73), 57-70.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), & Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH). (2002). *Estimación de amenazas inducidas por fenómenos hidrometeorológicos en la República de Guatemala*. Guatemala. Recuperado de <http://desastres.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0026/doc0026-parte01.pdf>
- Montealegre, J. E. (2009). *Estudio de la variabilidad climática de la precipitación en Colombia asociada a procesos oceánicos y atmosféricos de meso y gran escala*. Bogotá, D.C., Colombia.
- National Hurricane Center (NHC). (2018). 2018 Atlantic hurricane season. Recuperado de <https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/>
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2018). *Declaración de la OMM sobre el estado del clima mundial en 2017. Tiempo - Clima - Agua* (Vol. 1212). Ginebra: Organización Meteorológica Mundial.
- Pacay, N. (2015). *Análisis de eventos extremos de precipitación en Guatemala*. Universidad de San Carlos de Guatemala.

- Quintana, J. (1990). Indicadores meteorológicos de El Niño y su aplicación al litoral norte y central de Chile. *La Meteorología en el Mundo Iberoamericano*, 1(2), 11–20.
- Taylor, M. A., & Alfaro, E. J. (2005). Climate of Central America and the Caribbean. En J. E. Oliver (Ed.), *Encyclopedia of World Climatology* (pp. 183–189). Dordrecht: Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/1-4020-3266-8\\_37](https://doi.org/10.1007/1-4020-3266-8_37)
- Vázquez, J. L. (2010). *Guía para el cálculo y uso de índices de cambio climático en México*. México D.F.: Instituto Nacional de Ecología: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.