



Estado del clima en Guatemala 2022

Autores: este reporte fue escrito en conjunto por Ludwig Asturias¹, Laura Portillo¹, Pablo Martínez², Carlos Soto²

¹ Sección de Cambio Climático, INSIVUMEH

² Sección de Oceanografía, INSIVUMEH

Imagen de portada: ciclón tropical Bonnie 2022, [NASA Worldview](#). Con apoyo de Edgar Estrada³ para el diseño.

³ Unidad de Comunicación Social, INSIVUMEH

© INSIVUMEH 2023

Agradecimientos: los autores también agradecen a Luis Tun y Josué Cuzco por el apoyo brindado en parte del procesamiento de datos para este reporte.

Índice

1. Resumen	4
2. Introducción	5
3. Contexto climático regional	6
4. Estado del Clima en Guatemala – año 2022	8
4.1. Precipitación	9
4.2. Temperatura	18
4.3. Temperatura Superficial Del Mar	25
4.3.1. Índice del Niño	25
4.3.2. Análisis de la región cercana a Guatemala	26
5. Eventos meteorológicos	29
5.1. Frentes fríos	29
5.2. Ondas del este	30
5.3. Ciclones tropicales	31
6. Fuente de datos y métodos	35
6.1. Fuente de datos	35
6.1.1. Metodología	35
Referencias	38

1. Resumen

En Guatemala, 2022 fue un año de carácter neutro en cuanto a temperatura. Sin embargo, el periodo de 1981 a 2022 mostró una tendencia de calentamiento de 0.16°C por década.

El año 2022 es el segundo más húmedo de los años de 1981 a 2022, con un acumulado de precipitación anual de 2443.1 mm. La anomalía de precipitación acumulada anual es de 435.59 mm con respecto al valor promedio de precipitación acumulada anual del periodo de referencia 1991–2020.

En 2022 se presentaron condiciones de La Niña por tercer año consecutivo (a excepción de una pequeña interrupción en 2021 durante los meses de junio y julio).

Del análisis de tendencia para la temperatura superficial del mar en la región cercana a Guatemala del litoral Pacífico se obtuvo con significancia estadística una pendiente creciente de 0.006°C por año. Esto representa un aumento de 0.5°C desde 1940 hasta 2022.

Se registraron 20 frentes fríos para la temporada que va de octubre de 2022 a abril de 2023. El promedio de frentes fríos encontrado para la climatología 1991–2020 fue de 16.

En 2022, ingresaron 28 ondas del este a Guatemala modificando el comportamiento de las lluvias sobre el territorio nacional.

Los ciclones tropicales Celia, Julia y Lisa generaron acumulados de precipitación de hasta 400 mm durante su paso por la Zona de Emergencia.

2. Introducción

Luego de la publicación del primer informe del «Estado del clima en Guatemala» publicado en 2022 por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), el presente informe busca darle continuidad a una serie anual en la cual se presenta una perspectiva del contexto climático en Guatemala relativo a cada año, haciendo análisis de tendencias a largo plazo así como del estudio propio de la variabilidad climática. En esta segunda edición del estado del clima en Guatemala elaborado por INSIVUMEH se incluye una nueva sección sobre eventos meteorológicos (sección 5) que afectaron principalmente a la precipitación, teniendo en consideración que es una de las variables climáticas más importantes a nivel nacional.

Dentro de los objetivos del presente informe se encuentra el proporcionar información basada en datos recopilados por estaciones meteorológicas de INSIVUMEH y datos satelitales de cobertura terrestre y oceánica, analizar tendencias e identificar patrones tanto temporales como espaciales que puedan ayudar a conocer posibles comportamientos futuros del clima en Guatemala y apoyar en procesos de toma de decisiones en lo que respecta a la adaptación al cambio climático y a la mitigación de sus efectos para distintos sectores socioeconómicos del país como, por ejemplo, agricultura y seguridad alimentaria.

La estructura de este documento se compone de un resumen como primera sección. Siguiendo a esta introducción (sección 2) se presenta en la sección 3 una descripción de los principales mecanismos que influyen en la dinámica del clima regional. Posteriormente, en la sección 4, se presenta el estado del clima en Guatemala para el año 2022 en el contexto de variabilidad y de tendencias a largo plazo para tres variables climáticas esenciales: precipitación, temperatura y temperatura superficial del mar. La sección 5 incluye los frentes fríos, las ondas del este y los ciclones tropicales que afectaron a Guatemala para el periodo 2022. Finalmente, en la sección 6 se enlistan las fuentes de datos utilizadas en este reporte así como los métodos empleados a fin de que los lectores puedan reproducir los resultados que se encuentran en este reporte del estado del clima en Guatemala o para realizar investigación adicional.

3. Contexto climático regional

La posición geográfica de Centroamérica juega un papel muy importante en la descripción de la variabilidad climática de la región (Maldonado et al., 2018). Se encuentra rodeada por dos grandes masas de agua, el océano Pacífico Tropical Este y el Mar Caribe. Junto con el Golfo de México, esta área completa es definida como la región Mar Intra Américas¹ (Amador, 2009) (ver figura 1). Debido a su posición marítima tropical, los cambios en temperatura a lo largo de la región son generalmente pequeños y la lluvia es por mucho el elemento meteorológico más importante (Taylor y Alfaro, 2005).

En general, el clima de la región es controlada por la migración de características sinópticas y el clima medio refleja fuertemente los ciclos anuales de esas características (Taylor y Alfaro, 2005). La influencia sinóptica más dominante es el Anticiclón de Azores² (Amador et al., 2006; Taylor y Alfaro, 2005). Además de la NASH, otras influencias sinópticas importantes incluyen: (a) la influencia de la Zona de Convergencia Inter Tropical³ (Hidalgo et al., 2015); (b) el ingreso de frentes polares (Imbach et al., 2017; Zárate-Hernández, 2013); (c) la propagación de perturbaciones tropicales hacia el oeste (Amador et al., 2006; Imbach et al., 2017; Serra et al., 2010); (d) el reservorio de agua caliente del hemisferio occidental⁴ (Wang y Enfield, 2001, 2003; Wang y Fiedler, 2006); (e) el chorro bajo del Caribe⁵ (Amador, 2009) y su interacción con la ITCZ (Hidalgo et al., 2015) y (f) la canícula⁶ (Magaña et al., 1999). Estos elementos describen el marco general del clima regional y la variabilidad en la región y forman parte de la vasta variedad de componentes climáticos regionales presentes en esta área (Maldonado et al., 2018).

El clima de Centroamérica y el Caribe puede ser clasificado como tropical seco-lluvioso (Rudloff, 1981). Sin embargo, el régimen seco/lluvioso solo define a grandes rasgos el clima de la región ya que la orografía y la elevación son modificadores significativos a escala subregional (Taylor y Alfaro, 2005). La topografía de Centroamérica es un complejo de costas, planicies y altas montañas. La topografía interactúa con la circulación de gran escala para producir variaciones locales en el clima, incluyendo variaciones significantes en los acumulados de precipitación anual (Taylor y Alfaro, 2005). La interacción de los vientos alisios con

¹Intra-Americas Sea (IAS)

²North Atlantic Subtropical High (NASH)

³Intertropical Convergence Zone (ITCZ)

⁴Western Hemisphere Warm Pool (WHWP)

⁵Caribbean low-level jet (CLLJ)

⁶midsummer drought (MSD)

la compleja topografía en algunas áreas de Centroamérica explica un gran porcentaje de la variabilidad temporal y espacial de la precipitación sobre esta región (Amador, 2009; Taylor y Alfaro, 2005). De igual manera, el calentamiento diurno y la actividad convectiva asociada con la ITCZ son mecanismos importantes que determinan los patrones de precipitación en las regiones costeras de Centroamérica (Amador, 2009).

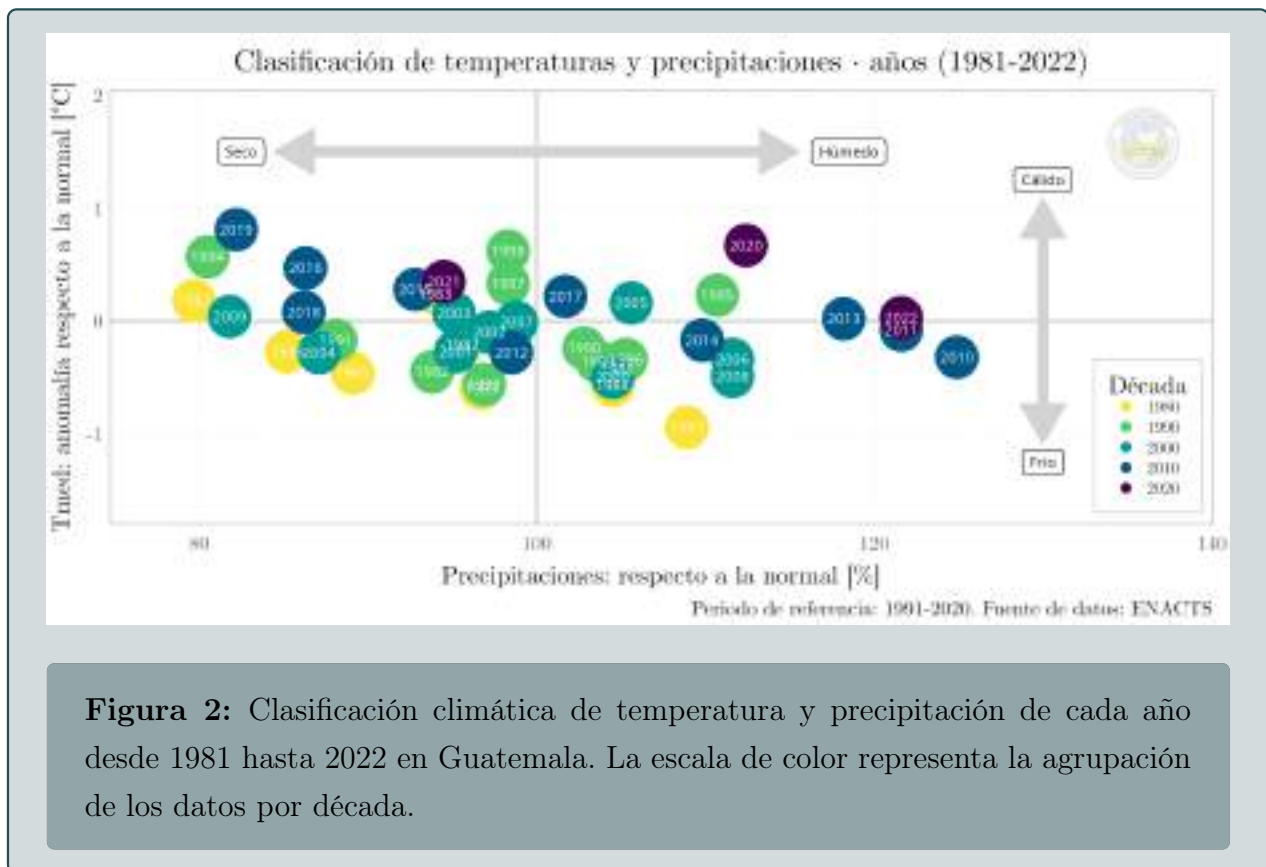
Aún con las influencias identificadas arriba, muchos de los mecanismos físicos y dinámicos y las interacciones con el clima regional todavía no están completamente entendidos (Amador, 2009).



Figura 1: La región Mar Intra Américas tal como se define en Amador, 2009

4. Estado del Clima en Guatemala – año 2022

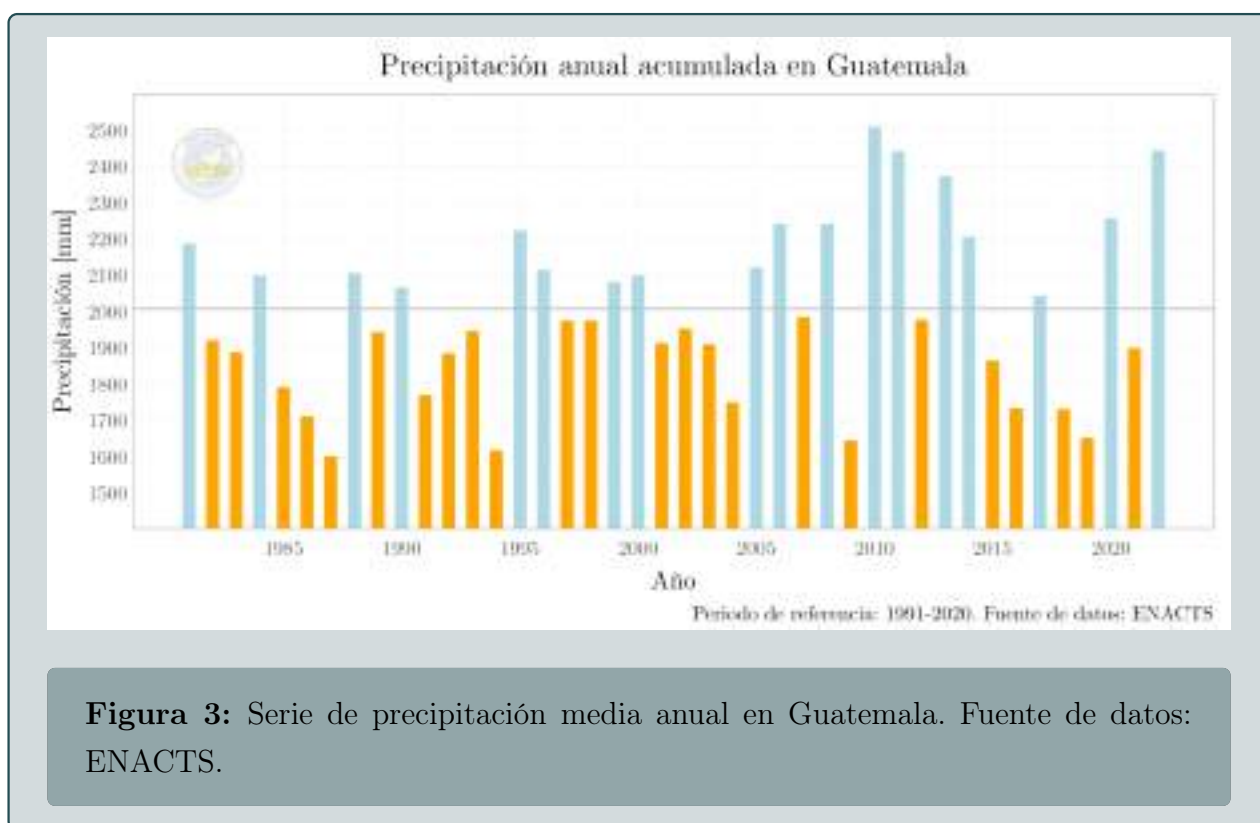
En Guatemala, el año 2022 se caracterizó por ser un año húmedo en cuanto a precipitación, siendo el segundo año más húmedo dentro de la serie de años analizada, con una precipitación acumulada anual de 2443.1 mm, estando así 435.6 mm por encima del valor promedio del periodo de referencia 1991–2020. En cuanto a la temperatura, el año 2022 presentó carácter térmico neutro. En la figura 2 se muestra la clasificación climática de los distintos años en función de su temperatura y precipitación acumulada.



4.1. Precipitación

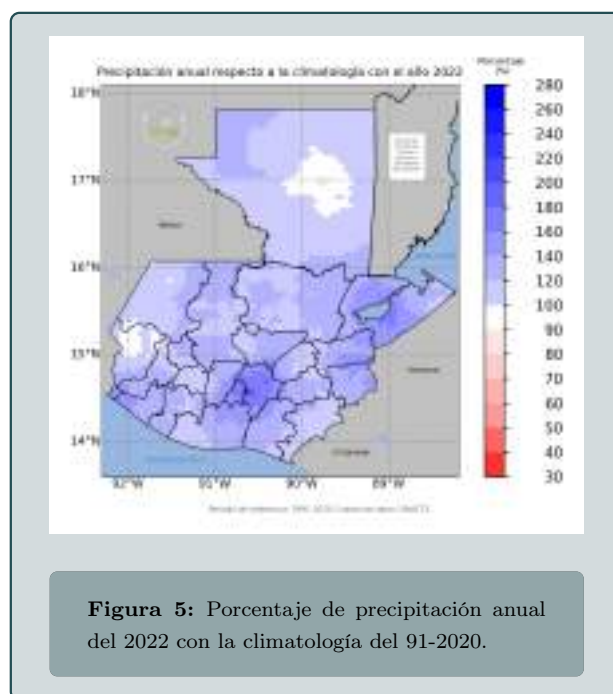
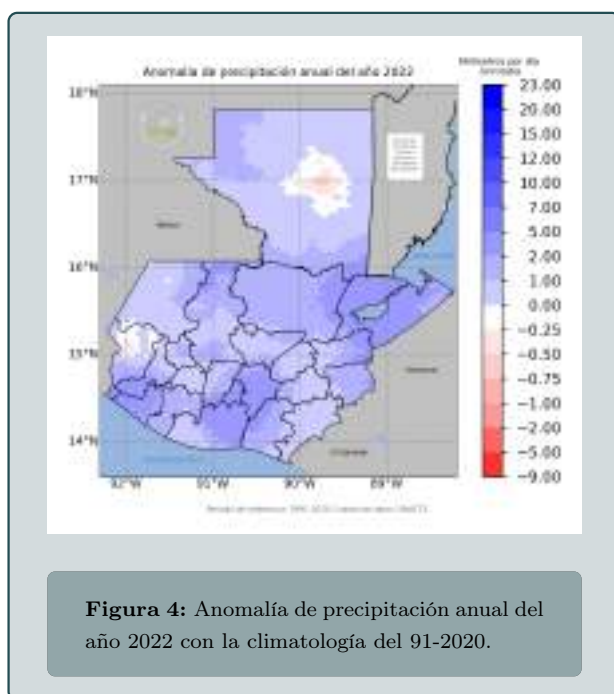
En la figura 3 se muestra el acumulado anual de precipitación en Guatemala de 1981 a 2022. La línea gris horizontal representa la media del acumulado de la climatología 1991-2020. Las barras anaranjadas y celestes indican cuando el acumulado anual estuvo por debajo y por encima de la media climatológica, respectivamente. Al realizarse un ajuste de estos datos con una recta no se encontró una pendiente con significancia estadística asociada a un aumento o disminución no aleatorio del acumulado de precipitación anual para los años estudiados.

Entre los años 1981 y 2022, se observó en el 2010 el valor máximo de acumulado de precipitación con un valor superior a los 2500 mm, mientras que en el 1987 se presentó el valor mínimo de 1600 mm de precipitación en ese año.



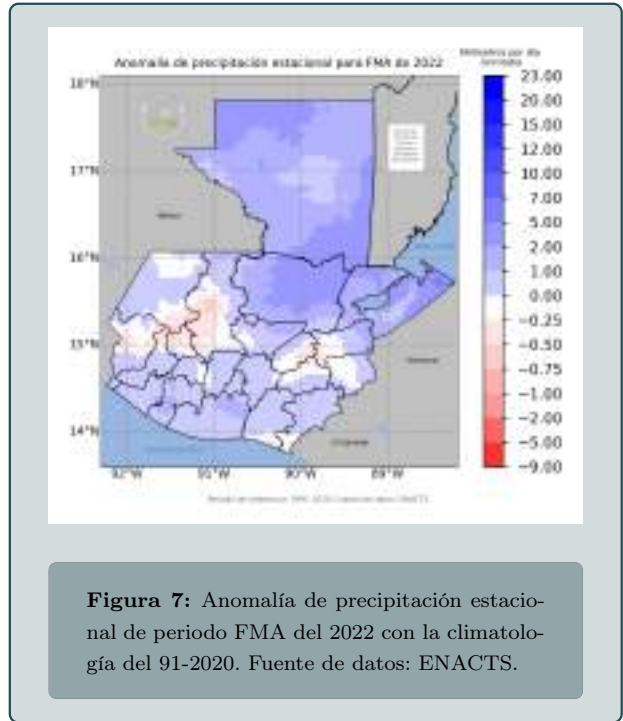
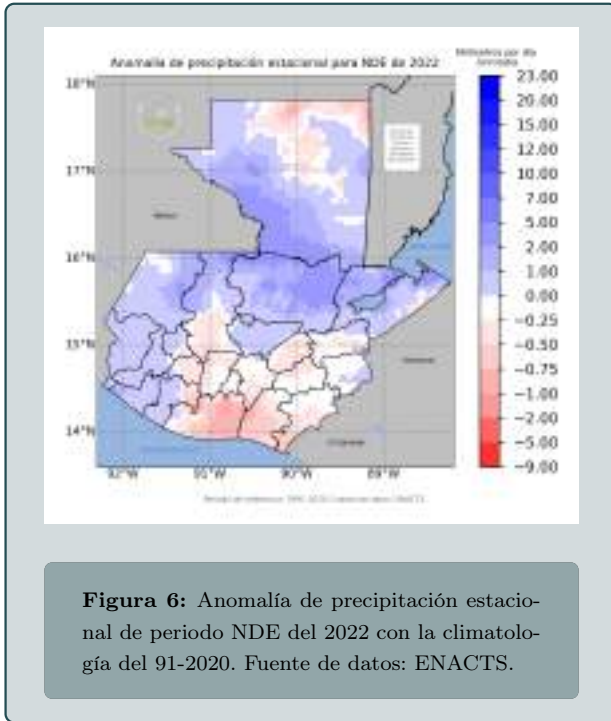
En la figura 4 se muestra el mapa de anomalías de precipitación diaria para el año 2022 respecto a la climatología del 91. Se pueden observar anomalías negativas en Petén y en San Marcos entre 0 mm/día y -0.75 mm/día; las anomalías positivas se presentan en el resto del territorio donde los departamentos que presentan las anomalías más altas son Izabal, Retalhuleu, Escuintla, Sacatepéquez y Guatemala con valores entre 2 mm/día y 5 mm/día.

En la figura 5 se muestra un mapa de porcentajes de precipitación del año 2022 respecto a la climatología 1991-2020.



A continuación, se muestran los mapas de anomalías de precipitación diaria de los 4 trimestres del 2022. El primer trimestre noviembre-diciembre-enero (NDE) es la primera estación cuyos dos primeros meses corresponden al 2021. En la figura 6 se observan anomalías negativas al norte y sur del país, alcanzando hasta valores entre -1 mm/día y -2 mm/día en los departamentos de Petén y Escuintla; también se alcanzaron anomalías positivas entre 2 mm/día y 5 mm/día en los departamentos de Petén, Alta Verapaz, Izabal, Quiché y Huehuetenango.

La siguiente estación corresponde a los meses febrero-marzo-abril (FMA) del 2022. En la figura 7 se muestra el mapa de anomalías diarias de este trimestre, se pueden observar anomalías que alcanzan valores entre 2 mm/día y 5 mm/día en los departamentos de Petén, Alta Verapaz e Izabal. Mientras que en Quiché, Huehuetenango y Totonicapán se presentaron valores entre -0.50 mm/día y -0.75 mm/día.



La tercera estación corresponde a los meses de mayo-junio-julio (MJJ). En la figura 8 se puede observar el mapa de anomalías correspondientes al tercer trimestre del 2022, en los departamentos de Petén, Huehuetenango, San Marcos y Huehuetenango se alcanzaron anomalías de entre -1 mm/día y -2 mm/día de precipitación diaria. El departamento que presentó la anomalía más alta fue Escuintla con un valor entre 10 mm/día y 12 mm/día de precipitación diaria para esa estación.

La cuarta y última estación corresponde a los meses de agosto-septiembre-octubre (ASO) del 2022. En el mapa de la figura 9 se observa que en el departamento de Petén se alcanzaron anomalías de hasta -2 mm/día a -5 mm/día de precipitación diaria en ese trimestre, la anomalía positiva máxima que se alcanza es de entre 7 mm/día y 10 mm/día en el departamento de Izabal.

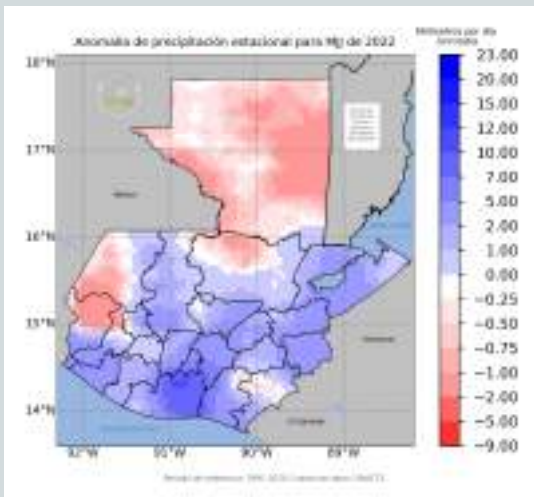


Figura 8: Anomalía de precipitación estacional de periodo MJJ del 2022 con la climatología del 91-2020. Fuente de datos: ENACTS.

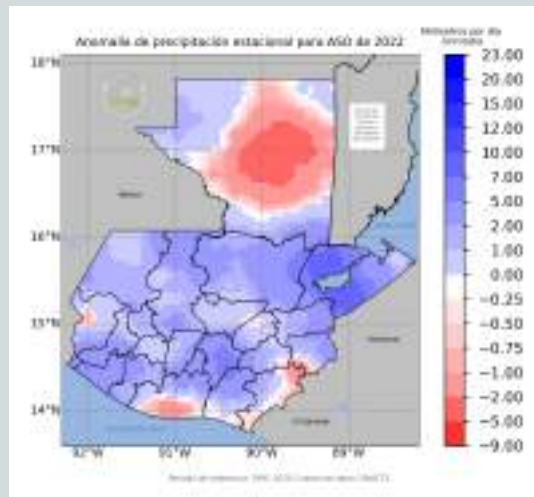


Figura 9: Anomalía de precipitación estacional de periodo ASO del 2022 con la climatología del 91-2020. Fuente de datos: ENACTS.

En el cuadro 1 se muestran los promedios de precipitación diaria por periodo mensual, estacional y anual del año 2022 y de la climatología 1991-2020. En la cuarta columna se muestra la anomalía, se puede observar que para todos los meses, estaciones y año se presentan anomalías positivas, a excepción del mes de octubre cuya anomalía fue de -0.10 mm/día en promedio, lo que quiere decir que en ese mes llovió menos respecto a la normal climatológica.

Periodo	Promedio de la climatología [†]	Precipitación media 2022	Anomalía
enero	2.41	4.42	2.02
febrero	1.64	3.23	1.59
marzo	1.69	2.10	0.41
abril	2.48	3.80	1.32
mayo	5.99	6.83	0.85
junio	9.91	11.52	1.61
julio	7.73	8.02	0.28
agosto	8.41	8.99	0.58
septiembre	10.38	14.03	3.65
octubre	8.43	8.33	-0.10
noviembre	4.39	5.38	0.99
diciembre	2.32	3.59	1.27
NDE	2.97	3.49	0.52
FMA	1.94	3.03	1.09
MJJ	7.85	8.76	0.91
ASO	9.06	10.41	1.35
anual	5.50	6.69	1.20

[†] climatología 1991 – 2020.

Cuadro 1: Precipitación media diaria mensual, estacional y anual de la normal climatológica y del año 2022 en milímetros. En la última columna se muestra la anomalía de Precipitación para cada periodo del año 2022 respecto a la normal. Fuente de datos: ENACTS.

En el cuadro 2 se muestran los acumulados promedio por periodo mensual y estacional del 2022 y de la climatología 1991-2020. El promedio se hace por todo el territorio guatemalteco. Se puede observar que el año 2022 presenta valores mayores a la normal climatológica tanto en el valor promedio como en los valores máximos en la mayoría de los periodos. Por otro lado, los valores mínimos registrados son menores que los de la normal climatológica a excepción del mes de septiembre.

Este cuadro permite analizar la estación seca y húmeda con 2 meses de transición.

periodo	2022			1991-2020		
	mínimo	media	máximo	mínimo	media	máximo
enero	0.06	137.10	593.01	0.66	74.59	330.42
febrero	0.00	90.56	370.78	1.18	46.37	193.43
marzo	0.08	65.22	273.30	4.95	52.45	162.71
abril	7.96	113.93	412.27	26.51	74.33	196.68
mayo	51.76	211.87	933.61	95.76	185.66	518.29
junio	139.83	345.55	1039.10	170.24	297.20	556.68
julio	67.51	248.50	911.07	89.08	239.74	845.62
agosto	118.22	278.58	734.88	113.58	260.62	563.89
septiembre	182.83	420.97	1011.90	155.55	311.36	625.08
octubre	81.20	258.19	714.64	92.54	261.38	599.27
noviembre	15.21	161.40	554.62	19.24	131.79	445.60
diciembre	0.04	111.27	429.31	2.97	72.02	283.73
NDE	3.08	321.07	1235.80	24.52	273.58	1017.70
FMA	15.57	269.71	979.54	33.85	173.15	485.93
MJJ	340.29	805.92	2313.00	485.93	722.59	1468.30
ASO	459.00	957.75	2028.60	363.60	833.36	1689.30

Cuadro 2: Acumulados de precipitación en milímetros según periodos mensuales y estacionales. Se presenta el mínimo, el máximo y la media dentro del territorio nacional para el año 2022 y para la climatología del 1991-2020. Fuente de datos: ENACTS.

En la figura 10 se presenta el acumulado de precipitación mensual para el año 2022. La línea roja es la media del periodo de referencia 1991-2020 y la línea azul es el valor para cada mes del 2022. Se puede observar un aumento en la precipitación en los meses de mayo a octubre siendo éstos los de la época lluviosa, mientras que abril y noviembre son los meses de transición. En los meses de julio y agosto hubo una disminución de precipitación tanto en la climatología como en el año 2022, debido a la canícula característica de la región.

También se puede observar que en general en el año 2022 hubo mayor precipitación que la normal a lo largo de todo el año.

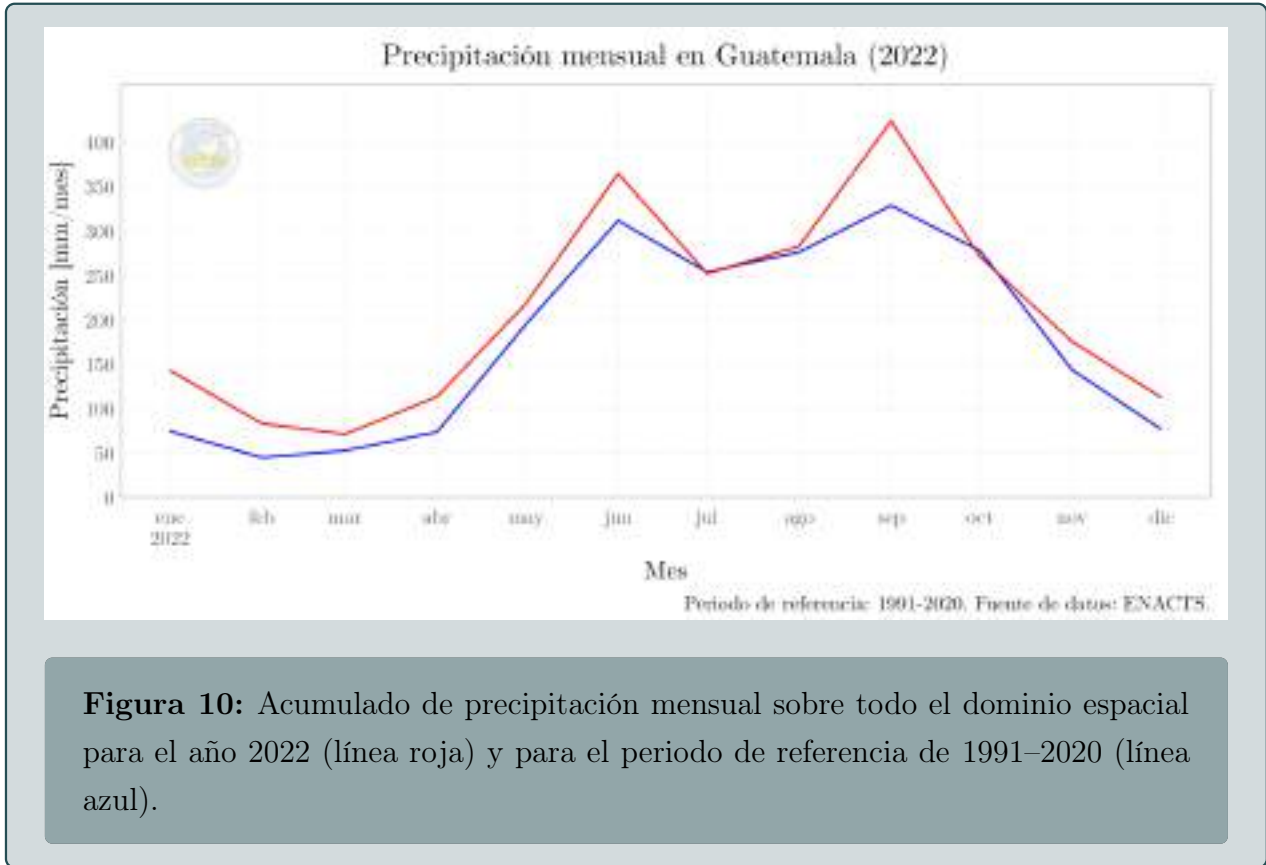
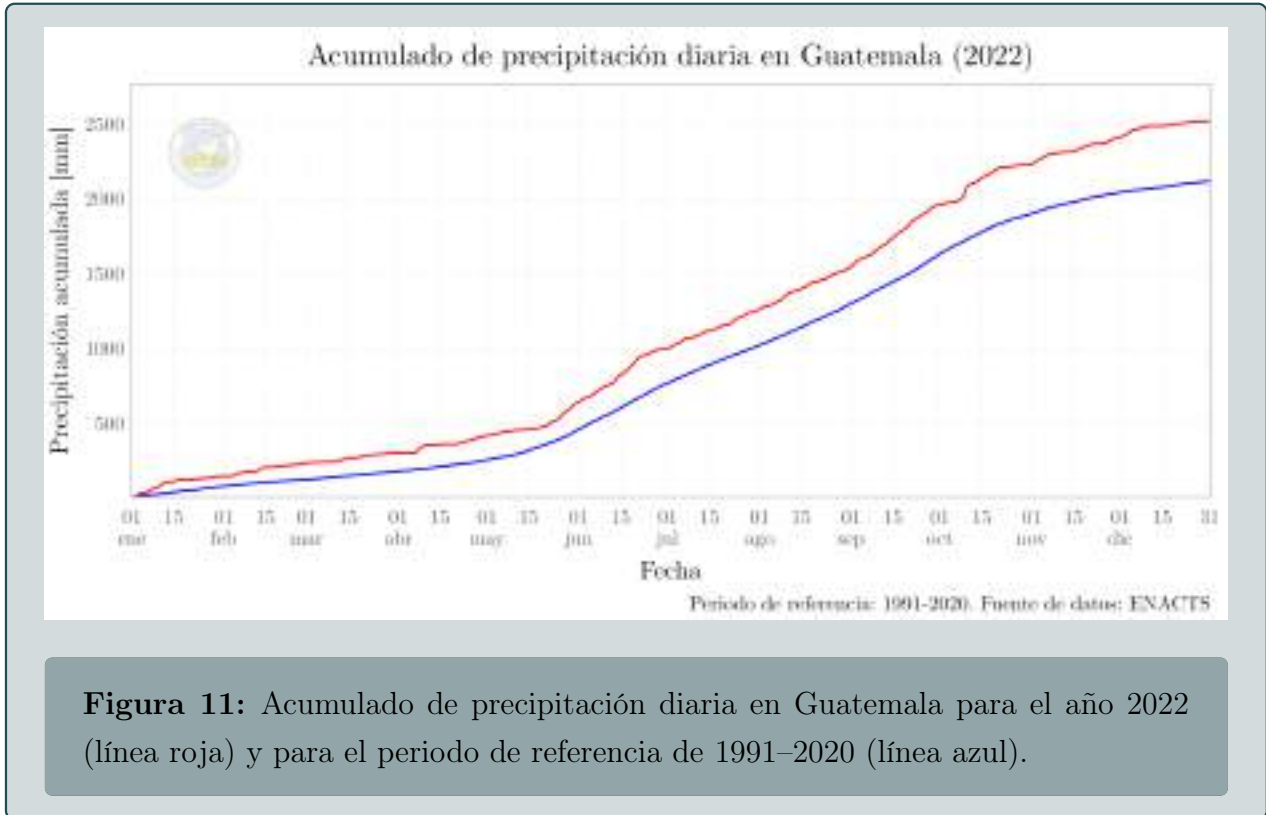


Figura 10: Acumulado de precipitación mensual sobre todo el dominio espacial para el año 2022 (línea roja) y para el periodo de referencia de 1991–2020 (línea azul).

En la figura 11 se muestra el acumulado de precipitación por día. Se puede observar que en los meses de enero a abril no hay una pendiente significativa indicando un periodo estable donde la precipitación acumulada casi no va aumentando conforme pasan los días. Por otro lado, en el periodo de mayo a octubre se puede observar una pendiente en aumento, indicando una precipitación continua en dicho periodo.

La línea azul representa la media de la climatología 1991-2020 y la línea roja el año 2022. Se observa que hubo mayor precipitación en el año 2022 en comparación a la media. En la línea azul también se puede observar el inicio y fin de la época lluviosa de igual forma que con el año 2022.



En la figura 12 se presenta el cálculo de la figura 10 de acumulado mensual por regiones en el mapa. El tamaño de las celdas contiguas es de $1.05^\circ \times 0.9^\circ$, la línea roja muestra el acumulado mensual del 2022 y la azul los valores promedios de la climatología.

El comportamiento bimodal se aprecia mejor en la región del sur-centro del país. Por otro lado, en los departamentos de Izabal y Petén no se puede observar un descenso claro en la precipitación en los meses de julio y agosto, es decir un fenómeno de canícula.

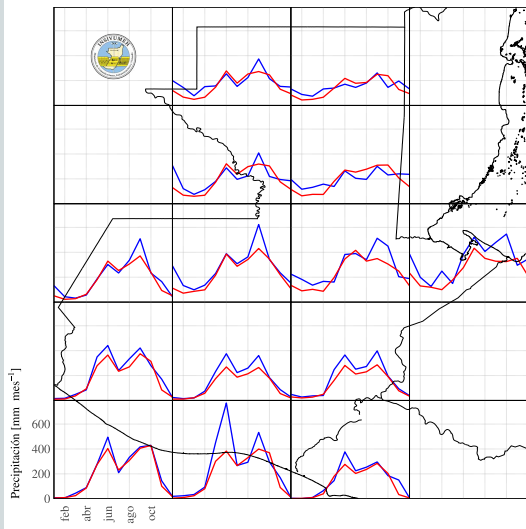


Figura 12: Precipitación mensual en Guatemala para celdas contiguas de $1.05^\circ \times 0.90^\circ$. La línea roja muestra los meses del año 2022 y la línea azul representa el promedio de cada mes dentro del periodo de referencia de 1991–2020. Fuente de datos: ENACTS.

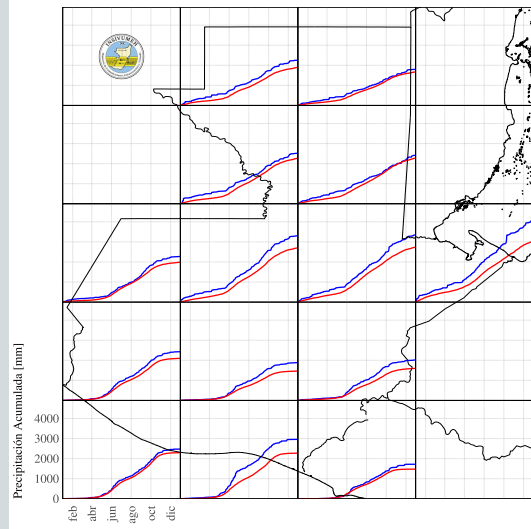


Figura 13: Acumulado de precipitación diaria en Guatemala para celdas contiguas de $1.05^\circ \times 0.90^\circ$. La línea roja muestra la evolución diaria para el año 2022 y la línea azul representa los valores promediados del periodo de referencia de 1991–2020. Fuente de datos: ENACTS.

En la figura 13 se presenta el cálculo de acumulado diario por regiones de celdas contiguas de $1.05^\circ \times 0.9^\circ$. La línea roja muestra la evolución diaria para el año 2022 y la azul los valores de evolución diaria promedio de la climatología 1991-2020. En esta gráfica se puede observar de forma más clara que para los departamentos de Izabal y Petén no hay rangos donde la curva se estabilice y deje de crecer, sino que sigue creciendo. Lo cual indica que en esas regiones no hay una época seca o lluviosa marcada.

Por otro lado, al sur y centro del territorio se puede notar para los meses de mayo a octubre un aumento en el acumulado de precipitación que se estabiliza en los meses de enero a abril y de octubre a diciembre. También se puede advertir que el año 2022 estuvo por arriba de la media en cuanto a precipitación. Siendo uno de los años más lluviosos en el periodo de 1981 a 2022.

4.2. Temperatura

Para el dominio espacial completo, el año 2022 presentó en Guatemala carácter neutro en cuanto a temperatura, con una anomalía de 0.03°C por encima del promedio anual del periodo de referencia 1991–2020. En la figura 14 se muestra la serie de datos de temperatura media anual en Guatemala de 1981 a 2022. La línea continua gris representa el valor promedio anual del periodo de referencia. Los colores naranja y celeste de los puntos indica si el valor se encuentra por encima o debajo de la normal, respectivamente. Los años más cálidos de la serie se muestran ordenados en la cuadro 3.

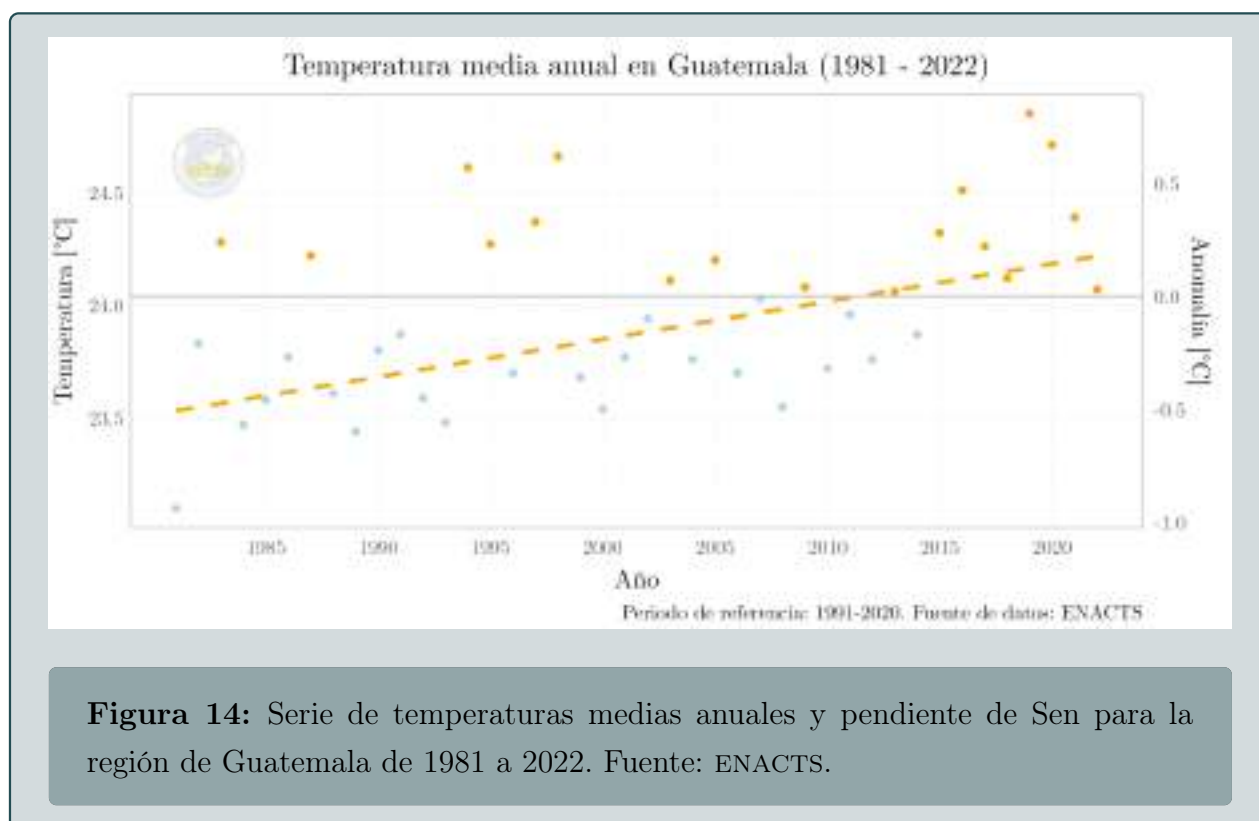


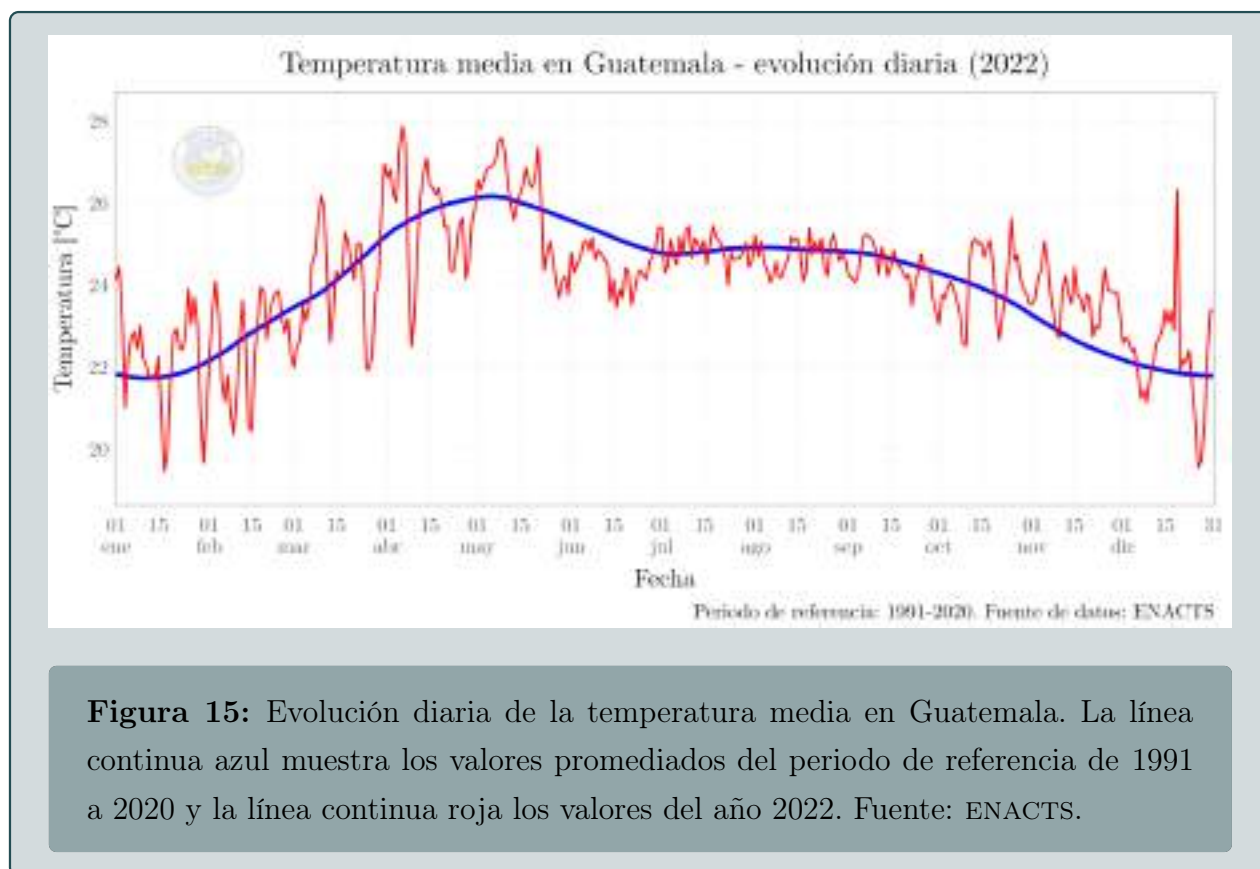
Figura 14: Serie de temperaturas medias anuales y pendiente de Sen para la región de Guatemala de 1981 a 2022. Fuente: ENACTS.

Año	Temperatura media [°C]	Anomalía [°C]	Orden
2019	24.85	0.81	1
2020	24.71	0.67	2
1998	24.66	0.62	3
1994	24.61	0.57	4
2016	24.51	0.47	5

Cuadro 3: Años más cálidos de la serie de datos de 1981 a 2022. Fuente: ENACTS.

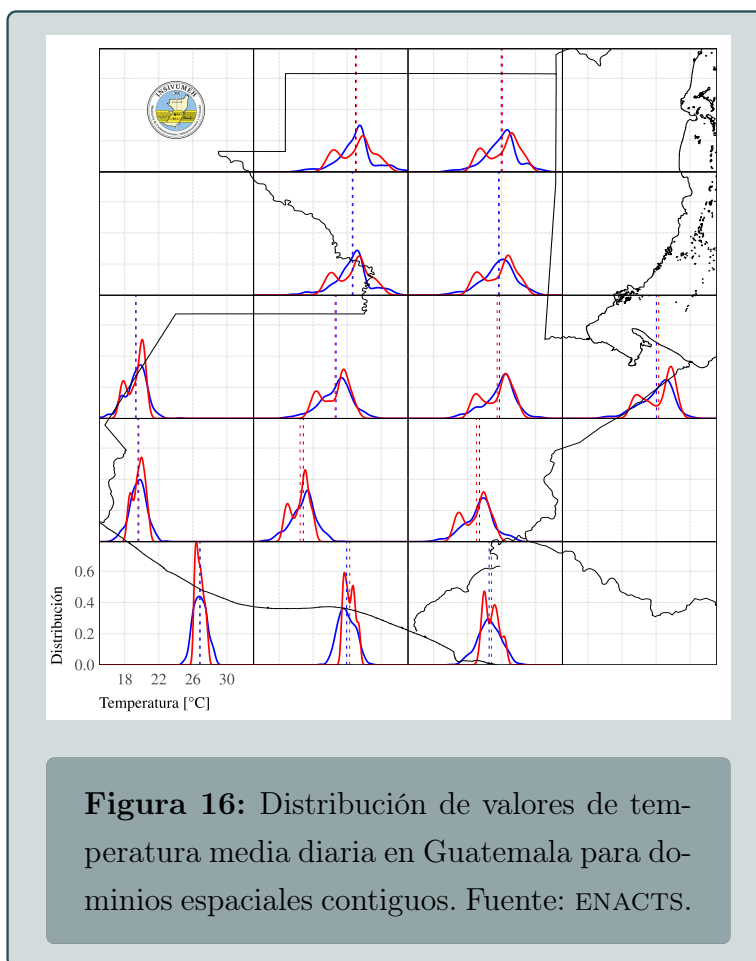
Para el intervalo de años analizado, se empleó la prueba de Mann-Kendall para determinar si existía o no una tendencia en la serie de datos temporales. En este análisis, se aceptó la hipótesis alternativa al obtener un p – value < 0.05 , es decir, existe una tendencia en los datos. Se empleó el estimador de Sen para determinar la pendiente de la serie de datos. La pendiente encontrada con este método (línea discontinua color naranja en la figura 14) indica un aumento de 0.016°C por año, lo que representa un incremento de 0.66°C en la temperatura media anual entre 1981 y 2022.

En el año 2022, para el dominio espacial completo, el 53% de los días presentaron temperaturas medias por encima del valor medio diario del periodo de referencia 1991–2020 (figura 15).

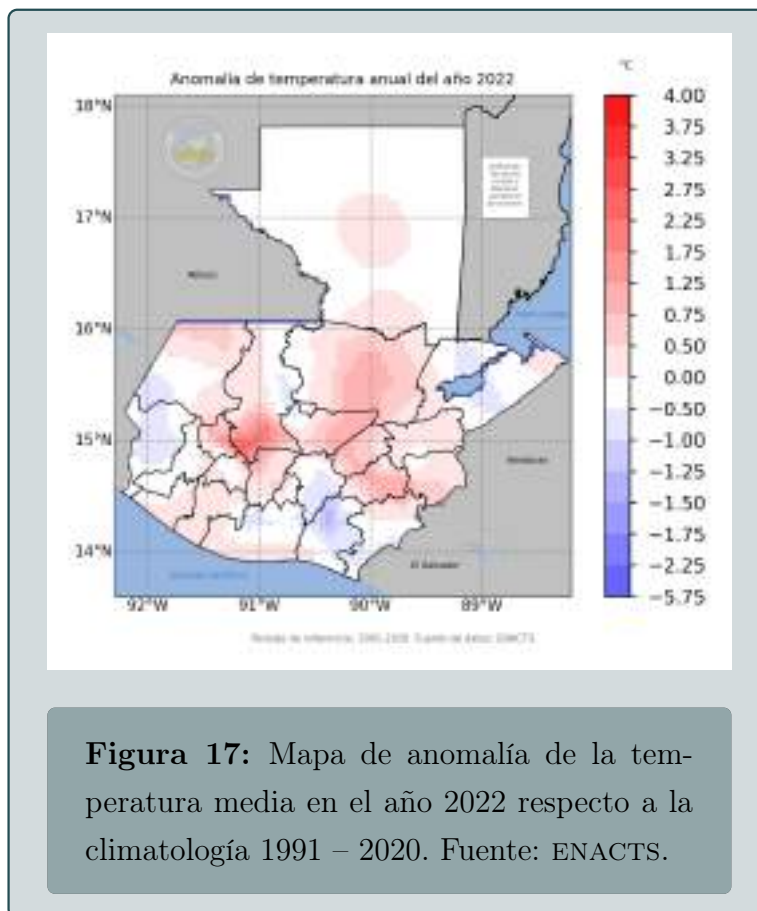


En cuanto al comportamiento espacial de la temperatura media, en la figura 16, el dominio espacial de Guatemala se ha dividido en celdas contiguas de $1.05^{\circ} \times 0.90^{\circ}$ con el fin de observar características locales y transiciones de la temperatura a lo largo del territorio nacional. La línea continua azul muestra los valores promediados del periodo de referencia de 1991 a 2020 y la línea continua roja los valores del año 2022. Las líneas verticales discontinuas muestran la temperatura media para el año 2022 (roja) y el periodo 1991 a 2020 (azul). Especialmente, las

celdas tienen una temperatura media anual cerca del valor promedio normal. Para las celdas cercanas al litoral Pacífico, los valores diarios de temperatura media tienen distribuciones bien definidas con picos alrededor de 27°C. Por otro lado, las celdas cercanas al litoral Caribe y al Norte de Guatemala tienen una distribución bimodal de temperatura. Las celdas ubicadas en la región Occidente del país tienen curvas de distribución con valores más a la izquierda de la escala de temperatura, alrededor de 20°C.

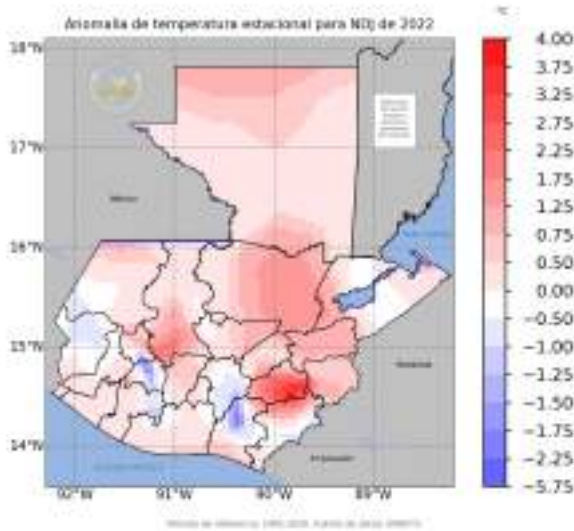


En la figura 17 se observan anomalías térmicas cercanas a 2.5°C en la parte sur del departamento de Quiché. En ciertas partes de la región de Occidente, Altiplano Central, Franja Transversal del Norte y Valles de Oriente se pueden encontrar valores de anomalías entre 0.5°C a 1.0°C por encima de la normal (climatología 1991 – 2020). En las regiones de Occidente, Bocacosta, la parte sur del Altiplano Central, la parte oeste de la Franja Transversal del Norte y Caribe se encuentran anomalías negativas respecto a la climatología 1991 – 2020 con valores de -1.3°C a -0.5°C.

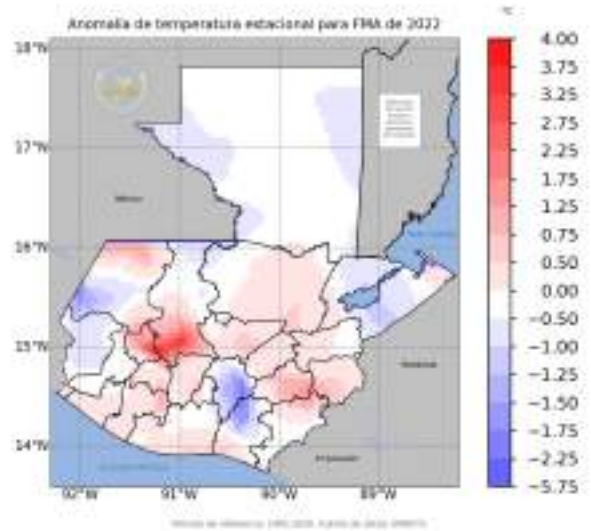


La estación NDE, comprendida por los meses de noviembre 2021 - diciembre 2021 - enero 2022, presentó una anomalía positiva superando en 0.44°C al valor de la media de esa estación dentro del periodo de referencia. El valor de la temperatura media de enero de 2022 sobre Guatemala fue 22.19°C , quedando 0.38°C por encima de la media de ese mes. En la región de Valles de Oriente, Franja Transversal del Norte y en la parte sureste de la región Occidente se encuentran anomalías que alcanzan valores de hasta 3.47°C . Como se muestra en la figura 18a, en ciertas partes de la región de Occidente, Bocacosta y Altiplano Central se pueden observar anomalías negativas que llegan a -1.85°C .

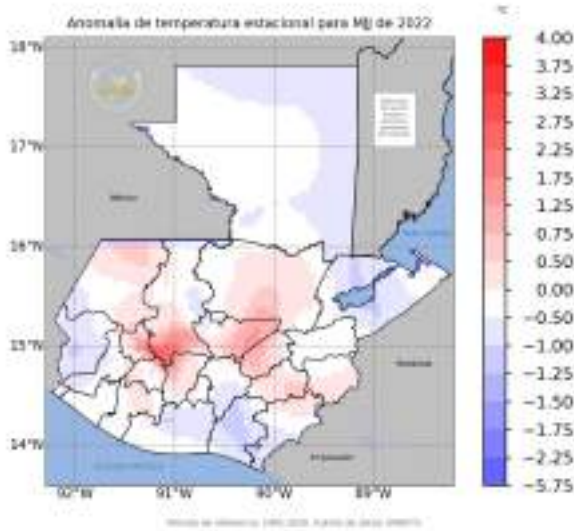
La estación febrero - marzo - abril (FMA) 2022 tuvo una anomalía negativa quedando 0.14°C por debajo del valor de la media de esta estación. La temperatura media mensual para los meses de febrero, marzo y abril fueron 22.56°C , 24.08°C y 25.67°C , respectivamente, valores que quedan por debajo de la media de cada uno de esos meses dentro del periodo de referencia. En la región de Occidente, Caribe y Altiplano Central se observan anomalías de hasta -1.91°C . Como se observa en la figura 18b, anomalías positivas se encuentran principalmente en la regiones Pacífico, Altiplano Central, la parte sureste de Occidente, Valles de Oriente y Franja Transversal del Norte con valores de hasta 3.48°C .



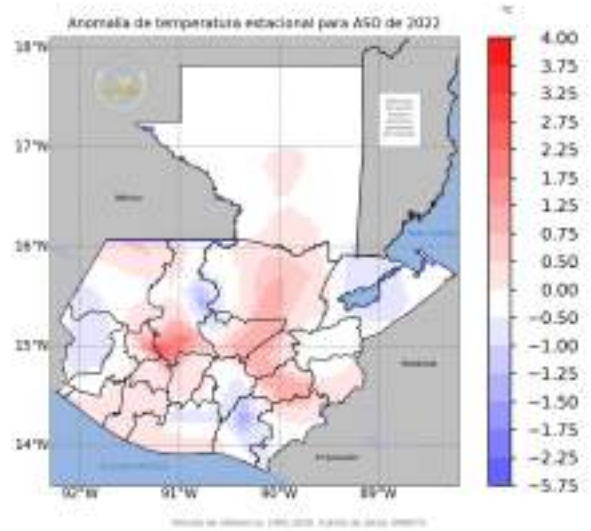
(a) NDE



(b) FMA



(c) MJJ



(d) ASO

Figura 18: Anomalía de temperatura media de los trimestres NDE, FMA, MJJ y ASO respecto al promedio estacional correspondiente de la climatología 1991 – 2020. Fuente: ENACTS.

La temperatura media de la estación mayo - junio - julio (MJJ) alcanzó un promedio de 25.08 °C dando como resultado una anomalía de -0.23 °C respecto al valor medio de esa estación. En mayo, la temperatura media mensual fue 25.95 °C quedando 0.01 °C por encima del valor normal de ese mes. Para el mes de junio, la anomalía térmica fue negativa quedando 0.72 °C por debajo del valor de la media del mes. El mes de julio presenta una anomalía de 0.01 °C. En la figura 18c se puede observar la distribución espacial de la anomalía estacional MJJ, en la cual la mayor parte del territorio de Guatemala presenta anomalías negativas con valores que llegan a -1.22 °C. En cuanto a anomalías positivas, se puede observar en las regiones de Valles de Oriente, Altiplano Central y Franja Transversal del Norte valores de hasta 2.73 °C.

La estación agosto - septiembre - octubre (ASO) tuvo una anomalía ligeramente negativa de -0.05 °C respecto al valor medio de esa estación de la climatología 1991 – 2020. Los meses de agosto, septiembre y octubre registraron valores de temperatura media mensual de 24.66 °C, 24.42 °C y 24.06 °C, respectivamente. En la figura 18d se presenta el mapa de anomalías para la estación ASO. Se observan anomalías negativas principalmente en las regiones Norte, Caribe, Occidente, Altiplano Central y la parte oeste de la Franja Transversal del Norte con valores que alcanzan los -1.37 °C. En las regiones Pacífico, Bocacosta, Valles de Oriente, la parte norte y sureste de Occidente, así como la parte oeste de la Franja Transversal del Norte se pueden observar temperaturas que superan a la media de esa estación con valores de anomalías que llegan hasta 2.54 °C.

En el cuadro 4 se indican los valores de la temperatura media para cada mes del año 2022, así como los promedios estacionales y el promedio anual. De igual manera se indican los promedios de la climatología 1991 – 2020 para cada uno de los periodos. Por último, en la tercera columna se encuentra la anomalía térmica.

Periodo	Promedio de la climatología [†]	Temperatura media 2022	Anomalía
Enero	21.81	22.19	0.38
Febrero	22.82	22.56	-0.26
Marzo	24.16	24.08	-0.07
Abril	25.79	25.67	-0.12
Mayo	25.94	25.95	0.01
Junio	25.15	24.43	-0.72
Julio	24.83	24.84	0.01
Agosto	24.86	24.69	-0.17
Septiembre	24.60	24.42	-0.18
Octubre	23.87	24.06	0.18
Noviembre	22.66	23.72	1.06
Diciembre	21.92	22.22	0.30
NDE	22.12	22.57	0.44
FMA	24.28	24.14	-0.14
MJJ	25.31	25.08	-0.23
ASO	24.44	24.39	-0.05
Anual	24.04	24.07	0.03

[†] climatología 1991 – 2020.

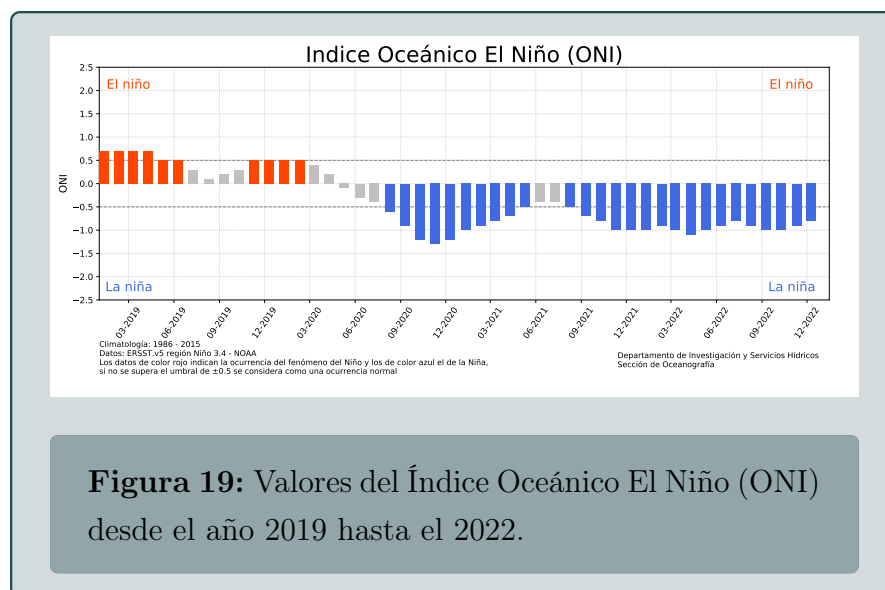
Cuadro 4: Temperatura media mensual, estacional y anual de la normal climatológica y del año 2022 en grados Celsius. En la última columna se muestra la anomalía térmica de cada periodo del año 2022 respecto a la normal. Fuente: ENACTS.

4.3. Temperatura Superficial Del Mar

4.3.1. Índice del Niño

El índice del Niño es una medida que cuantifica el fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) y se utiliza para monitorear el comportamiento del mismo. Se calcula con la media corrida de tres meses consecutivos de la TSM de la región Niño 3.4 (5N-5S,170O-90O), si el Índice presenta valores más altos que 0.5, se considera que hay ocurrencia de la fase de El Niño, si el Índice presenta valores por debajo de -0.5, fase de La Niña, de lo contrario, fase neutra. Para su análisis, se utilizó la información del Centro de Predicción del Clima (NOAA, 2001), la cual se publica el primer jueves de cada mes, sujeta a cambios a lo largo de los siguientes dos meses de su publicación.

Todo el año 2022 se mantuvo en fase de La Niña, fase que inició en agosto del año anterior, y persistió con pocas variaciones durante el siguiente año, presentando su valor mínimo en abril.



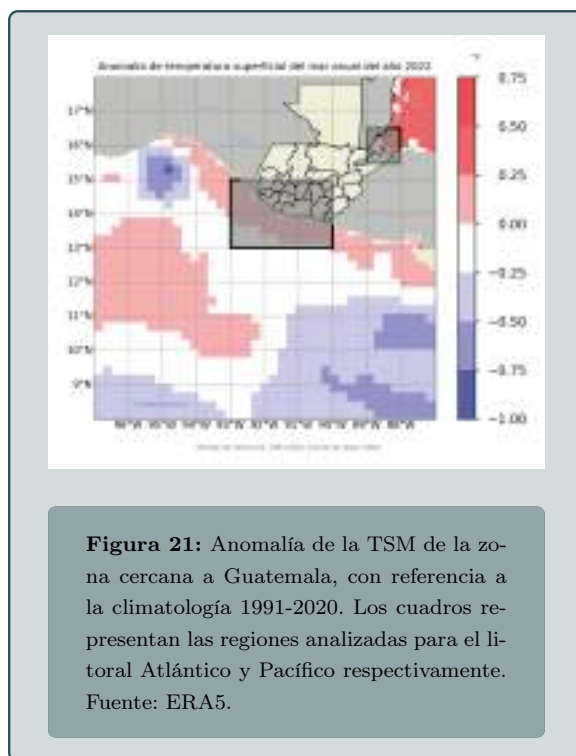
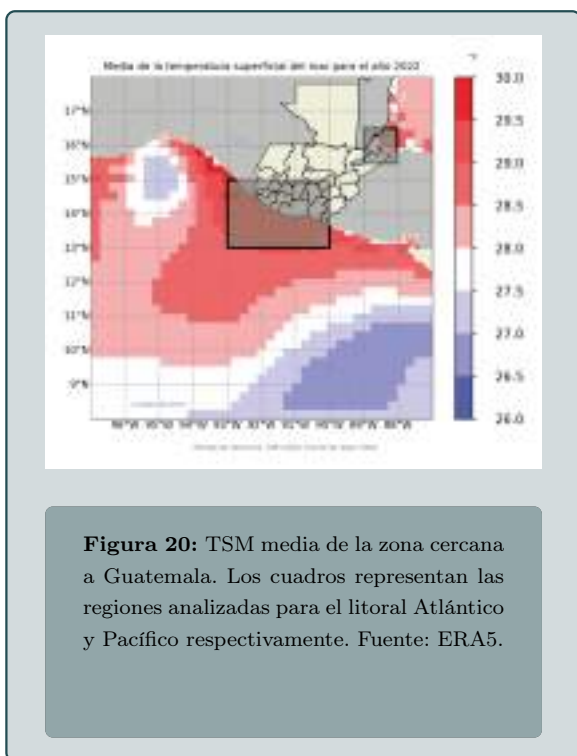
Año	DEF	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2019	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5	0.3	0.1	0.2	0.3	0.5	0.5
2020	0.5	0.5	0.4	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.6	-0.9	-1.2	-1.3	-1.2
2021	-1.0	-0.9	-0.8	-0.7	-0.5	-0.4	-0.4	-0.5	-0.7	-0.8	-1.0	-1.0
2022	-1.0	-0.9	-1.0	-1.1	-1.0	-0.9	-0.8	-0.9	-1.0	-1.0	-0.9	-0.8

Cuadro 5: Valores trimestrales del Índice Oceánico El Niño desde el año 2019 al 2022.

Fuente: Climate Prediction Center (NOAA, 2001).

4.3.2. Análisis de la región cercana a Guatemala

Como el año 2022 se mantuvo en fase Niña, se esperaba que la mayor parte de la región cercana a Guatemala presentara anomalías en la TSM negativas (INSIVUMEH, 2022). Sin embargo, las regiones identificadas como litoral Atlántico y Pacífico de Guatemala, presentaron anomalías positivas respecto a la climatología 1991-2020 (figuras 20 y 21).



Con respecto al análisis diario de la TSM en el litoral Atlántico (figura 22), la TSM de los datos de 1940 al 2022, muestra un comportamiento bimodal, presentando las temperaturas más altas alrededor de junio y septiembre, con una variación media (desviación estándar) de 0.46°C. La TSM en el año 2022 se mantuvo sobre la media de la temperatura durante el 85% de los días, siendo el día con la TSM más baja el 16 de febrero y con la temperatura más alta el 26 de agosto.

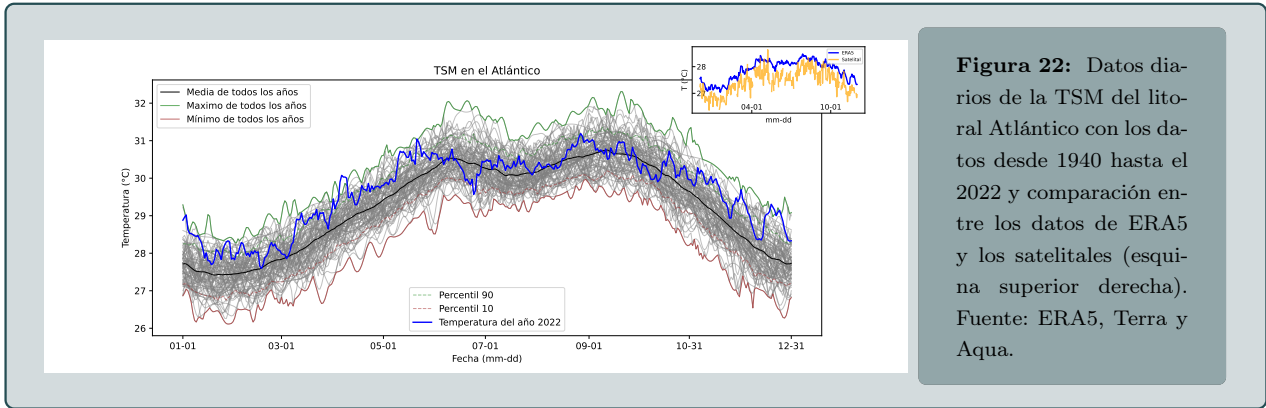


Figura 22: Datos diarios de la TSM del litoral Atlántico con los datos desde 1940 hasta el 2022 y comparación entre los datos de ERA5 y los satelitales (esquina superior derecha). Fuente: ERA5, Terra y Aqua.

Para analizar el comportamiento intra-anual (figura 23), se utilizó la temperatura media anual de 1940 a 2022, se ajustó una recta a los datos, utilizando el método de Theil-Sen, el cual calcula el valor de la pendiente de la curva, como la mediana de las pendientes entre todos los pares de puntos (Chervenkov & Slavov, 2019). El valor de la pendiente obtenida fue de 0.0006°C por año. También se calculó el estadístico Tau de Kendall, una estadística no paramétrica que estima el nivel de correlación entre dos variables (Karmeshu, 2012), el valor obtenido fue de 0.04, con una probabilidad de ocurrencia, dado valores aleatorios (valor p) del 57%, esto nos indica que para el litoral Atlántico, no hay un incremento significativo de la TSM desde el año 1940, y no se puede rechazar que este incremento sea por efectos aleatorios.

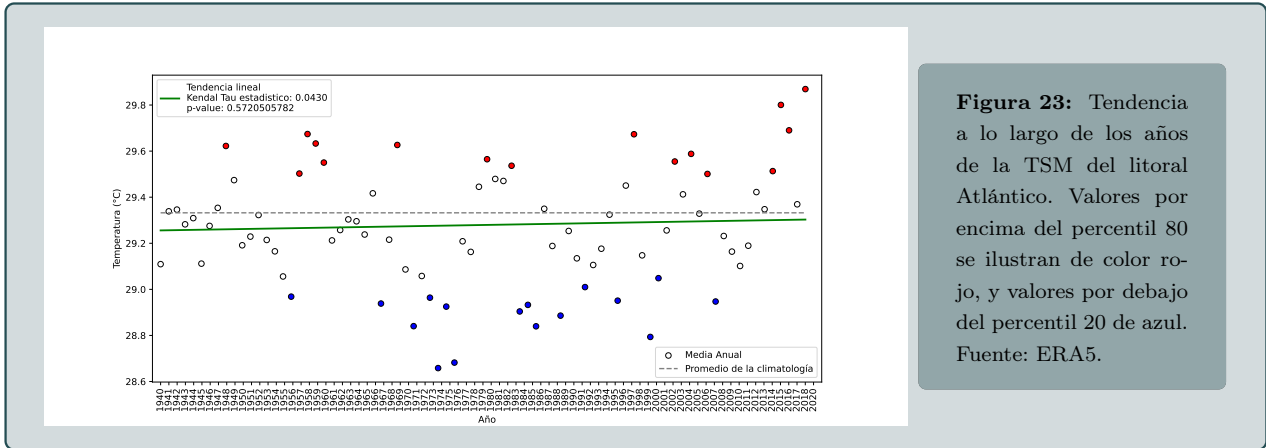


Figura 23: Tendencia a lo largo de los años de la TSM del litoral Atlántico. Valores por encima del percentil 80 se ilustran de color rojo, y valores por debajo del percentil 20 de azul. Fuente: ERA5.

Para la TSM del litoral Pacífico (figura 24), de 1940 a 2022, se observa un comportamiento similar al del litoral Atlántico, con máximos alrededor de mayo y agosto, sin embargo también se observa un tercer máximo local alrededor de noviembre. La variación media presentada fue de 0.53°C . En el año 2022, el 83% de los días estuvieron por encima de la media de los datos, sin embargo durante el mes de junio, la TSM disminuyó abruptamente, a valores cercanos al mínimo histórico.

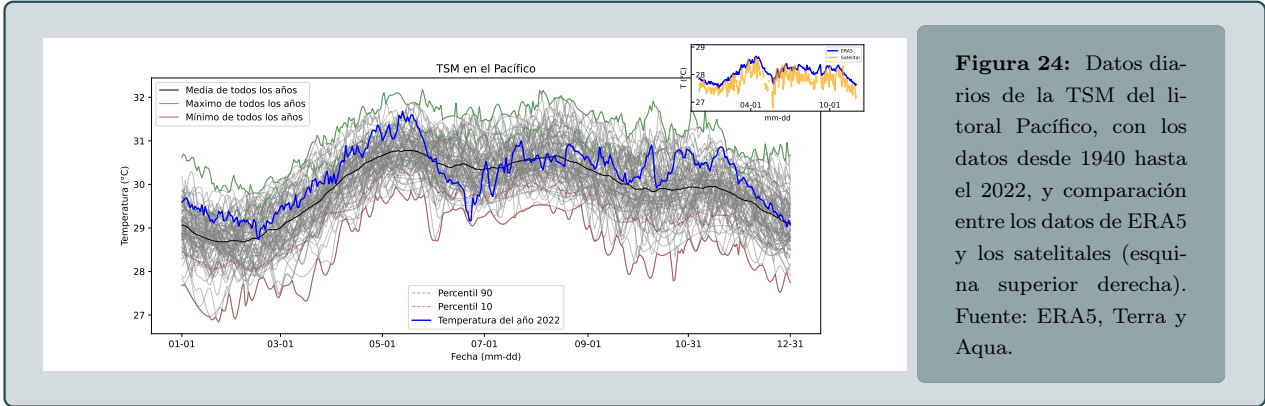


Figura 24: Datos diarios de la TSM del litoral Pacífico, con los datos desde 1940 hasta el 2022, y comparación entre los datos de ERA5 y los satelitales (esquina superior derecha). Fuente: ERA5, Terra y Aqua.

Respecto al comportamiento intra-anual de la TSM del litoral Pacífico (figura 25), el estimador Theil-Sen devolvió una pendiente de 0.006°C por año, es decir, un aumento de 0.5°C desde el año 1940 hasta el 2022. El estadístico Tau de Kendall fue de 0.31, con una probabilidad de ocurrir de manera aleatoria menor al 0.05 %, esto nos indica que para el litoral Pacífico, se estima un incremento significativo de la TSM a lo largo de los años.

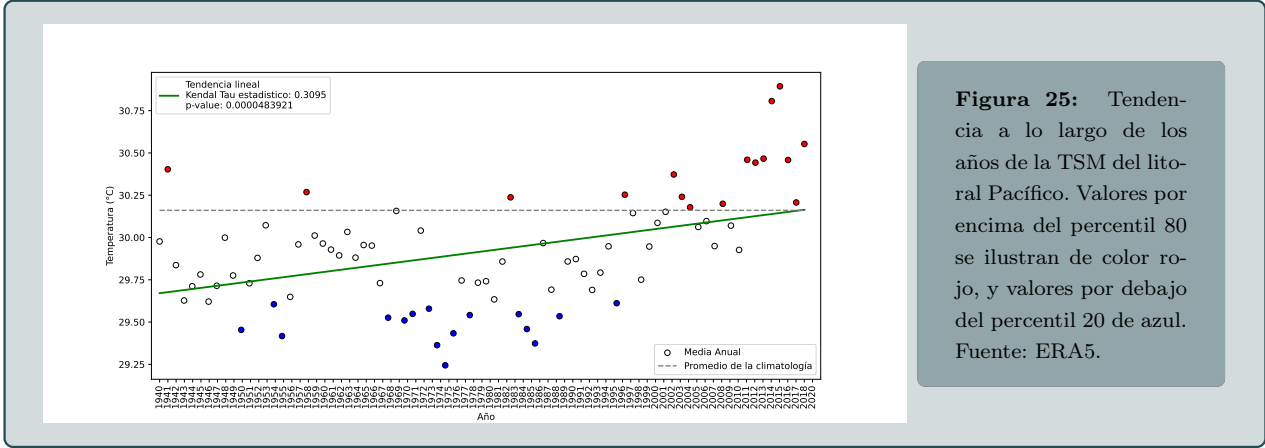
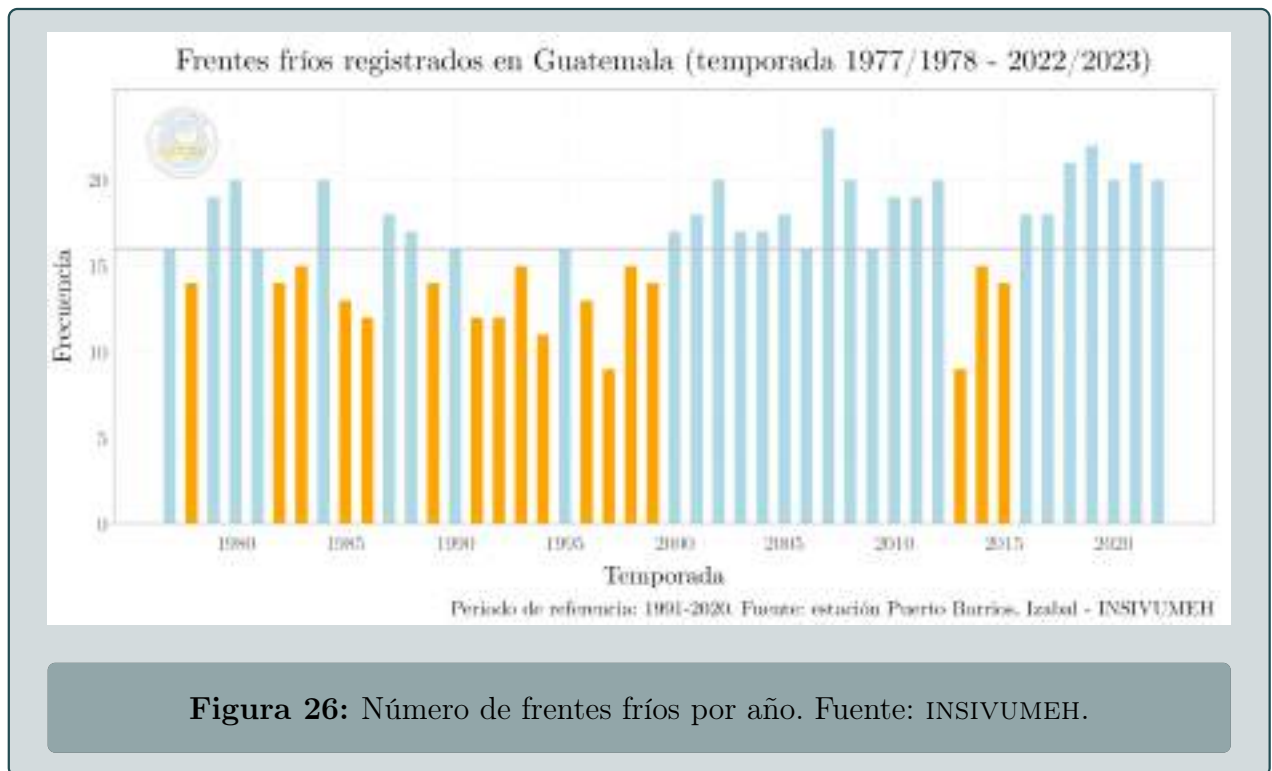


Figura 25: Tendencia a lo largo de los años de la TSM del litoral Pacífico. Valores por encima del percentil 80 se ilustran de color rojo, y valores por debajo del percentil 20 de azul. Fuente: ERA5.

5. Eventos meteorológicos

5.1. Frentes fríos

En la figura 26 se presenta el número de frentes fríos registrados por año desde la temporada 1977/1978 a la 2022/2023. La línea gris representa la normal climatológica. El color celeste indica cuando el valor está por arriba de la normal y el color anaranjado cuando está por debajo de la normal.



En el cuadro 6 se muestra el número de frentes fríos de la temporada 2021-2022 y 2022-2023. La normal climatológica está conformada desde la temporada 1990-1991 a la 2020-2021. La segunda columna presenta el número de frentes fríos promedio por climatología para los periodos mensuales y del año 2022. La tercera y cuarta columna contienen el número de frentes fríos por temporada y en la quinta y sexta columna se muestran las anomalías por temporada para los periodos mensuales y anual.

Periodo	Media climatología	Temporada 2021-2022	Temporada 2022-2023	Anomalía 2021-2022	Anomalía 2021-2022
Octubre	0.67	0	1	-0.67	0.33
Noviembre	2.27	5	2	2.73	-0.27
Diciembre	3.47	3	5	-0.47	1.53
Enero	3.90	5	5	1.10	1.10
Febrero	3.10	5	4	1.90	0.90
Marzo	2.93	3	2	0.07	-0.93
Abril	0.67	0	1	-0.67	0.33
2022	16.45	21.00	20.00	4.55	3.55

Cuadro 6: Número de frentes fríos que se registraron usando la estación meteorológica de Puerto Barrios, Izabal. Fuente: INSIVUMEH.

5.2. Ondas del este

Las ondas del este son áreas elongadas de presión relativamente baja desplazándose de este a oeste a través de los trópicos que van generando lluvia y que pueden llevar a la formación de un ciclón tropical. En 2022, se registró el ingreso de 28 ondas del este (usando el análisis superficial de la «NOAA – Tropical Analysis», *s.f.* y registros de INSIVUMEH). En el cuadro 7 se muestra la distribución mensual de las ondas del este que ingresaron al país.

Mes	Número de Ondas de Este
2022-05	2
2022-06	6
2022-07	9
2022-08	8
2022-09	1
2022-10	2

Cuadro 7: Ondas del Este que ingresaron al territorio nacional durante el año 2022. Fuente: NOAA e INSIVUMEH.

5.3. Ciclones tropicales

Para la cuenca del Atlántico, tomando como base la climatología 1991 a 2020, una temporada de huracanes promedio tiene 14 tormentas nombradas, 7 huracanes y 3 huracanes mayores; la temporada 2022 finalizó con 7 tormentas nombradas y 9 huracanes. En el caso del Pacífico Este, usando el mismo periodo de referencia de 30 años, una temporada de huracanes promedio tiene 15 tormentas nombradas, 8 huracanes y 4 huracanes mayores; la temporada 2022 finalizó con 8 tormentas nombradas y 11 huracanes («NOAA – 2022 Atlantic Hurricane Season», [s.f.](#); «NOAA – 2022 Eastern Pacific Hurricane Season», [s.f.](#); «NOAA – Tropical Cyclone Climatology», [s.f.](#)). Los ciclones tropicales que ingresaron en la Zona de Emergencia⁷ (ver figura 27) se muestran en el cuadro 8. Sin embargo, otros ciclones tropicales causaron lluvias considerables sobre el territorio nacional aún sin haber ingresado en la Zona de Emergencia, tal es el caso de Karl, Agatha, y Bonnie.

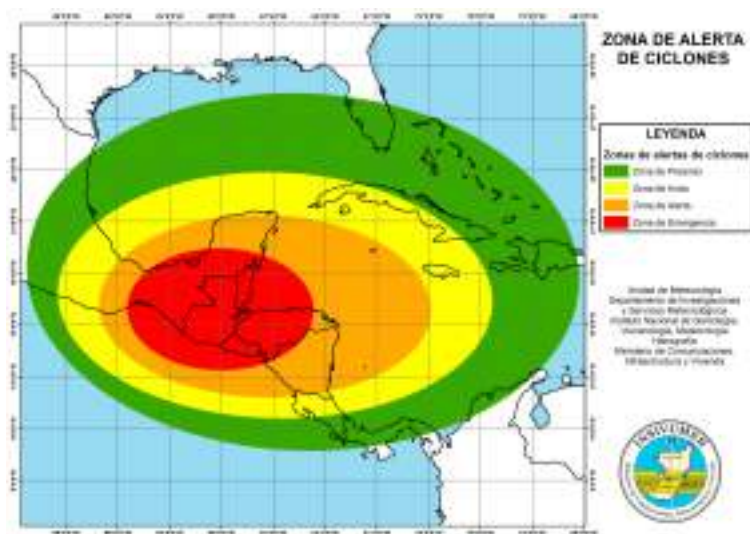


Figura 27: Mapa de zonas de alerta por ciclones. Fuente: Plan Operativo Institucional Temporada Ciclónica 2023 INSIVUMEH, [2023b](#).

⁷De acuerdo al mapa de zonas de alerta por ciclones tal como se define en INSIVUMEH, [2023b](#).

Cuadro 8: Resumen de la temporada 2022 de huracanes y tormentas tropicales en Guatemala. La tabla incluye solamente los ciclones tropicales que ingresaron a la Zona de Emergencia.

Huracán o tormenta	Periodo [†]	Acumulados de precipitación [mm] [‡]
Ciclón tropical Celia	18 a 21 de septiembre	50–200
Ciclón tropical Julia	10 de octubre	50–400
Ciclón tropical Lisa	2 a 4 de noviembre	50–200

[†] fecha de ingreso y salida de la Zona de Emergencia.

[‡] Durante su paso por la Zona de Emergencia.

El ciclón tropical Celia entró en la Zona de Emergencia como depresión tropical el 18 de septiembre de 2022 y la dejó el 21 de septiembre de 2022, pero no ingresó al país. Durante su paso por la Zona de Emergencia se registraron acumulados de precipitación entre 50 mm a 200 mm en la mayor parte del país. La anomalía respecto al periodo de referencia 1991–2020 durante el periodo de afectación muestra excedencias arriba del 100 % en las regiones Pacífico, Altiplano Central, Valles de Oriente, Caribe y Norte (ver figura 28) (INSIVUMEH, 2023a).

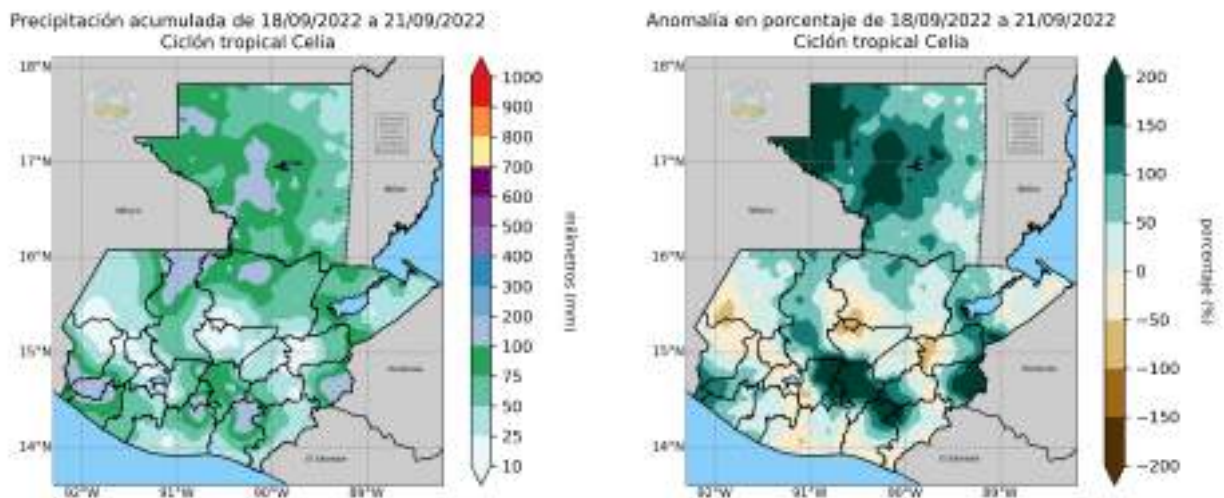


Figura 28: Ciclón tropical Celia 2022. Fuente: sección de Aplicaciones Climáticas, INSIVUMEH, 2023a.

El ciclón tropical Julia entró en la Zona de Emergencia como tormenta tropical el 10 de octubre de 2022, pero no ingresó al país. Durante su paso por la Zona de Emergencia se registraron acumulados de precipitación entre 50 mm a 400 mm en las regiones Franja Transversal del Norte, Norte, Caribe, Valles de Oriente y Altiplano Central. La anomalía respecto al periodo de referencia 1991–2020 durante el periodo de afectación muestra excedencias de más del 150 % para la mayor parte del país (ver figura 29) (INSIVUMEH, 2023a).

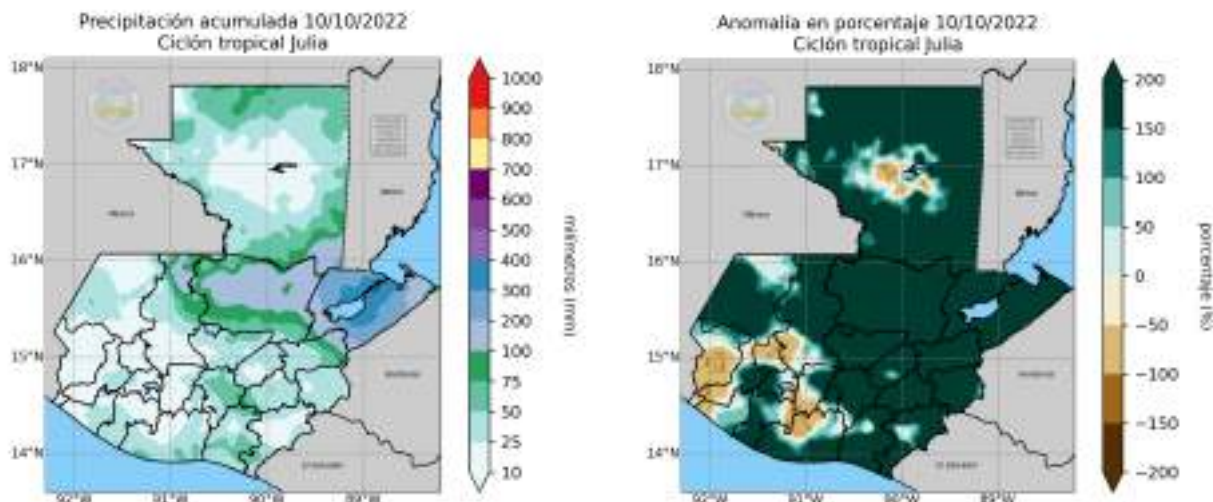


Figura 29: Ciclón tropical Julia 2022. Mapa de precipitación acumulada (izquierda) y mapa de anomalía en porcentaje (derecha). Fuente: sección de Aplicaciones Climáticas, INSIVUMEH, 2023a.

El ciclón tropical Lisa entró en la Zona de Emergencia como tormenta tropical el 2 de noviembre de 2022 y la dejó el 4 de noviembre de 2022. Ingresó al país como tormenta tropical y se degradó a depresión tropical al salir del país. Durante su paso por la Zona de Emergencia se registraron acumulados de precipitación entre 50 mm a 200 mm en las regiones Franja Transversal del Norte, Norte y Valles de Oriente. La anomalía respecto al periodo de referencia 1991–2020 durante el periodo de afectación muestra excedencias de más del 150 % para las regiones Norte y Franja Transversal del Norte (ver figura 30) (INSIVUMEH, 2023a).

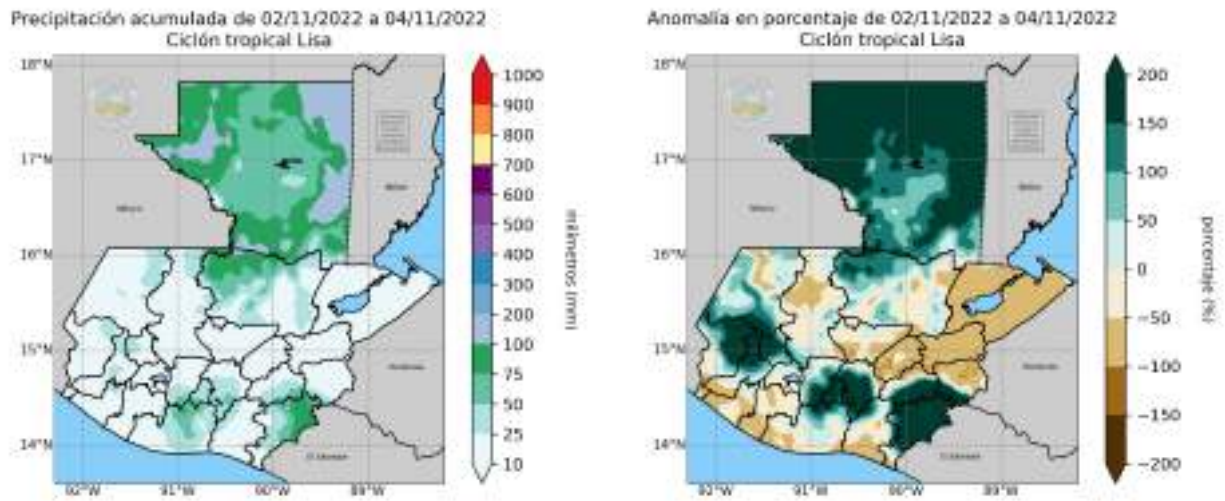


Figura 30: Ciclón tropical Lisa 2022. Fuente: sección de Aplicaciones Climáticas, INSIVUMEH, 2023a.

6. Fuente de datos y métodos

6.1. Fuente de datos

- **ENACTS:** es un conjunto de datos que fusiona el valor de las estaciones convencionales de INSIVUMEH y los datos satelitales de CHIRPS para precipitación y MERRA2 para temperatura. El cual proporciona valores diarios de temperatura y precipitación desde el 1981 con una resolución de 0.05° y coordenadas Longitud: [92.525W,87.97501W]; Latitud: [13.475N,18.525N]
- **ERA5:** es la quinta generación de datos atmosféricos de reanálisis del ECMWF. Está basado en el Integrated Forecasting System (IFS) Cy41r2, cubriendo un periodo desde 1950 hasta el presente, con datos estimados por hora y una resolución de 31 kilómetros, para variables atmosféricas y oceanográficas Hersbach et al., 2020.

6.1.1. Metodología

Las variables utilizadas son las siguientes,

1. **Temperatura y Precipitación:** para estas variables se utilizó el set de datos diarios de ENACTS.
2. **Temperatura superficial del mar (TSM):** para el análisis de la TSM, se utilizaron las temperaturas diarias de las regiones cercanas al litoral Atlántico y Pacífico de Guatemala, utilizando los datos de ERA5, límites que se pueden apreciar en las figuras 20 y 21. Los datos de ERA5 fueron corroborados, utilizando los datos satelitales de Terra y Aqua del año 2022, para lo cual se obtuvo una correlación significativamente alta (ver figuras 22 y 24), es decir, los datos de ERA5 describen con un nivel alto de confianza las variaciones en la TSM en la región cercana a Guatemala.

Con estos conjuntos de datos se hicieron distintos cálculos de las maneras siguientes:

- **Acumulado anual:** Se tiene un valor de la variable de precipitación por día, para calcular el acumulado anual se suman todos los valores diarios de los 365 días del año para obtener un único valor característico de cada año.
- **Acumulado Mensual:** de los valores diarios de un mes, se suman todos produciendo un valor de precipitación total en ese mes.

- **Acumulado diario:** la suma acumulativa diaria de un año se hace partiendo del valor de precipitación del día 1, luego el día dos será la suma del valor de precipitación del día uno más el del día 2. Se hace lo mismo para los siguientes días siendo el día 365 la suma de todos los días anteriores.
- **Promedio variables:** si es promedio anual se suman todos los días del año y se divide por el número de días (365/366) , si es promedio mensual se suman todos los días de ese mes y se divide por el número de días (30/31), si es promedio estacional se suman todos los días del periodo de 3 meses y se divide por el número de días en ese periodo.
- **Promedio de la climatología:** para el cálculo de las medias climatológicas (ya sea temperatura o precipitación) se realiza primero el análisis de interés por cada año de la climatología (esto puede ser acumulado mensual, anual, promedio mensual, estacional, etc.), luego de tener valor característico de cada año se promedian los 30 valores obtenidos de la climatología para obtener la media final. Por ejemplo, para obtener la media climatológica del promedio de precipitación de la estación NDE, primero se promedia el NDE de cada año con los valores diarios y luego se promedian los años de la climatología.
- **Máximos y mínimos:** de un mapa con datos en cada píxel se extrae el valor máximo o mínimo de toda la distribución espacial. En cuanto a la temporalidad los valores pueden ser diarios, mensuales, estacionales o anuales.
- **Anomalías:** las anomalías se calculan realizando una resta de el dato de interés observado ese año menos el valor observado para ese mismo valor correspondiente de la media climatológica. Por ejemplo, para calcular la anomalía de precipitación estacional NDE se toma el valor de precipitación de la estación del año a analizar y se le resta la media de la climatología correspondiente a esa misma estación NDE.
- **Anomalía anual:** para el cálculo de esta anomalía se hace el promedio del año de interés para luego restarle el valor de el promedio correspondiente de la climatología, es decir promedio de promedio de años. Debido a que es un promedio diario las dimensionales son de mm/día, indicando el promedio de lluvia que se observó diariamente ese año.
- **Anomalía mensual:** para el cálculo de esta anomalía se hace primero el promedio diario por mes para luego restarle el promedio de la climatología correspondiente a ese mismo mes. Debido a que es un promedio diario las dimensionales son de mm/día, indicando el promedio de lluvia que se observó diariamente ese mes.

- **Anomalía estacional:** para el cálculo de esta anomalía primero se hace el recorte de estaciones, obteniendo una estación con valores diarios que se promedian produciendo un único valor. A esto se le resta la media de la climatología correspondiente a esa misma estación. Debido a que es un promedio diario las dimensionales son de mm/día, indicando el promedio de lluvia que se observó diariamente en esa estación.
- **Porcentaje de precipitación:** se realiza el porcentaje de precipitación respecto a la climatología, siendo el 100 % el valor de la climatología. Por lo que un porcentaje del 200 % indica que en dichos puntos se presentó el doble de precipitación que en la climatología.
- **Mapas y tablas:** en el caso de los mapas se obtiene un valor para cada punto en el territorio de Guatemala. En cambio en las tablas se promedian todos los puntos del mapa para tener un valor que represente toda la distribución. Por ejemplo, en la tabla de precipitación media la anomalía correspondiente a la estación NDE es de 0.52 mm/día, este valor representa el promedio de anomalías de todo el mapa. Mientras que en el mapa se puede observar el valor de anomalía para cada punto específico de toda la región. De forma análoga para las tablas de acumulados.

Referencias

- Amador, J. (2009). The Intra-Americas Sea Low-level Jet. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1146, 153-88. <https://doi.org/10.1196/annals.1446.012>
- Amador, J., Alfaro, E., Lizano, O., & Magaña, V. (2006). Atmospheric forcing of the eastern tropical Pacific: A review. *Progress In Oceanography*, 69, 101-142. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2006.03.007>
- Chervenkov, H., & Slavov, K. (2019). Theil-Sen estimator vs. ordinary least squares-trend analysis for selected ETCCDI climate indices. *Comptes Rendus Acad. Bulg. Sci*, 72, 47-54.
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D., et al. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730), 1999-2049.
- Hidalgo, H. G., Durán-Quesada, A. M., Amador, J. A., & Alfaro, E. J. (2015). The Caribbean Low-Level Jet, The Inter-Tropical convergence zone and precipitation patterns in the Intra-Americas Sea: A proposed dynamical mechanism. *Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography*, 97(1), 41-59. Consultado el 7 de diciembre de 2023, desde <http://www.jstor.org/stable/43870833>
- Imbach, P., Beardsley, M., Bouroncle, C., Medellín, C., Läderach, P., Hidalgo, H., Alfaro, E., Van Etten, J., Allan, R., Hemming, D., et al. (2017). Climate change, ecosystems and smallholder agriculture in Central America: an introduction to the special issue.
- INSIVUMEH. (2022). Estado del Clima en Guatemala 2021. https://insivumeh.gob.gt/wp-content/uploads/2023/01/Estado_del_clima.pdf
- INSIVUMEH. (2023a). *Huracanes y tormentas tropicales en Guatemala – Mapas de precipitación acumulada*.
- INSIVUMEH. (2023b). *Plan Operativo Institucional – Temporada ciclónica 2023*.
- Karmeshu, N. (2012). Trend detection in annual temperature & precipitation using the Mann Kendall test—a case study to assess climate change on select states in the northeastern United States.
- Magaña, V., Amador, J. A., & Medina, S. (1999). The Midsummer Drought over Mexico and Central America. *Journal of Climate*, 12(6), 1577-1588. [https://doi.org/https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1999\)012<1577:TMDOMA>2.0.CO;2](https://doi.org/https://doi.org/10.1175/1520-0442(1999)012<1577:TMDOMA>2.0.CO;2)
- Maldonado, T., Alfaro, E., & Hidalgo, H. (2018). A review of the main drivers and variability of Central America's Climate and seasonal forecast systems. *Revista de Biología Tropical*, 66, 153. <https://doi.org/10.15517/rbt.v66i1.33294>

- NOAA. (2001). NOAA's Climate Prediction Center. https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php
- NOAA – 2022 Atlantic Hurricane Season [Accessed: 2023-12-05]. (s.f.).
- NOAA – 2022 Eastern Pacific Hurricane Season [Accessed: 2023-12-05]. (s.f.).
- NOAA – Tropical Analysis [Accessed: 2023-12-05]. (s.f.).
- NOAA – Tropical Cyclone Climatology [Accessed: 2023-12-05]. (s.f.).
- Rudloff, W. (1981). World-climates, with tables of climatic data and practical suggestions. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:127461675>
- Serra, Y. L., Kiladis, G. N., & Hodges, K. I. (2010). Tracking and mean structure of easterly waves over the Intra-Americas Sea. *Journal of Climate*, 23(18), 4823-4840.
- Taylor, M. A., & Alfaro, E. J. (2005). Central America and the Caribbean, Climate of. En J. E. Oliver (Ed.), *Encyclopedia of World Climatology* (pp. 183-189). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/1-4020-3266-8_37
- Wang, C., & Enfield, D. B. (2001). The Tropical Western Hemisphere Warm Pool. *Geophysical Research Letters*, 28(8), 1635-1638. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2000GL011763>
- Wang, C., & Enfield, D. B. (2003). A Further Study of the Tropical Western Hemisphere Warm Pool. *Journal of Climate*, 16(10), 1476-1493. [https://doi.org/https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2003\)016<1476:AFSOTT>2.0.CO;2](https://doi.org/https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016<1476:AFSOTT>2.0.CO;2)
- Wang, C., & Fiedler, P. (2006). ENSO variability and the eastern tropical Pacific: A review. *Progress In Oceanography*, 69, 239-266. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2006.03.004>
- Zárate-Hernández, E. (2013). Climatología de masas invernales de aire frío que alcanzan Centroamérica y el Caribe y su relación con algunos índices Árticos. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 12(1), 35-55.