



Instituto Nacional de
**Sismología, Vulcanología,
Meteorología e Hidrología**

2023

Estado del Clima
en Guatemala

Autores: este reporte fue escrito en conjunto por Laura Portillo¹, Isaac Solórzano¹, Dayrin Cardona¹, Víctor Gómez², Luis Icó², María Renee Contreras² y Jorge Rodríguez³

¹ Sección de Cambio Climático, INSIVUMEH

² Sección de Oceanografía, INSIVUMEH

³ Sección de Aplicaciones Climáticas, INSIVUMEH

© INSIVUMEH 2024

Agradecimientos: los autores también agradecen a Luis Tun, Josué Cuzco, Joel Ixcamparij, por el apoyo brindado en parte del procesamiento de datos y mapas satelitales para este reporte, y a Mariano Cap por todo el apoyo brindado a la difusión y realización de este trabajo.

Índice

1. Resumen	5
2. Introducción	6
3. Contexto climático	7
3.1. Global	7
3.2. Regional	8
4. Estado del Clima en Guatemala – año 2023	11
4.1. Precipitación	12
4.2. Temperatura	22
4.3. Temperatura Superficial Del Mar	36
4.3.1. Índice del Niño	36
4.3.2. Análisis de la Región cercana a Guatemala	37
5. Eventos meteorológicos	42
5.1. Frentes fríos	42
5.2. Olas de calor	44
5.3. Ondas Tropicales	45
5.4. Ciclones Tropicales	45
6. Fuente de datos y métodos	51
6.1. Fuente de datos	51

6.2. Metodología	52
7. Anexos	55
Referencias	61

1. Resumen

En Guatemala, el año 2023 fue el año más cálido de 1981 a 2023, con una temperatura promedio de 25.11 °C. El período 1981–2023 mostró una tendencia de calentamiento de 0.19 °C por década.

El año 2023 fue un año de carácter seco en cuanto a precipitación, con un acumulado de precipitación anual de 1944 mm. La anomalía de precipitación acumulada anual es de –170 mm con respecto al valor promedio de precipitación acumulada anual del periodo de referencia 1991–2020.

En 2023 se presentaron condiciones de El Niño tras tres años consecutivo de condiciones La Niña.

Se registraron 22 frentes fríos para la temporada que va de octubre de 2023 a abril de 2024. El promedio de frentes fríos encontrado para la climatología 1991–2020 fue de 16.

En 2023, ingresaron 29 ondas del este u ondas tropicales a Guatemala modificando el comportamiento de las lluvias sobre el territorio nacional.

Los ciclones tropicales Idalia y Pilar generaron acumulados de precipitación de hasta 400 mm durante su paso por la Zona de Alerta.

2. Introducción

Luego de la publicación del segundo informe del «Estado del clima en Guatemala» publicado en 2023 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 tercera edición del estado del clima en Guatemala elaborado por INSIVUMEH se incluye un análisis de la evolución de la temperatura máxima y mínima desde 1981 hasta 2023 para todo el territorio guatemalteco. También se presenta un anexo con las anomalías de precipitación y temperatura de todo el dominio espacial para cada uno de los meses de 2023.

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, 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 2023 en el contexto de variabilidad y de tendencias a largo plazo para dos variables climáticas esenciales: precipitación y temperatura. La sección 5 incluye los frentes fríos, las olas de calor, ondas tropicales y los ciclones tropicales que afectaron a Guatemala para el periodo 2023. 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

3.1. Global

El año 2023 se registra como el más cálido en el periodo de 174 años registrado por seis conjuntos de datos (ver figura 1). Las concentraciones de gases de efecto invernadero y el cambio de las condiciones climáticas de La Niña a El Niño pudieron haber contribuido con el incremento de temperatura global para el 2023 (WMO, 2024).

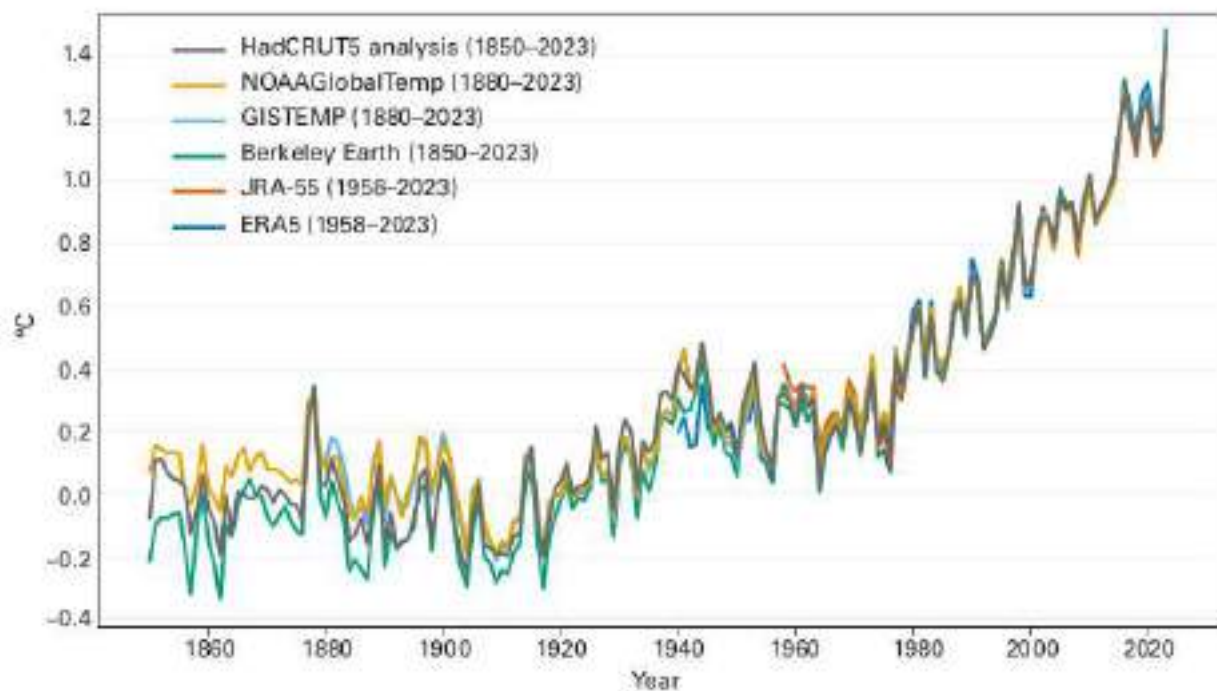


Figura 1: Anomalías de la temperatura media global anual (relativo a los años 1850-1900) desde 1850 hasta 2023. La leyenda indica la procedencia de los conjuntos de datos graficados. WMO, 2024

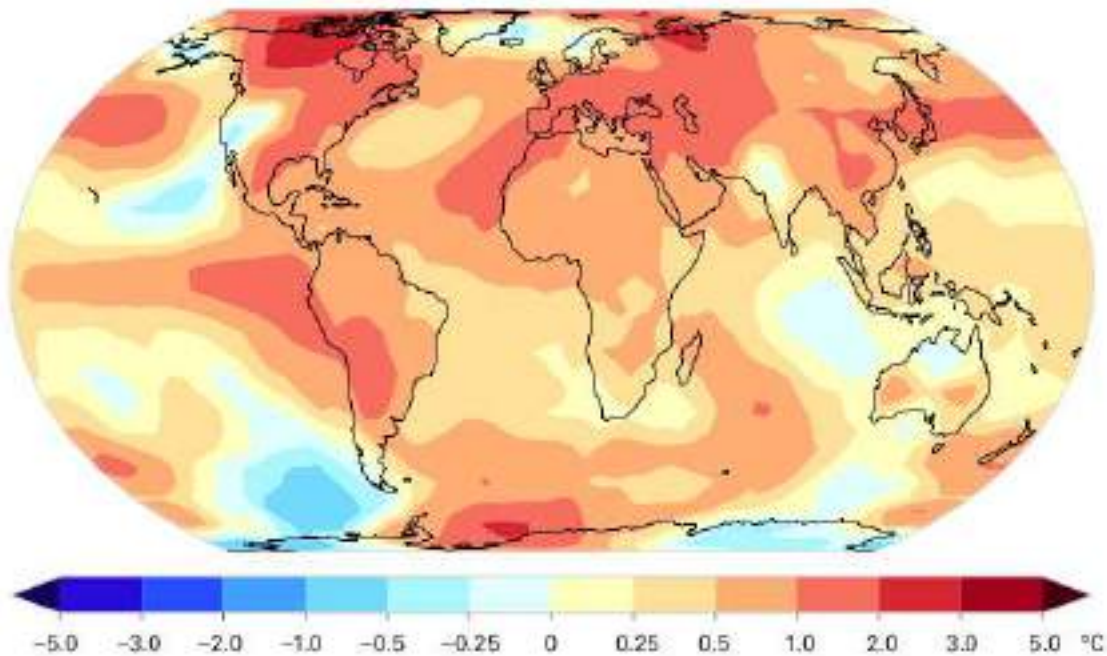


Figura 2: Anomalías de la temperatura media sobre la superficie (diferencia con respecto a la climatología de 1991-2020) para el 2023. Los datos son la mediana de los seis conjuntos de datos indicados en la leyenda de la figura 1. WMO, 2024

Entre la última primavera del Hemisferio Norte y el final del año, las temperaturas globales sobre el nivel del mar (SSTs) también se reportaron altas. Las áreas del Atlántico Norte Oriental, el golfo de México y el Caribe, desde el Pacífico Norte hasta el Mar de Japón, el Mar Árabe, y grandes áreas del Océano Austral, reportaron calidez excepcional con respecto de la climatología del 1991-2020 (WMO, 2024).

3.2. 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 3). 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

¹Intra-Americas Sea (IAS)

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; Zárata-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 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).

²North Atlantic Subtropical High (NASH)

³Intertropical Convergence Zone (ITCZ)

⁴Western Hemisphere Warm Pool (WHWP)

⁵Caribbean low-level jet (CLLJ)

⁶midsummer drought (MSD)



Figura 3: La región Mar Intra Américas tal como se define en Amador, [2009](#)

4. Estado del Clima en Guatemala – año 2023

En Guatemala, el año 2023 se caracterizó por ser un año seco en cuanto a precipitación, con una precipitación acumulada anual equivalente al 92 % del valor promedio del periodo de referencia 1991–2020. En cuanto a temperatura, el año 2023 fue el año más cálido dentro de la serie de años analizada, con una anomalía de 1.14 °C por encima del promedio anual del periodo de referencia. En la figura 4 se muestra la clasificación climática de los distintos años en función de su temperatura media y precipitación acumulada.

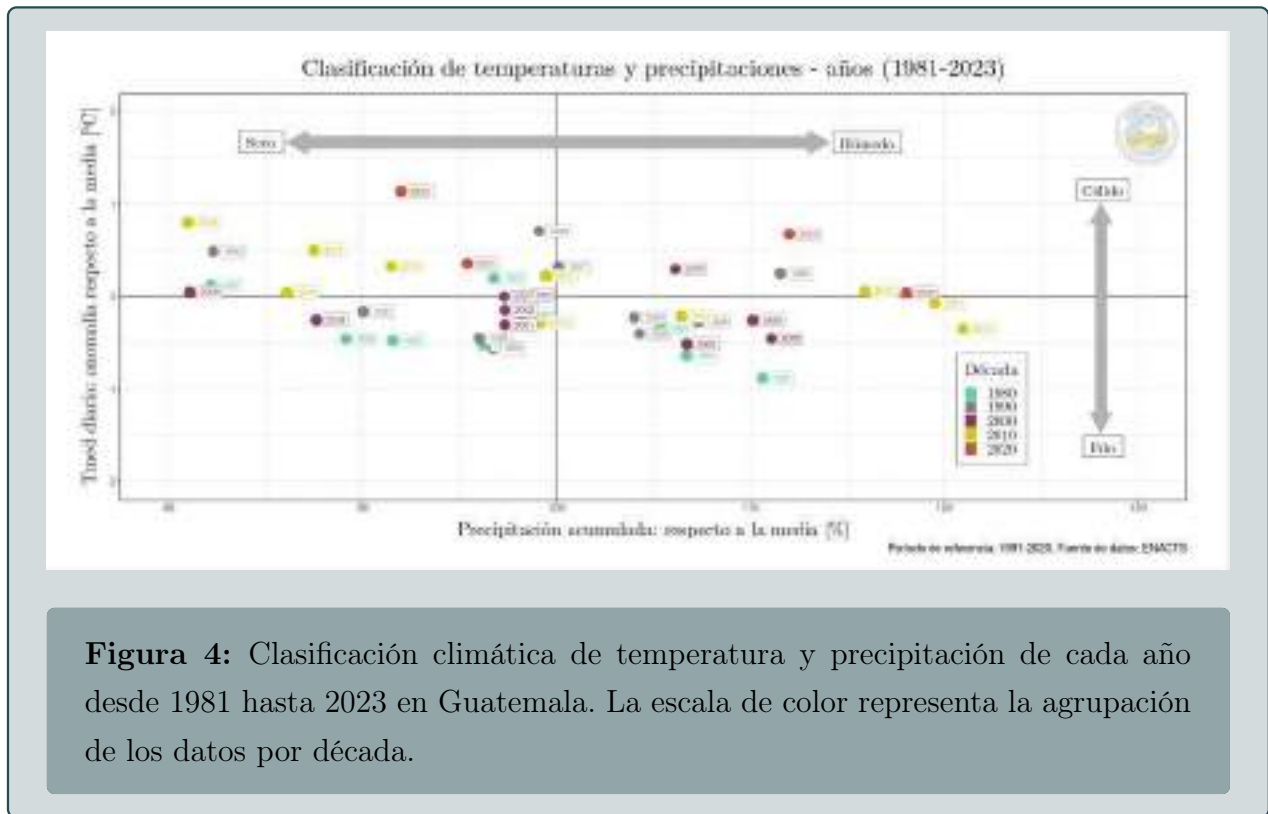


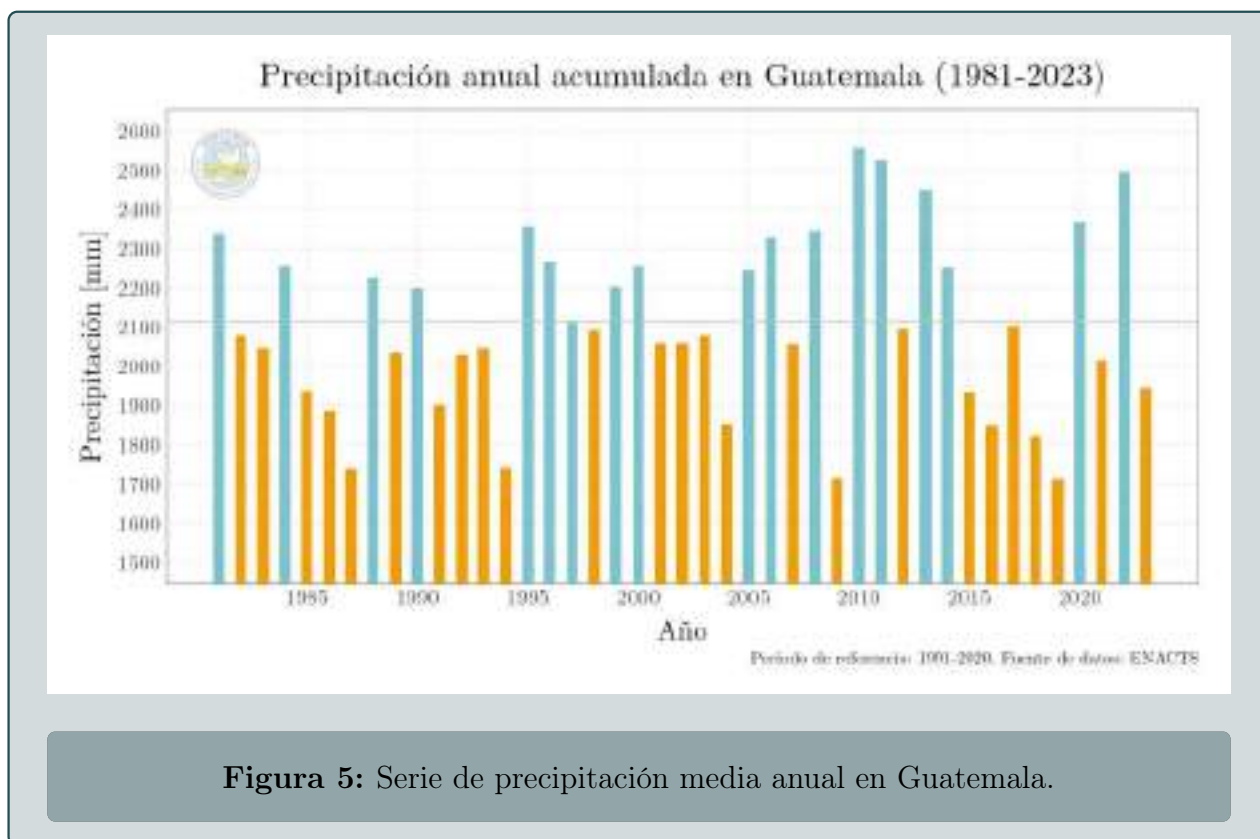
Figura 4: Clasificación climática de temperatura y precipitación de cada año desde 1981 hasta 2023 en Guatemala. La escala de color representa la agrupación de los datos por década.

4.1. Precipitación

En la figura 5 se muestra el acumulado anual de precipitación en Guatemala desde 1981 hasta 2023. La línea gris horizontal representa la media del acumulado de la climatología 1991-2020, correspondiente a 2113.9 mm. 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 los 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.

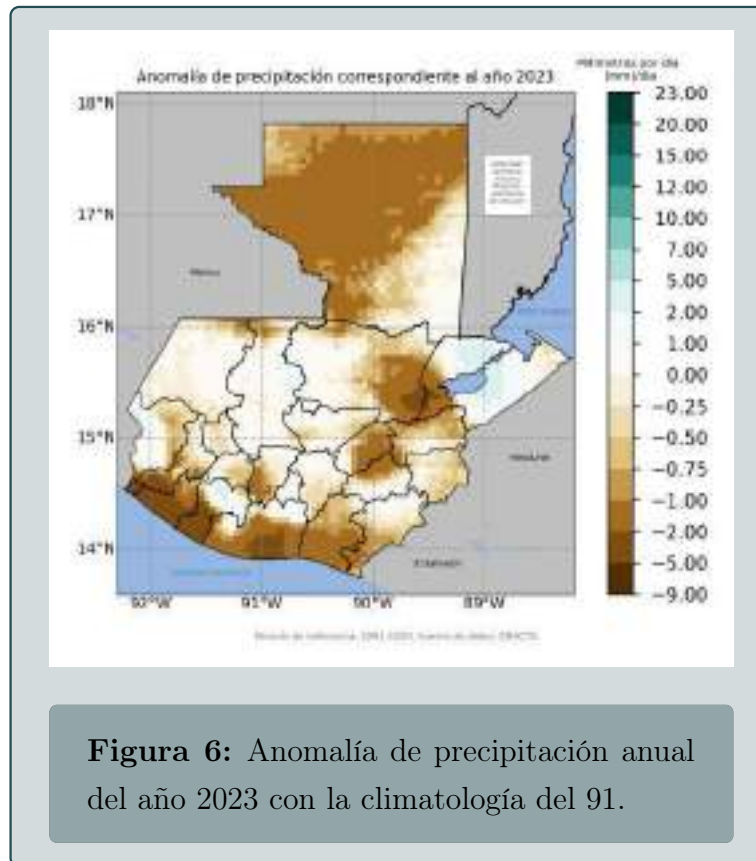
Entre los años 1981 y 2023 se observó en el 2010 el valor máximo de acumulado de precipitación con un valor superior a los 2500 mm mientras que en el 2009 se presentó el valor mínimo con 1714.4 mm de precipitación acumulada en ese año.

En el 2023 se obtuvo un acumulado anual de más de 1900 mm. Este valor está por debajo de la normal correspondiente a la climatología 1991-2020 utilizando los datos de ENACTS.



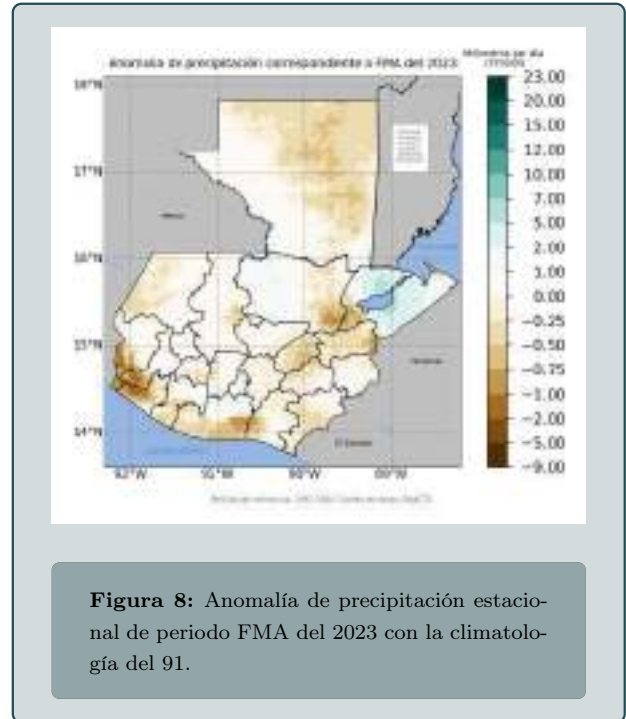
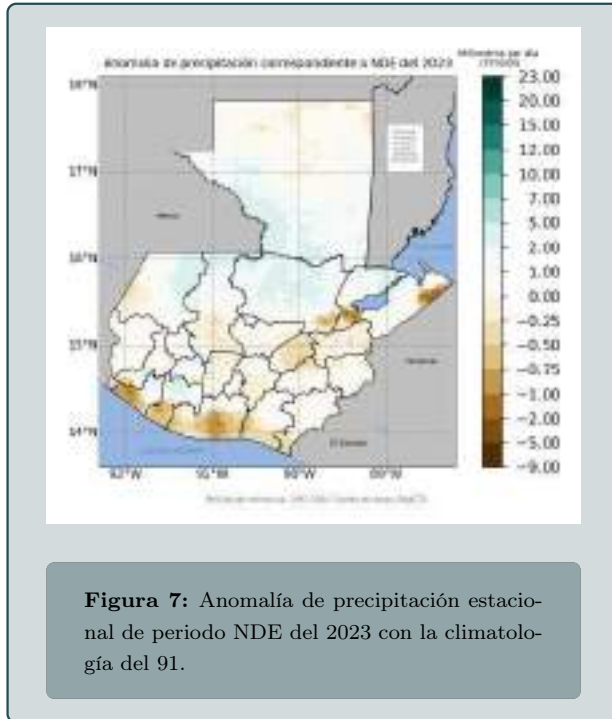
En la figura 6 se muestra el mapa de anomalías de precipitación diaria para el año 2023 respecto a la climatología del 1991-2020. Se pueden observar anomalías positivas en Izabal, San

Marcos, Huehuetenango, Quiché y este de Alta Verapaz, de hasta un rango entre 2 mm/día y 5 mm/día; las anomalías negativas se presentan en el resto del territorio donde los departamentos que presentan las anomalías más altas son oeste de Alta Verapaz, Escuintla, sur de Suchitepéquez y Retalhuleu con valores de hasta un rango entre -2 mm/día y -5 mm/día.



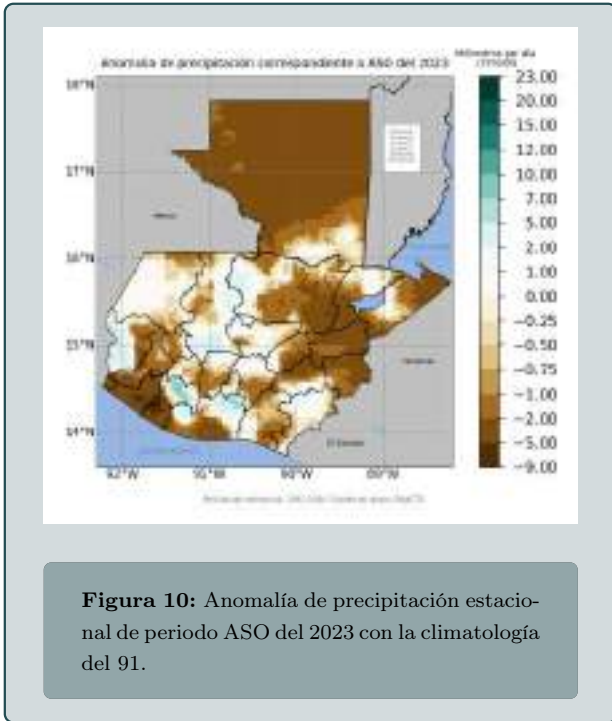
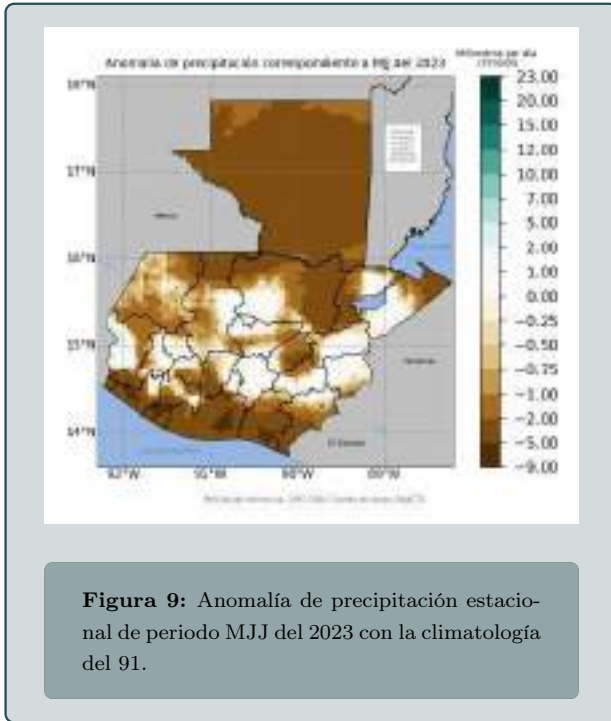
A continuación se muestran los mapas de anomalías de precipitación diaria de los 4 trimestres del 2023. El primer trimestre noviembre-diciembre-enero (NDE) es la primera estación cuyos dos primeros meses corresponden al 2022. En la figura 7 se observan anomalías negativas al sur del país, en la región Pacífico y en Izabal, alcanzando hasta valores entre -1 mm/día y -2 mm/día; también se alcanzaron anomalías positivas entre 2 mm/día y 5 mm/día en las regiones de Petén, franja transversal del Norte, Occidente, Bocacosta y Valles de Oriente.

La siguiente estación corresponde a los meses febrero-marzo-abril (FMA) del 2023. En la figura 8 se muestra el mapa de anomalías diarias de este trimestre, se pueden observar anomalías que alcanzan valores entre -1 mm/día y -2 mm/día en los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango, Retalhuleu y Alta Verapaz. Mientras que en Izabal se presentaron valores de hasta un rango entre 5 mm/día y 7 mm/día.



La tercera estación corresponde a los meses de mayo-junio-julio (MJJ). En la figura 9 se puede observar el mapa de anomalías correspondientes al tercer trimestre del 2023, la zona que presentó las anomalías máximas fue la región Pacífico donde se alcanzaron anomalías de entre -5 mm/día y -9 mm/día de precipitación diaria en ese trimestre. La región Petén presentó anomalías entre -2 mm/día y -5 mm/día. El departamento que presentó la anomalía más baja fue San Marcos con un valor entre 2 mm/día y 5 mm/día de precipitación diaria para esa estación.

La cuarta y última estación corresponde a los meses de agosto-septiembre-octubre (ASO) del 2023. En el mapa de la figura 10 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 negativa máxima se alcanza en los departamentos de Retalhuleu y Suchitepéquez con valores entre -5 mm/día y -9 mm/día. El este de Suchitepéquez y norte de Escuintla presentaron anomalías entre 7 mm/día y 10 mm/día.



En el cuadro 1 se muestran los promedios de precipitación diaria por periodo mensual, estacional y anual del año 2023 y de la climatología 1991-2020. En la cuarta columna se muestra la anomalía. Se puede observar que para todos los meses y estaciones del año se presentan la misma cantidad de anomalías positivas que de negativas, el año 2023 fue en promedio territorial caracterizado por tener anomalía negativa con un valor de -0.46 mm/día , lo que quiere decir que en ese año llovió menos que en la normal climatológica.

Periodo	Promedio de la climatología [†]	Precipitación media 2023	Anomalía
enero	2.46	1.72	-0.74
febrero	1.62	2.56	0.94
marzo	1.72	2.21	0.49
abril	2.43	1.82	-0.61
mayo	6.23	3.82	-2.41
junio	10.26	5.70	-4.56
julio	8.28	9.69	1.41
agosto	8.95	7.93	-1.02
septiembre	10.96	7.83	-3.13
octubre	8.91	8.97	0.06
noviembre	4.88	8.09	3.21
diciembre	2.54	3.39	0.85
NDE	3.21	3.81	0.60
FMA	1.93	2.19	0.26
MJJ	8.24	6.41	-1.83
ASO	9.59	8.25	-1.34
anual	5.79	5.33	-0.46

[†] climatología 1991 – 2020.

Cuadro 1: Precipitación media diaria mensual, estacional y anual de la normal climatológica y del año 2023 en milímetros. En la última columna se muestra la anomalía de Precipitación para cada periodo del año 2023 respecto a la normal.

En el cuadro 2 se muestran los acumulados promedio por periodo mensual y estacional del 2023 y de la climatología 1991-2020. El promedio se hace por todo el territorio guatemalteco. Se puede observar que el año 2023 presenta valores inferiores a la normal climatológica en los valores mínimos. Por otro lado, con respecto a los valores medios, se presentan valores mayores a la normal climatológica en la mitad de los períodos analizados; la otra mitad presenta valores menores que la normal climatológica. Para los valores máximos, se presentan tanto anomalías positivas como negativas.

Este cuadro permite analizar las estaciones seca y húmeda con 2 meses de transición.

periodo	1991-2020			2023		
	mínimo	media	máximo	mínimo	media	máximo
enero	0.58	76.32	328.14	0.00	53.22	214.62
febrero	1.04	45.84	198.46	0.00	71.78	375.78
marzo	3.84	53.41	179.40	0.00	68.52	322.10
abril	24.14	73.03	200.15	0.00	54.55	248.18
mayo	91.83	193.22	545.48	3.68	118.30	413.65
junio	149.70	307.83	586.95	37.64	171.02	733.98
julio	93.52	256.75	990.53	55.75	300.39	1218.20
agosto	116.21	277.38	607.97	80.24	245.69	616.37
septiembre	159.33	328.75	650.66	24.39	234.85	709.95
octubre	93.96	276.36	607.57	50.48	278.21	956.29
noviembre	17.80	146.38	496.38	6.13	242.63	1089.60
diciembre	2.55	78.59	316.31	0.00	104.96	483.64
NDE	24.05	295.59	1092.80	21.92	350.19	1158.70
FMA	31.45	172.28	510.10	0.00	194.86	863.99
MJJ	376.37	757.81	1678.00	174.87	589.71	1625.60
ASO	370.42	882.49	1737.90	204.86	758.76	2175.30

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 2023 y de igual manera para la climatología del 1991-2020.

En la figura 11 se presenta el acumulado de precipitación mensual para el año 2023. La línea azul es la media del periodo de referencia 1991-2020 y la línea roja es el valor para cada mes del 2023. Se puede observar un aumento en la precipitación en los meses de mayo a noviembre siendo éstos los de la época lluviosa. Se presenta en julio el primer pico de precipitación y el segundo en octubre. Abril y noviembre son los meses de transición de la normal climatológica. En los meses de Agosto y Septiembre hubo una disminución de precipitación en el año 2023, debido a la canícula característica de la región. Sin embargo, la normal climatológica presenta la canícula en los meses de julio y agosto. La época lluviosa estuvo desplazada por un mes más tarde que la normal.

También se puede observar que en general en el año 2023 hubo mayor precipitación que la normal en los meses con picos de precipitación.

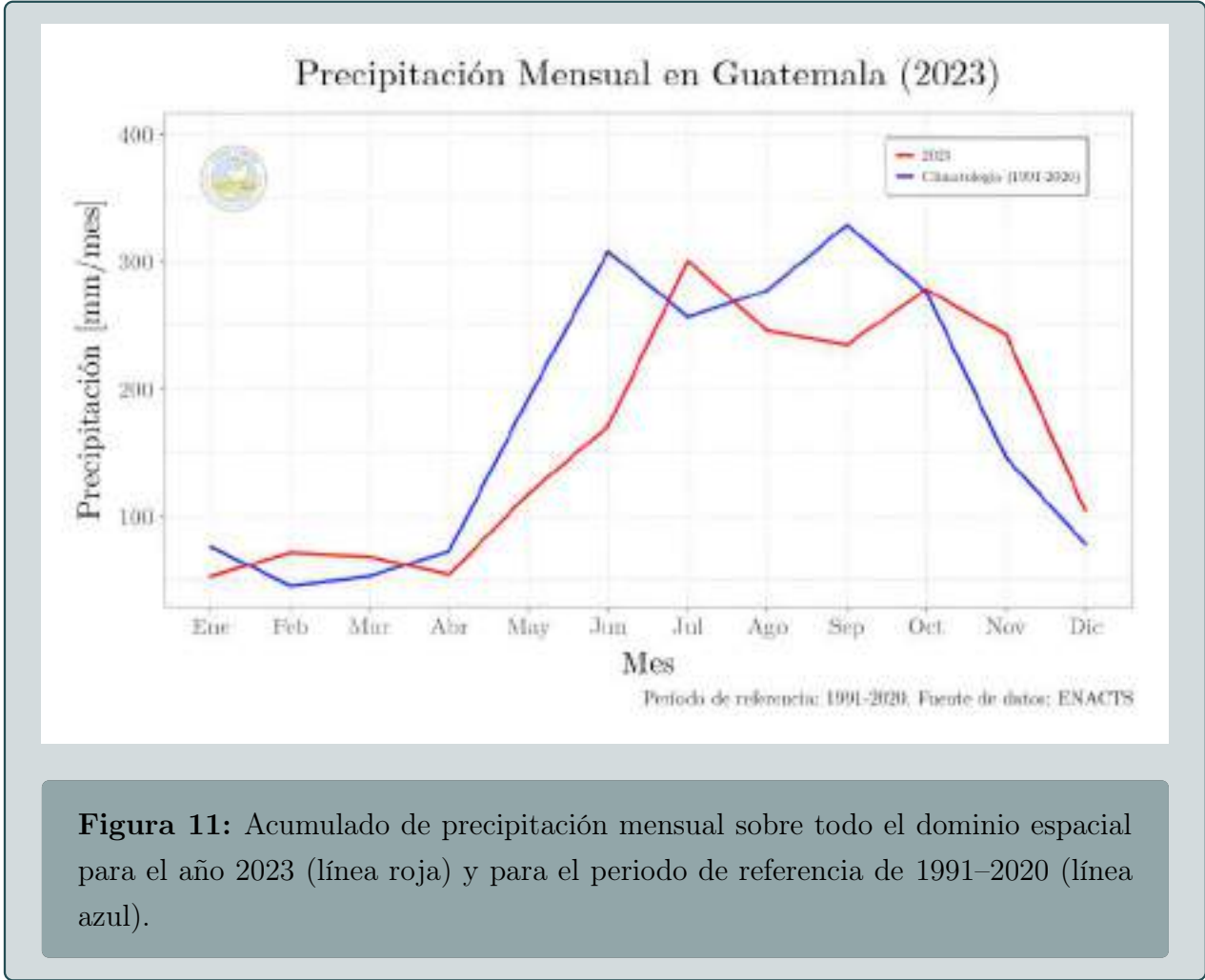


Figura 11: Acumulado de precipitación mensual sobre todo el dominio espacial para el año 2023 (línea roja) y para el periodo de referencia de 1991–2020 (línea azul).

En la figura 12 se muestra el acumulado de precipitación por día. Se puede observar que en los meses de enero a mayo 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 junio a noviembre se puede observar una pendiente en aumento, indicando que la precipitación acumulada iba aumentando conforme pasaban los días.

La línea azul representa la media de la climatología 1991-2020 y la línea roja el año 2023. Se observa que hubo menor precipitación acumulada en el año 2023 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 2023.

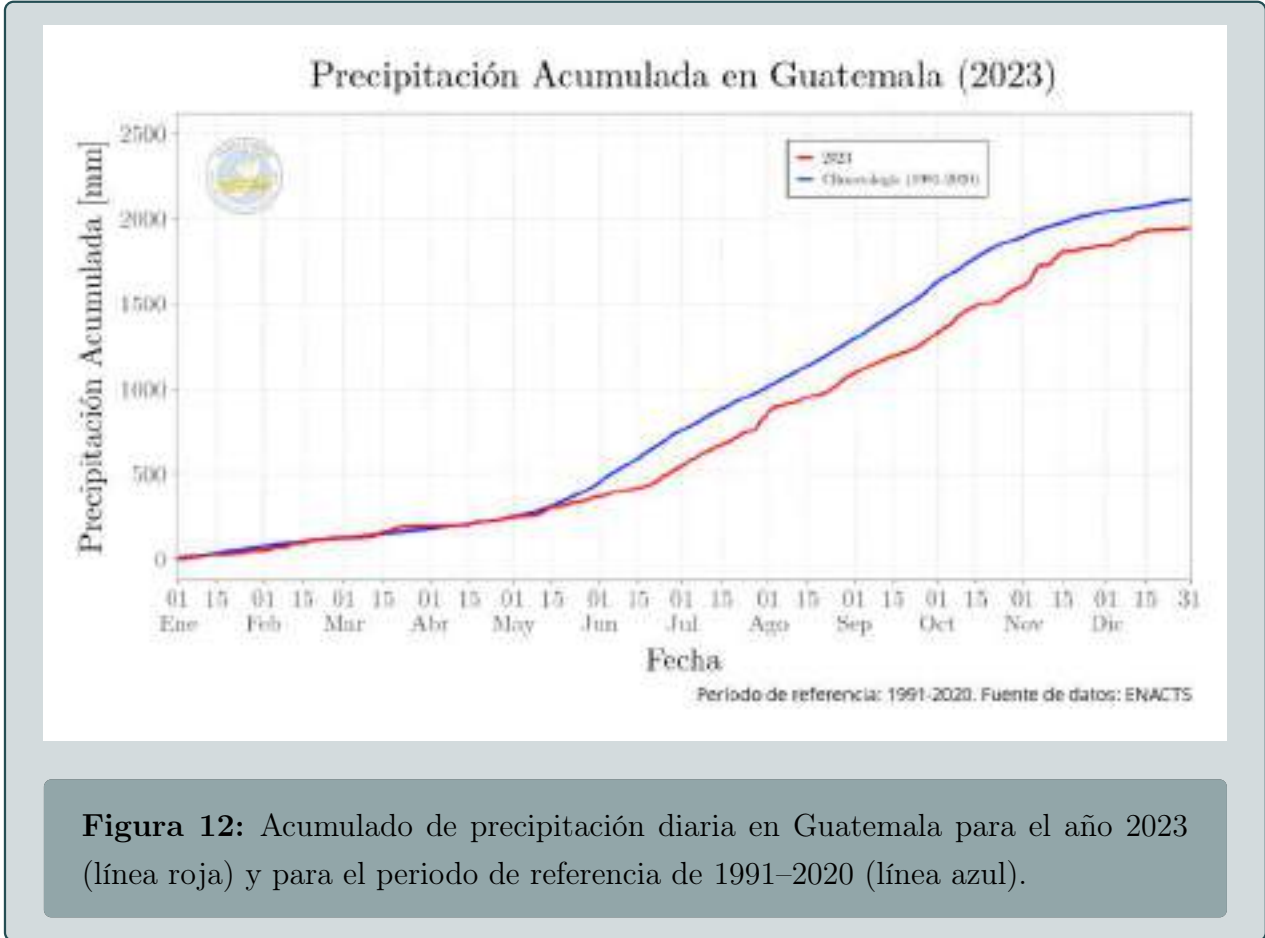


Figura 12: Acumulado de precipitación diaria en Guatemala para el año 2023 (línea roja) y para el periodo de referencia de 1991–2020 (línea azul).

En la figura 13 se presenta el cálculo de la figura 11 de acumulado mensual por regiones en el mapa. El tamaño de las celdas contiguas es de $1.05^\circ \times 0.90^\circ$, la línea roja muestra el acumulado mensual del 2023 y la azul los valores promedios de la climatología.

El comportamiento bimodal se aprecia mejor en la región del centro del país. Por otro lado, en el departamento de Izabal se puede observar un aumento significativo de la precipitación en los meses de julio y noviembre. Se observa que la época lluviosa se encuentra desfasada por un mes con la climatología en las regiones sur centro del país.

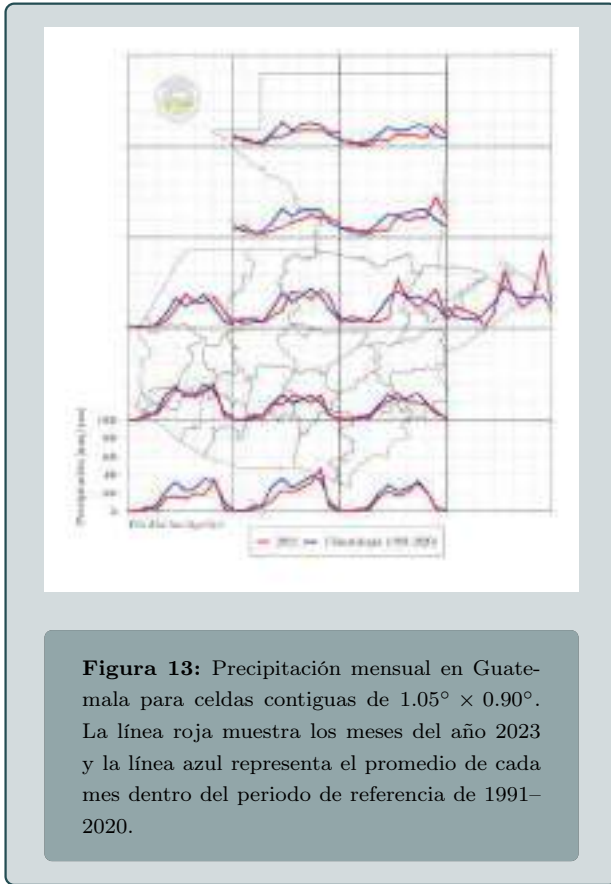


Figura 13: Precipitación mensual en Guatemala para celdas contiguas de $1.05^\circ \times 0.90^\circ$. La línea roja muestra los meses del año 2023 y la línea azul representa el promedio de cada mes dentro del periodo de referencia de 1991–2020.

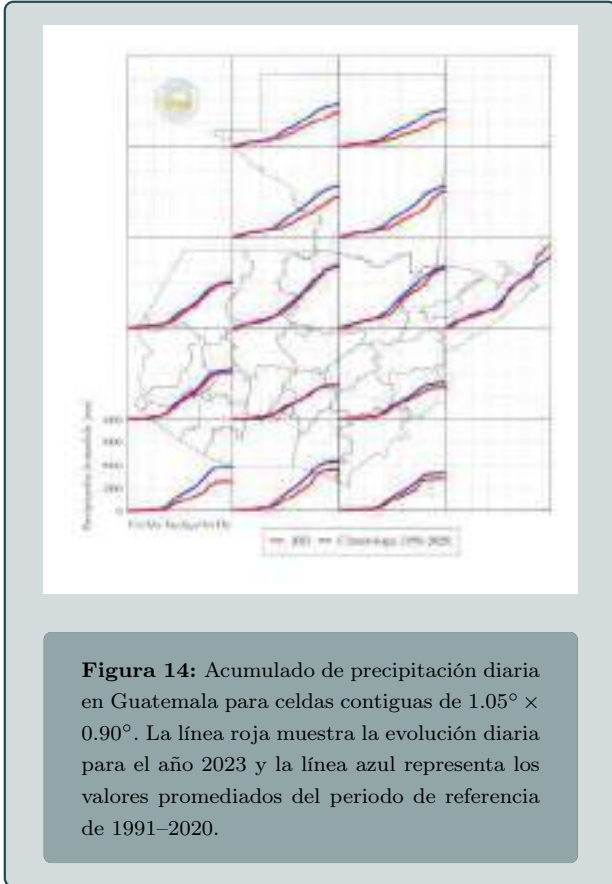


Figura 14: Acumulado de precipitación diaria en Guatemala para celdas contiguas de $1.05^\circ \times 0.90^\circ$. La línea roja muestra la evolución diaria para el año 2023 y la línea azul representa los valores promediados del periodo de referencia de 1991–2020.

En la figura 14 se presenta el cálculo de acumulado diario por regiones de celdas contiguas de $1.05^\circ \times 0.90^\circ$. La línea roja muestra la evolución diaria para el año 2023 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 2023 estuvo por debajo de la media en cuanto a precipitación.

En el cuadro 3 se muestra el conjunto de estaciones que registraron los días con mayor precipitación. Por su parte, en los cuadros 4 y 5 se muestran las estaciones que contabilizaron la mayor y menor precipitación acumulada durante 2023.

Nombre estación	Ubicación	Precipitación [mm]	Día
Puerto Barrios PHC	Puerto Barrios, Izabal	199.6	5 de noviembre
Puerto Barrios PHC	Puerto Barrios, Izabal	182.4	6 de noviembre
Sabana Grande	Escuintla, Escuintla	182.2	6 de octubre
Mazatenango	Mazatenango, Suchitepéquez	172.4	2 de octubre
Sabana Grande	Escuintla, Escuintla	161.9	2 de octubre

Cuadro 3: Serie de estaciones que registraron los días con mayor precipitación durante 2023

Nombre estación	Ubicación	Precipitación acumulada [mm]
La Reforma	La Reforma, San Marcos	4863.6
Catarina	Catarina, San Marcos	4422.6
Mazatenango	Mazatenango, Suchitepéquez	3943.7
Puerto Barrios PHC	Puerto Barrios, Izabal	3660.5
Sabana Grande	Escuintla, Escuintla	3617.2

Cuadro 4: Serie de estaciones que registraron mayor precipitación acumulada durante 2023

Nombre estación	Ubicación	Precipitación acumulada [mm]
Santa Cruz Quiché	Santa Cruz del Quiché, Quiché	308.4
Pasabien	Río Hondo, Zacapa	652.3
Antigua Guatemala	Antigua Guatemala, Sacatepéquez	657.5
Ixchiguán	Ixchiguán, San Marcos	658.3
Sacapulas	Sacapulas, Quiché	746.1

Cuadro 5: Serie de estaciones que registraron menor precipitación acumulada durante 2023

4.2. Temperatura

Para el dominio espacial completo, el año 2023 presentó en Guatemala una tendencia cálida en cuanto a temperatura con una anomalía de 1.14°C por encima del promedio anual del periodo de referencia 1991–2020, lo que lo posiciona como el año más cálido dentro de la serie analizada. Cabe mencionar que el 87% de los días del año 2023 presentaron una temperatura media superior que el valor medio diario del período de referencia 1991-2020. Así mismo, la temperatura más alta registrada durante el año fue de 41.8°C en el municipio de Estandzuela, Zacapa; mientras que la temperatura más baja registrada fue de -5.6°C en el municipio de Olintepeque, Quetzaltenango.

En la figura 15 se muestra la serie de datos de temperatura media anual en Guatemala de 1981 a 2023. La línea continua gris representa el valor promedio anual del periodo de referencia, correspondiente a 23.97°C . 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 el cuadro 6

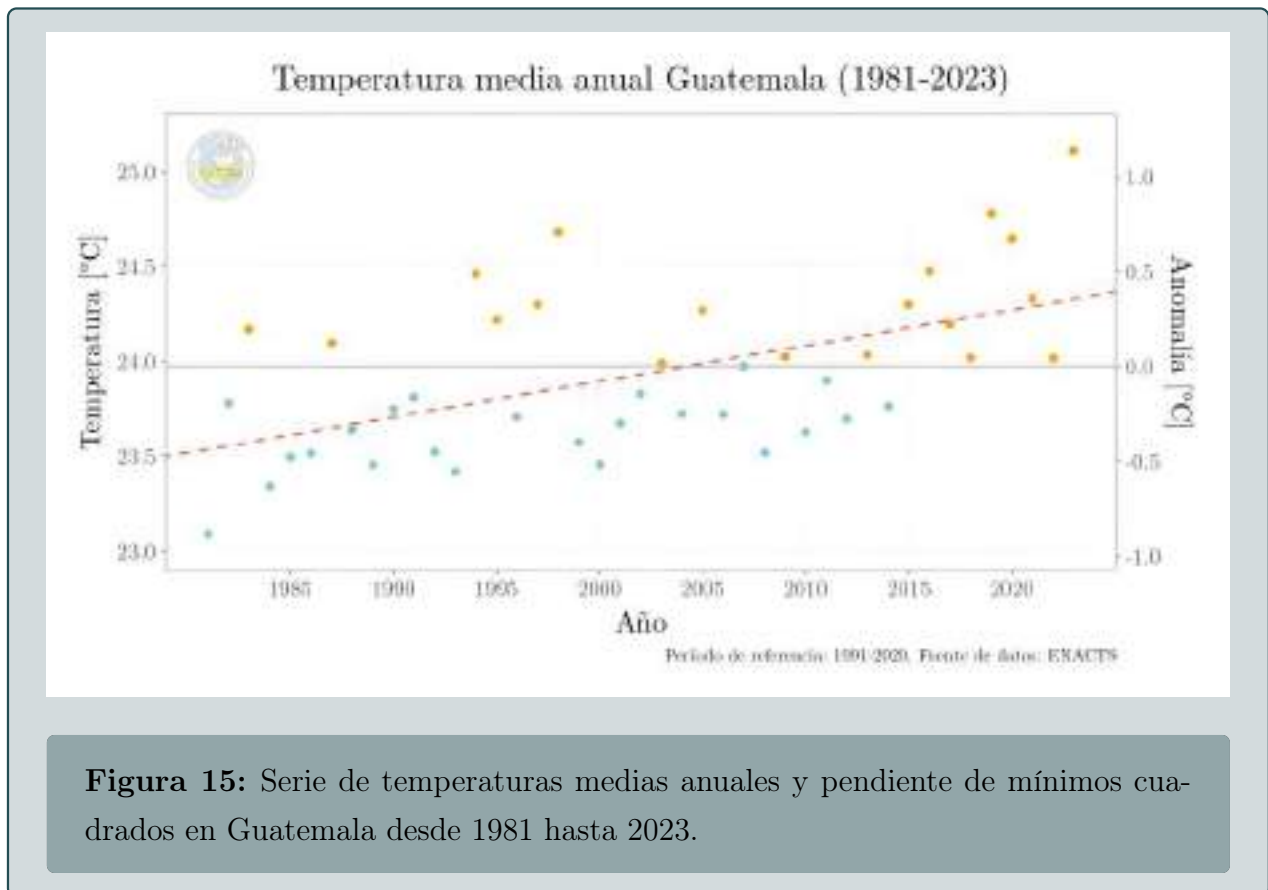


Figura 15: Serie de temperaturas medias anuales y pendiente de mínimos cuadrados en Guatemala desde 1981 hasta 2023.

Año	Temperatura media [°C]	Anomalía [°C]	Orden
2023	25.11	1.14	1
2019	24.78	0.81	2
1998	24.68	0.71	3
2020	24.65	0.68	4
2016	24.48	0.51	5

Cuadro 6: Años más calientes de la serie de datos de 1981 a 2023. 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 una regresión de mínimos cuadrados para determinar la pendiente de la serie de datos. La pendiente encontrada con este método (línea discontinua color rojo en la figura 15) indica un aumento de 0.019 °C por año, lo que representa un incremento de 0.80 °C en la temperatura media anual entre 1981 y 2023.

En la figura 16 se muestra la serie de datos de temperatura máxima promedio anual en Guatemala de 1981 a 2023. La línea continua gris representa el valor promedio anual del periodo de referencia, correspondiente a 29.61 °C. Los colores naranja y celeste de los puntos indica si el valor se encuentra por encima o debajo de la normal, respectivamente. Luego de realizar la prueba de Mann-Kendall, se rechazó la hipótesis alternativa al obtener un p – value > 0.05 , lo que indica que no existe tendencia en los datos. Al aplicar una regresión de mínimos cuadrados, se determinó una pendiente de 0.006 °C por año (línea discontinua color rojo en la figura 16), lo que representa un incremento de 0.25 °C en la temperatura máxima promedio anual entre 1981 y 2023.



Figura 16: Promedio de la temperatura máxima diaria para cada año y pendiente de mínimos cuadrados en Guatemala desde 1981 hasta 2023.

En la figura 17 se muestra la serie de datos de temperatura mínima promedio anual en Guatemala de 1981 a 2023. La línea continua gris representa el valor promedio anual del periodo de referencia, correspondiente a 17.59°C . Los colores naranja y celeste de los puntos indica si el valor se encuentra por encima o debajo de la normal, respectivamente. Al realizar la prueba de Mann-Kendall, se obtuvo un p – value < 0.05 , con lo que se aceptó la hipótesis alternativa, es decir, sí existe tendencia en los datos. Luego de aplicar una regresión de mínimos cuadrados, se determinó una pendiente de 0.017°C por año (línea discontinua color rojo en la figura 17), lo que representa un incremento de 0.71°C en la temperatura mínima promedio anual entre 1981 y 2023.



Figura 17: Promedio de la temperatura mínima diaria para cada año y pendiente de mínimos cuadrados en Guatemala desde 1981 hasta 2023.

En el año 2023, para el dominio espacial completo, el 87% de los días presentaron temperaturas medias por encima del valor medio diario del periodo de referencia 1991–2020 (figura 18).

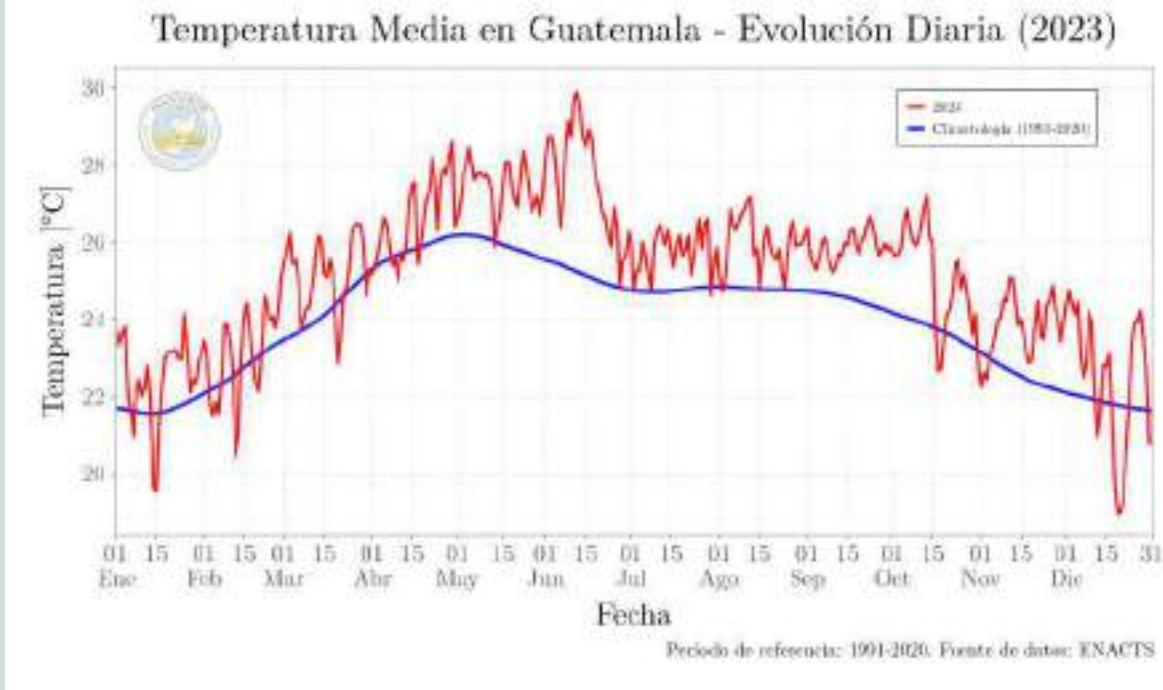


Figura 18: Evolución diaria de la temperatura media en Guatemala. La línea continua azul muestra los valores promediados del período de referencia de 1991 a 2020, y la línea continua roja los valores del año 2023

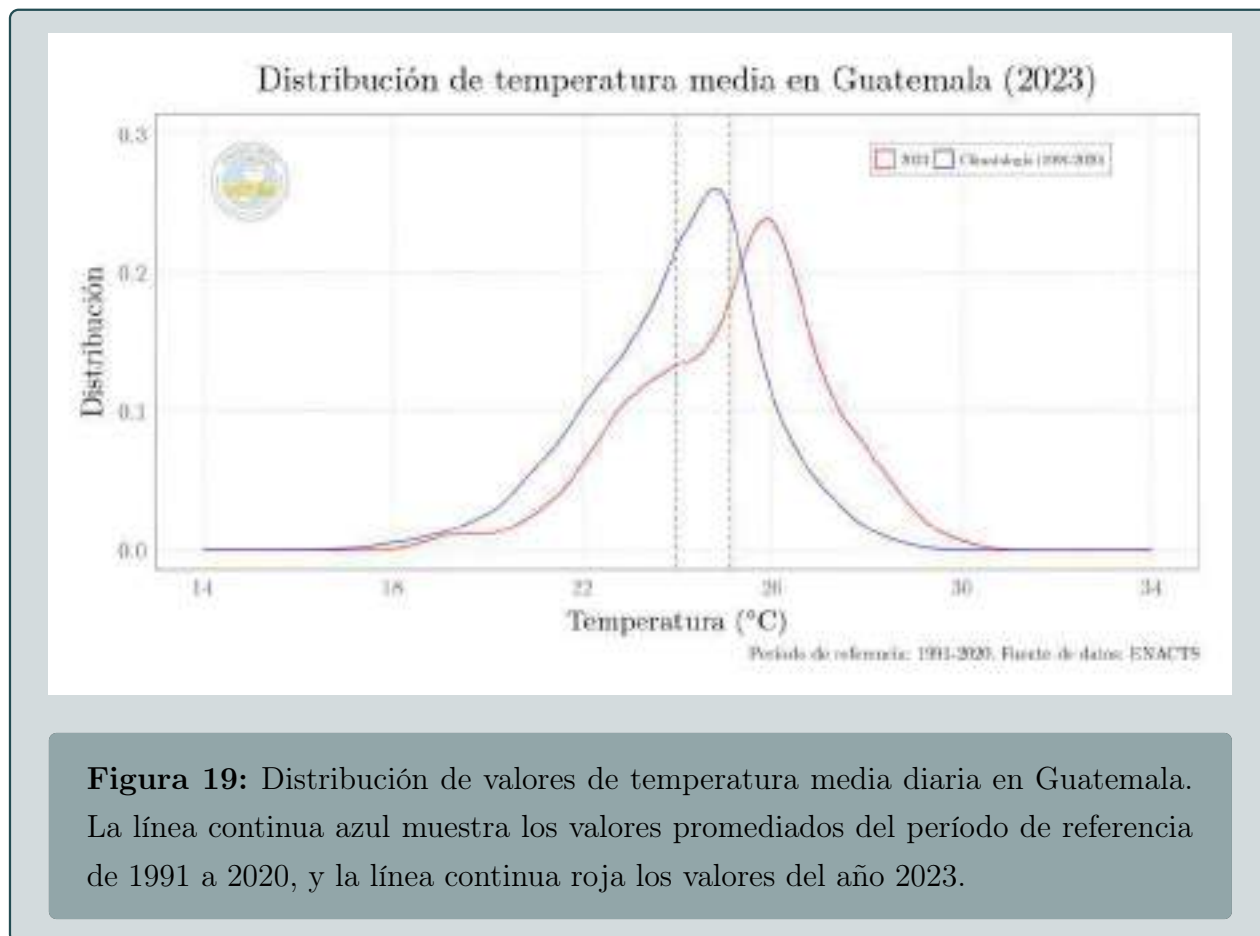
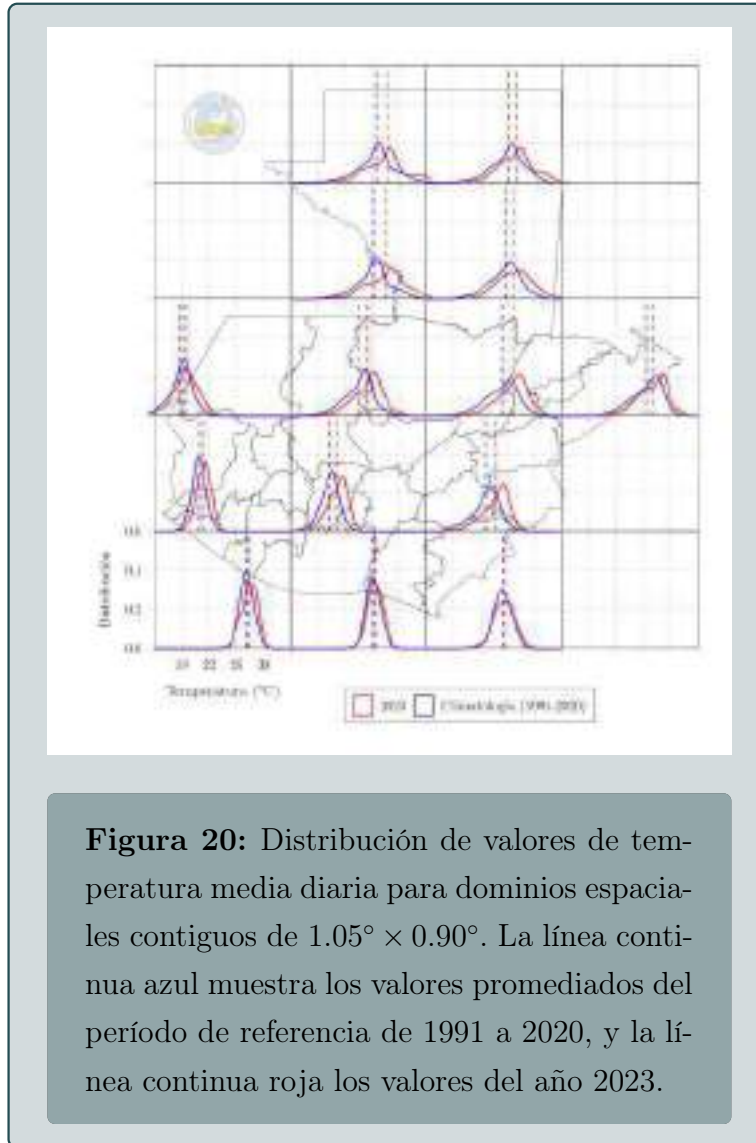


Figura 19: Distribución de valores de temperatura media diaria en Guatemala. La línea continua azul muestra los valores promediados del período de referencia de 1991 a 2020, y la línea continua roja los valores del año 2023.

En cuanto al comportamiento espacial de la temperatura media, en la figura 20, 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 período de referencia de 1991 a 2020 y la línea continua roja los valores del año 2023. Las líneas verticales discontinuas muestran la temperatura media para el año 2023 (roja) y el período 1991 a 2020 (azul). Espacialmente, todas las celdas tienen una temperatura media anual superior del valor promedio normal. Para las celdas cercanas al litoral Pacífico, los valores diarios de temperatura media tienen distribuciones bien definidas y fuertemente centradas en el valor promedio, alrededor de $26 - 27^{\circ}\text{C}$. Por otro lado, las celdas cercanas al litoral Caribe y al Norte de Guatemala tienen una distribución de temperatura menos concentrada y extendida sobre un mayor rango de temperaturas. Las celdas ubicadas en la región Occidente del país tienen curvas de distribución con valores más a la izquierda de la escala de temperatura.



En cuanto al comportamiento espacial de la temperatura media, en el mapa de la figura 21 se observan anomalías térmicas cercanas a 2.5°C a 4.0°C por encima de la normal (climatología 1991 – 2020) en la intersección entre los departamentos de Alta y Baja Verapaz, El Progreso y Zacapa; y en la región sur de Quiché. En la mayor parte de Petén, Chiquimula y Caribe, se observan anomalías térmicas de 1.5°C a 2.5°C por encima de la normal (climatología 1991 – 2020). En ciertas partes de la región del Caribe, Occidente, Franja Transversal del Norte, Bocacosta y Valles de Oriente se pueden encontrar valores de anomalías entre 0.0°C a 1.0°C por encima de la normal (climatología 1991 – 2020). En la parte norte del departamento de Suchitepéquez se puede encontrar una anomalía de -1.0°C a -0.5°C por debajo de la normal (climatología 1991 – 2020)..

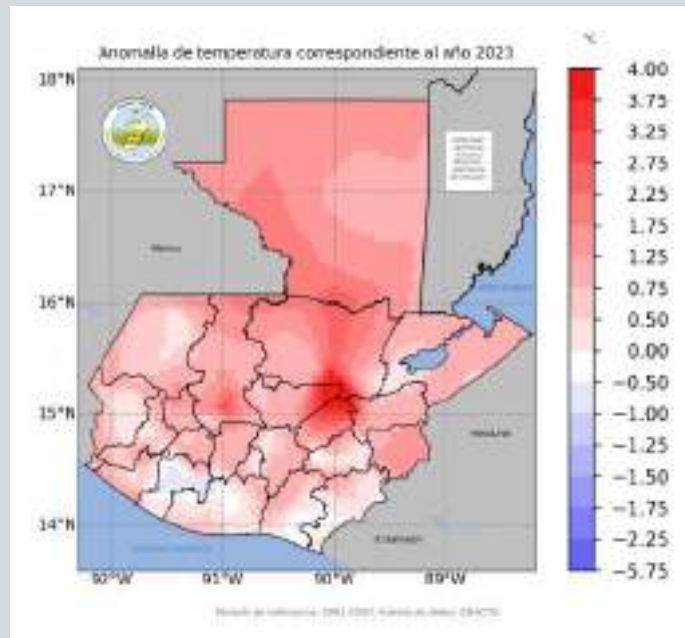
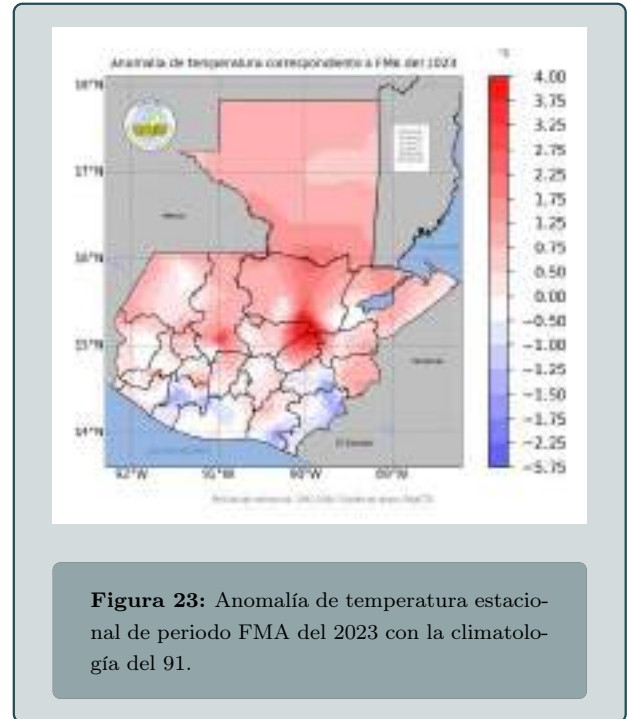
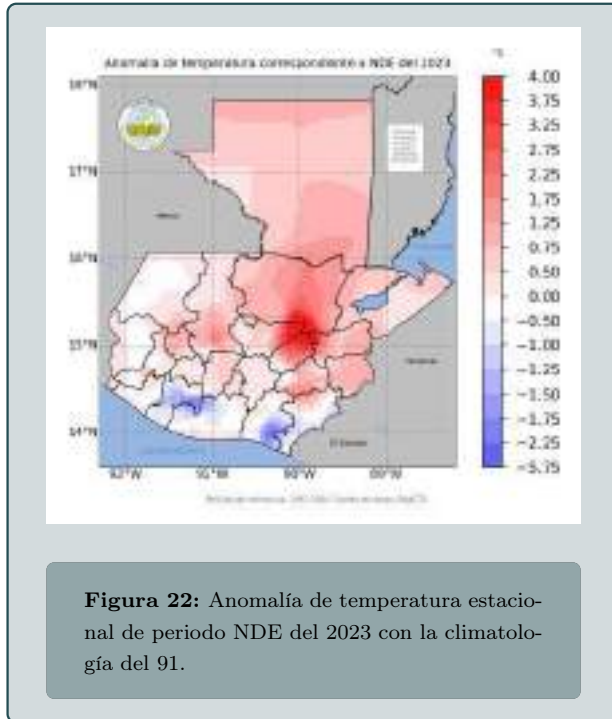
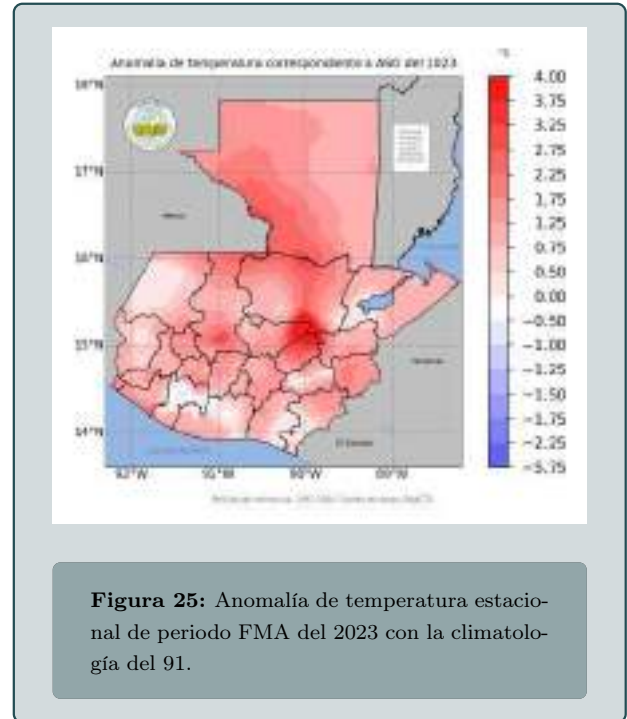
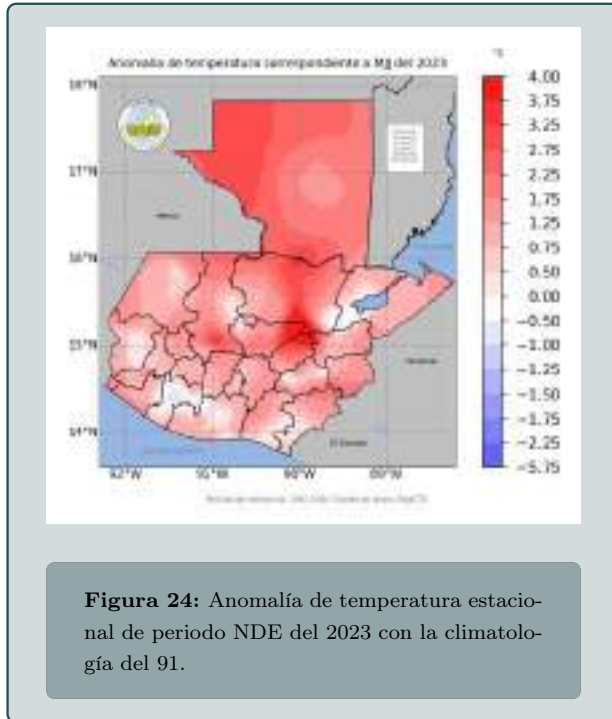


Figura 21: Mapa de anomalía de la temperatura media en el año 2023 respecto a la climatología 1991 – 2020. Fuente: ENACTS



La estación NDE 2023 comprendida por los meses de noviembre 2022 - diciembre 2022 - enero 2023 presentó una anomalía positiva superando en 0.75°C al valor de la media de esa estación dentro del periodo de referencia. El valor de la temperatura media de enero de 2023 sobre Guatemala fue 22.49°C , quedando 0.86°C por encima de la media de ese mes. En la intersección entre los departamentos de Alta y Baja Verapaz, El Progreso y Zacapa; y en la región sur de Quiché se encuentran anomalías que alcanzan valores de hasta 4.0°C . Como se muestra en el mapa de la figura 22, en ciertas partes de las regiones Bocacosta y Pacífico se pueden observar anomalías negativas que van de -2.25°C a -1.0°C .

La estación febrero - marzo -abril (FMA) 2023, tuvo una anomalía positiva quedando 0.68°C por encima del valor de la media de esta estación. La temperatura media mensual para los meses de febrero, marzo y abril fueron 23.09°C , 25.16°C y 26.56°C , respectivamente, valores que quedan por encima de la media de cada uno de esos meses dentro del periodo de referencia. La estación FMA fue la que presentó una menor anomalía, en comparación con el resto de estaciones, con respecto al periodo de referencia. En la intersección entre los departamentos de Alta y Baja Verapaz, El Progreso y Zacapa; y en la región sur de Quiché de la figura 23, se observan anomalías de hasta 4.0°C . En la región Franja Transversal del Norte se observan anomalías positivas de 0.5°C a 1.5°C . Anomalías negativas se encuentran principalmente en algunas regiones de Pacífico, y Bocacosta -1.75°C a -1.25°C .



La temperatura media de la estación mayo - junio - julio del 2023 alcanzó un promedio de 26.92 °C dando como resultado una anomalía de 1.65 °C respecto al valor medio de esa estación. En mayo, la temperatura media mensual fue 27.40 °C quedando 1.44 °C por encima del valor normal de ese mes. Para el mes de junio, la anomalía térmica también fue positiva y la más notable de todos los meses, quedando 2.51 °C por encima del valor de la media del mes. El mes de julio presenta una anomalía de 1.01 °C. En la figura 24 se puede observar la distribución espacial de la anomalía estacional MJJ, en la cual la mayor parte del territorio de Guatemala presenta anomalías positivas con valores que van de 0.5 °C a 4.0 °C. En algunas regiones de Petén y Franja Transversal del Norte las anomalías van de 1.75 °C a 3.75 °C, mientras que en regiones como Occidente, Altiplano Central y Valles de Oriente, las anomalías van de 0.0 °C a 1.75 °C. En cuanto a anomalías negativas, solo se puede observar en la parte Norte del departamento de Suchitepéquez -1.0 °C a 0.0 °C.

La estación ASO (agosto - septiembre - octubre) tuvo una anomalía positiva de 1.29 °C respecto al valor medio de esa estación de la climatología 1991 – 2020. Los meses de agosto, septiembre y octubre registraron, de acuerdo a datos de ENACTS, valores de temperatura media mensual de 25.95 °C, 25.87 °C y 25.15 °C, respectivamente. En la figura 25 se presenta el mapa de anomalías para la estación ASO. Se observan anomalías negativas en la mayor parte del país. En las algunas regiones de Petén y Franja Transversal del Norte con valores que alcanzan los 1.5 °C a 3.0 °C. En las regiones Pacífico, Bocacosta, Valles de Oriente, Caribe, Altiplano Central y Occidente se observan valores de 0.0 °C a 1.5 °C superiores a la

media para esta estación. En cuanto a anomalías negativas, solo se puede observar en una pequeña parte del departamento de Suchitepéquez -1.0°C a 0.0°C .

En el cuadro 7 se adjuntan los valores de la temperatura media para cada mes del año 2023, así como los promedios estacionales y el promedio anual. De igual manera se adjuntan 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 2023	Anomalía
enero	21.63	22.49	0.86
febrero	22.75	23.09	0.34
marzo	24.19	25.16	0.97
abril	25.86	26.56	0.70
mayo	25.96	27.40	1.44
junio	25.11	27.62	2.51
julio	24.75	25.76	1.01
agosto	24.79	25.95	1.16
septiembre	24.53	25.87	1.34
octubre	23.75	25.15	1.40
noviembre	22.51	23.78	1.27
diciembre	21.83	22.44	0.61
NDE	21.97	22.72	0.75
FMA	24.30	24.98	0.68
MJJ	25.27	26.92	1.65
ASO	24.36	25.65	1.29
anual	23.97	25.11	1.14

[†] climatología 1991 – 2020.

Cuadro 7: Temperatura media mensual, estacional y anual de la normal climatológica y del año 2023 en grados Celsius. En la última columna se muestra la anomalía térmica de cada periodo del año 2023 respecto a la normal.

En el cuadro 8 se muestran los valores de temperatura promedio por período mensual, estacional y anual del 2023 y de la climatología 1991-2020. El promedio se hace para todo el territorio guatemalteco. Se puede observar que el año 2023 presenta valores mayores a la

normal climatológica tanto en el valor medio como en los valores máximos. Por otro lado, los valores mínimos registrados son mayores que los de la normal climatológica a excepción de los meses de febrero y abril.

periodo	1991-2020			2023		
	mínimo	media	máximo	mínimo	media	máximo
enero	5.04	21.63	28.75	5.47	22.49	32.87
febrero	6.12	22.75	29.19	6.02	23.09	32.19
marzo	7.76	24.19	29.78	8.08	25.16	34.63
abril	9.00	25.86	31.21	8.94	26.56	35.50
mayo	8.85	25.96	31.47	9.58	27.40	35.02
junio	8.58	25.11	30.41	9.63	27.62	35.52
julio	8.16	24.75	29.87	8.67	25.76	35.14
agosto	8.30	24.79	30.54	8.65	25.95	35.33
septiembre	8.20	24.53	30.51	8.67	25.87	34.51
octubre	7.51	23.75	29.68	8.24	25.15	34.22
noviembre	6.01	22.51	28.79	6.90	23.78	29.55
diciembre	5.45	21.83	28.63	5.92	22.44	31.29
NDE	5.49	21.97	28.71	5.79	22.72	32.37
FMA	7.66	24.30	29.86	7.72	24.98	34.15
MJJ	8.53	25.27	30.58	9.29	26.92	35.22
ASO	8.00	24.36	30.24	8.52	25.65	34.69
Anual	7.42	23.97	29.50	7.91	25.11	33.74

Cuadro 8: Promedio de temperatura según períodos mensuales, estacionales, y anual. Se presenta el mínimo, el máximo y la media geográfica dentro del territorio nacional para el año 2023 y de igual manera para la climatología del 1991-2020.

En los cuadros 9 y 10 se muestran las temperaturas más altas y más bajas registradas en Guatemala durante 2023, respectivamente. Se muestra también la estación que registró la temperatura y el día en que se registró.

Nombre estación	Ubicación	Temperatura máxima [°C]	Día
La Fragua	Puerto Estanzuela, Zacapa	41.8	28 de abril
Flores Aeropuerto	Flores, Petén	41.6	11 de junio
Flores Aeropuerto	Flores, Petén	41.6	16 de junio
Flores Aeropuerto	Flores, Petén	41.4	12 de junio
Flores Aeropuerto	Flores, Petén	41.0	17 de junio

Cuadro 9: Serie de estaciones que registraron las temperaturas más altas durante 2023.

Nombre estación	Ubicación	Temperatura mínima [°C]	Día
Labor Ovalle	Olintepeque	-5.6	19 de diciembre
Labor Ovalle	Olintepeque	-5.2	20 de diciembre
Los Altos	Quetzaltenango	-5.0	19 de diciembre
Los Altos	Quetzaltenango	-4.4	29 de enero
Los Altos	Quetzaltenango	-4.4	16 de febrero

Cuadro 10: Serie de estaciones que registraron las temperaturas más bajas durante 2023. Todas las estaciones están ubicadas en el departamento de Quetzaltenango.

En los cuadros 11 y 12 se muestran las estaciones que registraron las mayores y menores temperaturas medias durante 2023. Se muestra también los valores de temperatura y la ubicación de la estación.

Nombre estación	Ubicación	Temperatura media [°C]
Champerico Fegua	Champerico, Retalhuleu	29.89
Montufar	Moyuta, Jutiapa	29.68
La Fragua	Estanzuela, Zacapa	29.04
San Agustín Acasaguastlán	San Agustín Acasaguastlán, El Progreso	28.95
Tecún Umán Fegua Ayutla	Ayutla, San Marcos	28.92

Cuadro 11: Serie de estaciones que registraron mayor temperatura media durante todo 2023.

Nombre estación	Ubicación	Temperatura media [°C]
San Marcos PCH	San Marcos, San Marcos	14.22
Todos Santos	Todos Santos Cuchumatán, Huehuetenango	14.36
El Tablón	Sololá, Sololá	15.65
Los Altos	Quetzaltenango, Quetzaltenango	15.75
Labor Ovalle	Olintepeque, Quetzaltenango	15.95

Cuadro 12: Serie de estaciones que registraron menor temperatura media durante todo 2023.

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;170-90O). Si el Índice presenta valores por arriba de 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.

El año 2023 inició con el Índice oceánico El Niño (ONI) en Fase de La Niña, posteriormente de febrero a mayo se mantuvo en Fase Neutra y para el periodo de junio a diciembre cambio a Fase El Niño llegando a tener su valor máximo en diciembre.

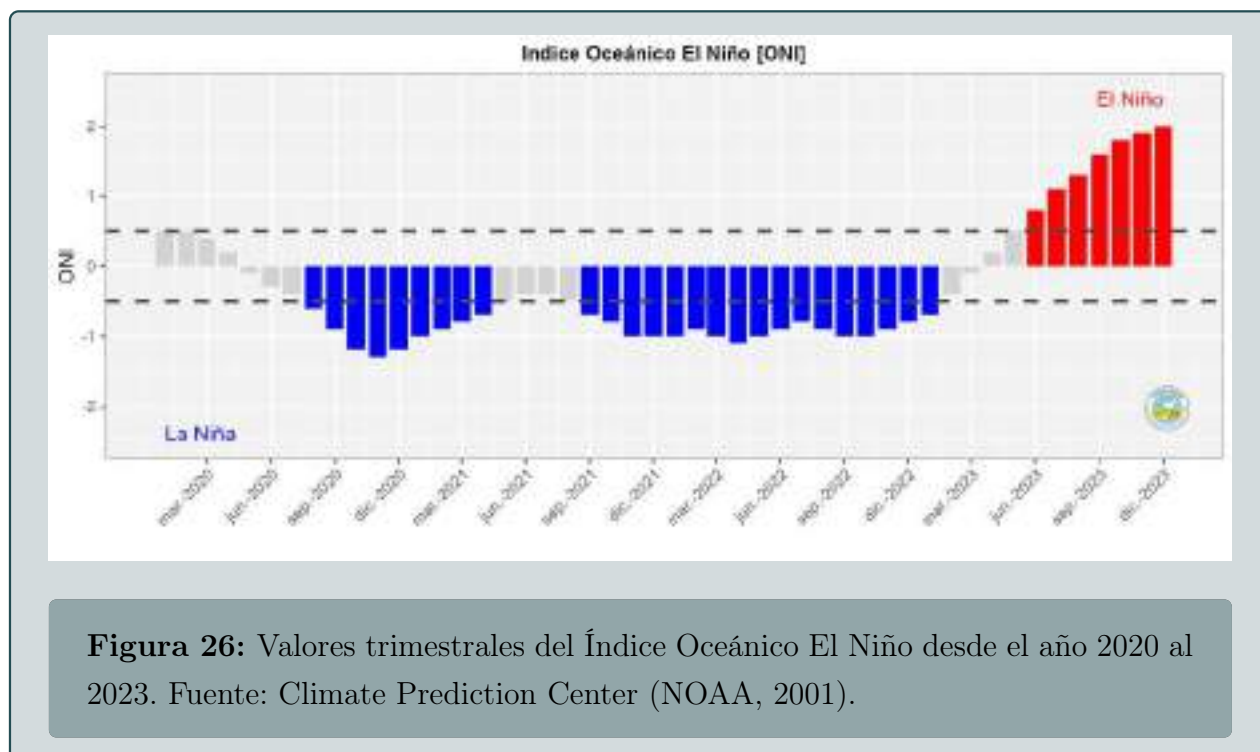


Figura 26: Valores trimestrales del Índice Oceánico El Niño desde el año 2020 al 2023. Fuente: Climate Prediction Center (NOAA, 2001).

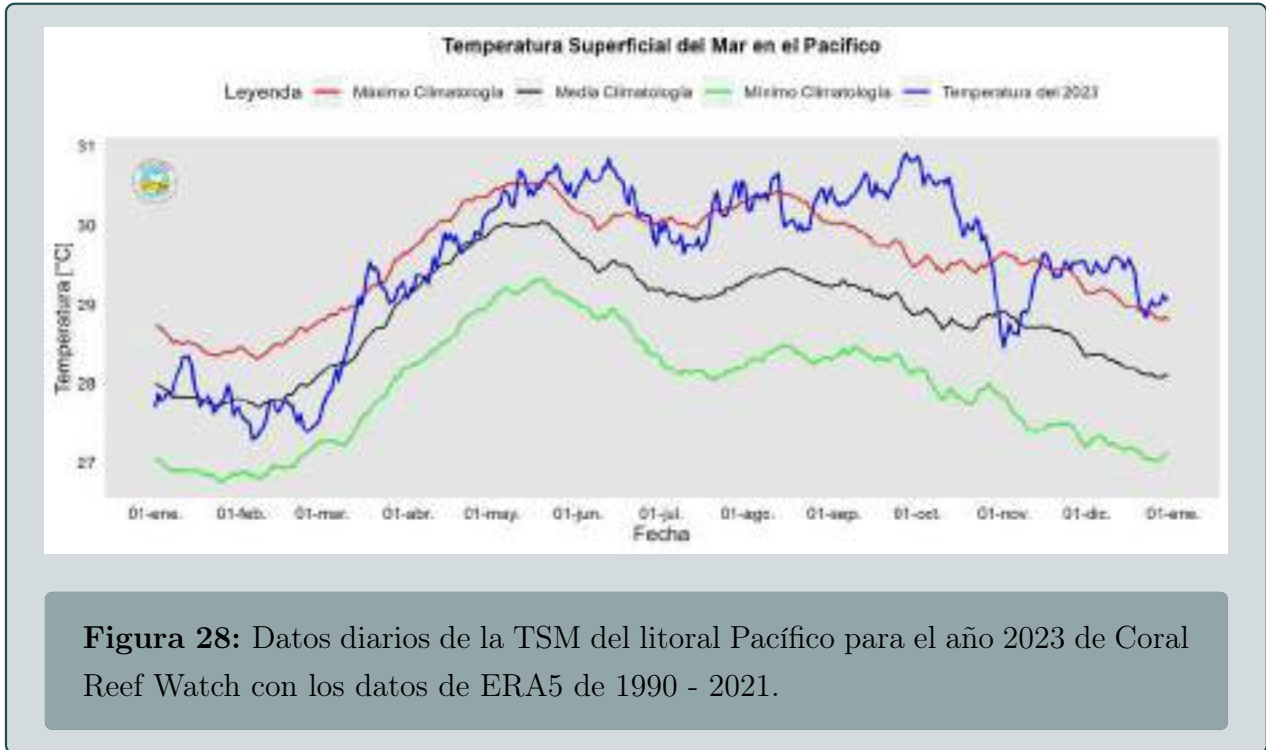
AÑO	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	DND	NDJ
2020	0.5	0.5	0.4	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.6	0.9	-1.2	-1.3	-1.2
2021	-1.0	-0.9	-0.8	-0.7	-0.5	-0.4	-0.4	-0.5	0.7	-0.8	-1.0	-1.0
2022	-1.0	-0.9	-1.0	-1.1	-1.0	-0.9	-0.8	-0.9	1.0	-1.0	-0.9	-0.8
2023	-0.7	-0.4	-0.1	0.2	0.5	0.8	1.1	1.3	1.6	1.8	1.9	2.0

Figura 27: Valores Trimestrales del Índice Océanico El Niño desde el año 2020 al 2023. Fuente: Climate Prediction Center)

4.3.2. Análisis de la Región cercana a Guatemala

En el año 2023 ocurrió la transición de Fase la Niña – Neutro – El Niño, siendo este último el que predominó durante la mayor parte del año, ante esto, se esperaban que la mayor parte de la región cercana a Guatemala presentara anomalías en la TSM positivas. Para la región del litoral Pacífico los primeros meses del año reportaron valores negativos manteniéndose hasta el mes de abril, a partir del cual los valores de anomalía aumentaron llegando a su máximo en octubre (2.01). En cuanto al litoral Atlántico todo el año se mantuvo con anomalías positivas respecto a la climatología 1991 – 2020.

Con respecto al análisis diario de la TSM en el litoral Pacífico, los valores de la climatología de 1990 al 2021, presentan las temperaturas más altas alrededor de mayo y agosto, con un leve incremento alrededor de noviembre, con una variación media entre estos meses de 0.55°C. La TSM en el año 2023 se mantuvo sobre la media de la temperatura durante el 83 % de los días, siendo el día con la TSM más baja el 05 de febrero y la temperatura más alta reportada el 27 de septiembre. Sin embargo, durante el mes de noviembre, la TSM disminuyó abruptamente a valores por debajo de la media de la climatología.



Para analizar el comportamiento intra-anual, se utilizó la temperatura media anual desde el año 1990 hasta el 2021, ajustando 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 and Slavov, 2019). El valor de la pendiente obtenida fue de 0.0219 por año, es decir, se ha observado un aumento de 0.6789°C en los últimos 31 años. También se calculó el estadístico Tau de Kendall, una prueba no paramétrica que estima el nivel de correlación entre dos variables (Karmeshu, 2012). El valor obtenido fue de 0.5265 ($p < 0.05$), esto nos indica que para el litoral Pacífico existe un incremento significativo de la TSM desde el año 1990.

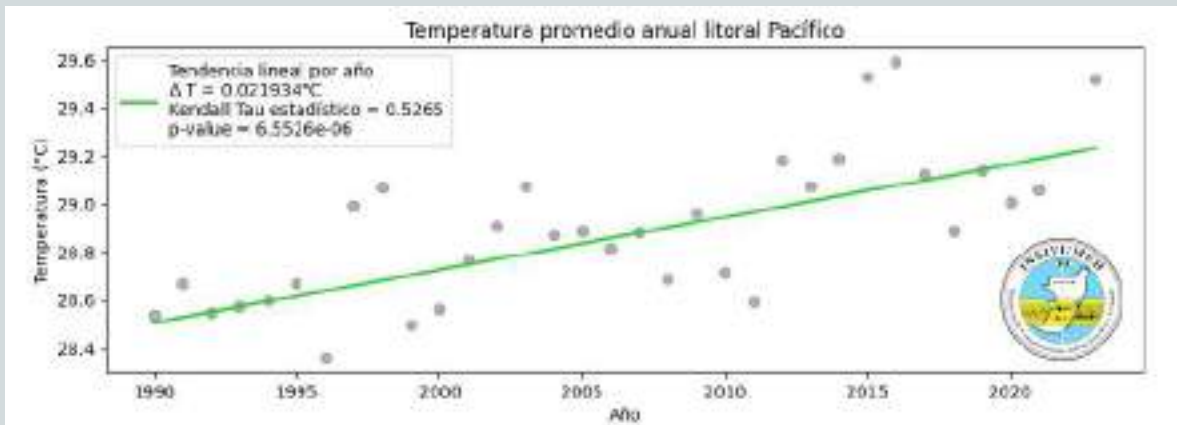


Figura 29: Tendencia a lo largo de los años de la TSM del litoral Pacífico 1990 – 2021.

Para la TSM del litoral Atlántico, desde 1990 hasta el 2021, se observa un comportamiento bimodal, con máximos alrededor de junio y septiembre. La variación media presentada fue de 0.50. En el año 2023, el 99% de los días estuvieron por encima de la máxima de los datos históricos, siendo el día con la TSM más baja el 17 de enero y la temperatura más alta el 14 de octubre. Al igual que el litoral Pacífico, en el mes de noviembre se presentó un descenso en la TSM a valores cercanos al mínimo de la climatología, asociado al desplazamiento de la tormenta tropical Pilar.

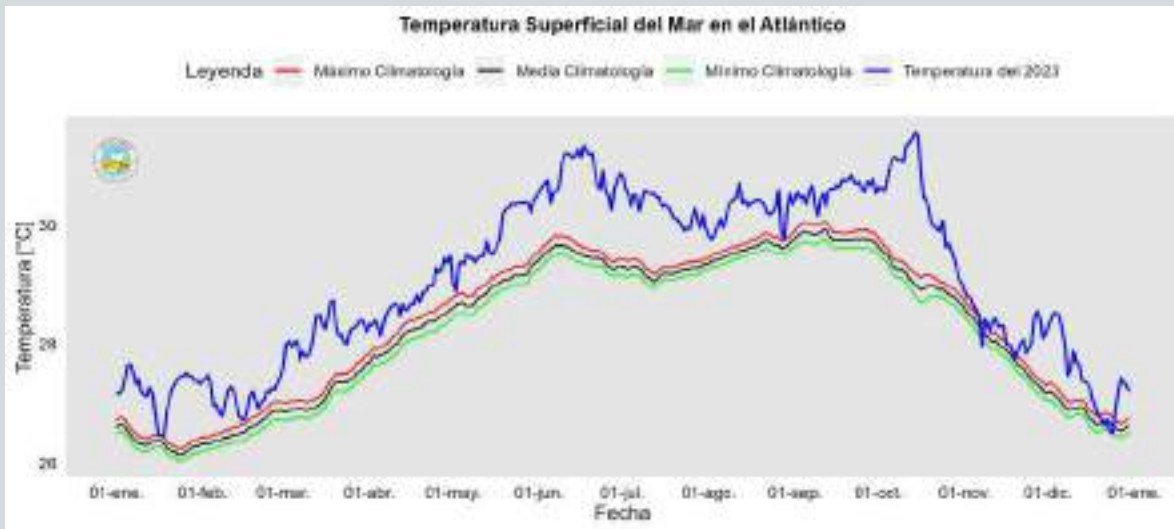


Figura 30: VDatos diarios de la TSM del litoral Atlántico para el año 2023 de Coral Reef Watch con los datos de ERA5 de 1990 - 2021.

Respecto al comportamiento intra-anual de la TSM del litoral Atlántico, el estimador Theil-Sen devolvió una pendiente de 0.0181°C por año, es decir, un aumento de 0.5611°C desde el año 1990 hasta el 2021. El estadístico Tau de Kendall fue de 0.3485 ($p < 0.05$), lo cual nos indica que para el litoral Atlántico, se estima un incremento significativo de la TSM a lo largo de los años.

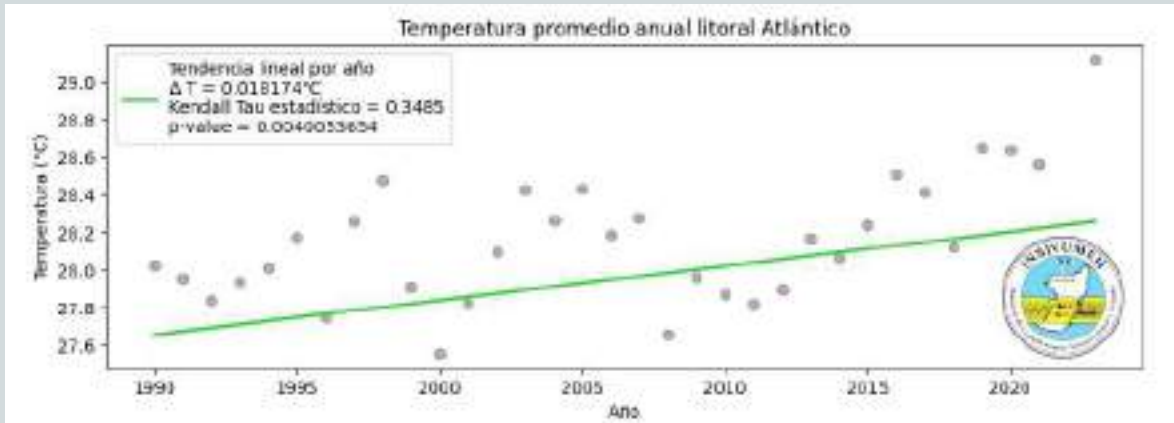
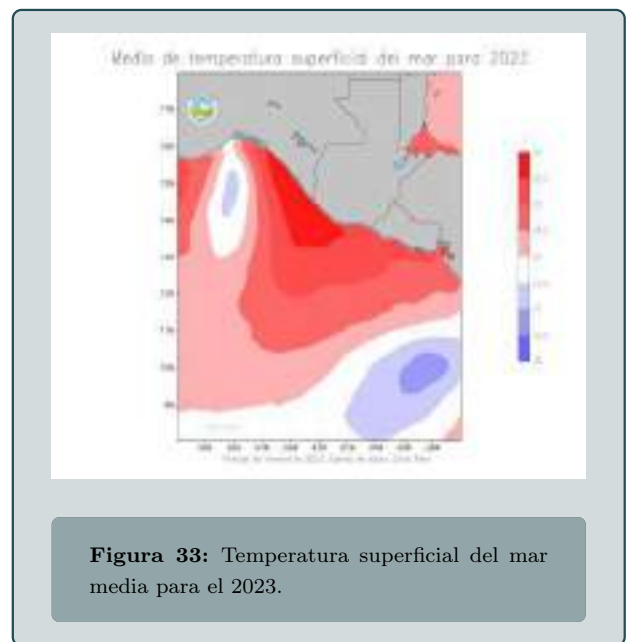
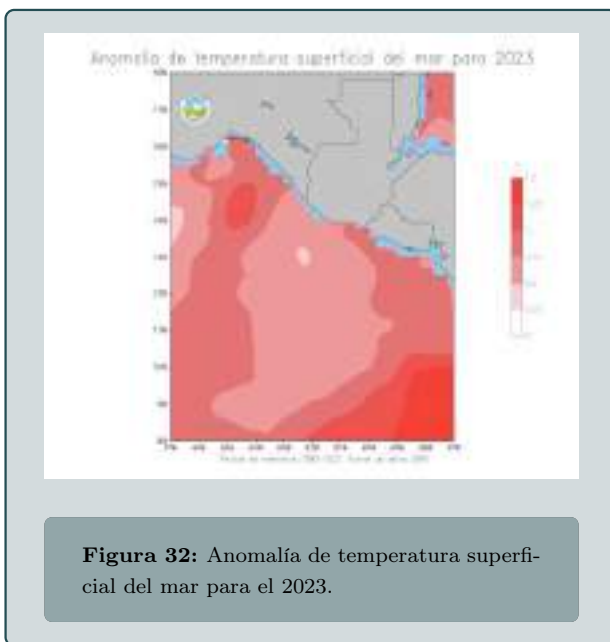


Figura 31: Tendencia a lo largo de los años de la TSM del litoral Atlántico 1990 – 2021

En la figura 32 se muestra el mapa de anomalías de temperatura superficial del mar para el año 2023 utilizando como periodo de referencia la climatología del 1991-2020 y los datos de ERA5. Se observa que toda el área es de anomalía positiva, la región atlántico cercana al departamento de Izabal presenta anomalías entre 0.5 °C y 1 °C, la región pacífico cercana a la costa del país presenta anomalías entre 0.25 °C y 1 °C.

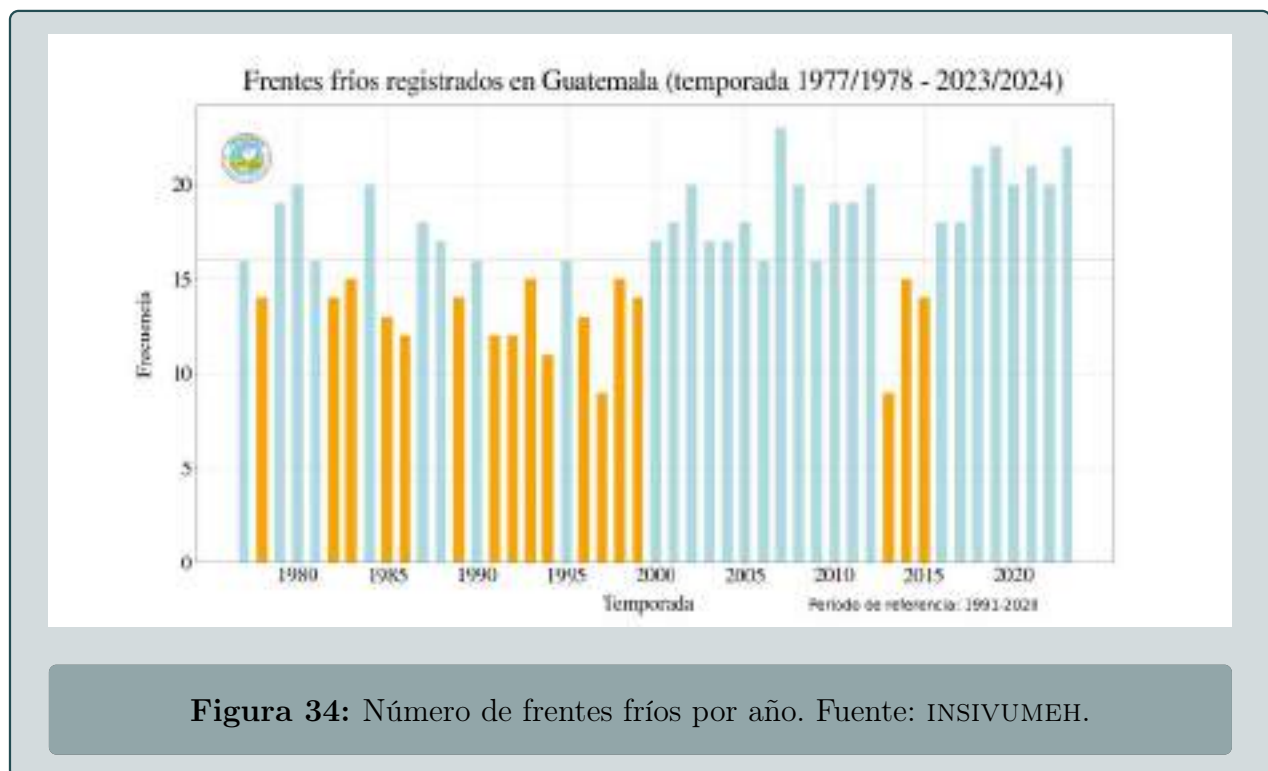
En la figura 33 se muestra la temperatura media para el año 2023 utilizando los datos de Coral Reef. Para la región del océano Pacífico cercana a la costa se observan temperaturas entre 26.5 °C hasta 30 °C, mientras que en el océano Atlántico se observan temperaturas entre 26 °C hasta 29 °C.



5. Eventos meteorológicos

5.1. Frentes fríos

En la figura 34 se presenta el número de frentes fríos registrados por año desde la temporada 1977/1978 a la 2023/2024. Una temporada se considera desde noviembre hasta abril. En el caso de la temporada 2023/2024 también se incluyó el mes de octubre debido a la llegada de un frente frío. En la 34, 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.

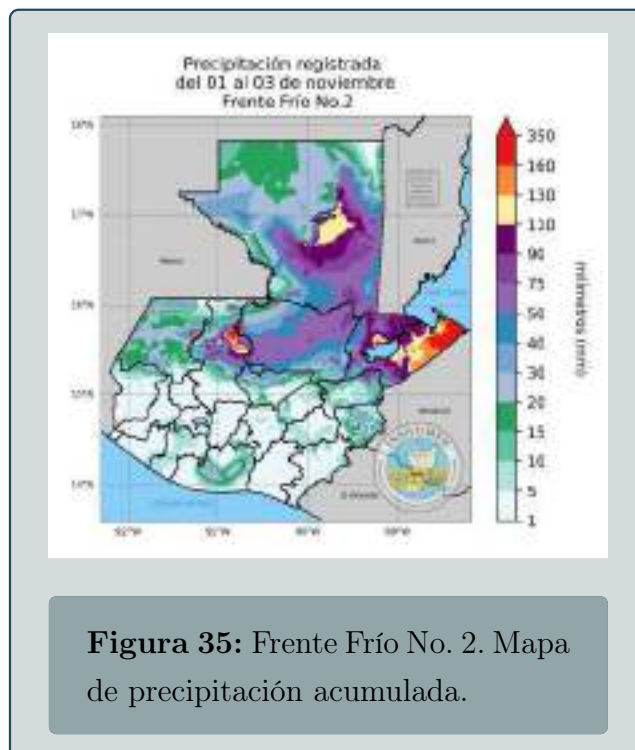


En el cuadro 13 se muestra el número de frentes fríos por temporada de frentes fríos de la temporada 2022-2023 y la 2023-2024. La normal climatológica está conformada desde la temporada 1990-1991 a la 2020-2021. La segunda columna presenta el número de frentes fríos promedio por climatología para los periodos mensuales y del año 2023. La tercera y cuarta columna contienen el número de frentes fríos por mes y por año, y en la quinta y sexta columna se muestran las anomalías mensual y anual.

periodo	media climatología	temporada 2022-2023	temporada 2023-2024	anomalía 2022-2023	anomalía 2023-2024
octubre	0.67	1	1	0.33	0.33
noviembre	2.27	2	4	-0.27	1.73
diciembre	3.47	5	4	1.53	0.53
enero	3.90	5	4	1.10	0.10
febrero	3.10	4	4	0.90	0.90
marzo	2.93	2	3	-0.93	0.07
abril	0.67	1	2	0.33	0.33
total	16.45	20.00	22.00	3.55	4.55

Cuadro 13: Número de frentes fríos que se registraron.

En la figura 35 se muestra la distribución geográfica de la precipitación acumulada del 1 al 3 de noviembre debido a los efectos del Frente Frío No.2 que ingresó el 1 de noviembre, los efectos producidos por la Tormenta Tropical Pilar que se alejaba del territorio, y los efectos debido a un sistema de alta presión asociado al frente frío. El frente frío promovió la entrada de abundante nubosidad desde el mar Caribe hacia el país (INSIVUMEH, 2023a). La combinación de los tres sistemas incrementó las lluvias sobre la zona norte del territorio nacional y la velocidad del viento norte (Petén, Franja Transversal del Norte y Caribe). El 03 de noviembre también se tuvo ingreso de abundante nubosidad sobre toda la región debido a un sistema de baja presión ubicado en el mar Caribe frente a las costas de Nicaragua (INSIVUMEH, 2023b).



5.2. Olas de calor

En el cuadro 14 se presentan las ondas de calor detectadas durante el año 2023. Resaltan las olas de duraciones mayores a 20 días que se presentaron en los meses de abril y mayo en distintas regiones.

Inicio	Final	Duración	Localización de la ola
11/4/2023	16/4/2023	6 días	Valles de Oriente, Altiplano Central, Norte
19/4/2023	13/5/2023	25 días	Valles de Oriente, Altiplano Central, Pacífico, Franja Transversal del Norte, Bocacosta, Norte
15/5/2023	21/5/2023	7 días	Pacífico, Bocacosta, Valles de Oriente, Altiplano Central
29/5/2023	19/6/2023	22 días	Caribe, Valles de Oriente, Franja Transversal del Norte, Altiplano Central, Norte, Pacífico

Cuadro 14: Número de olas de calor registradas.

5.3. Ondas Tropicales

En 2023, se registró el ingreso de 29 ondas del este (usando el análisis superficial de la «NOAA – Tropical Analysis», [s.f.](#)). En el cuadro 15 se muestra la distribución mensual de las ondas del este que ingresaron al país.

Mes	Número de Ondas Tropicales
2023-05	0
2023-06	8
2023-07	9
2023-08	7
2023-09	4
2023-10	1

Cuadro 15: Ondas Tropicales que ingresaron al territorio nacional durante el año 2023.

5.4. 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 2023 finalizó con 13 tormentas nombradas y 6 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 2023 finalizó con 10 tormentas nombradas y 10 huracanes («NOAA – 2023 Atlantic Hurricane Season», [s.f.](#); «NOAA – 2023 Eastern Pacific Hurricane Season», [s.f.](#); «NOAA – Tropical Cyclone Climatology», [s.f.](#)). Los ciclones tropicales que ingresaron en la Zona de Alerta⁷ (ver figura 36) se muestran en el cuadro 16.

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



Figura 36: Mapa de zonas de alerta por ciclones. Fuente: Plan Operativo Institucional Temporada Ciclónica 2023 (INSIVUMEH, 2023c).

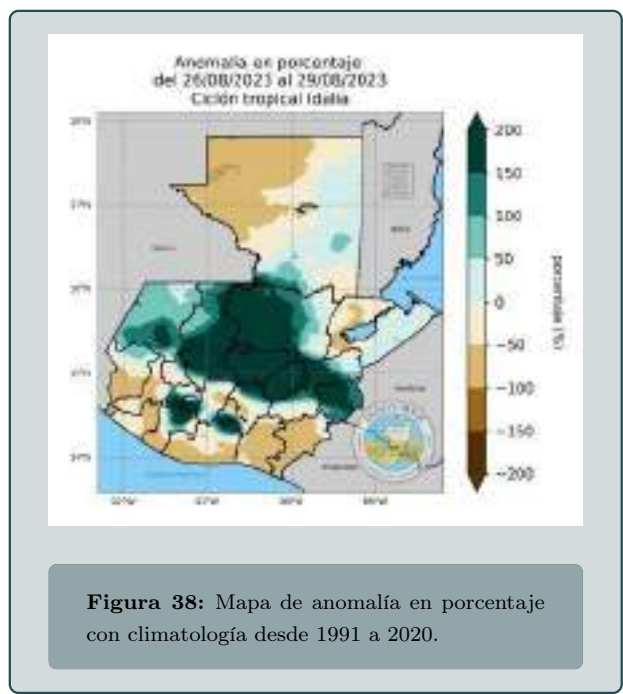
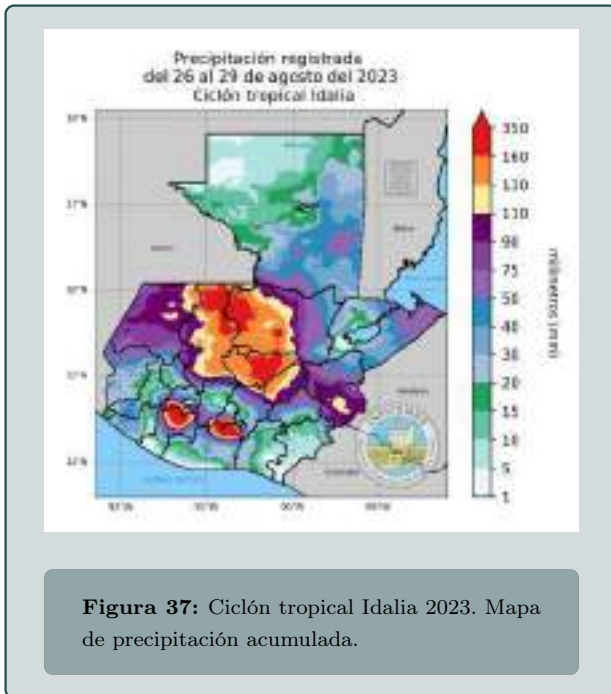
Huracán o tormenta	Periodo [†]	Acumulados de precipitación [mm] [‡]
Tormenta Tropical Idalia	27 a 29 de agosto	50–350
Tormenta Tropical Pilar	30–2 de noviembre	50–350
Tormenta Tropical Veintiuno	23 a 24 de octubre	15–40
Depresión Tropical Veintidós	17 de noviembre	15–110

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

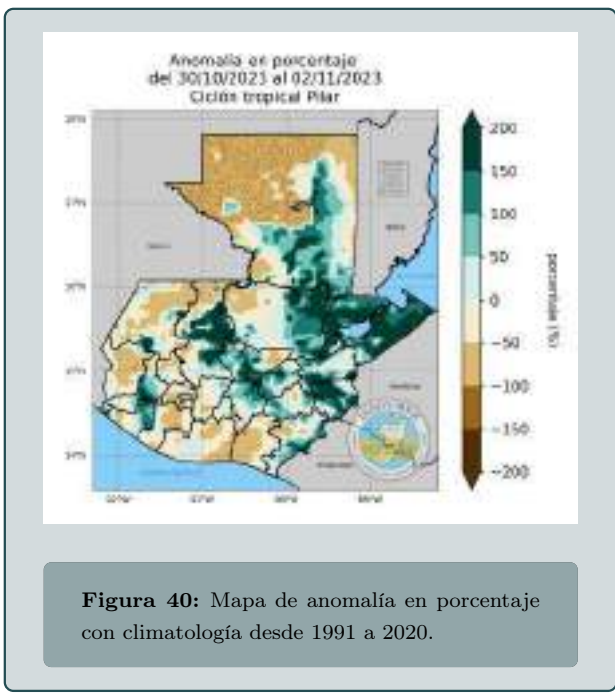
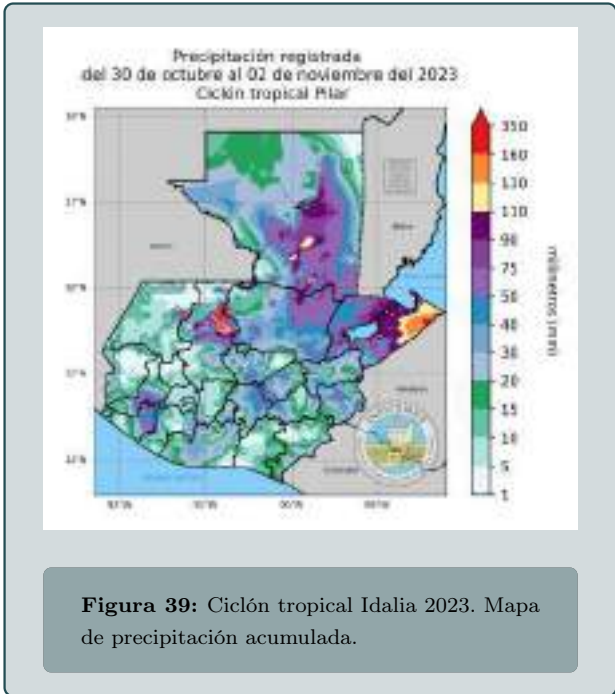
[‡] Durante su paso por la Zona de Alerta.

Cuadro 16: Resumen de la temporada 2023 de huracanes y tormentas tropicales en Guatemala. La tabla incluye solamente los ciclones tropicales que ingresaron a la Zona de Alerta.

La depresión tropical Idalia entró en la Zona de Alerta como tormenta tropical el 27 de agosto de 2023 y la dejó como huracán el 29 de agosto de 2022 en dirección hacia el norte, pero no ingresó al país. Por su cercanía y circulación, promovió inestabilidad y entrada de humedad, así como lluvias con actividad eléctrica, pero no representó un peligro directo para Guatemala. Durante su paso por la Zona de Alerta se registraron acumulados de precipitación entre 100 mm a 115 mm en las estaciones de Morales, Izabal y El Pato, Petén el 27 de agosto (ver figura 37) (INSIVUMEH, 2023d). El sistema se formó en la región de Alerta del protocolo institucional.



La tormenta tropical Pilar entró en la Zona de Alerta el 30 de octubre de 2023, pero no ingresó al país. Pilar comenzó a formarse alrededor del 27 de octubre en las costas del Pacífico. Durante su paso por la Zona de Alerta se registraron acumulados de precipitación entre 50 mm a 400 mm incluyendo los efectos producidos por el ingreso del frente frío No.2 de la temporada 2023-2024 el 1 de noviembre. La anomalía respecto al periodo de referencia 1991–2020 durante el periodo del 30 de octubre al 02 de noviembre muestra excedencias de más del 200 % principalmente para los departamentos de Quiché, Alta y Baja Verapaz, y El Progreso. (ver figura 39).



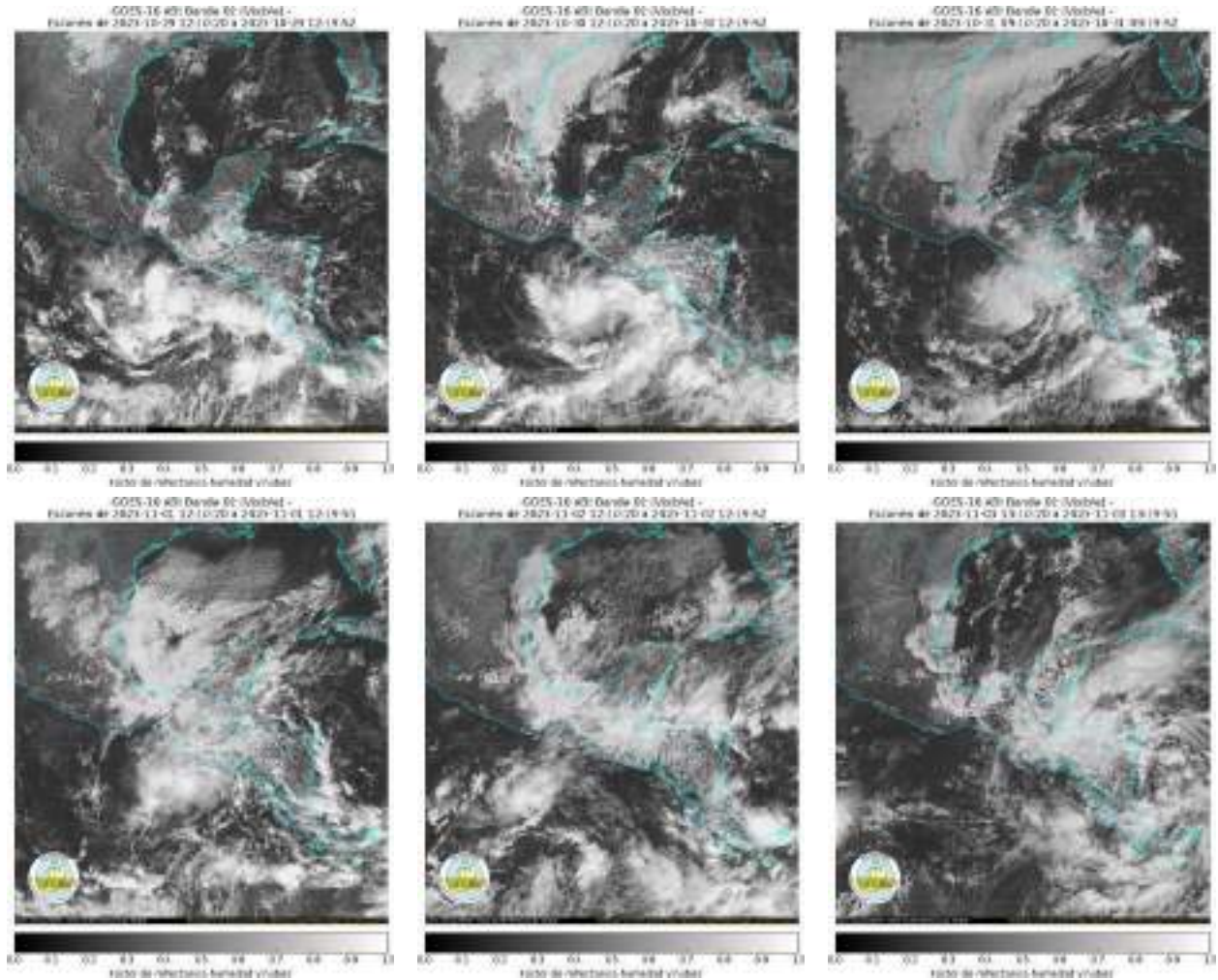


Figura 41: Secuencia de imágenes del 29 de octubre al 03 de noviembre que representa el paso de la tormenta tropical Pilar, el frente frío y el sistema de alta presión asociado al frente frío. Fuente: Análisis y Operación Radar Meteorológico.

En la figura 41 se muestra la secuencia de imágenes satelitales para el periodo del 29 de octubre al 03 de noviembre. En estas imágenes se observa que el ciclón Pilar se desplaza lentamente sobre el Pacífico del territorio guatemalteco, por lo que no representó ningún peligro directo para Guatemala. Al mismo tiempo un sistema de alta presión, asociado a un frente frío, se acercó al territorio desde el norte del golfo de México.

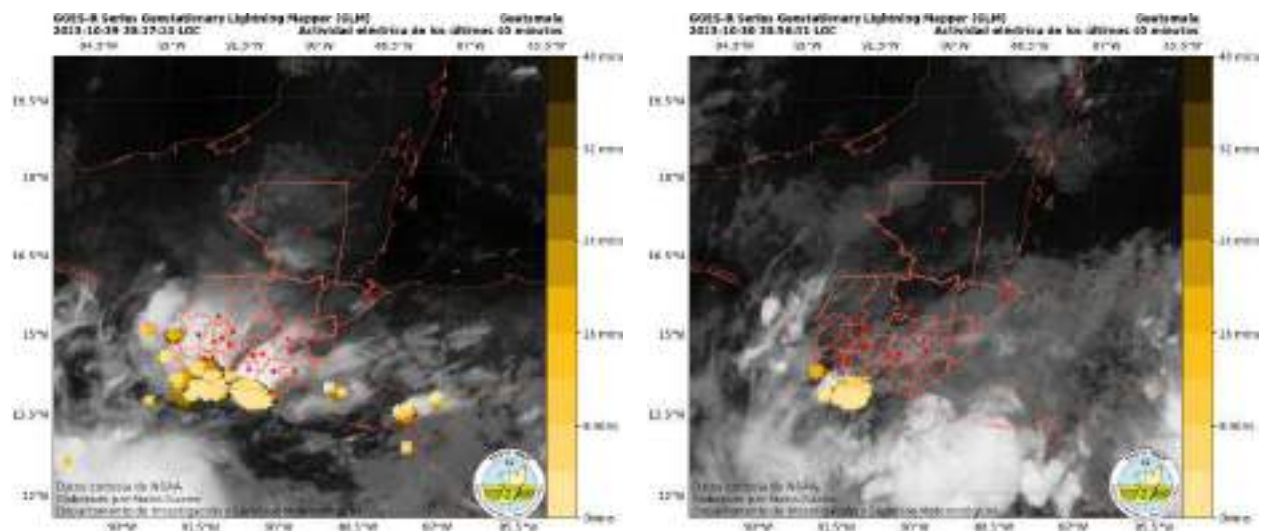


Figura 42: Imágenes de actividad eléctrica del 30 al 31 de octubre. Fuente: Análisis y Operación Radar Meteorológico.

En la figura 42 se observa la actividad eléctrica para el periodo del 30 al 31 de octubre. En estas imágenes se observa que la actividad eléctrica ocurre principalmente para la zona de Escuintla y en general se desplaza lentamente sobre la costa del Pacífico.

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]
- Red INSIVUMEH: el departamento de Investigación y servicios Meteorológicos de INSIVUMEH cuenta una red de 62 estaciones convencionales distribuidas en toda la república de Guatemala. Cada estación cuenta con un observador climático que recopila datos mediante la instrumentación requerida para medir las distintas variables meteorológicas, por ejemplo: Precipitación, Temperatura Mínima, Temperatura Máxima, Temperatura Media, Dirección y Velocidad del Viento, Humedad Relativa, entre otras. Las mediciones se toman en tres horarios, 7:00, 13:00 y 18:00 horas y se envían por medio de un aplicación móvil y se procesa y valida con algoritmos de comparación de registros históricos.
- ERA5: el 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.
- Coral Reef: NOAA Coral Reef Watch (CRW) es una herramienta que provee análisis de la temperatura superficial del mar (SST) y un panorama para identificar arrecifes de coral que estén en riesgo de blanqueamiento. Durante más de 20 años, CRW ha estado usando sensores remotos, modelados y datos in-situ para operar un sistema de apoyo que beneficie a los administradores de recursos, investigadores científicos, tomadores de decisiones, redes de monitoreo en el agua, entre otros. Entre los productos que genera CRW se encuentra la temperatura superficial del mar, la anomalía de la temperatura superficial y la alerta de blanqueamiento de corales.

6.2. Metodología

Las variables utilizadas son las siguientes,

1. **Temperatura:** para esta variable se utilizó el set de datos diarios de ENACTS de temperatura media, mínima y máxima y la red de estaciones de INSIVUMEH del 2023.
2. **Precipitación:** para esta variable se utilizó el set de datos diarios de ENACTS y la red de estaciones de INSIVUMEH del 2023.
3. **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 y Coral Reef.

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

- **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 1. Se hace lo mismo para los siguientes días siendo el día 365 la suma de todos los días anteriores.
- **Distribuciones:** para las gráficas de distribuciones de toman todo el set de datos tanto de la climatología como del año analizado. No se hacen promedios.
- **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.

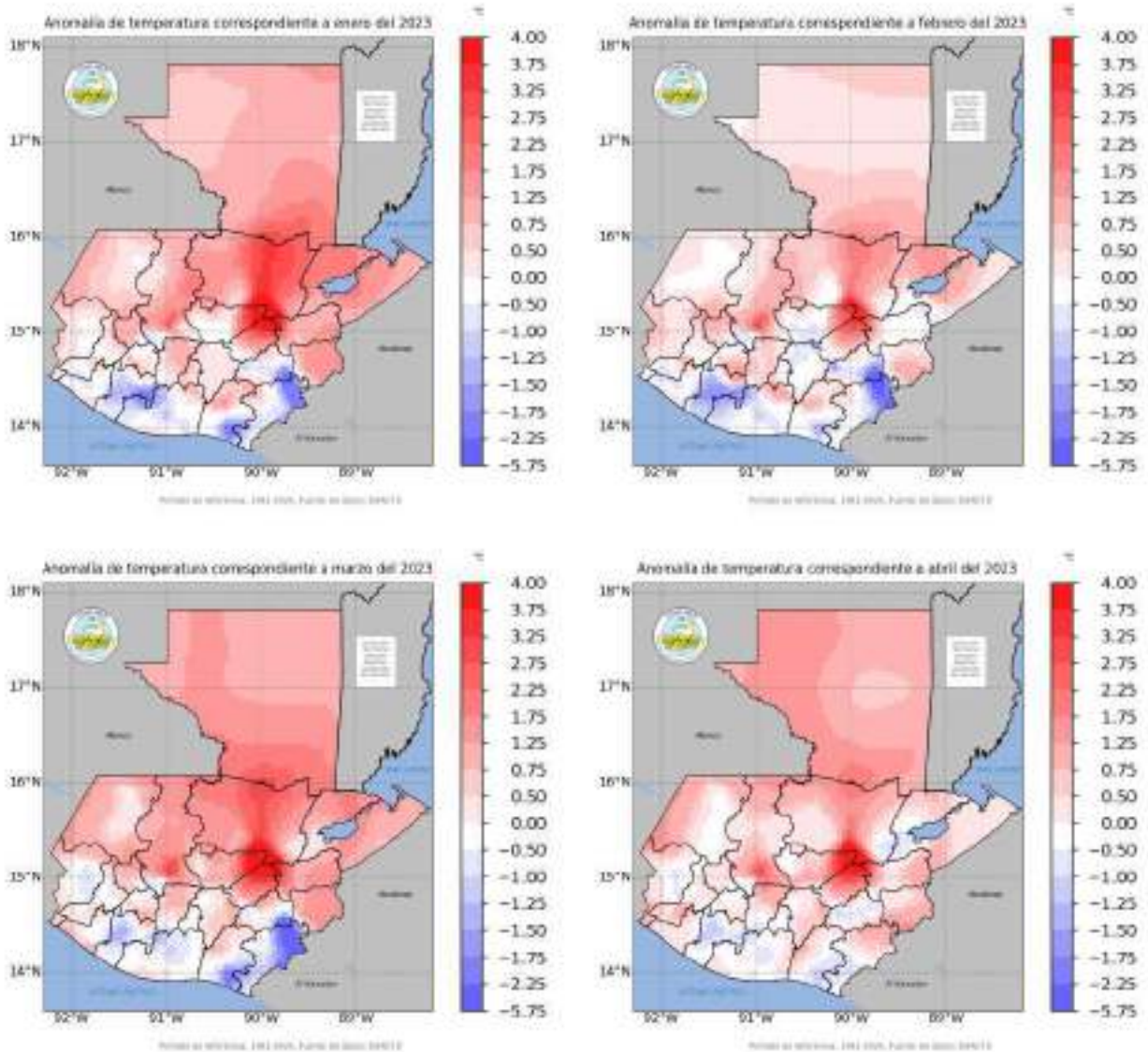
- **Promedio de la climatología:** para el cálculo de las medias climatológicas (ya sea temperatura o precipitación) se realiza primero el análisis de interés por cada año de la climatología (esto puede ser acumulado mensual, anual, promedio mensual, estacional, etc.), luego de tener valor característico 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 cuando 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 2022 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.
- **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.

- **Olas de calor:** las olas de calor son eventos de rareza inusual. Se tiene una ola de calor cuando se tienen temperaturas mayores al percentil 95 % de todo el registro, en una o más regiones del país.
- **Ondas tropicales:** Las ondas tropicales u 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 (NOAA, [2022](#)).

7. Anexos

A continuación se muestran los mapas de anomalías de temperatura diaria correspondientes al año 2023 por periodos mensuales, utilizando los datos de ENACTS.



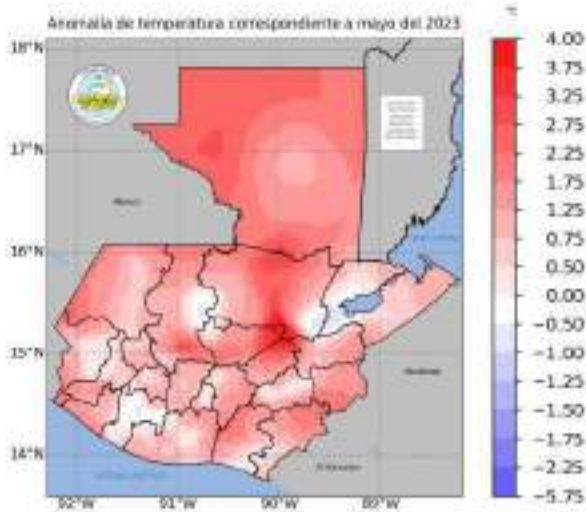


Imagen de referencia: 1981-2010, Fuente de datos: ERA5-L2

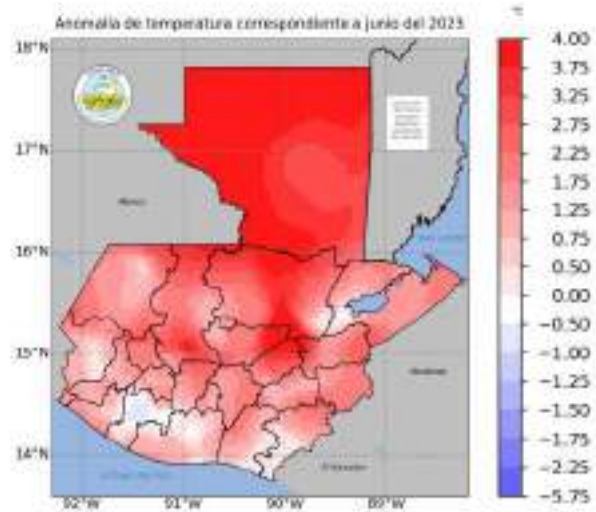


Imagen de referencia: 1981-2010, Fuente de datos: ERA5-L2

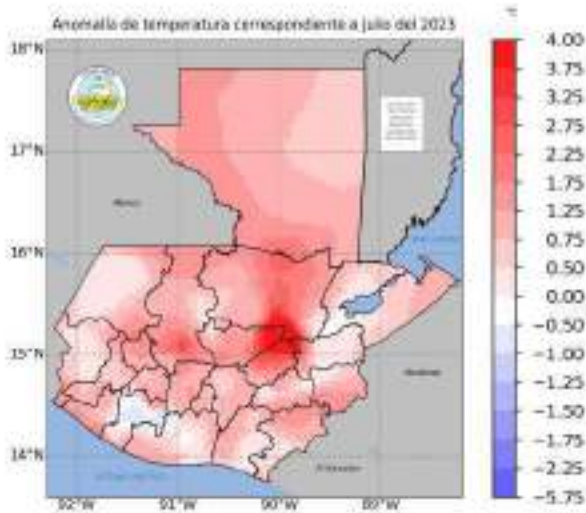


Imagen de referencia: 1981-2010, Fuente de datos: ERA5-L2

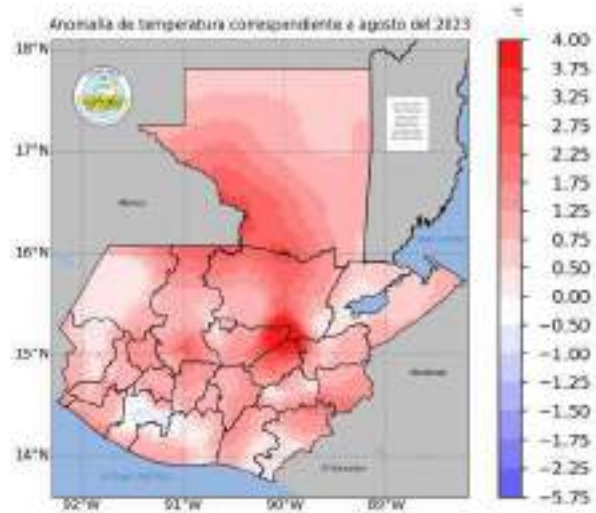
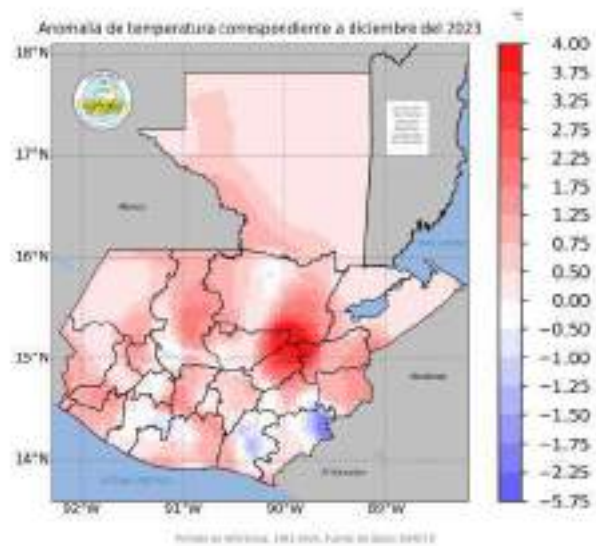
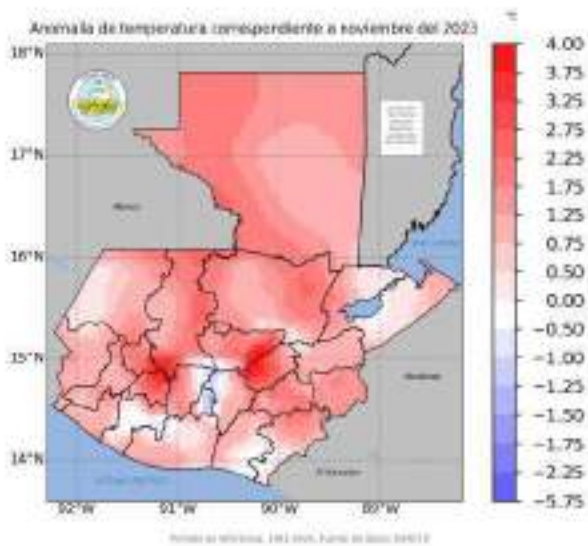
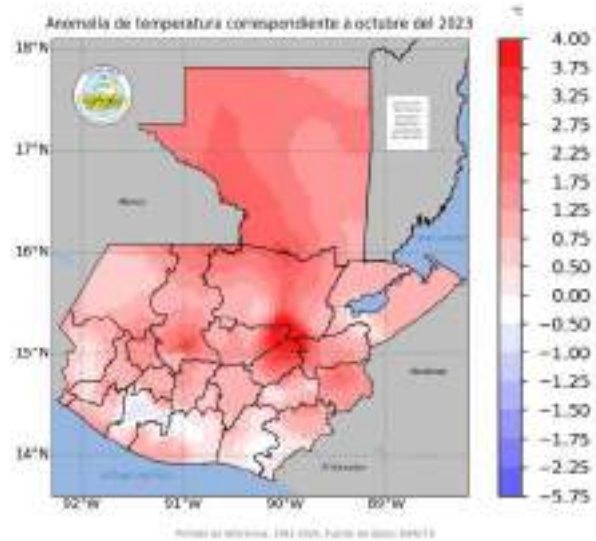
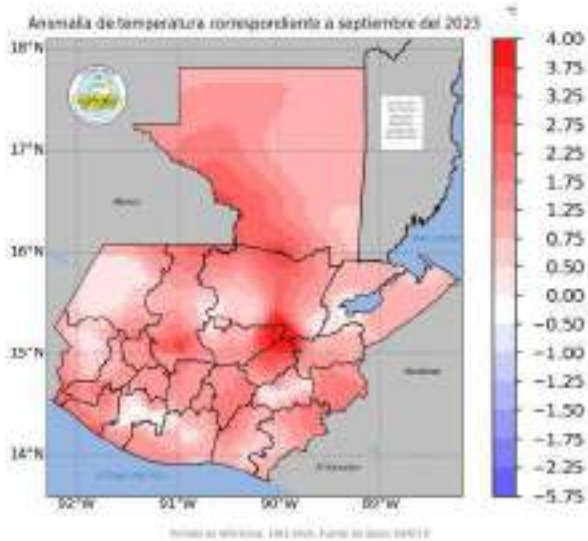
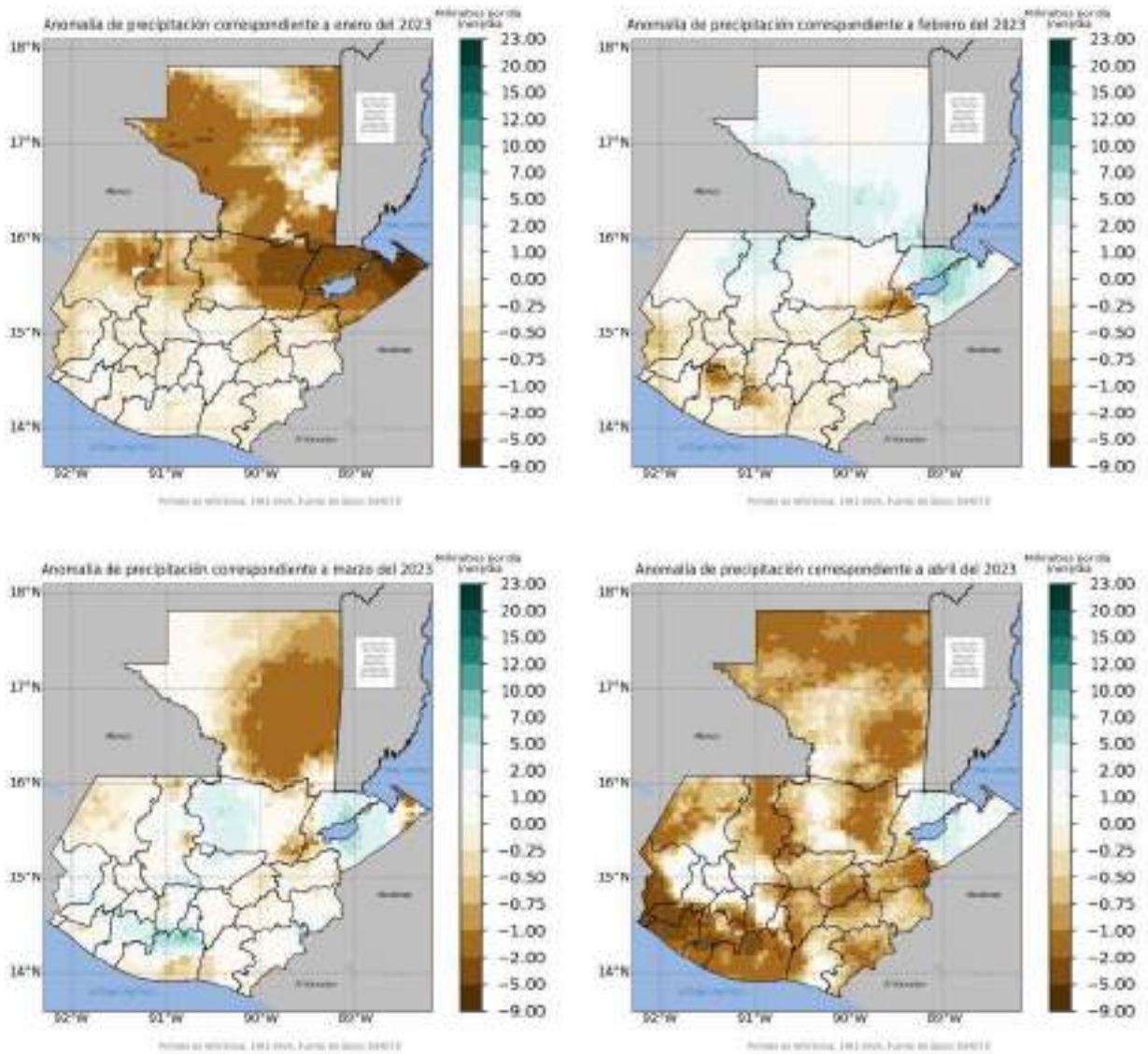


Imagen de referencia: 1981-2010, Fuente de datos: ERA5-L2



A continuación se muestran los mapas de anomalías de precipitación diaria correspondientes al año 2023 por periodos mensuales, utilizando los datos de ENACTS.



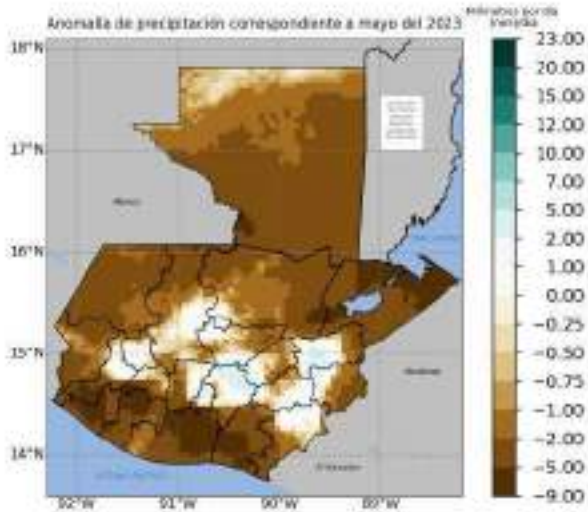


Imagen de referencia: 1981-2010, Fuente de datos: SARATL



Imagen de referencia: 1981-2010, Fuente de datos: SARATL

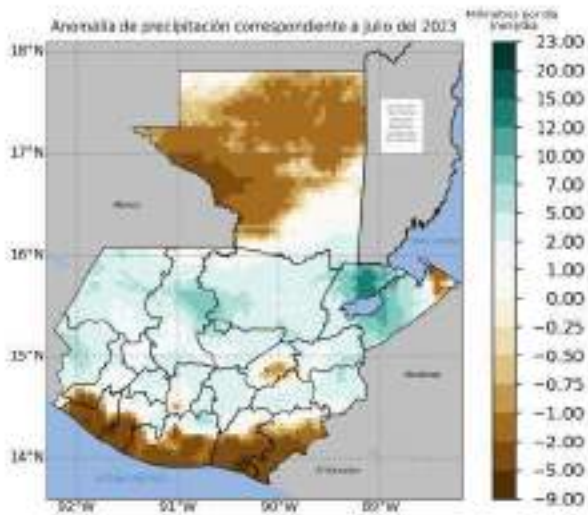


Imagen de referencia: 1981-2010, Fuente de datos: SARATL

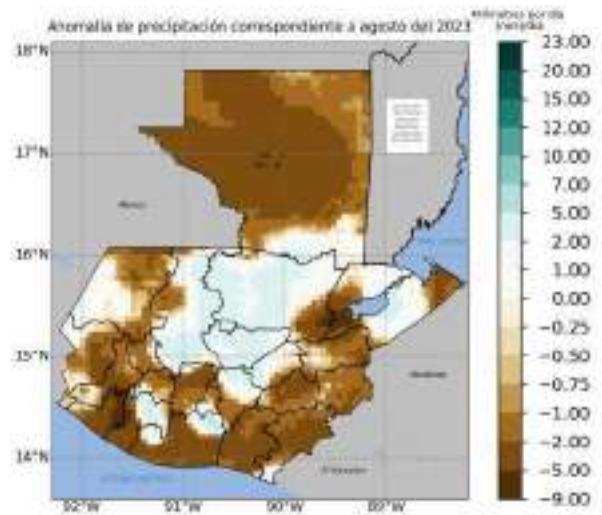
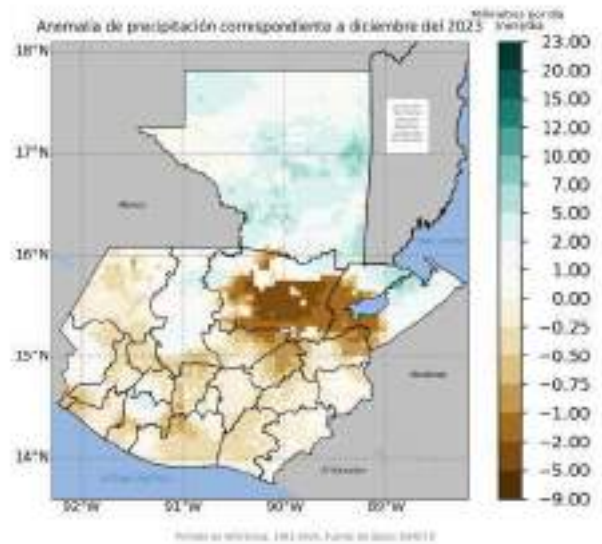
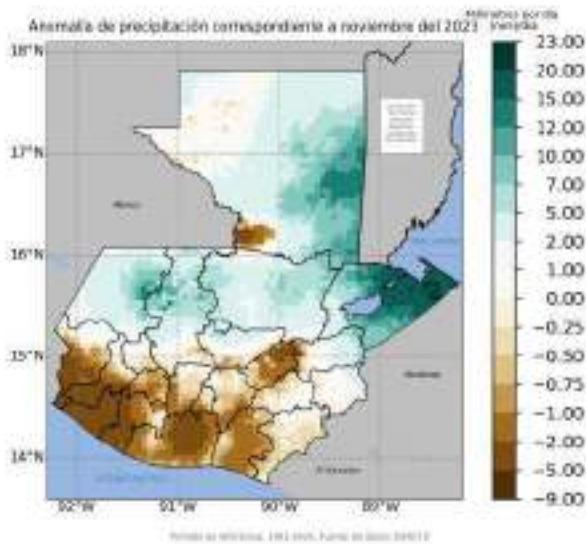
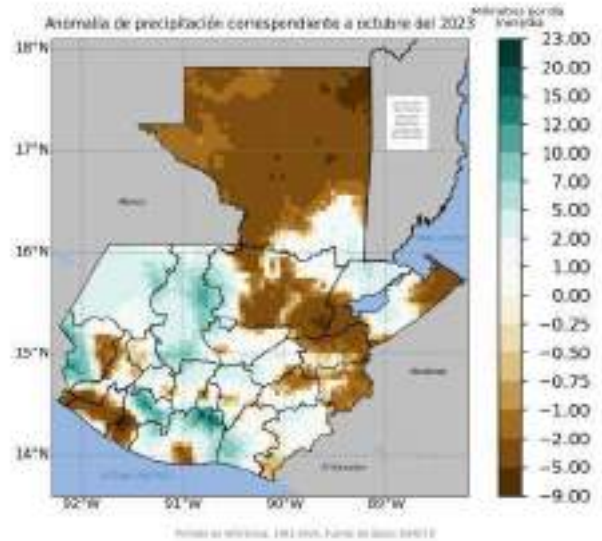
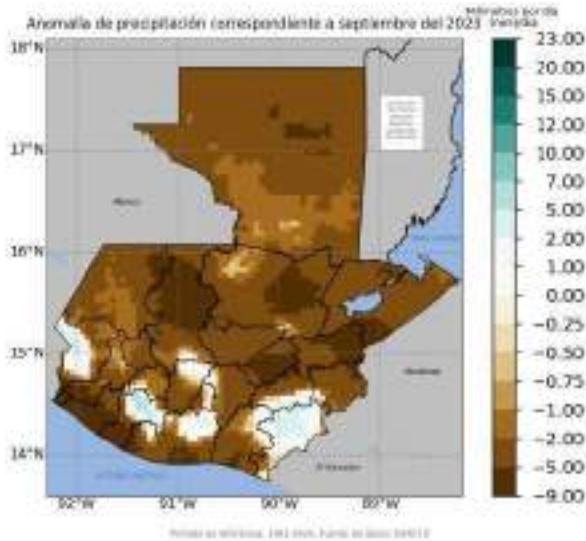


Imagen de referencia: 1981-2010, Fuente de datos: SARATL



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>
- 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., Lderach, 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. (2023a). *Boletín Meteorológico Especial No. 16 2023– Frente Frío*.
- INSIVUMEH. (2023b). *Boletín Meteorológico Informativo No. 18 2023– Frente Frío*.
- INSIVUMEH. (2023c). *Plan Operativo Institucional – Temporada ciclónica 2023*.
- INSIVUMEH. (2023d). *Reporte de Temporada de Huracanes 2023 46 Sesión del Comité Regional de Huracanes*.
- 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. (2022). Tropical Definitions. https://www.weather.gov/mob/tropical_definitions
- NOAA – 2023 Atlantic Hurricane Season [Accessed: 2024-03-04]. (s.f.).
- NOAA – 2023 Eastern Pacific Hurricane Season [Accessed: 2023-03-04]. (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>
- WMO. (2024). State of the Global Climate. *Journal of Climate*, (1347). <https://library.wmo.int/records/item/68835-state-of-the-global-climate-2023>
- 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.