



Estado del Clima en Guatemala

Noviembre, 2022

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología,
Meteorología e Hidrología

-INSIVUMEH-

Departamento de investigación y servicios meteorológicos

Sección de Cambio Climático

Departamento de investigación y servicios Hídricos

Sección de Oceanografía

Índice

1. Resumen	5
2. Objetivos	6
2.1. General	6
2.2. Específicos	6
3. Marco Teórico	7
3.1. Sistema climático	7
4. Metodología	9
4.1. Cálculo de anomalías	9
4.2. Precipitación	9
4.2.1. Disponibilidad de Datos	10
4.3. Temperatura superficial	10
4.3.1. Disponibilidad de Datos	11
4.4. Temperatura Superficial del Mar	11
4.4.1. Disponibilidad de Datos	11
4.4.2. Región estudiada y análisis	12
5. Resultados y análisis	13
5.1. Temperatura	13
5.1.1. Datos ERA5-Land	15
5.1.2. Datos INSIVUMEH	17

5.2. Precipitación	18
5.2.1. Datos de CHIRPS v2.0	20
5.2.2. Datos de INSIVUMEH	23
5.3. Temperatura Superficial Del Mar	25
Referencias	31
A. Mapas	34

1. Resumen

El primer reporte del Estado del Clima de Guatemala, realizado por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), presenta una perspectiva del contexto climático del país para identificar la variabilidad mensual, estacional e intranual.

Se calcularon anomalías de precipitación, temperatura superficial terrestre y temperatura superficial del mar con el periodo de referencia la climatología de 1991-2020. Se utilizaron datos de reanálisis de el Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Station Data v2.0 (CHIRPS v2.0) [15], Coral Reef Watch (CRW) [25], el European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) Reanalysis v5 (ERA5) [10], el NOAA Extended Reconstructed SST V5 (ERSST)[12], el ERA5-Land y datos de estaciones meteorológicas convencionales de INSIVUMEH.

Los resultados obtenidos se observan por medio de mapas y gráficos. En estos se ven reflejados los cálculos de anomalías por región climática, año, mes y estación para el territorio nacional, la Región Cercana a Guatemala (RCG) definida por las coordenadas (8°-18°N, 96°-86°W) y la región conocida como El Niño 3.4 (5°S - 5°N; 170°W - 170°W)[1].

2. Objetivos

2.1. General

Presentar una perspectiva del contexto climático de Guatemala del año 2021 comparado con la climatología de 1991-2020 mediante el cálculo de anomalías.

2.2. Específicos

- Analizar el estado de precipitación en Guatemala del año 2021 mediante el cálculo de anomalías utilizando como sistema de referencia la climatología de 1991-2020.
- Analizar el estado de temperatura superficial en Guatemala del año 2021 mediante el cálculo de anomalías utilizando como sistema de referencia la climatología de 1991-2020.
- Analizar el estado de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) del año 2021 en las zonas cercanas a las costas de Guatemala mediante el cálculo de anomalías utilizando como sistema de referencia la climatología de 1991-2020.

3. Marco Teórico

3.1. Sistema climático

Schellnuber [23] define al sistema climático como un sistema compuesto por cuatro partes que se interrelacionan, las cuales son: la atmósfera, la biósfera, la pedosfera y la hidrósfera. Es de interés estudiar la atmósfera, porque es el medio con el que se tiene mayor interacción, es la estructura que nos rodea y en donde suceden fenómenos tales como la precipitación, vientos, nubosidad, etc. Dentro de la hidrósfera, es de interés estudiar el océano por su fuerte influencia sobre otras componentes del sistema climático [5, 16, 14, 24].

Para representar el clima y el cambio climático, usualmente se elige la temperatura promedio de la superficie de la Tierra cuando se utiliza un solo parámetro. Es de interés su variación a lo largo de las escalas estacional, anual y decenal [24]. También es importante la precipitación, no como fenómeno climático discreto, sino en términos de su comportamiento estadístico a lo largo del tiempo [24].

Otra variable de interés es la Temperatura Superficial del Mar (TSM), pues es fundamental en el control del clima [14]. En el contexto del calentamiento global, la contribución de los océanos influye fuertemente en el estado de la atmósfera [5], incluso en [16] se argumenta que los cambios de temperatura en el océano es una causa más fuerte que la absorción directa de la radiación al momento de explicar el calentamiento sobre tierra. Si se estudia la relación que hay entre la atmósfera y el océano, un claro ejemplo de dicha relación es “El Niño-Oscilación del sur” (ENOS). La Oscilación del Sur (OS) es una fluctuación a escala global de la presión atmosférica entre el hemisferio oriental y el occidental. Como menciona Walker [1] “Cuando la presión es Alta en el Océano Pacífico, tiende a ser baja en el Océano Índico desde África hasta Australia”. Por otro lado, el término “El niño” se utiliza como sinónimo de las fluctuaciones semi-oscilatorias de temperatura observadas en el pacífico central y ecuatorial. Ambos fenómenos están fuertemente relacionados, así que para su monitoreo, se definieron las regiones Niño, delimitadas como:

Cuadro 1: Regiones Niño

Niño-1+2	(0°-10°S, 90°-80°W)	Niño-3	(5°N-5°S, 150°-90°W)
Niño-3.4	(5°N-5°S, 170°-120°W)	Niño-4	(5°N-5°S, 160°E-150°W)

Actualmente se utilizan los términos “El niño” y “La niña” como las dos fases opuestas del fenómeno ENOS [2]. Cabe resaltar que, aunque esta oscilación está presente sobre los océanos Pacífico e Índico, los efectos oceánicos y atmosféricos que esta causa son globales [1].

4. Metodología

4.1. Cálculo de anomalías

El clima puede presentar variaciones de un año a otro por lo que en meteorología se utilizan medias de 30 años de temperatura, precipitación, etc., para definir magnitudes de fenómenos climatológicos en el contexto histórico. Estos periodos históricos se denominan climatologías o normales climatológicas.

Para el cálculo de las anomalías en este informe se utilizó como periodo de referencia la climatología del período de 1991-2020 que representa la normal para el análisis. Por lo tanto, se calculó la media de la variable de interés (precipitación o temperatura) en el periodo de 30 años para cada estación. Este valor representa la media con la que se comparan los datos de interés dentro de todo el territorio de Guatemala, con el fin de poder evaluar qué tanto han cambiado las condiciones climáticas en comparación a los últimos 30 años. Se eligió esta climatología porque es la más cercana al año actual.

También se realizaron estudios históricos donde se define un rango de tiempo en el cual se analizó las anomalías con el mismo periodo de referencia.

Una anomalía es la diferencia con respecto a la media o el punto de referencia, es decir el resultado de restarle al valor de interés a la media. El uso de las anomalías ayuda a reducir los sesgos producidos por utilizar una muestra pequeña en relación a la población total, por ejemplo, cuando se añaden, se eliminan o faltan estaciones en la red de vigilancia [8]. También ayuda en la comparación y visualización de los cambios respecto a su normal, de la variable de interés en diferentes lugares, a pesar de que el clima en cada punto sea diferente [8].

Una anomalía positiva de la temperatura significa que la temperatura observada fue más cálida que la media y una anomalía negativa de la temperatura indica que la temperatura observada fue más fría que la media [3].

4.2. Precipitación

Se estudió la precipitación en la regiones de Guatemala, a través de datos de reanálisis de CHIRPS v2.0 y los datos observados por INSIVUMEH, lo cual permitió realizar un análisis

comparativo con la climatología de los años de 1991-2020.

El cálculo de anomalías se realizó a escala temporal. Como ejemplo, tomando escalas mensuales, para calcular la normal climática del mes de enero, se agruparon los datos diarios de todos los meses de enero de la climatología utilizada y posteriormente se calculó la media de dicho grupo; para luego compararlo con la media del mes del año de interés (ej. 2021). De la misma manera se hizo para las anomalías estacionales.

Para el cálculo de máximos de precipitación anual, se determinó el valor máximo en un año para cada uno de los puntos del territorio nacional. Para calcular las anomalías, se replicó para todos los años dentro de la climatología y luego se promediaron los máximos para obtener la media de máximos de la climatología. El cálculo para anomalías máximas de precipitación mensual es similar sólo que se toma el máximo mensual en lugar del anual.

4.2.1. Disponibilidad de Datos

Se utilizaron los datos proporcionados por CHIRPS v2.0 que son el resultado de una estimación de variación de precipitación. Fue creado en colaboración con científicos en USGS para proporcionar conjuntos de datos que estén completos, actualizados y sean de confianza, con el objetivo de poder generar alertas tempranas.

Este conjunto de datos quasi-global tiene más de 35 años a partir de 1981. Abarca desde $50^{\circ}S - 50^{\circ}N$ en latitud y cubre todas las longitudes. CHIRPS incorpora imágenes satelitales de 0.05° de resolución, datos de estaciones *in situ* y la climatología interna y CHPclim para generar una malla de precipitación temporal para el análisis. Se pueden descargar los datos en [15].

4.3. Temperatura superficial

Para el cálculo de anomalías de la temperatura superficial media sobre el territorio nacional, se emplearon dos conjuntos de datos: ERA5-Land y datos *in-situ* de las estaciones meteorológicas de INSIVUMEH. El cálculo de anomalías se realizó en referencia a la climatología 1991-2020. El uso de la climatología 1991-2020 para el cálculo de anomalías de temperatura superficial media proporciona un marco de referencia más reciente para operaciones climáticas de monitoreo y aplicaciones en varios sectores como planes de adaptación [20].

4.3.1. Disponibilidad de Datos

El conjunto de datos de ERA5-Land emplea como base el modelo superficial terrestre H-TESSEL [6], correspondiente a la documentación del modelo IFS CY45R1 [13]. Este conjunto de datos es una reproducción de la componente terrestre del reanálisis climático ERA5, con una serie de mejoras que la hacen más precisa para todo tipo de aplicaciones terrestres. En particular, ERA5-Land presenta una resolución mejorada de 9 km en comparación con ERA5 [19]. Los datos están disponibles en el archivo del Servicio de Cambio Climático de Copérnicus [18, 17].

La red de estaciones meteorológicas de INSIVUMEH está distribuida a lo largo del territorio nacional, cuenta con 40 estaciones convencionales y la instalación cumple con la normativa de la OMM.

4.4. Temperatura Superficial del Mar

4.4.1. Disponibilidad de Datos

Para el análisis de la TSM se calcularon las anomalías con referencia a la climatología 1991-2020, utilizando los datos de reanálisis CRW [25], los de ERA5 [10] y los de ERSST [12].

Todos los datos usados son datos de reanálisis, los cuales combinan datos satelitales, mediciones realizadas *in situ* a través de distintos sensores y modelos que toman en cuenta las leyes de la física.

El CRW es un conjunto de productos diseñados para monitorear y evaluar el riesgo de blanqueamiento de corales. El producto de TSM, se encuentra en su versión 3.1, presenta una resolución de 5km por pixel y tiene datos disponibles desde enero de 1985 hasta el presente. Este producto se obtiene a partir de la combinación de tres conjuntos de datos satelitales de TSM de nivel-4 [7], siendo estos el “SST and Sea Ice Reanalysis” [22] de la oficina meteorológica del Reino Unido, con datos de enero de 1985 a noviembre de 2002, “Geo-Polar Blended SST reanalysis” de la NOAA con datos de Noviembre 2002 a octubre 2016 y del “Geo-Polar Blended SST” [9] de la NOAA con datos de Octubre de 2016 a la actualidad.

El ERA5 es la quinta generación de datos atmosféricos de reanálisis del ECMWF. Está ba-

sado en el Integrated Forecasting System (IFS) Cy41r2, cubriendo un período desde 1950 hasta el presente, con datos estimados por hora y una resolución de 31 kilómetros, para variables atmosféricas y oceanográficas [11]. El producto de TSM es una combinación del ECMWF OCEAN5 analysis y el sea-ice concentration (CI) e interpolaciones de la información global proporcionada por la Oficina meteorológica del Reino Unido con su producto The Operational Sea Surface Temperature and Ice Analysis (OSTIA) [4].

El ERSST es un análisis global mensual de TSM, desde 1854 hasta el presente, el cual se obtiene mediante los datos del International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set (ICOADS), interpolado por métodos estadísticos. Presenta la media temporal de la TSM con una resolución de $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ [12].

4.4.2. Región estudiada y análisis

Para el análisis de la TSM se definió una Región Cercana a Guatemala (RCG) (8° - 18° N, 96° - 86° W), y se utilizaron los datos del CRW y de ERA5. También se comparó dicho análisis con los obtenidos sobre la región conocida como El Niño 3.4 (5° S - 5° N; 170° W - 170° W) [21], utilizando los datos de ERSST.

Para la RCG y utilizando los datos de CRW y ERA5, se analizaron tres variables, siendo estas las anomalía sobre la temperatura media, máxima y mínima diaria, las cuales posteriormente se procedió a calcular la media mensual y la media espacial sobre dichas variables (ver la sección de resultados 5.3). Para la región El Niño 3.4, se calcularon las anomalías sobre la temperatura media diaria, y se calculó la media mensual y espacial. Se analizó el comportamiento de estas anomalías para los períodos mensuales y se compararon los datos de la RCG y los de la región El Niño 3.4.

5. Resultados y análisis

A continuación, se muestran los resultados obtenidos al calcular las anomalías con el periodo de referencia de la climatología de 1991-2020.

5.1. Temperatura



Figura 1: Anomalías de temperatura media

En la figura 1 se presenta la comparación de anomalías de temperatura anual para Guatemala tomando datos de reanálisis de ERA5-Land y datos de estaciones meteorológicas de INSIVUMEH. Usando la climatología de 1991-2020 como periodo de referencia se encuentra que los valores de anomalías están entre $[-1.0, 1.2]$ grados Celcius para los años desde 1981 hasta 2021. La temperatura media para el año 2021 estuvo $0.72\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $0.42\text{ }^{\circ}\text{C}$ sobre el promedio de 1991-2020 en la región de Guatemala según datos observados de las estaciones de INSIVUMEH y de ERA5-Land, respectivamente. De forma espacial se puede observar en las figuras 3 y 5 la distribución de anomalías a lo largo del territorio de Guatemala para el año 2021 tomando como periodo de referencia los años de 1991-2020. Para los datos de ERA5-Land se tiene un rango de anomalías de temperatura media de $[-0.4, 0.9]\text{ }^{\circ}\text{C}$ mientras que para los datos observados se tiene un rango de $[-2.6, 2.5]\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sin embargo, al analizar los mapas por periodos de tres meses (figuras 2 y 4) se pueden encontrar anomalías de temperatura media entre $-0.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ para datos de ERA5-Land y valores entre $-3.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ y

3.4 °C para datos de las estaciones de INSIVUMEH.

Los mapas de anomalías de temperatura estacional del año 2021 (ver figura 2), realizados con datos de reanálisis de ERA5-Land, refleja que el trimestre con mayor incremento de temperatura se presentó en los meses de agosto, septiembre y octubre donde se denota los valores máximos en el departamento de Petén, no obstante el trimestre que presentó un aumento más generalizado en el territorio nacional incluye los meses de febrero, marzo y abril. El mapa de anomalía de temperatura superficial de la figura 3 refleja que durante el año 2021 la temperatura aumentó principalmente en los departamentos del Norte y Este del país, reflejando cambios en temperatura de menor intensidad en la parte sur y oeste, es decir en las regiones del Pacífico y Bocacosta. En cuanto a los mapas de anomalías realizados con datos de INSIVUMEH (figura 4) se identifican en el trimestre de agosto a octubre los valores de temperaturas más altos de forma generalizada en el departamento de Petén. De forma similar, el mapa de anomalía de temperatura media superficial del año 2021 (figura 5) muestra que la estación de Flores, Petén registró una temperatura media anual de 2.5 °C el cual es el valor máximo observado.

5.1.1. Datos ERA5-Land

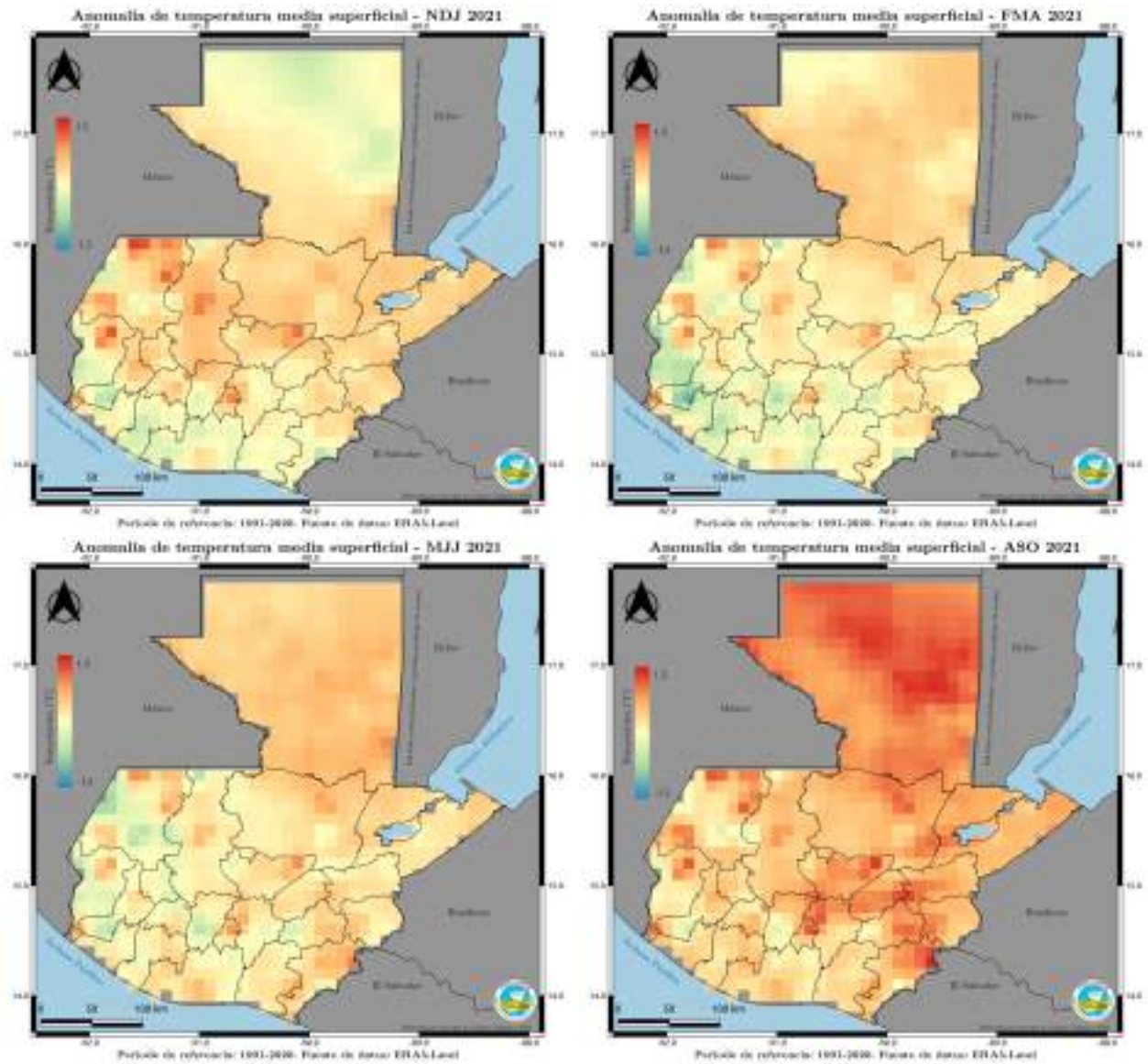


Figura 2: Anomalías de temperatura estacional para Guatemala en el año 2021 con periodo de referencia 1991-2020 utilizando datos de ERA5-Land.

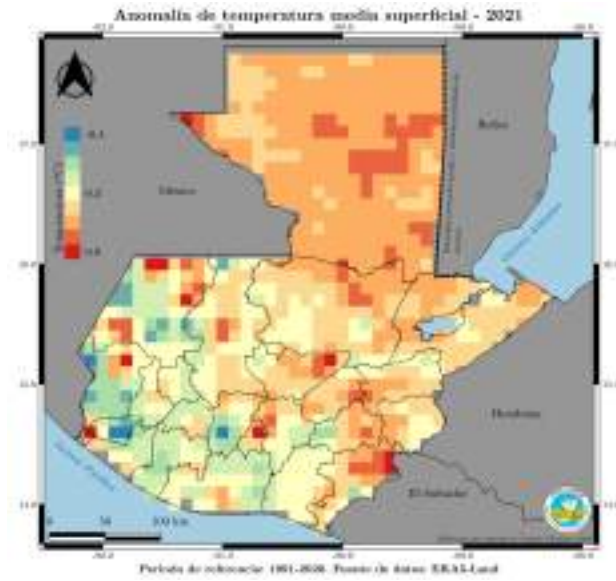


Figura 3: Anomalías de temperatura de Guatemala en el año 2021 con periodo de referencia 1991-2020 utilizando datos de ERA5-Land.

5.1.2. Datos INSIVUMEH

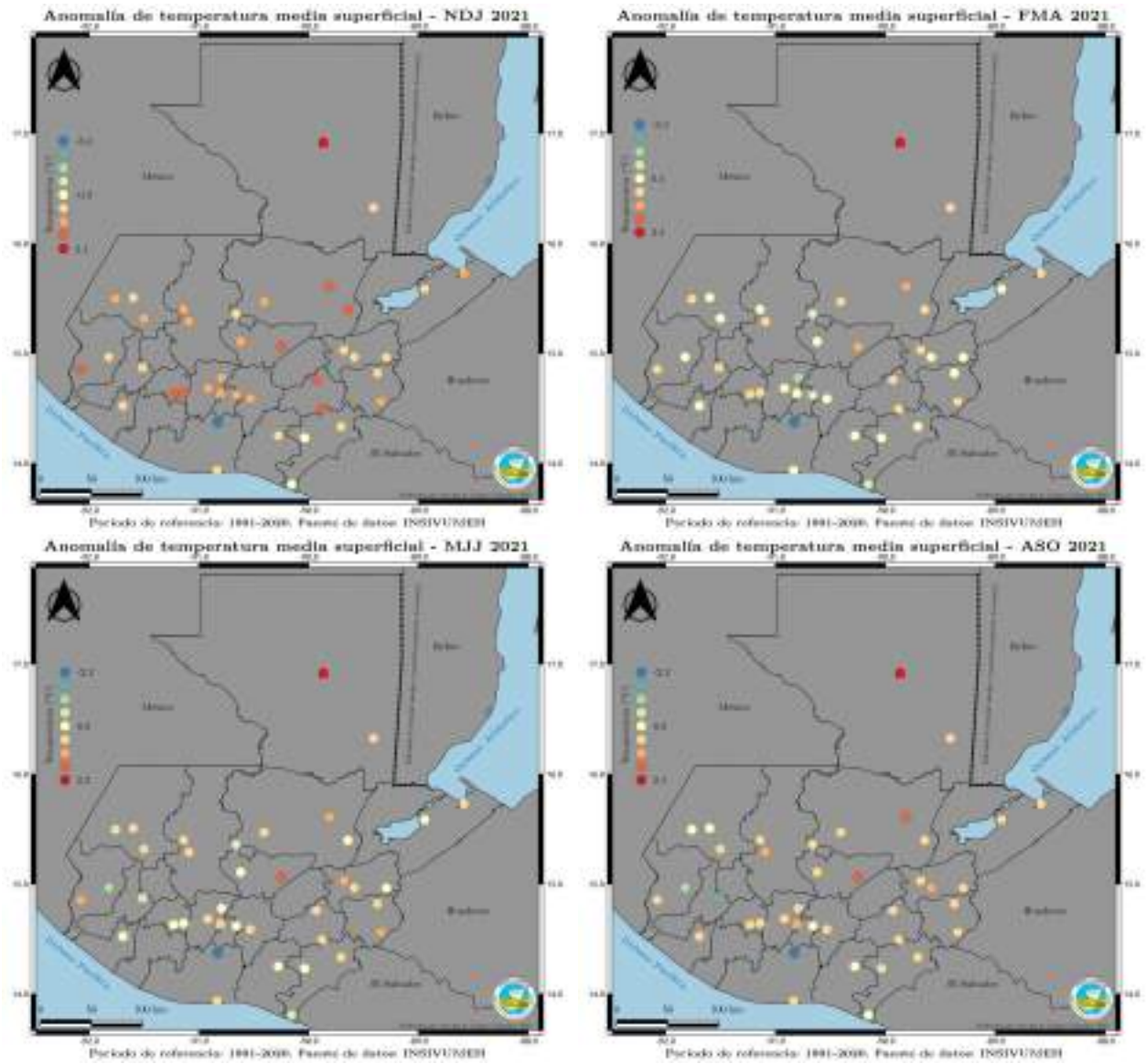


Figura 4: Anomalías de temperatura estacional para Guatemala en el año 2021 con periodo de referencia 1991-2020 utilizando datos de INSIVUMEH.

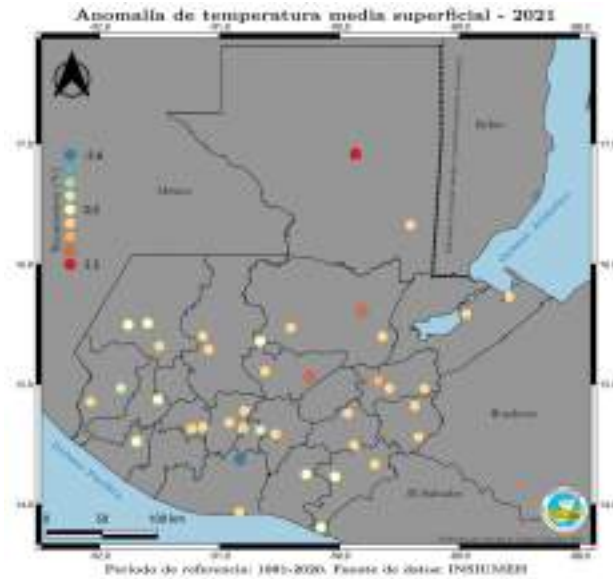


Figura 5: Anomalías de temperatura de Guatemala en el año 2021 con periodo de referencia 1991-2020 utilizando datos de INSIVUMEH.

5.2. Precipitación

En la Figura 6 se realizó la comparación de anomalías de los datos de precipitación observados por INSIVUMEH y los de reanálisis CHIRPS para los años del 1981-2021 utilizando como periodo de referencia la climatología de 1991-2020.

Se puede observar que en el periodo de 2010 a 2013 se presentaron las anomalías positivas mayores de todo el periodo de análisis (1981-2021).

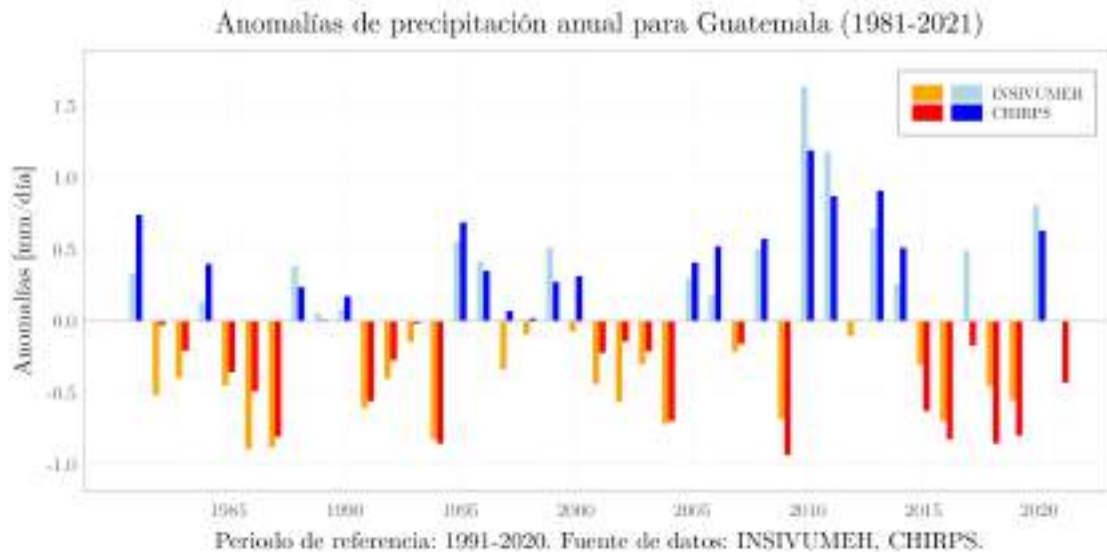


Figura 6: Anomalías de precipitación anual en Guatemala para los años 1981-2021 con periodo de referencia 1991-2020 utilizando datos de CHIRPS v2.0 e INSIVUMEH.

Las anomalías mensuales para el año 2021, con periodo de referencia de 1991-2020 se muestran en la Figura 7, en ella se utilizó el conjunto de datos observados de INSIVUMEH y de reanálisis de CHIRPS v2.0.

La precipitación anual para Guatemala, en 2021 varió con la media mayormente para los meses de julio a noviembre, con valores entre -2.0mm/día y 2.5 mm/día . Durante el año se observó que las condiciones más húmedas (por encima de la media) fueron en agosto con un registro de anomalías de alrededor de 2.4 mm/día . Los meses que registraron condiciones más secas que la media fueron del período de septiembre, octubre y noviembre, las cuales presentaron valores de -1.77 mm/día , -2.03 mm/día y -1.51 mm/día respectivamente. El resto del año, la mayoría de las precipitaciones se mantuvieron por encima de la media con condiciones más húmedas.



Figura 7: Anomalías de precipitación mensual para Guatemala en el año 2021 con periodo de referencia 1991-2020 utilizando datos de CHIRPS v2.0 e INSIVUMEH.

5.2.1. Datos de CHIRPS v2.0

En la Figura 8 se muestran los mapas de anomalías de precipitación estacional del año 2021. La primera estación corresponde a los meses Nov-Dic-Ene donde Nov-Dic son del año anterior, 2020. La segunda, tercera y cuarta estación corresponden a los meses Feb-Mar-Abr, May-Jun-Jul y Ago-Sep-Oct del año 2021 respectivamente. Se muestran 4 mapas con un índice de color tal que para una anomalía positiva (más lluvia en comparación a la climatología) es color azul, y negativa es rojo. Estos resultados se obtuvieron utilizando los datos de CHIRPS.

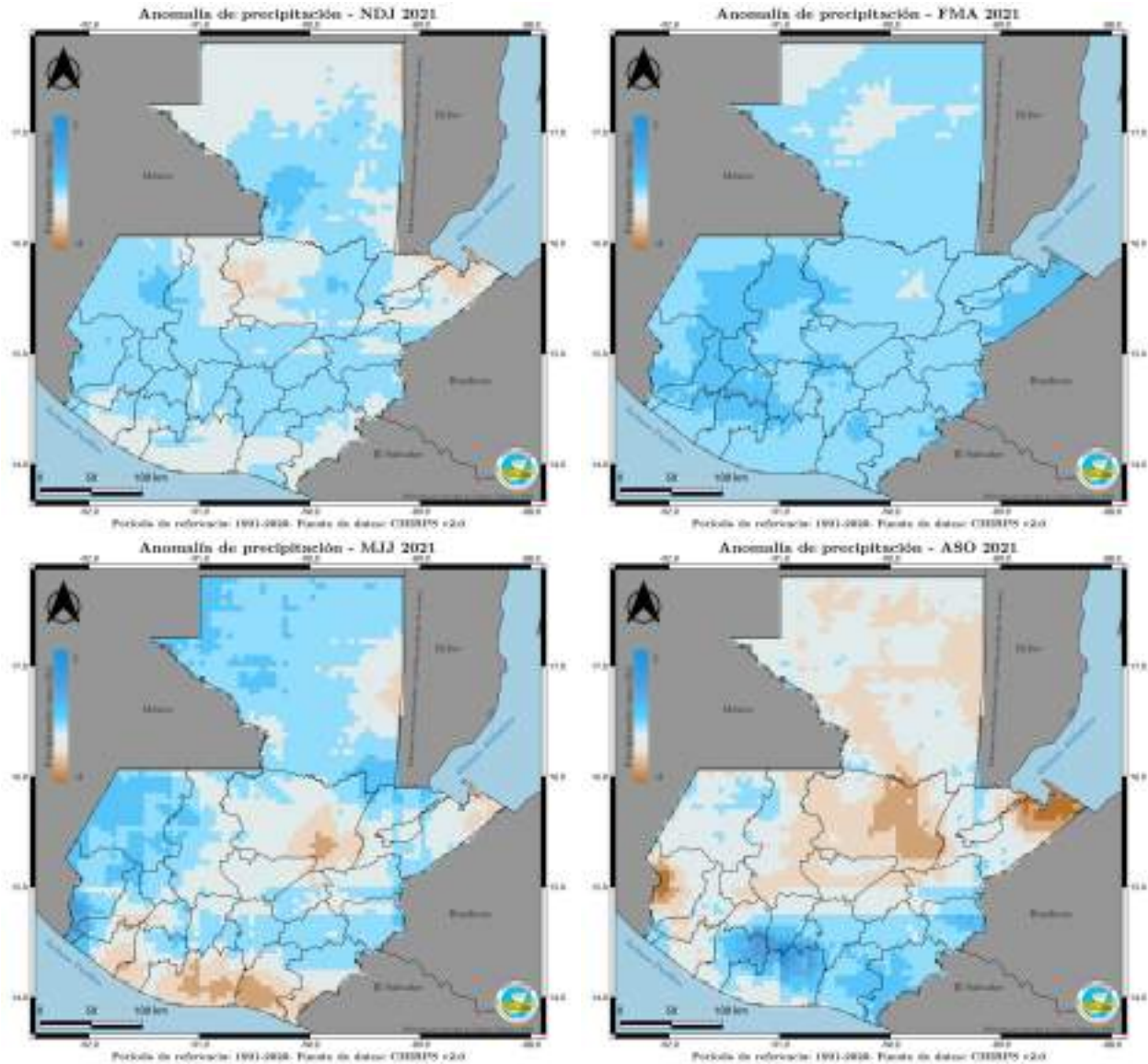


Figura 8: Anomalías de precipitación estacional para Guatemala en el año 2021 con periodo de referencia 1991-2020 utilizando datos de CHIRPS v2.0.

En la Figura 8 se observa que la estación con mayores anomalías positivas de precipitación fue la de ASO y además fue la estación con mayores anomalías negativas localizadas en la región Caribe.

En la Figura 9 se muestra el mapa de anomalías de precipitación del año 2021 utilizando los datos de CHIRPS v2.0.

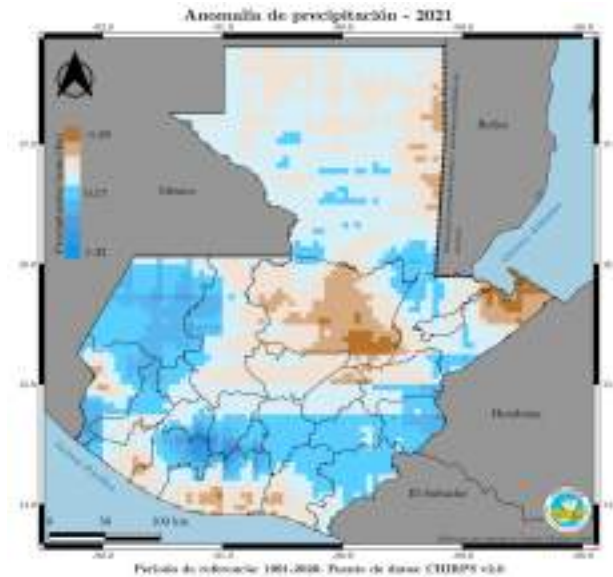


Figura 9: Anomalías de precipitación de Guatemala en el año 2021 con periodo de referencia 1991-2020 utilizando datos de CHIRPS v2.0.

En los mapas de estaciones se observa que en Alta Verapaz hubo anomalías negativas en todas las estaciones del año 2021, en el mapa de la figura 9 se observa de igual forma que en promedio el departamento de Alta Verapaz presentó menos precipitación en comparación a la climatología de referencia 1991-2020. Sin embargo podemos observar en la Figura 10 que en Alta Verapaz fue el que presentó mayores anomalías positivas de precipitación máxima que el resto del territorio nacional junto con Petén. Quiere decir que en todo el año Alta Verapaz presentó las mayores cantidades máximas a pesar que en promedio a lo largo del año hubo menor precipitación que el resto de departamentos.

En la Figura 10 se observa la anomalía de precipitación máxima en el año 2021.



Figura 10: Anomalía de precipitación máxima para el año 2021 con periodo de referencia la climatología del 1991-2020 con los datos de CHIRPS v2.0

En el apartado de Anexos se pueden observar los mapas de anomalías de precipitación mensual para el año 2021 utilizando los datos de CHIRPS v2.0.

5.2.2. Datos de INSIVUMEH

Los mapas de anomalía de precipitación estacional para Guatemala en el año 2021 en base a la climatología de 1991-2020 correspondientes a datos de INSIVUMEH se muestran en la figura 11. En la figura 12 se muestra el mapa de anomalías de precipitación del año 2021 utilizando datos de las estaciones meteorológicas de INSIVUMEH.

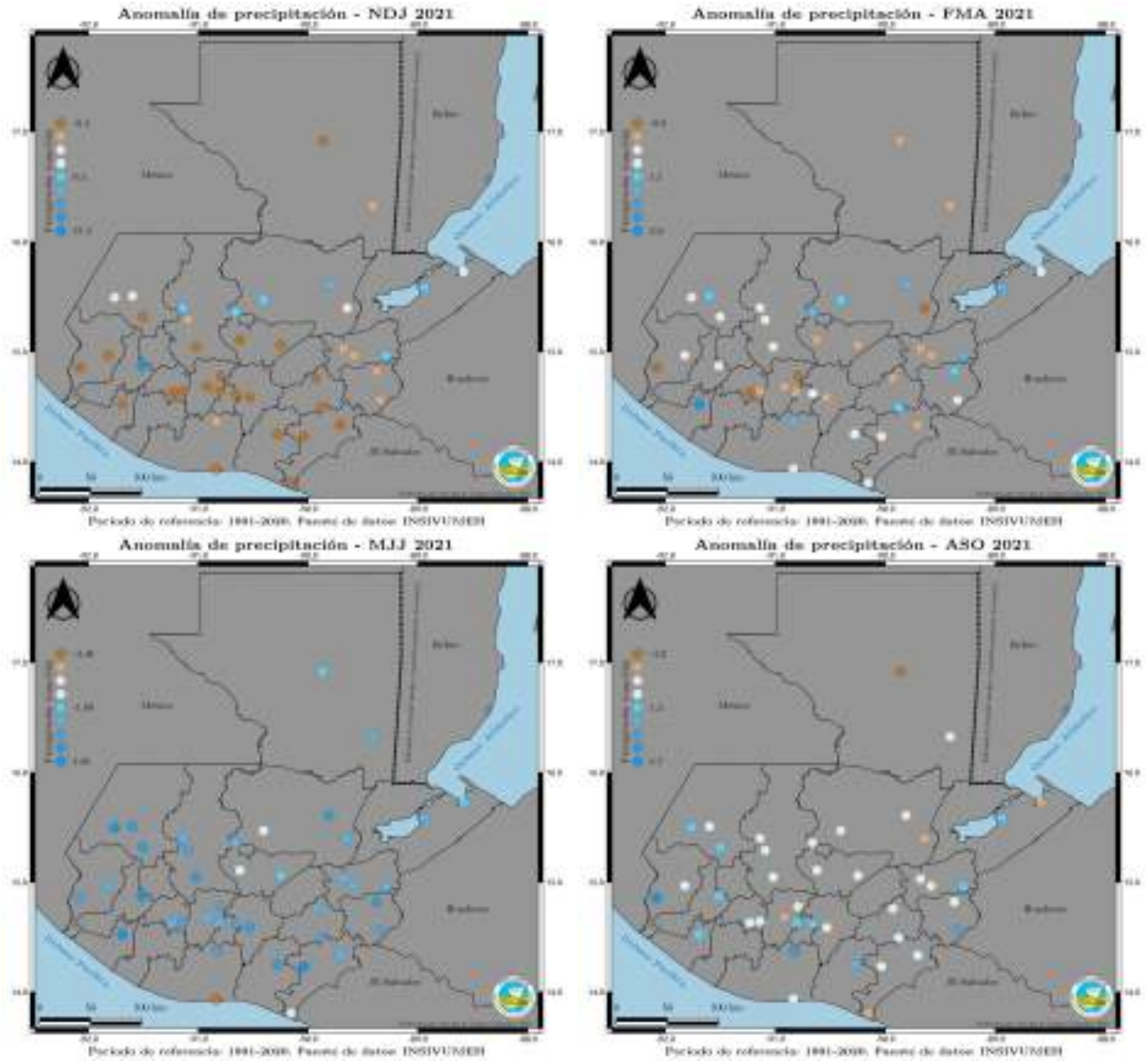


Figura 11: Anomalías de precipitación estacional para Guatemala en el año 2021 con periodo de referencia 1991-2020 utilizando datos de INSIVUMEH.



Figura 12: Anomalías de precipitación de Guatemala en el año 2021 con periodo de referencia 1991-2020 utilizando datos de INSIVUMEH.

5.3. Temperatura Superficial Del Mar

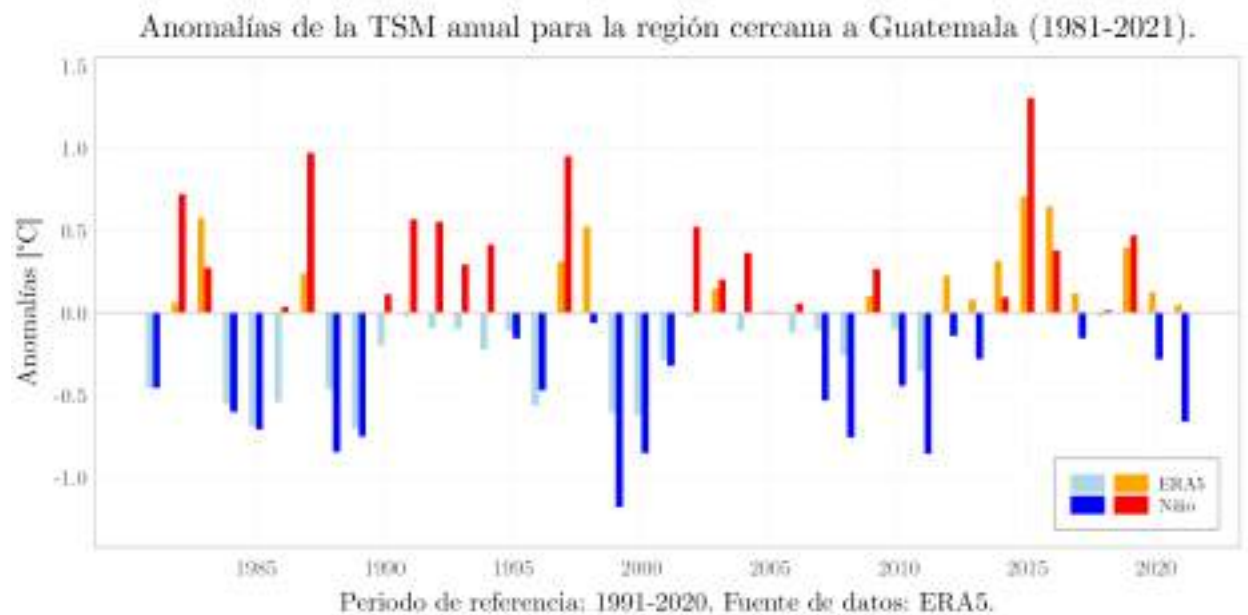


Figura 13: Anomalías anuales de la temperatura superficial del mar de la región Niño 3.4, utilizando los datos de de ERSST, y la de la región cercana a Guatemala utilizando los datos de ERA5. Climatología de referencia 1991-2020.

En la Figura 13 se muestra las anomalías anuales con referencia a la climatología 1991-2020 para las regiones cercanas a Guatemala y para la región del Niño 3.4. El comportamiento de la región cercana a Guatemala se ve correlacionado con el de la región del Niño 3.4, corroborado por dos índices de correlación, el de spearman y el de pearson, con valores de 0.65 y 0.68 respectivamente. Durante todo ese período, las anomalías en la región 3.4 no parecen tener ninguna tendencia a aumentar a lo largo de los años, sin embargo, las anomalías de la región cercana a Guatemala si parece tener una pendiente positiva, con anomalías negativas para el período de 1980-2011, con excepciones que parecen ser influenciadas por fuertes períodos Niño.

En la figura 14 se pueden ver las anomalías de la temperatura superficial del mar mensual media del año 2021 en grados celsius, promediada sobre la región oceanográfica de interés definida en la sección 4.4, utilizando la climatología de referencia 1991-2020. Tanto las anomalías obtenidas con los datos de ERA5, como los obtenidos del CRW, muestran que en los meses de marzo a junio, la temperatura superficial del mar se mantuvo por debajo del valor medio de la climatología usada, y en los meses de julio a octubre se mantuvo sobre esta. A pesar de tener meses más fríos y meses con temperaturas más elevadas, la temperatura promedio del año (ver figura 18, 19 y 20) estuvo por encima de la climatología 1991-2020, por un valor estimado de 0.03°C utilizando los datos de ERA5 y de 0.11°C utilizando los datos del CSW.

Estudiando el valor promedio de las temperaturas máximas y mínimas por día, en la superficie del mar, dentro de la región de interés (figuras 15 y 16), se puede ver que los valores extremos diarios también presentan anomalías con la misma tendencia que los valores medios. Temperaturas más frías para los meses de marzo a junio y temperaturas más cálidas para los meses de julio a octubre. Por otro lado, el valor medio anual de las temperaturas máximas y mínimas por día son de -0.002° y 0.073° respectivamente, utilizando los valores del CRW y, de 0.062° y 0.0042° respectivamente, utilizando los valores de reanálisis de ERA5.

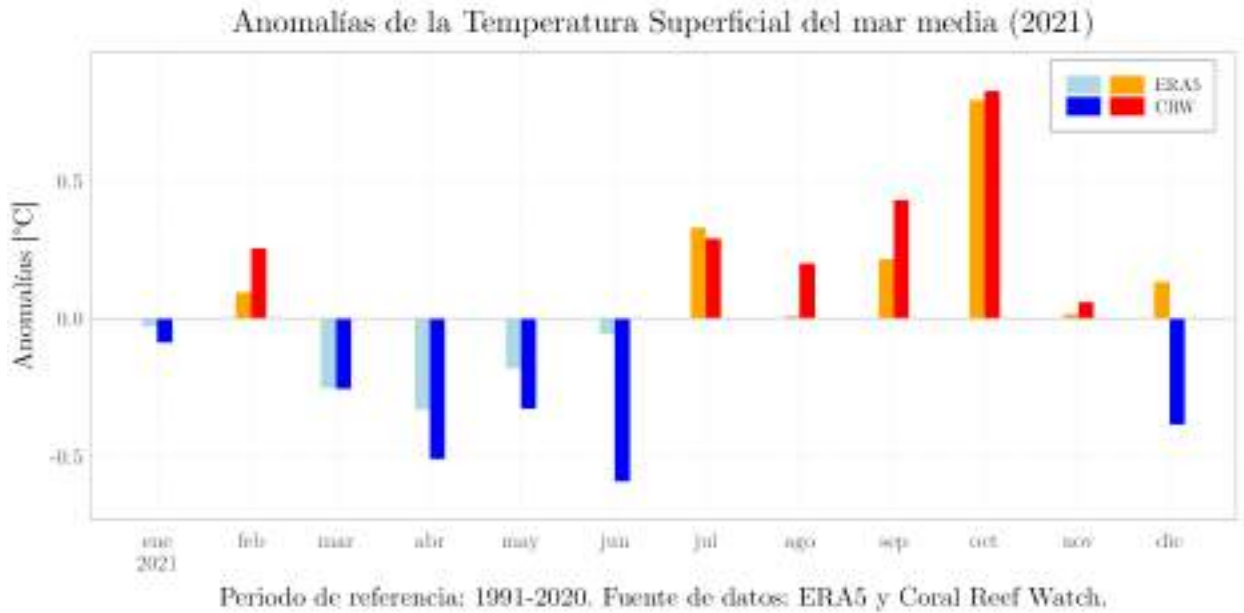


Figura 14: Anomalías de la temperatura superficial del mar media diaria del año 2021, utilizando la climatología de referencia 1991-2020, con los datos de ERA5 y del modelo CRW.

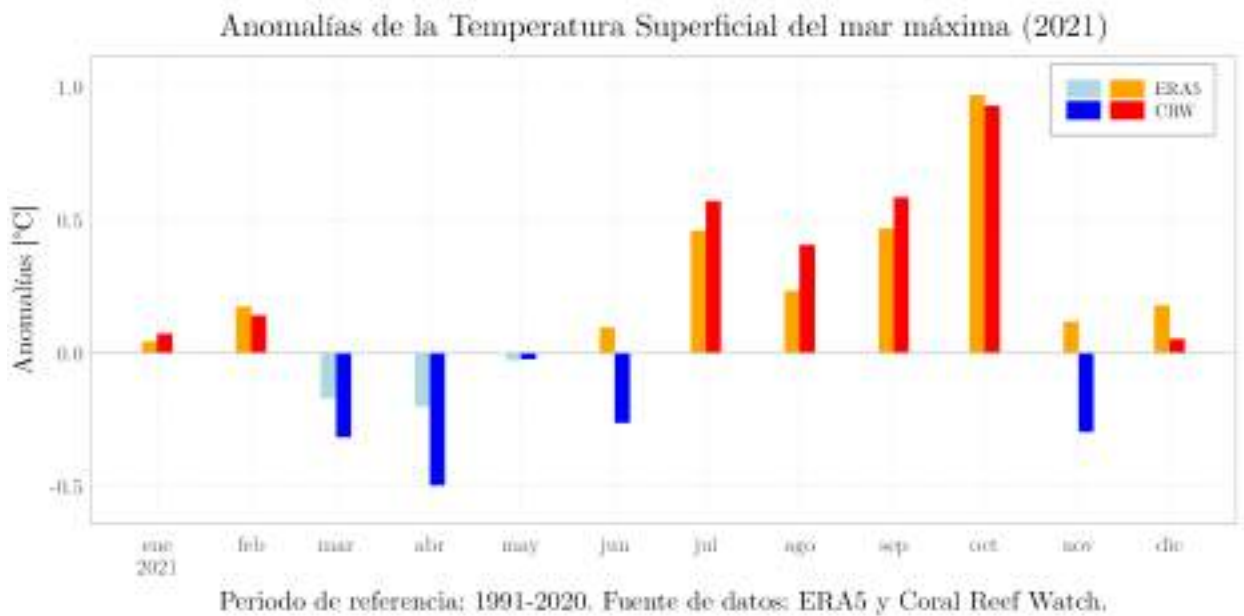


Figura 15: Anomalías de la temperatura superficial del mar máxima diaria del año 2021, utilizando la climatología de referencia 1991-2020, con los datos de ERA5 y del modelo CRW.

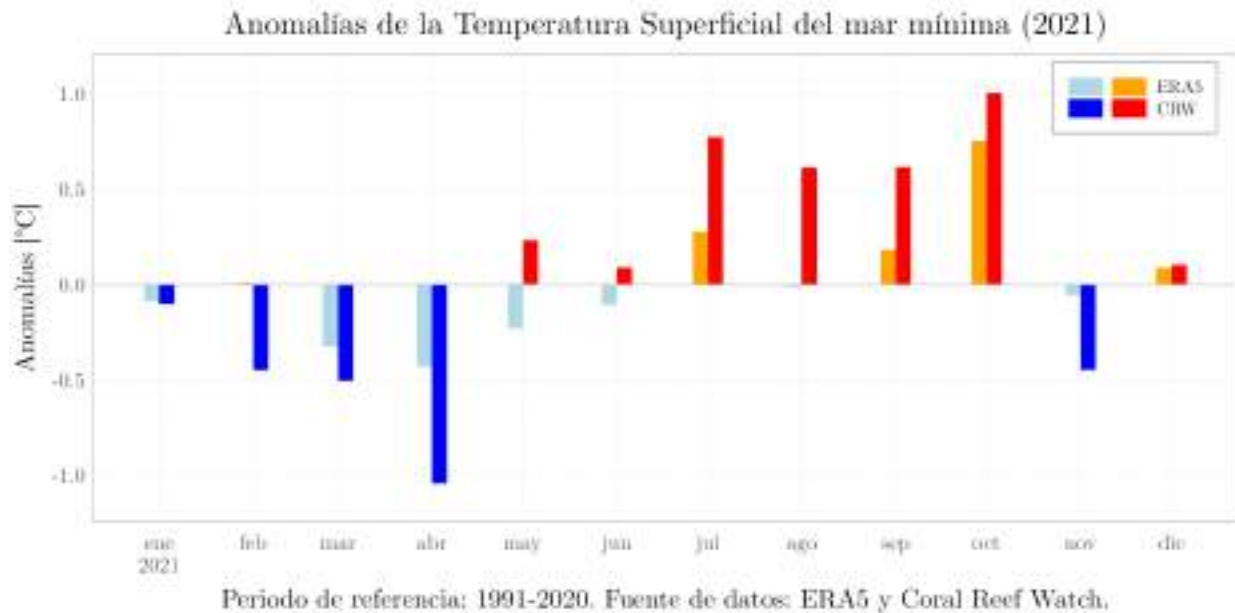


Figura 16: Anomalías de la temperatura superficial del mar mínima diaria del año 2021, utilizando la climatología de referencia 1991-2020, con los datos de ERA5 y del modelo CRW.

En la figura 17 se comparan las dos fuentes de datos para la anomalía de la temperatura superficial del mar media para la región circundante a Guatemala y la región Niño 3.4, calculada utilizando datos del ERSST. Los valores calculados con ERA5 y los de la región 3.4 presentan un coeficiente de correlación de Spearman de 0.41, indicando que la anomalía de la TSM mensual sobre estas dos regiones oceanográficas tendieron a tener el mismo comportamiento, presentando una anomalía positiva en las regiones cercanas a Guatemala a la vez que la anomalía es positiva para la región 3.4, pero al no ser un valor muy alto y al tener un p-value de 0.18, no se puede rechazar la hipótesis nula de que este resultado fue puramente del azar. De igual forma, los valores calculados con CRW y los de la región 3.4 presentan un coeficiente de correlación de Spearman de 0.34 y un p-value de 0.29. Por último, los valores calculados con ERA5 y los calculados con CRW presentan un coeficiente de correlación de Spearman de 0.89 con un p-value de 0.0001, lo cual indica una alta probabilidad de que estos dos conjuntos de datos se encuentren fuertemente correlacionados.

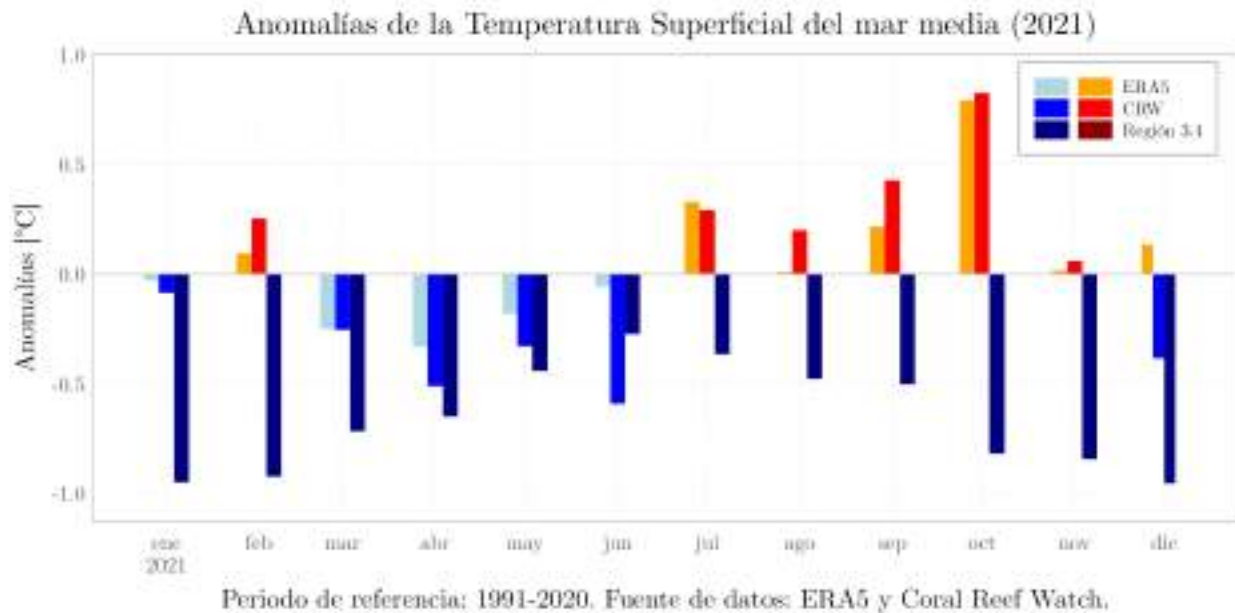


Figura 17: Anomalías de la temperatura superficial del mar media diaria del año 2021, utilizando la climatología de referencia 1991-2020, con los datos de ERA5 y del modelo CRW para Guatemala, y de la región 3.4 con los datos de ERSST.

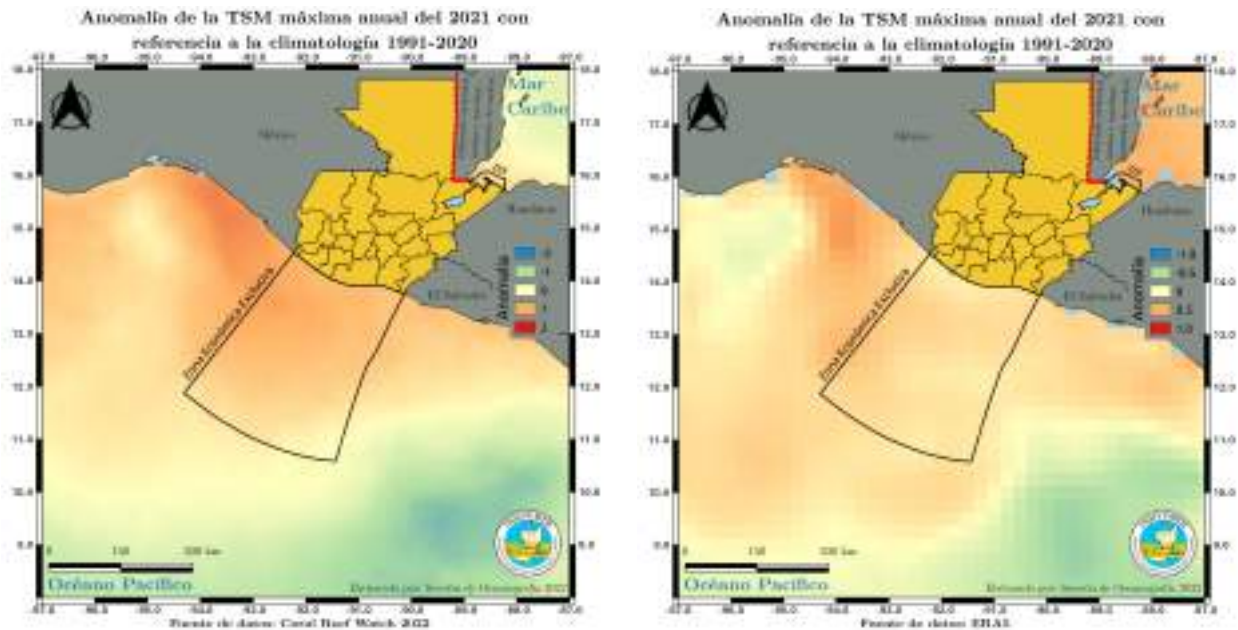


Figura 18: Anomalías de la temperatura superficial del mar máxima del año 2021, utilizando la climatología 1991-2020, modelo CRW (izquierda) ERA5 (derecha).

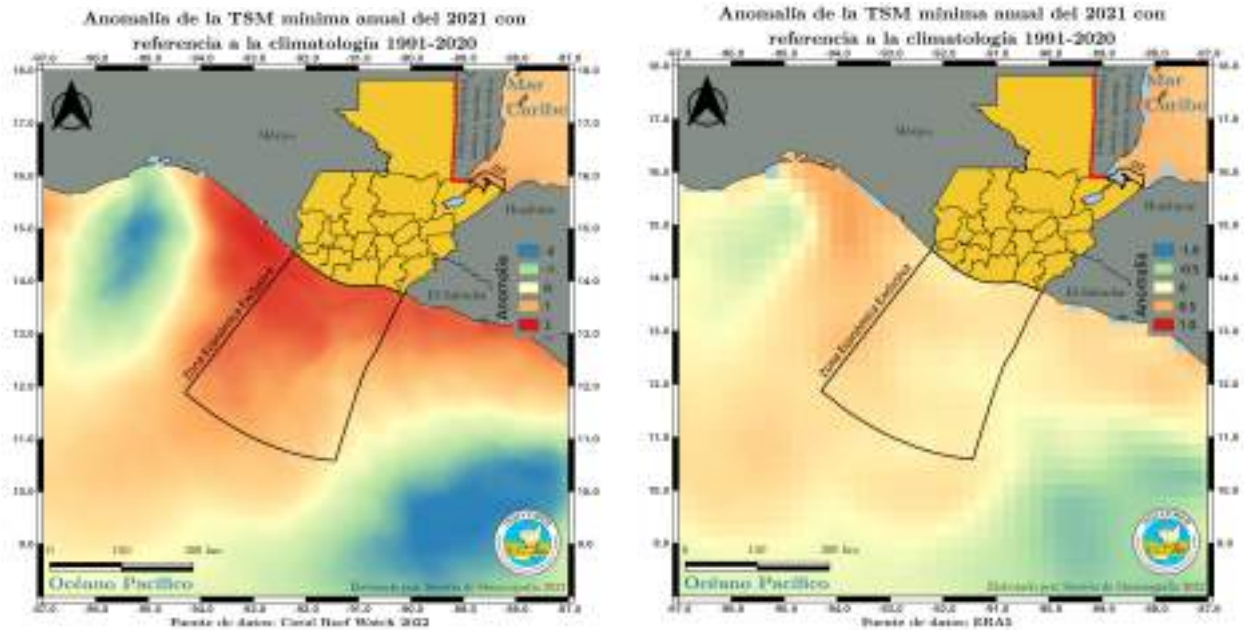


Figura 19: Anomalías de la temperatura superficial del mar mínima del año 2021, utilizando la climatología 1991-2020, modelo CRW (izquierda) ERA5 (derecha).

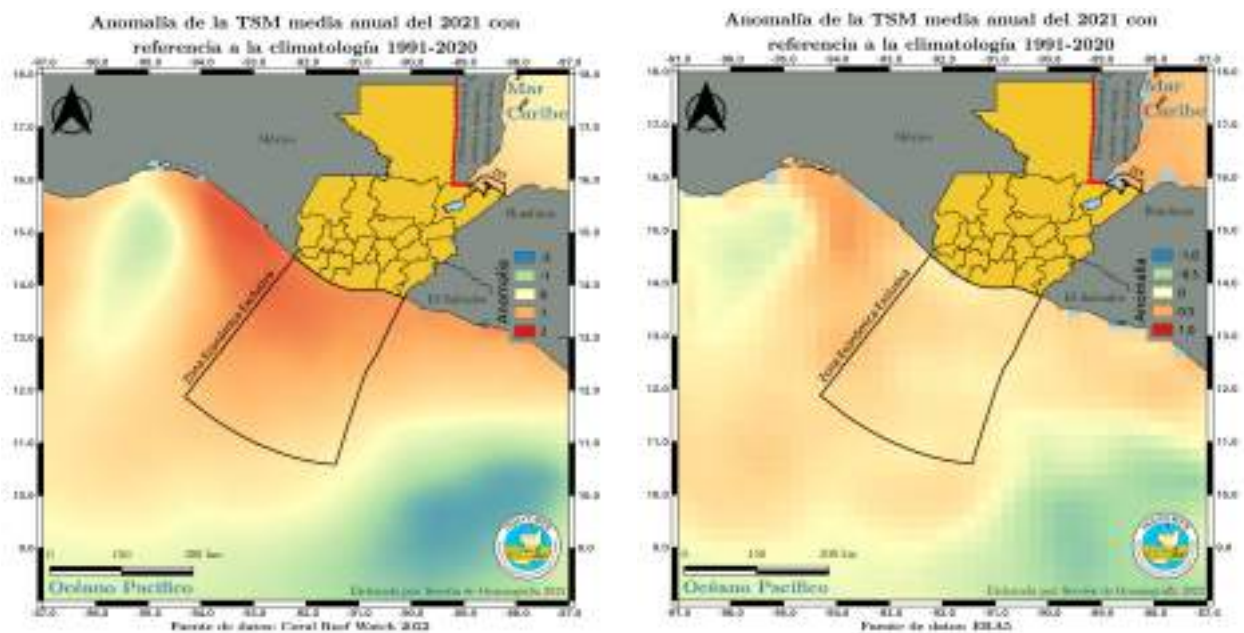


Figura 20: Anomalías de la temperatura superficial del mar media del año 2021, utilizando la climatología 1991-2020, modelo CRW (izquierda, coloración de -2 a 2) ERA5 (derecha, coloración de -1 a 1).

Referencias

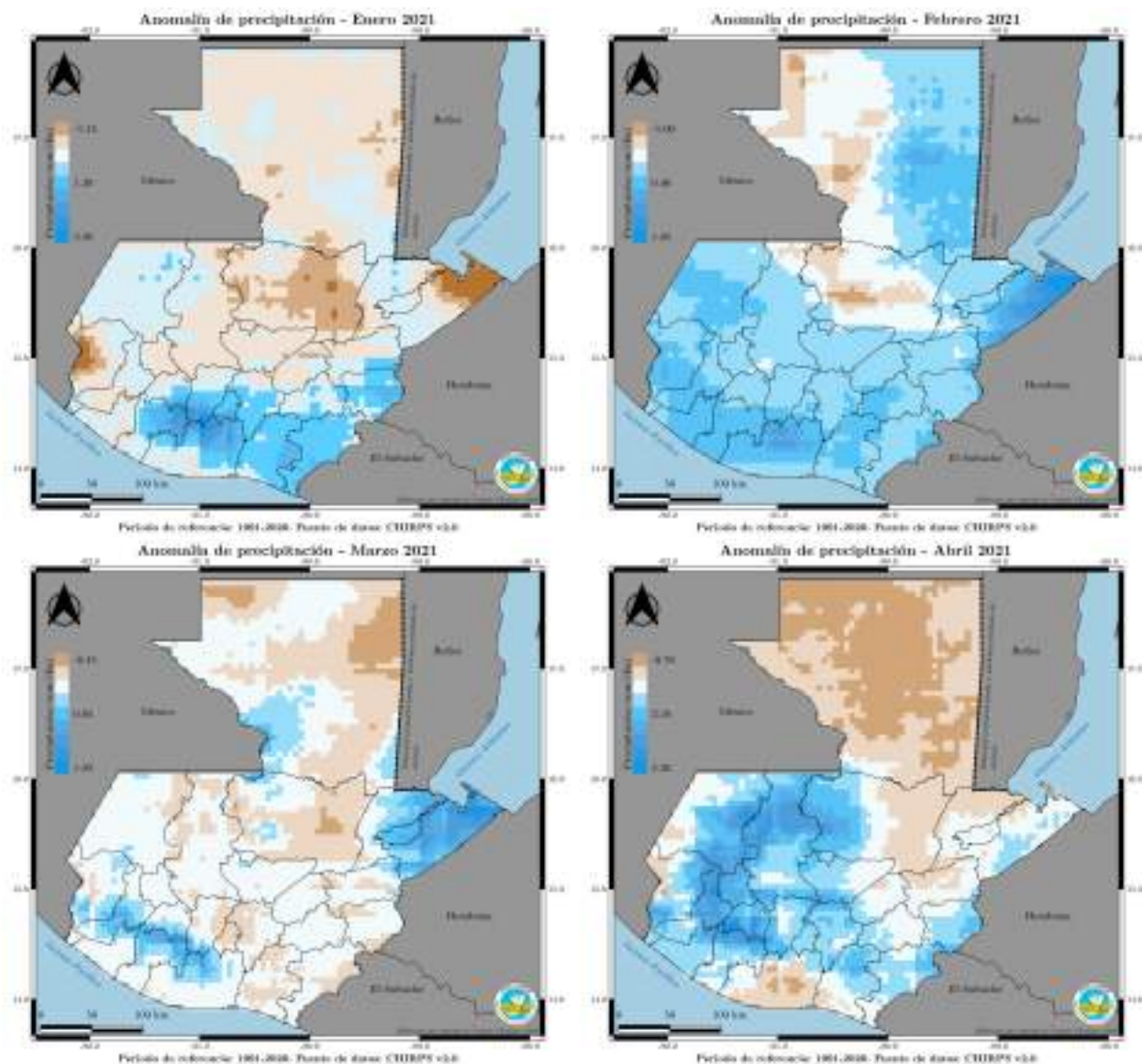
- [1] S. George Philander (Eds.) *El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation*. International Geophysics 46. Academic Press, 1990. ISBN: 0125532350. URL: <http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=5b85ca4fa464b47a166ece5d604b194a>.
- [2] Eric Alfaro y Jorge A Amador. «Variabilidad y cambio climático en algunos parámetros sobre Costa Rica y su relación con fenómenos de escala sinóptica y planetaria». En: *Oceanogr* 4 (1997), págs. 51-62.
- [3] Climate Change Service - Copernicus. *Calculating climatologies and anomalies Climate Change Service*. https://cds.climate.copernicus.eu/toolbox/doc/how-to/13_how_to_calculate_climatologies_and_anomalies/13_how_to_calculate_climatologies_and_anomalies.html. [Recuperado 7 de septiembre de 2022]. 2020.
- [4] IFS Documentatinn Cycle Cy47r3. «IFS DOCUMENTATION PART II: DATA ASSIMILATION (Cy47r3)». En: (2021).
- [5] Dietmar Dommenges. «The ocean's role in continental climate variability and change». En: *Journal of Climate* 22.18 (2009), págs. 4939-4952.
- [6] Emanuel Dutra et al. «New snow scheme in HTESSEL: description and offline validation». En: 607 (dic. de 2009), pág. 25. DOI: [10.21957/98x9mrv1y](https://doi.org/10.21957/98x9mrv1y). URL: <https://www.ecmwf.int/node/9167>.
- [7] NASA Earth Science Data Systems. *Data Processing Levels*. URL: <https://www.earthdata.nasa.gov/engage/open-data-services-and-software/data-information-policy/data-levels>.
- [8] National Centers for Environmental Information - National Oceanic y Atmospheric Administration (NCEI-NOAA) s. f. *Anomalies vs. Temperature. National Centers for Environmental Information*. <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/dyk/anomalies-vs-temperature>. [Recuperado 7 de septiembre de 2022].
- [9] Andy Harris et al. «A New High-Resolution Sea Surface Temperature Blended Analysis». En: *Bulletin of the American Meteorological Society* 98.5 (mayo de 2017), págs. 1015-1026. DOI: [10.1175/bams-d-15-00002.1](https://doi.org/10.1175/bams-d-15-00002.1). URL: <https://doi.org/10.1175/bams-d-15-00002.1>.

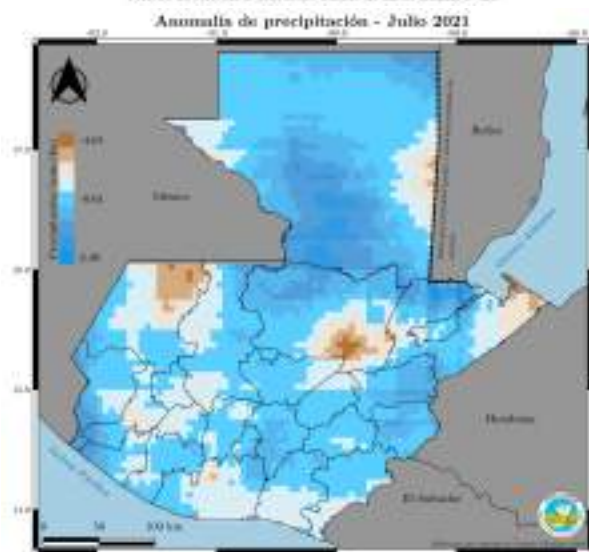
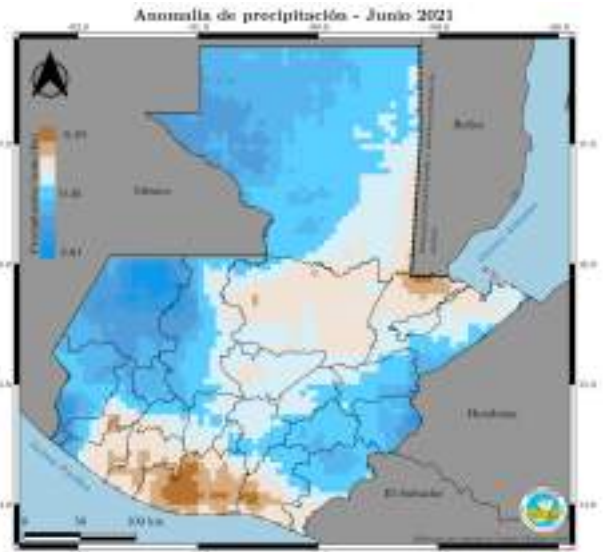
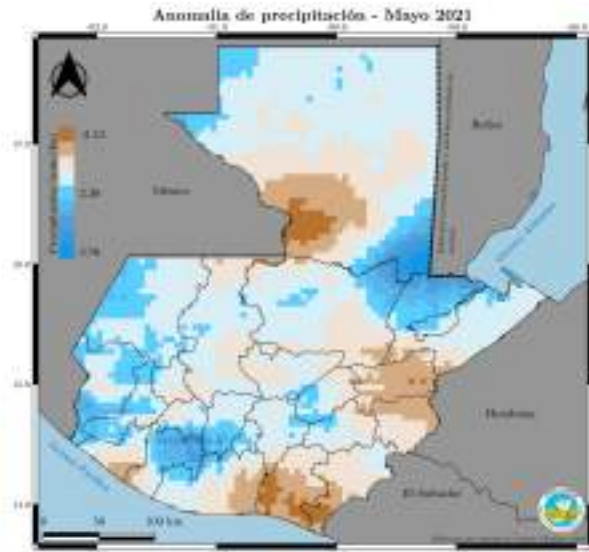
- [10] H. Hersbach et al. *ERA5 hourly data on single levels from 1959 to present*. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). Accessed: 22-09-2022. 2018. DOI: [10.24381/cds.adbb2d47](https://doi.org/10.24381/cds.adbb2d47). URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview>.
- [11] Hans Hersbach et al. «The ERA5 global reanalysis». En: *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 146.730 (2020), págs. 1999-2049.
- [12] Boyin Huang et al. *NOAA Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST), Version 5*. <https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.noaa.ersst.v5.html>. 2017. DOI: [10.7289/V5T72FNM](https://doi.org/10.7289/V5T72FNM).
- [13] «IFS Documentation CY45R1 - Part IV : Physical processes». En: *IFS Documentation CY45R1*. IFS Documentation 4. ECMWF, 2018. DOI: [10.21957/4whwo8jw0](https://doi.org/10.21957/4whwo8jw0). URL: <https://www.ecmwf.int/node/18714>.
- [14] I Iglesias et al. «La temperatura superficial del mar como herramienta de predicción climática». En: *Environmental Physics Laboratory, Facultade de Ciencias. ACT 1* (2010), págs. 95-108.
- [15] *Index of /products/CHIRPS-2.0 — data.chc.ucsb.edu*. <https://data.chc.ucsb.edu/products/CHIRPS-2.0/>. [Accessed 14-Oct-2022].
- [16] Manoj M Joshi et al. «Mechanisms for the land/sea warming contrast exhibited by simulations of climate change». En: *Climate dynamics* 30.5 (2008), págs. 455-465.
- [17] J Muñoz-Sabater. «ERA5-Land hourly data from 1950 to 1980». En: *Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS)* (2021). DOI: [10.24381/cds.e2161bac](https://doi.org/10.24381/cds.e2161bac).
- [18] J Muñoz-Sabater. «ERA5-Land hourly data from 1981 to present». En: *Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS)* (2019). DOI: [10.24381/cds.e2161bac](https://doi.org/10.24381/cds.e2161bac).
- [19] J. Muñoz-Sabater et al. «ERA5-Land: a state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications». En: *Earth System Science Data* 13.9 (2021), págs. 4349-4383. DOI: [10.5194/essd-13-4349-2021](https://doi.org/10.5194/essd-13-4349-2021). URL: <https://essd.copernicus.org/articles/13/4349/2021/>.
- [20] World Meteorological Organization. *State of the Climate in Latin America and the Caribbean 2021*. 2022.
- [21] VH Ramírez y A Jaramillo. «Relación entre el índice oceánico de El Niño y la lluvia en la región andina central de Colombia». En: (2009).

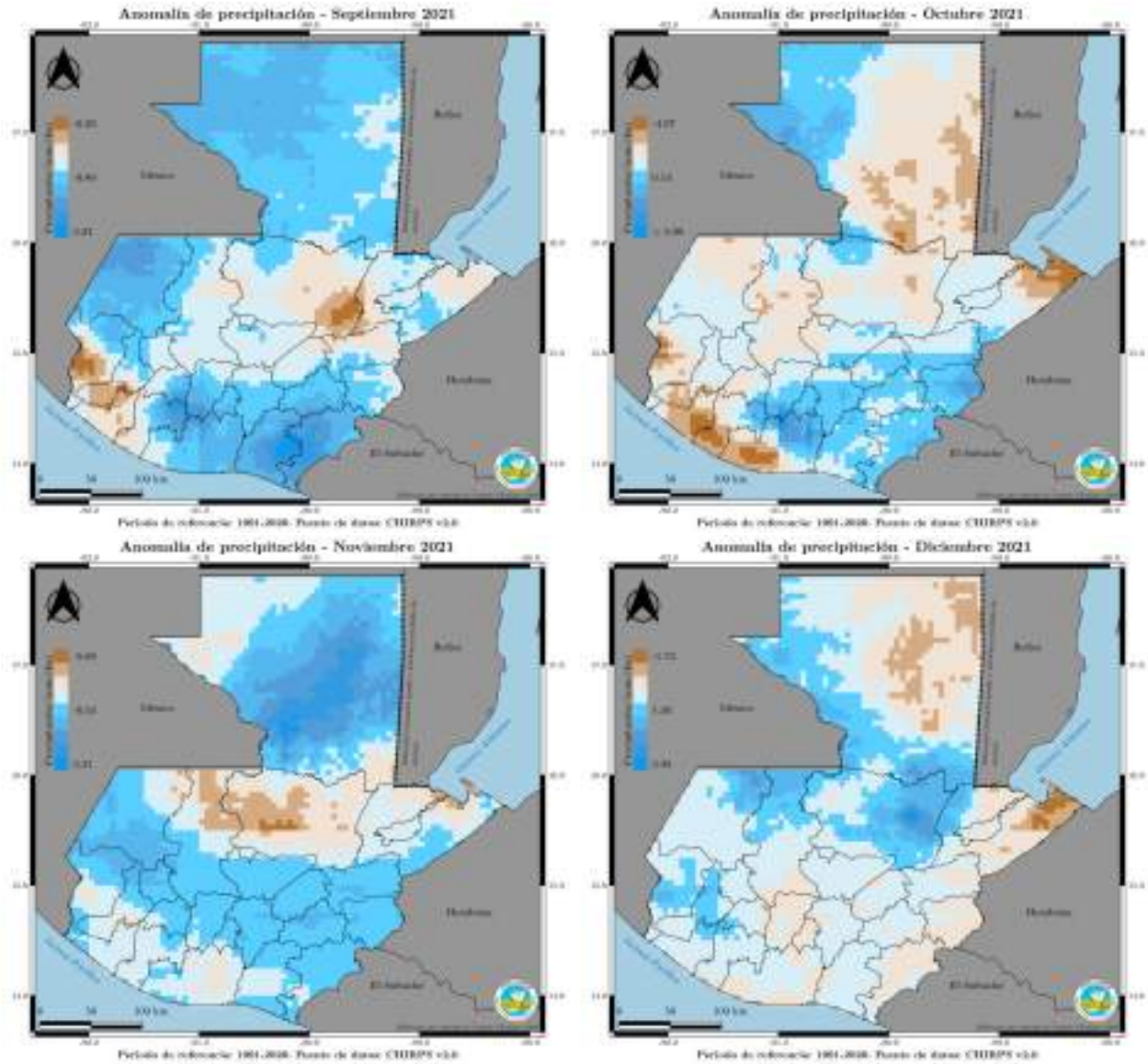
- [22] Jonah Roberts-Jones, Emma Kathleen Fiedler y Matthew James Martin. «Daily, Global, High-Resolution SST and Sea Ice Reanalysis for 1985–2007 Using the OSTIA System». En: *Journal of Climate* 25.18 (abr. de 2012), págs. 6215-6232. DOI: [10.1175/jcli-d-11-00648.1](https://doi.org/10.1175/jcli-d-11-00648.1). URL: <https://doi.org/10.1175/jcli-d-11-00648.1>.
- [23] Hans Joachim Schellnhuber. «Tipping elements in the Earth System». En: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106.49 (dic. de 2009), págs. 20561-20563. DOI: [10.1073/pnas.0911106106](https://doi.org/10.1073/pnas.0911106106). URL: <https://doi.org/10.1073/pnas.0911106106>.
- [24] F. W. Taylor. *Elementary Climate Physics*. 1.^a ed. Oxford University Press, 2005.
- [25] NOAA Coral Reef Watch. *updated daily. NOAA Coral Reef Watch Version 3.1 Daily 5km Satellite Regional Virtual Station Time Series Data for Southeast Florida*. Ed. por College Park. Maryland, USA: NOAA Coral Reef Watch, 2019.

A. Mapas

A continuación se muestran los mapas para las anomalías de precipitación mensual del año 2021 con los datos de CHIRPS v2.0.







A continuación se muestran los mapas para las anomalías de precipitación mensual del año 2021 con los datos de INSIVUMEH.



Periodo de referencia: 1991-2008. Fuente de datos: INSIVUMGH



Periodo de referencia: 1991-2008. Fuente de datos: INSIVUMGH



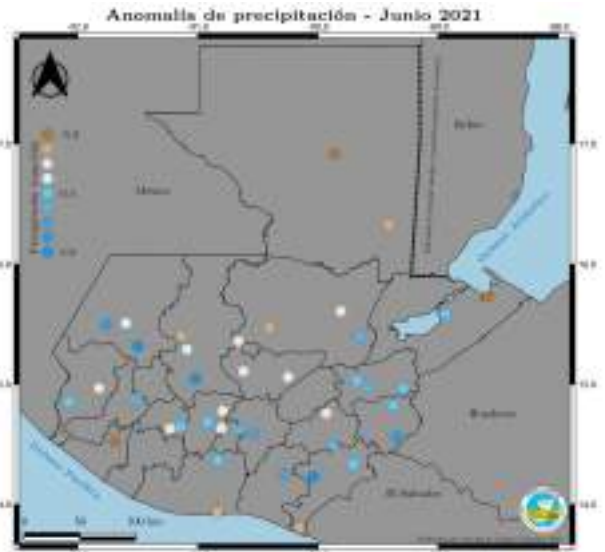
Periodo de referencia: 1991-2008. Fuente de datos: INSIVUMGH



Periodo de referencia: 1991-2008. Fuente de datos: INSIVUMGH



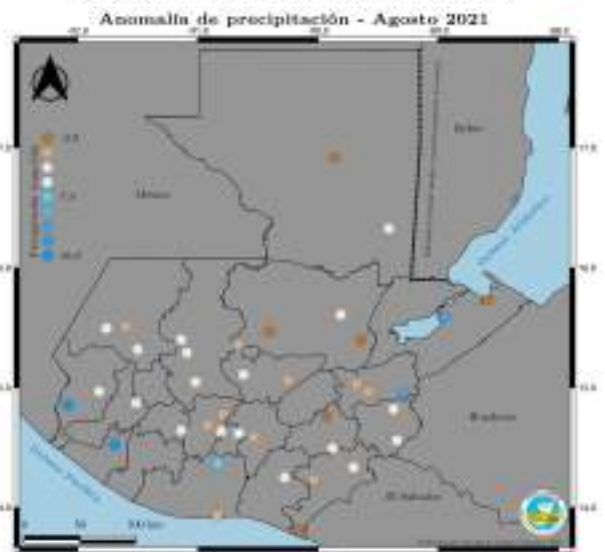
Periodo de referencia: 1991-2020. Fuente de datos: INSIVUMET



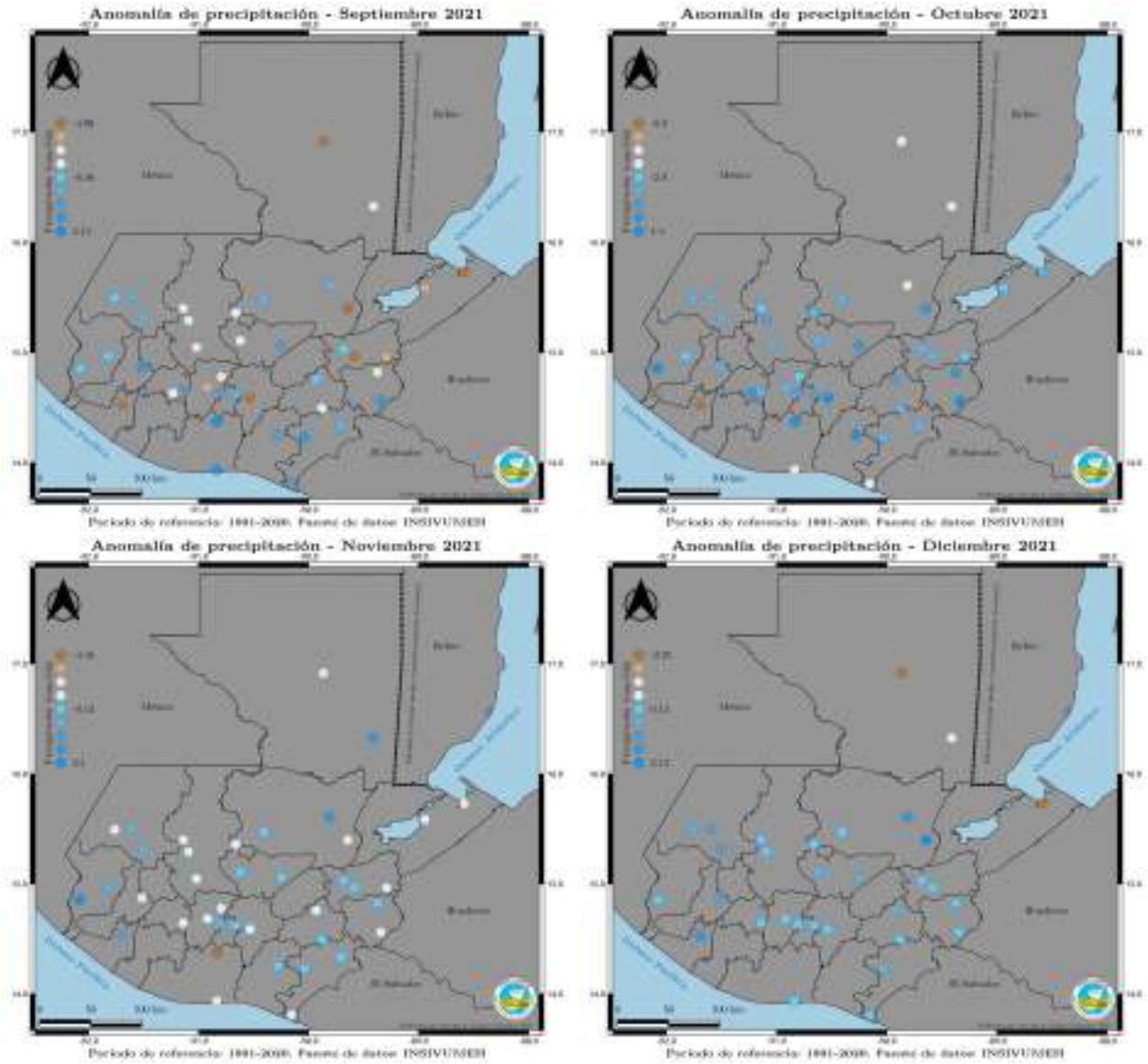
Periodo de referencia: 1991-2020. Fuente de datos: INSIVUMET



Periodo de referencia: 1991-2020. Fuente de datos: INSIVUMET

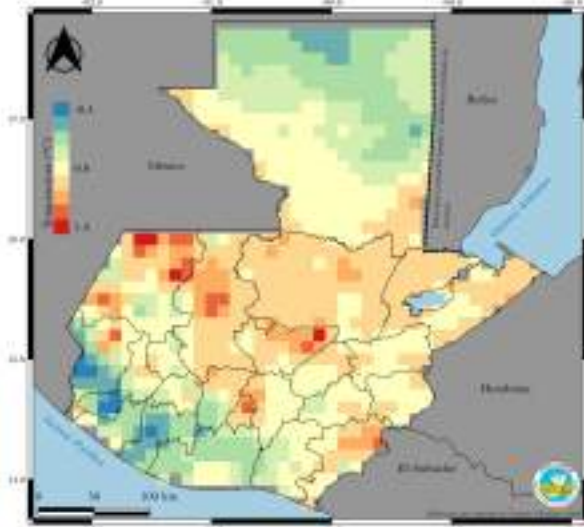


Periodo de referencia: 1991-2020. Fuente de datos: INSIVUMET



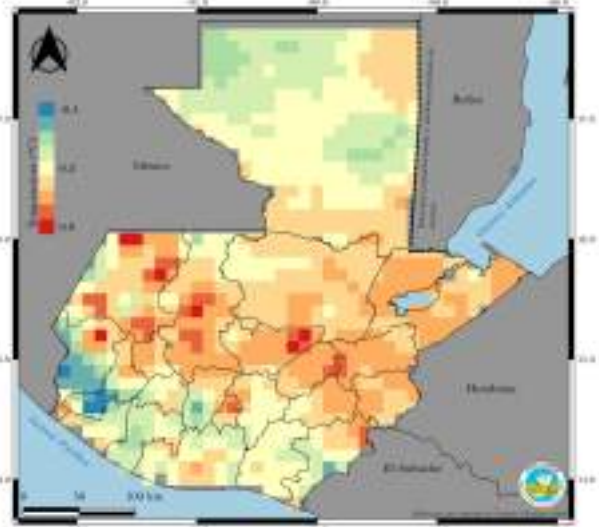
A continuación se muestran los mapas para las anomalías de temperatura mensual del año 2021 con los datos de ERA5.

Anomalía de temperatura media superficial - Enero 2021



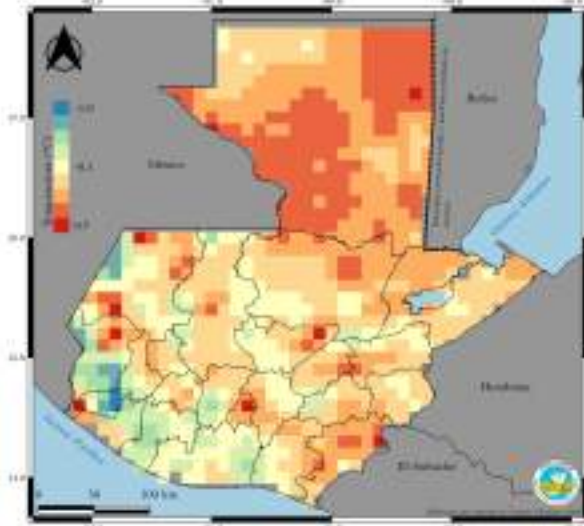
Período de referencia: 1951-2020. Fuente de datos: ERA5-Land

Anomalía de temperatura media superficial - Febrero 2021



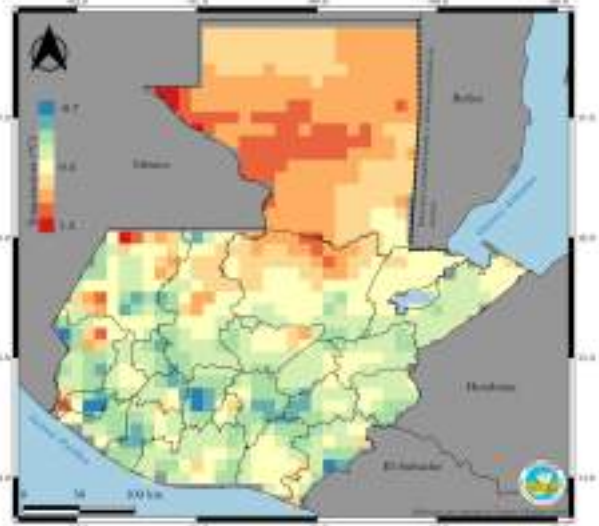
Período de referencia: 1951-2020. Fuente de datos: ERA5-Land

Anomalía de temperatura media superficial - Marzo 2021



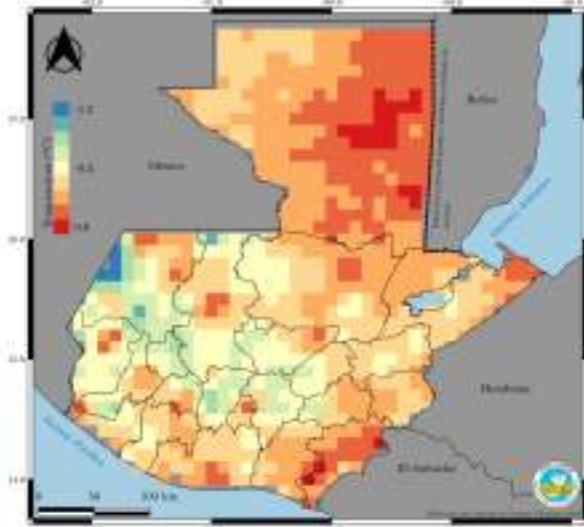
Período de referencia: 1951-2020. Fuente de datos: ERA5-Land

Anomalía de temperatura media superficial - Abril 2021



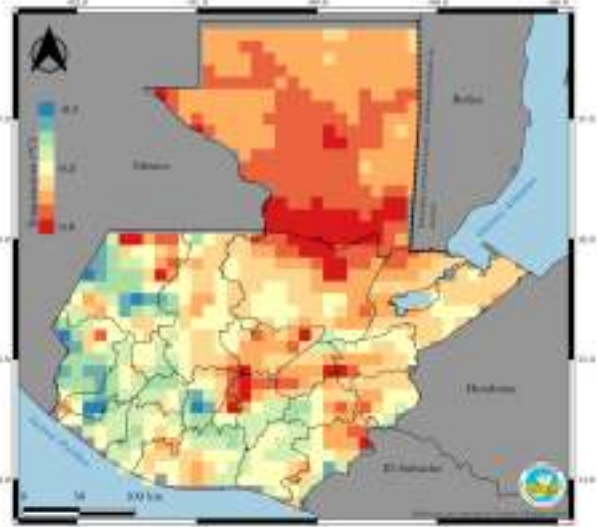
Período de referencia: 1951-2020. Fuente de datos: ERA5-Land

Anomalia de temperatură medie superficială - Mayo 2021



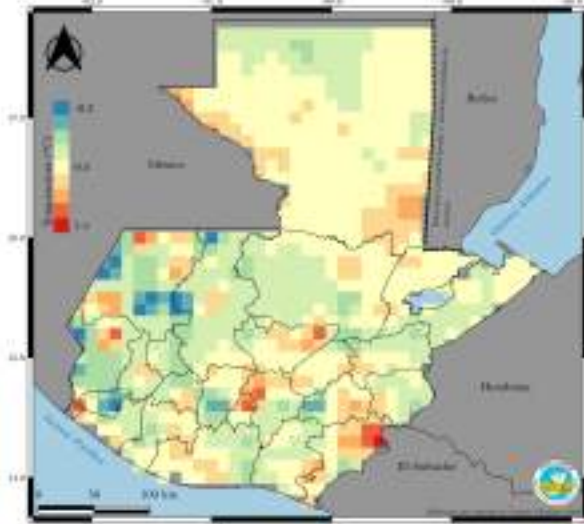
Perioada de referință: 1961-2020. Sursa de date: ERA5-Land

Anomalia de temperatură medie superficială - Junio 2021



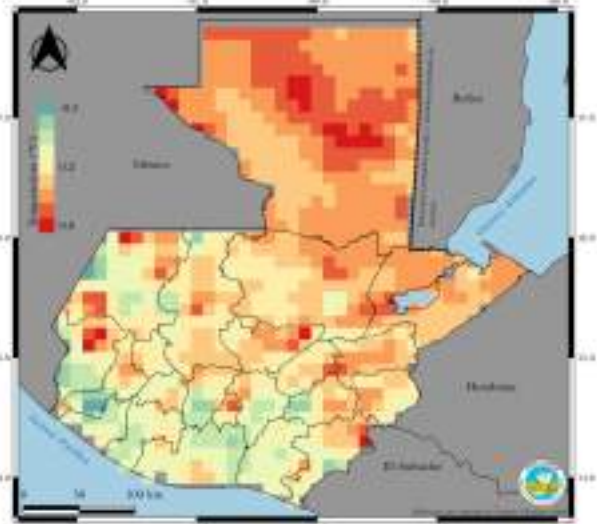
Perioada de referință: 1961-2020. Sursa de date: ERA5-Land

Anomalia de temperatură medie superficială - Julio 2021

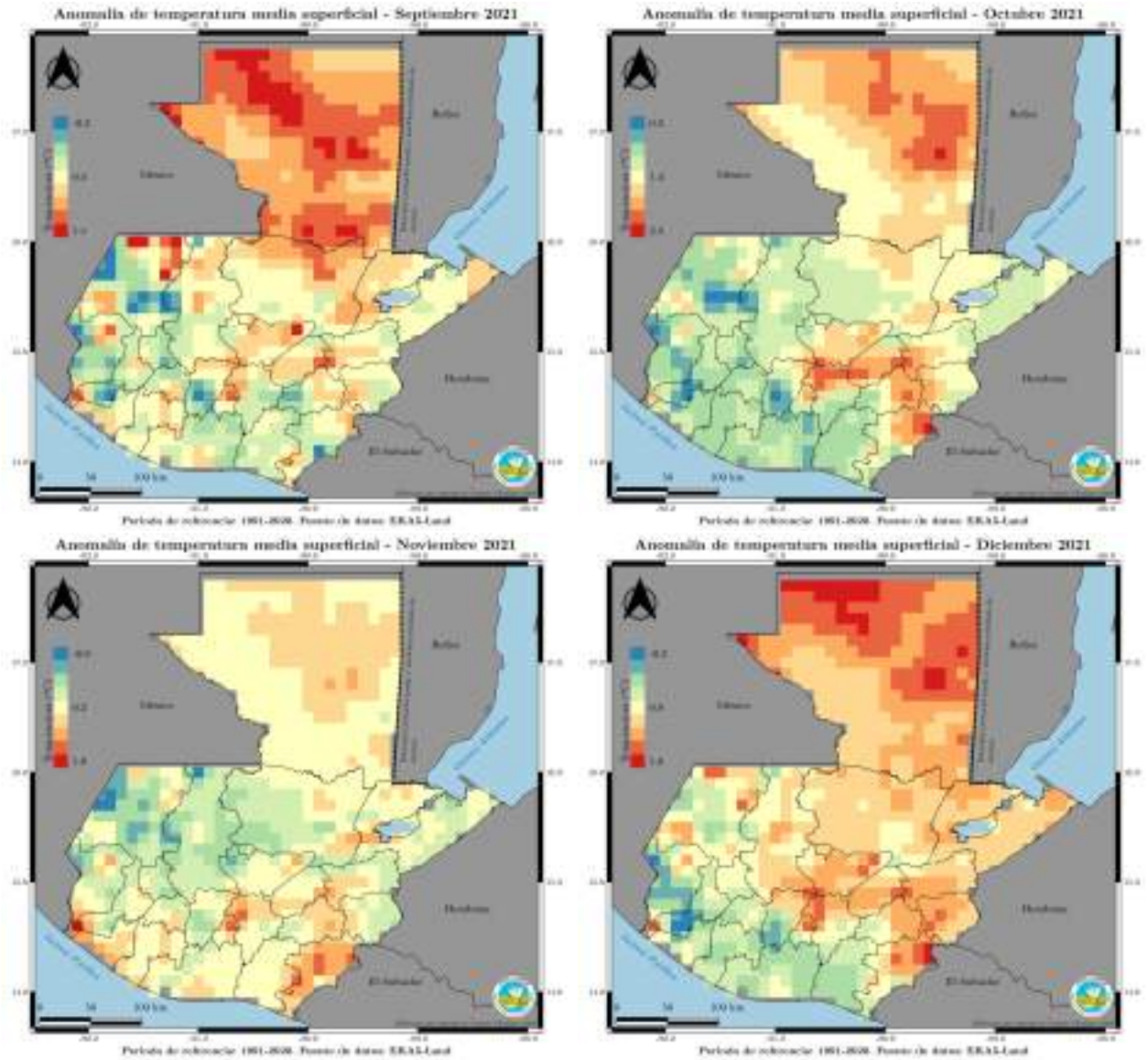


Perioada de referință: 1961-2020. Sursa de date: ERA5-Land

Anomalia de temperatură medie superficială - Agosto 2021

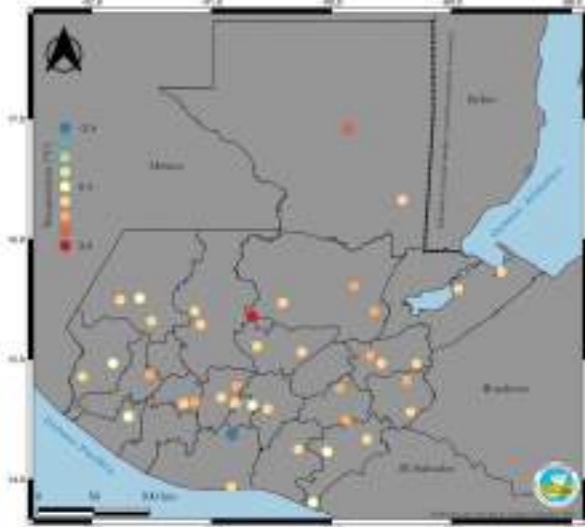


Perioada de referință: 1961-2020. Sursa de date: ERA5-Land

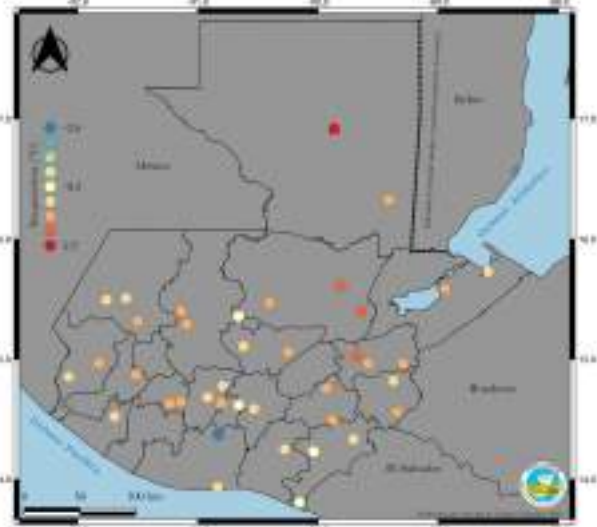


A continuación se muestran los mapas para las anomalías de temperatura mensual del año 2021 con los datos de INSIVUMEH.

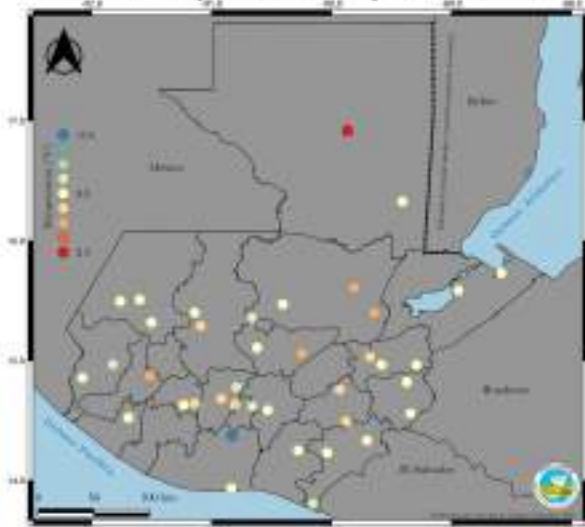
Anomalia de temperatura media superficial - Enero 2021



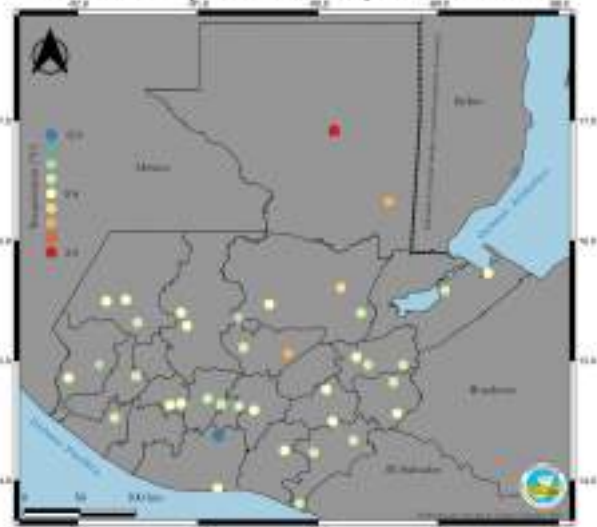
Anomalia de temperatura media superficial - Febrero 2021



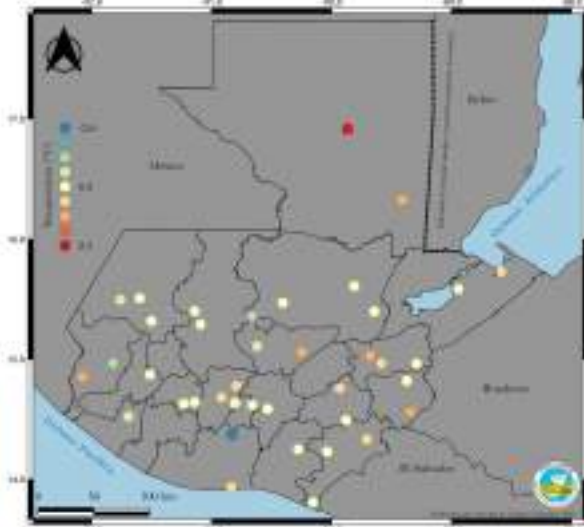
Anomalia de temperatura media superficial - Marzo 2021



Anomalia de temperatura media superficial - Abril 2021

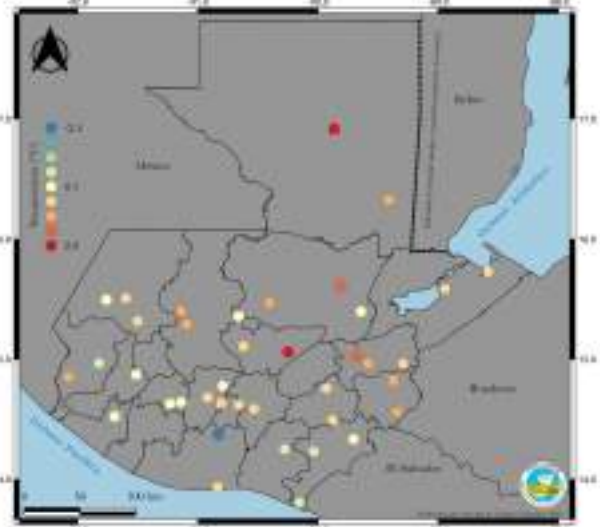


Anomalia de temperatura media superficial - Mayo 2021



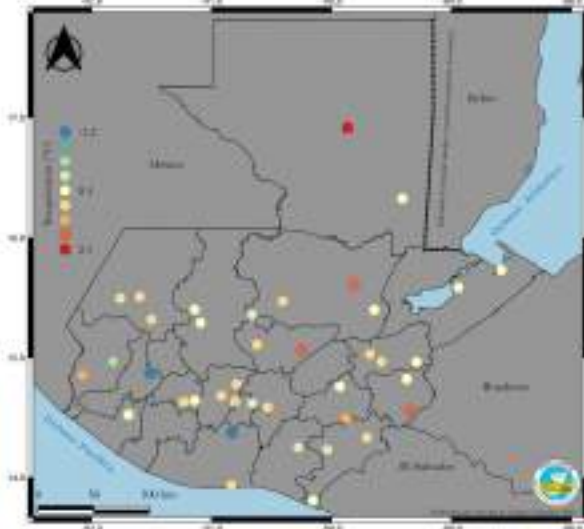
Periodo de referencia: 1991-2020. Fuente de datos: INSIVUMGH

Anomalia de temperatura media superficial - Junio 2021



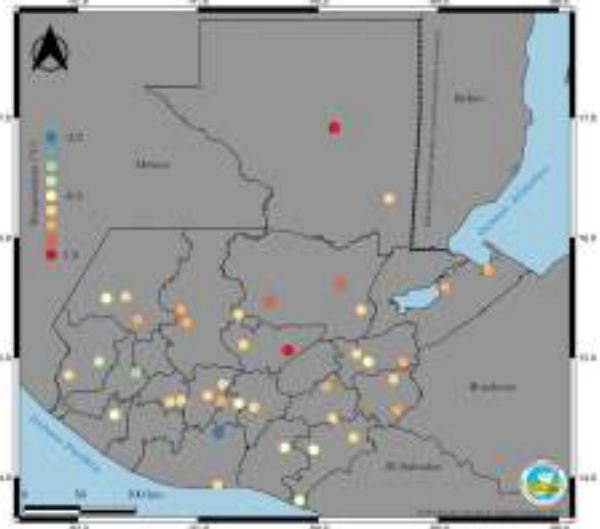
Periodo de referencia: 1991-2020. Fuente de datos: INSIVUMGH

Anomalia de temperatura media superficial - Julio 2021



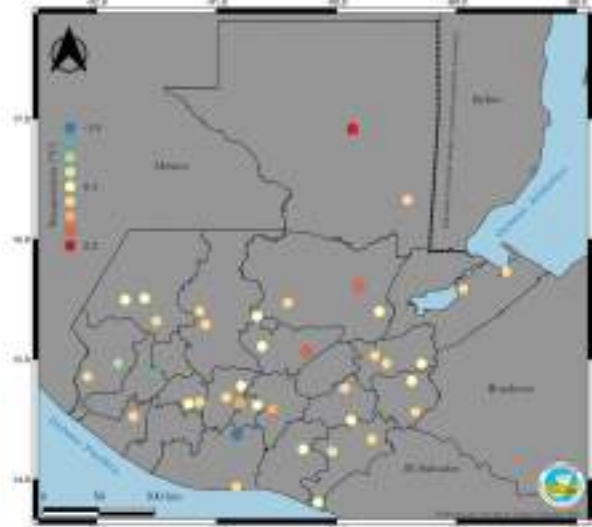
Periodo de referencia: 1991-2020. Fuente de datos: INSIVUMGH

Anomalia de temperatura media superficial - Agosto 2021



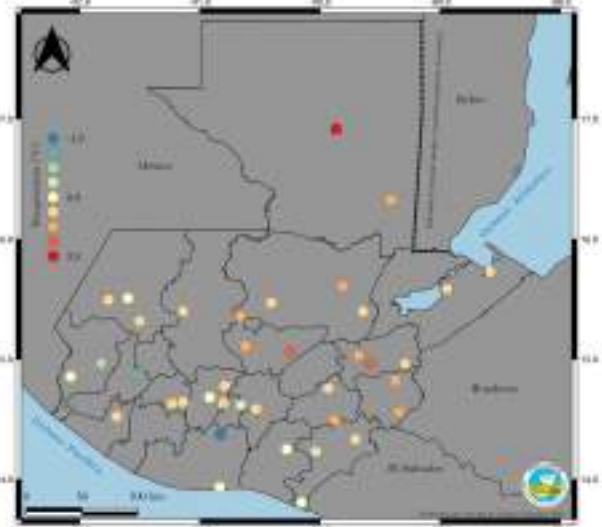
Periodo de referencia: 1991-2020. Fuente de datos: INSIVUMGH

Anomalia de temperatura media superficial - Septiembre 2021



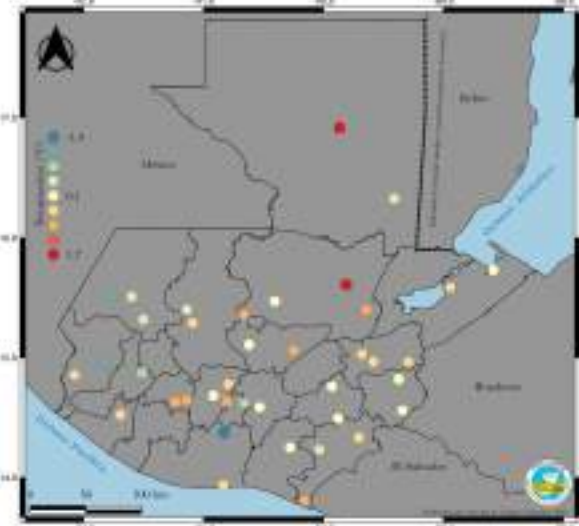
Periodo de referencia: 1991-2020. Fuente de datos: INEGI/INEH

Anomalia de temperatura media superficial - Octubre 2021



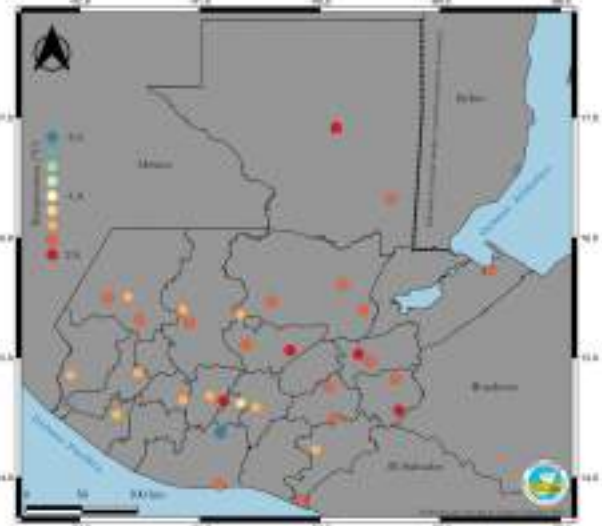
Periodo de referencia: 1991-2020. Fuente de datos: INEGI/INEH

Anomalia de temperatura media superficial - Noviembre 2021



Periodo de referencia: 1991-2020. Fuente de datos: INEGI/INEH

Anomalia de temperatura media superficial - Diciembre 2021



Periodo de referencia: 1991-2020. Fuente de datos: INEGI/INEH