

Tlamati Sabiduría



Análisis de los extremos meteorológicos en el municipio de Solidaridad, Quintana Roo, 2009-2022

Ángel Aldair Felipe-Hernández^{1*}
Oscar Frausto-Martínez²
Luis Antonio Morales-Ocaña³
Dayfi Antonia Manzo-Gerónimo³

¹Centro Hidrometeorológico "Regional Mérida" Calle 59B por Avenida Zamná #238, Mérida, Yucatán, México.

²Universidad de Quintana Roo. Avenida Andrés Quintana Roo s/n, Cozumel, Quintana Roo, México.

³Secretaría de Protección Civil, Prevención de Riesgos y Bomberos. Avenida Tecnológico s/n, esquina calle Caoba, Playa del Carmen, Quintana Roo, México.

*Autor de correspondencia
angelaldair_94@hotmail.com

Resumen

La presente investigación exhibe las características del tiempo y clima que predomina en el municipio de Solidaridad, Quintana Roo, con base en un registro climatológico elaborado por la Secretaría de Protección Civil, Prevención de Riesgos y Bomberos para el periodo 2009 – 2022. A través de un análisis numérico del registro de temperatura y precipitación, se identifican los valores extremos por mes / año. Los resultados indican que la anomalía de temperatura máxima más alta fue de +4.72 °C en agosto de 2014 y la más baja de -4.38 °C en enero de 2011; la anomalía de temperatura mínima más baja fue de -8.59 °C en marzo de 2013 y la más alta de +6.70 en julio de 2020, y el registro de mayor precipitación acumulada anual fue de 2406 mm en 2013 y el menor de 798.6 mm en 2009. Además, se expone la espiral térmica y de precipitación con el fin de señalar la tendencia en los últimos 13 años. Finalmente, se destaca que la fase neutral (cálida) de El Niño está relacionada con el año de mayor (menor) cantidad de lluvia.

Palabras clave: Monitoreo, Bases de datos, Prospección climática, Indicadores.

Información del Artículo

Cómo citar el artículo:

Felipe-Hernández, A.A., Frausto-Martínez, O., Morales-Ocaña, L.A., Manzo-Gerónimo, D.A. (2023). Análisis de los extremos meteorológicos en el municipio de Solidaridad, Quintana Roo, 2009 – 2022. *Tlamati Sabiduría*, 18, 69-82

Editores Invitados: Dra. Rosalva Pérez-Gutiérrez, Dr. Oscar Frausto-Martínez, Dr. Julio Cesar Morales-Hernández.

Abstract

The present investigation exhibits the characteristics of the weather and climate that prevail in the municipality of Solidaridad, Quintana Roo, based on a climatological record prepared by the Secretary of Civil Protection, Risk Prevention and Firefighters for the period 2009 - 2022. Through a numerical analysis of the temperature and precipitation record, the extreme values by month/year are identified. The results indicate that the highest maximum temperature anomaly was +4.72 °C in August 2014 and the lowest was -4.38 °C in January 2011; the lowest minimum temperature anomaly was -8.59 °C in March 2013 and the highest was +6.70 in July 2020; and the record of highest annual accumulated precipitation was 2406 mm in 2013 and the lowest was 798.6 mm in 2009. In addition, the thermal and precipitation spiral is exposed in order to indicate the trend in the last 13 years. Finally, it is worth noting that the neutral (warm) phase of El Niño is related to the year with the greatest (least) amount of rain.

Keywords: Monitoring, Databases, Weather Forecast, Indicators.

Introducción

Por su ubicación geográfica, el estado de Quintana Roo está influenciado durante todo el año por fenómenos meteorológicos de origen tropical y extratropical. Durante el verano, los ciclones tropicales son el fenómeno de mayor importancia debido a su extensión y magnitud. De acuerdo con [Sánchez-Rivera et al. \(2021a\)](#), huracanes como Gilbert (1988) y Wilma (2005) provocaron las mayores afectaciones en el norte de Quintana Roo. Sin embargo, no solo la presencia de este tipo de fenómenos desata contratiempos en la zona ([Camacho-Sanabria y Chávez-Alvarado, 2022](#)).

Al igual que los vientos y las lluvias intensas, el déficit de precipitación representa una amenaza para la sociedad y gobierno. Aunque [Estrada-Medina et al., \(2016\)](#) sugieren que los eventos de sequía en Quintana Roo no se presentan de manera tan catastrófica como en otros estados del país, el pasado reciente demuestra que la entidad no está exenta de este problema. Por ejemplo, en 2019 la Coordinación Nacional de Protección Civil (CNPC), a través del Diario Oficial de la Federación ([DOF, 2019](#)), expidió una declaratoria de desastre para nueve municipios del territorio quintanarroense, entre ellos Solidaridad, por la presencia de sequía severa ocurrida del 1 de mayo al 30 de noviembre de ese año.

Adicionalmente, los Escenarios de Cambio Climático del Instituto Nacional de Ecología y

Cambio Climático ([INECC, 2015](#)), indican que en Quintana Roo podría presentarse un decremento de la precipitación total anual y un incremento de la temperatura media anual a largo plazo. Bajo este escenario de sequía, la disponibilidad de agua podría disminuir súbitamente en el futuro ([Estrada-Medina et al., 2016](#)).

Solidaridad es un municipio de reciente creación, sin embargo, el crecimiento de su población ha sido muy rápido. Al respecto, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía ([INEGI, 2020](#)) señala que la población de Solidaridad creció un 110% en la última década, por lo que su experiencia con fenómenos meteorológicos extremos es incipiente ([Colin-Olivares et al., 2014](#)). Esto resalta la necesidad de identificar a los fenómenos meteorológicos relacionados con valores extremos en el corto plazo para el diseño de alertamientos a nivel municipal. Asimismo, se expone la espiral térmica con el fin de señalar la tendencia en los últimos 13 años y se presenta una relación de los fenómenos de escala regional y planetaria que favorecen la variabilidad estacional e interanual de la precipitación.

Materiales y métodos

Con base en el registro climatológico diario elaborado por la Secretaría de Protección Civil, Prevención de Riesgos y Bomberos, se calcularon

los valores extremos por mes / año de la temperatura en el municipio de Solidaridad, Quintana Roo para el periodo 2009 – 2022. Para caracterizar las condiciones meteorológicas a nivel sinóptico que dieron lugar a los valores extremos registrados, se utilizaron los datos de reanálisis ERA5 (Hersbach *et al.*, 2020). ERA5 es la versión V que emite el Centro Europeo de pronóstico meteorológicos a mediano plazo (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts en inglés) y consiste en un conjunto de datos en malla, calculados a partir de una combinación entre la asimilación de datos históricos observados con un modelo de pronóstico numérico del tiempo. Cuenta con resolución temporal horaria, resolución espacial de 0.25° x 0.25 ° (~27 km) y 137 niveles de presión. Asimismo, se presenta la espiral térmica con el fin de mostrar la tendencia de la temperatura en el periodo de estudio. Los cálculos de los valores extremos, así como el gráfico de la espiral térmica y la tendencia de precipitación se procesaron con Microsoft Office Excel.

Finalmente, se relacionó la precipitación acumulada mensual con los fenómenos meteorológicos que se presentan a nivel regional y la precipitación acumulada máxima y mínima anual con los eventos de El Niño - Oscilación del Sur (ENSO), con base en los datos históricos disponibles en “Episodios Fríos y Cálidos por temporada” del Centro de Predicción Climática (CPC, 2020) del Servicio Meteorológico Nacional de los Estados Unidos.

Resultados

Extremos de temperatura

Los valores de la temperatura máxima y mínima promedio para el periodo 2009-2022, así como las anomalías de temperatura máxima y mínima encontradas y su fecha de ocurrencia se muestran en la tabla 1. Los valores de anomalía muestran la oscilación isothermal en temperatura, de diferencia entre 8 y 14 grados entre la máxima y mínima temperatura.

Análisis meteorológico del extremo de temperatura máxima

En promedio, los vientos alisios dominan a nivel sinóptico, por lo que el mayor calentamiento diurno se presenta sobre el occidente de Yucatán y Campeche (Figura 1). Sin embargo, Allende-Arandía *et al.* (2020) encontraron, en un estudio de caso para abril de 2014, que el desarrollo de vientos perpendiculares a la costa provocó una disminución de la temperatura en aquella zona. Además, empíricamente se ha observado que, en este caso, la franja de mayor calentamiento a nivel regional se traslada hacia el oriente de la península de Yucatán, es decir, hacia Quintana Roo. Al respecto, una configuración sinóptica similar ocurrió el 26 de agosto de 2014, fecha del extremo de temperatura máxima más alta en el municipio de Solidaridad. La Figura 2 muestra que a nivel sinóptico se presentó viento del nortenoeste en la península de Yucatán, favorecido por una dorsal anticiclónica en superficie sobre el

Temperatura máxima promedio (°C) 2009-2022	Anomalía de temperatura máxima (°C)		Fecha de ocurrencia
33.18	Más alta	4.72	26-ago-14
	Más baja	-4.38	25-ene-11
Temperatura mínima promedio (°C) 2009-2022	Anomalía de temperatura mínima (°C)		Fecha de ocurrencia
18.69	Más alta	6.7	25-jul-20
	Más baja	-8.59	04-mar-13

Tabla 1. Valores de temperatura promedio para el periodo 2009-2022, anomalías de temperatura encontradas y su fecha de ocurrencia.

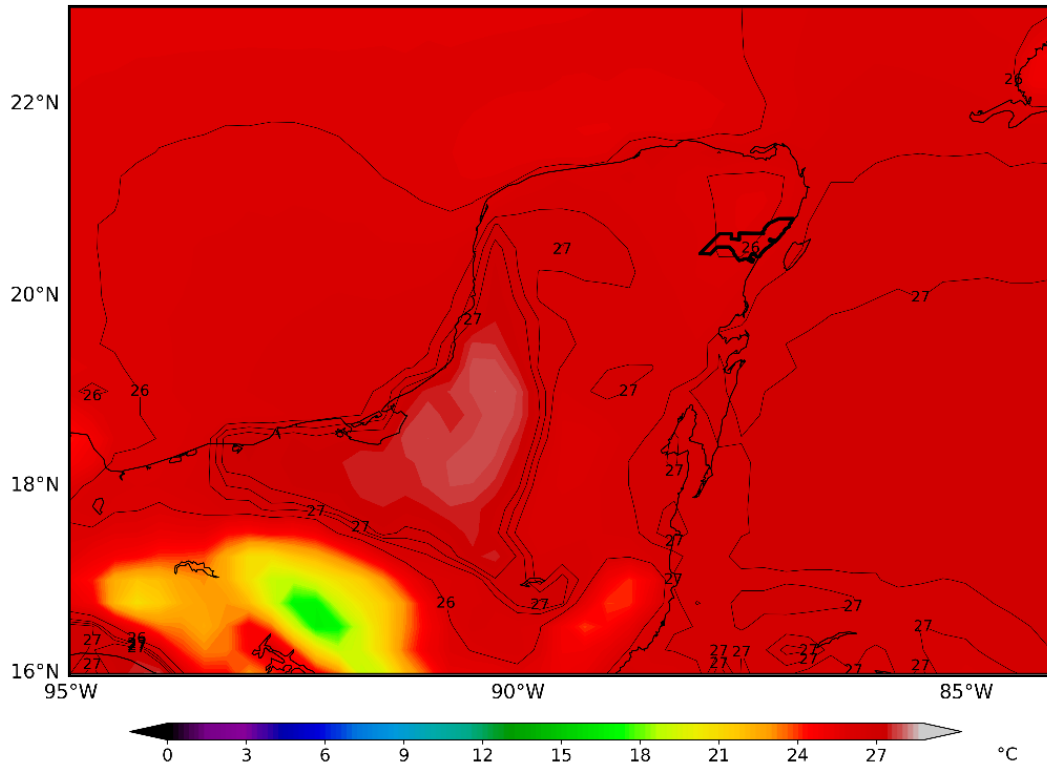


Figura 1. Temperatura máxima promedio en la península de Yucatán para el periodo 2009-2022. Elaboración propia.

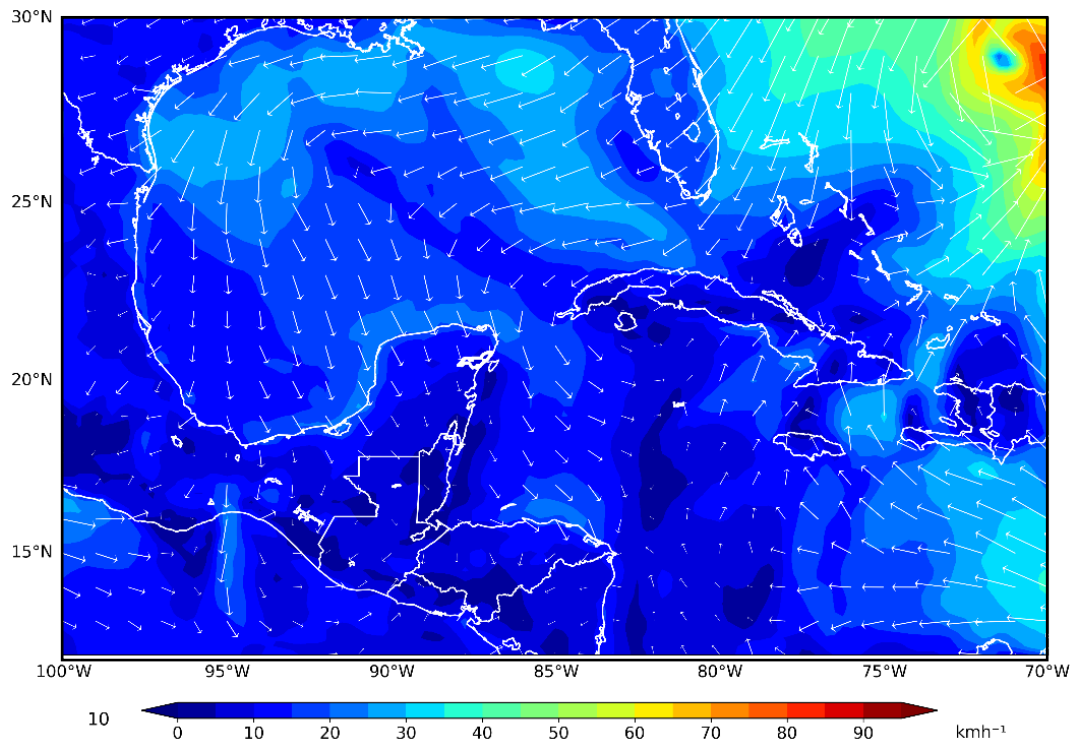


Figura 2. Magnitud y dirección del viento a 10 m (kmh^{-1}) el 26 de agosto de 2014 a las 20:00 UTC. Elaboración propia.

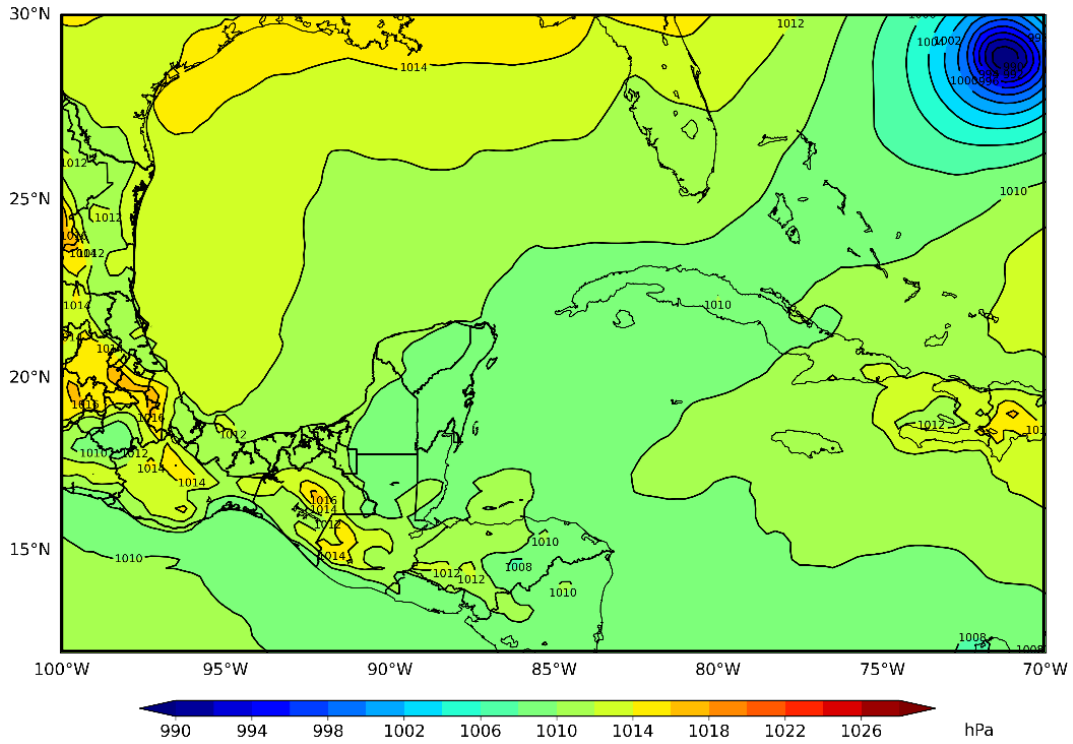


Figura 3. Presión atmosférica reducida a nivel del mar el 26 de agosto de 2014 a las 20:00 UTC. Elaboración propia.

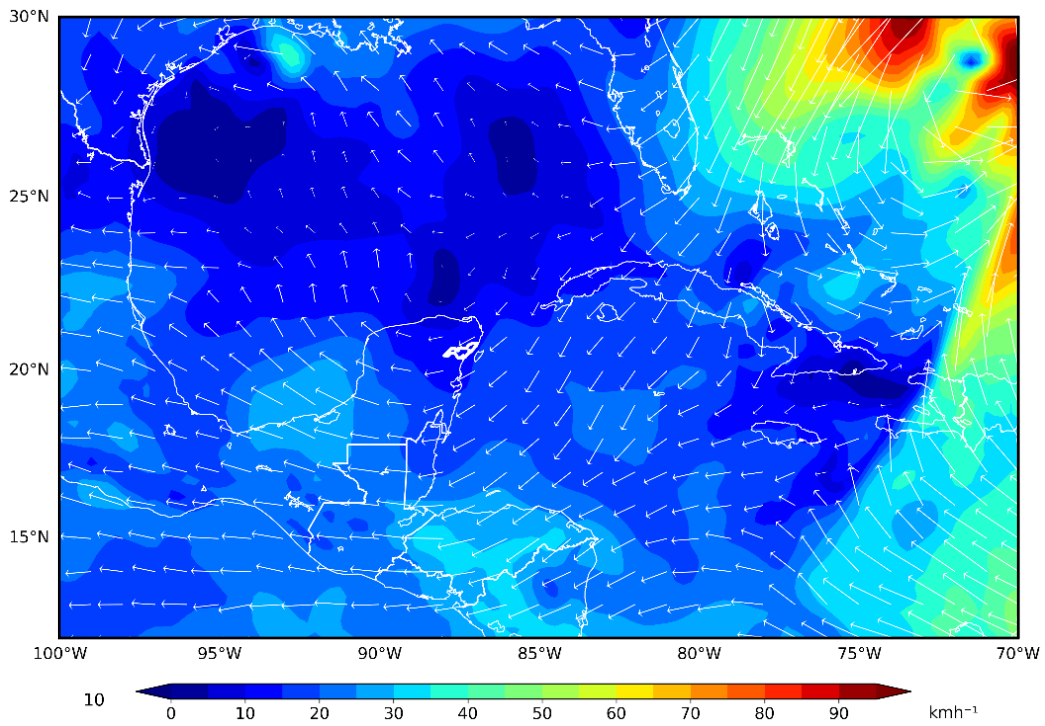


Figura 4. Magnitud y dirección del viento en 500 hPa el 26 de agosto de 2014 a las 20:00 horas UTC. Elaboración propia.

sureste de Estados Unidos, contigua a la circulación del huracán “Cristóbal” de categoría 1 al norte-noreste de Bahamas, y por una vaguada en el centro del Golfo de México, tal como se muestra en la Figura 3.

Además, en la Figura 4 se observa que en 500 hPa predominó una circulación anticiclónica asociada a una mayor altura geopotencial sobre la región. Aunque este no fue el caso, en Estados Unidos y Canadá se ha documentado que la persistencia de viento anticiclónico asociado a alturas geopotenciales más elevadas en 500 hPa favorecen los eventos de olas de calor, dado que estos sistemas provocan subsidencia en el nivel medio de la tropósfera, limitan la mezcla de la tropósfera baja con la de nivel medio e inhibe la convección libre (Agel *et al.*, 2021).

Análisis meteorológico del extremo de temperatura máxima más baja

El 25 de enero de 2011, la temperatura máxima en Solidaridad fue de 28.8 °C, es decir, 4.38 °C por debajo del valor promedio anual. La Figura 5 muestra valores de temperatura máxima entre los

26 °C y 29 °C., con una distribución típica de oriente a poniente.

Previo a este extremo, el 22 de enero se registró un descenso significativo de la temperatura debido a la llegada de una masa de aire frío. Además, en la Figura 6, se observa que los valores de temperatura de punto de rocío fueron similares a los valores de temperatura máxima registrados en la zona, lo que revela que el alto contenido de humedad estuvo asociado a un menor incremento de la temperatura debido al desarrollo de nubosidad.

Análisis meteorológico del extremo de temperatura mínima más baja

De acuerdo con Pérez *et al.*, (2014), las propagaciones de ondas de latitudes medias desde las Montañas Rocosas hacia el Golfo de México resultan en oleadas de frío, también conocidas como Nortes, asociadas a tiempo severo sobre la porción sureste de México. Los Nortes más fuertes provocan disminuciones abruptas de temperatura, incremento de la presión y ocurren en pleno invierno (Colle y Mass, 1995).

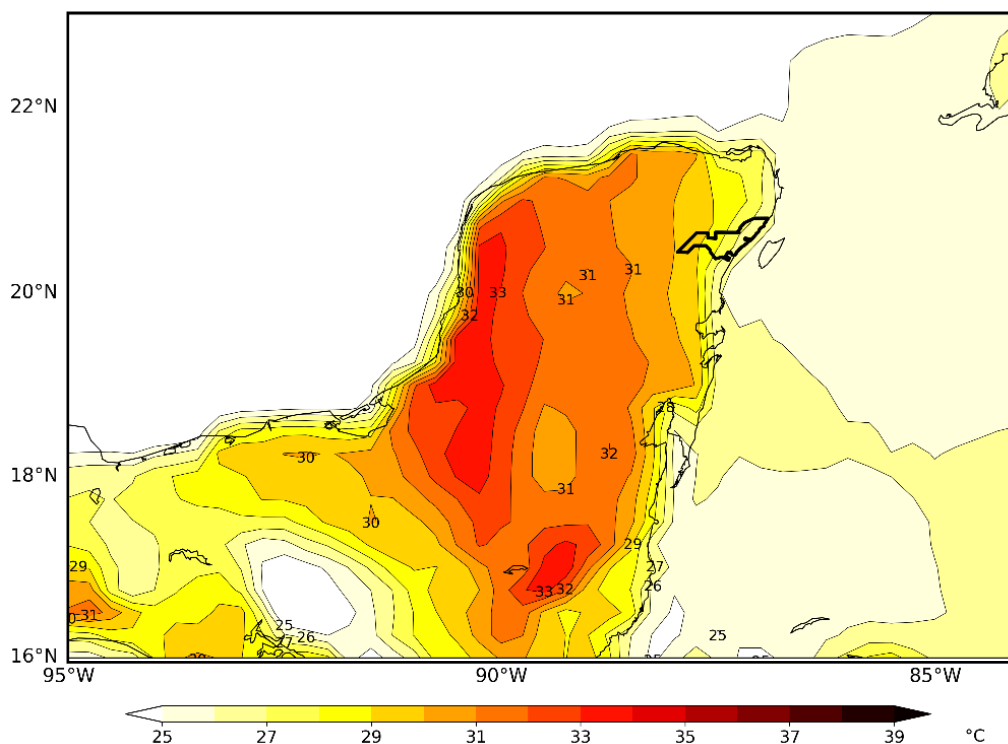


Figura 5. Temperatura a 2 m.s.n.m a las 12:00 horas del 25 de enero de 2011. Elaboración propia.

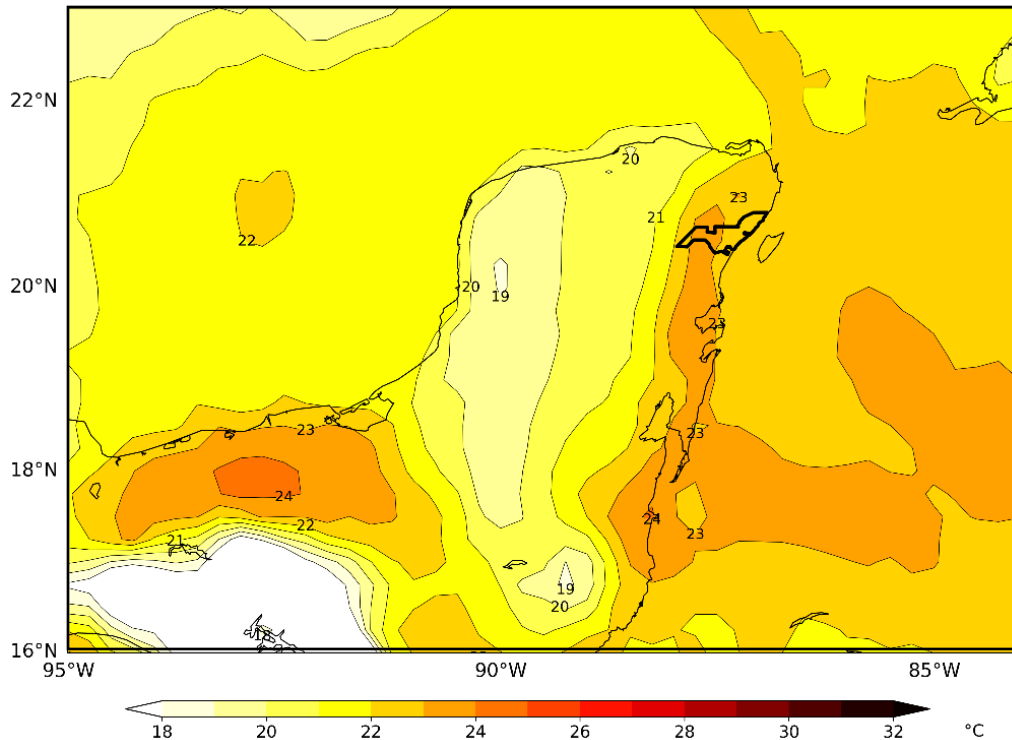


Figura 6. Temperatura de punto de rocío a las 12:00 horas del 25 de enero de 2011. Elaboración propia.

Sin embargo, la Secretaría de Protección Civil, Prevención de Riesgos y Bomberos del municipio de Solidaridad registró una temperatura mínima de 10.1 °C en Playa del Carmen el 4 de marzo de 2013, es decir, en los últimos días del invierno de ese año, debido a una masa de aire frío asociada al frente número 31 que ocasionó evento de “Norte” moderado a fuerte con vientos de 50 a 65 km/h en el Golfo de México y la península de Yucatán (Comisión Nacional del Agua, 2013). De hecho, la Figura 7 revela que los valores de temperatura mínima fueron de 9 °C a 15 °C en gran parte de la región.

La masa de aire frío que llegó al Golfo de México, asociada al frente frío número 31, tuvo origen en la zona descrita por Pérez *et al.*, (2014). Además, la presión atmosférica a nivel de mar fue de 1016 hPa en el noroeste del Golfo de México y de 1020 hPa en la mayor parte de la península de Yucatán (Figura 8), lo que explica la ocurrencia de este extremo meteorológico.

Tendencia de temperatura máxima y mínima para el periodo 2009 - 2022

La figura 9 revela que de 2009 a 2012 se registró por lo menos un mes con anomalías negativas de temperatura máxima durante la estación de verano. En contraparte, las anomalías han sido positivas de 2013 a 2022 en los meses veraniegos, por lo que es evidente una tendencia al alza de las temperaturas máximas. Cabe señalar que durante los meses de invierno predominaron las anomalías negativas y no se observan tendencias significativas.

En cuanto a las anomalías de temperatura mínima, no se observa una tendencia de incremento (decremento) durante el periodo de estudio en los meses de verano ni tampoco en invierno, sin embargo, se aprecia que estas anomalías son más variables entre marzo-mayo y octubre-diciembre (Fig. 10) debido a que en estos meses el municipio está influenciado por fenómenos de origen tropical y extratropical que favorecen cambios significativos de temperatura en cortos periodos de tiempo.

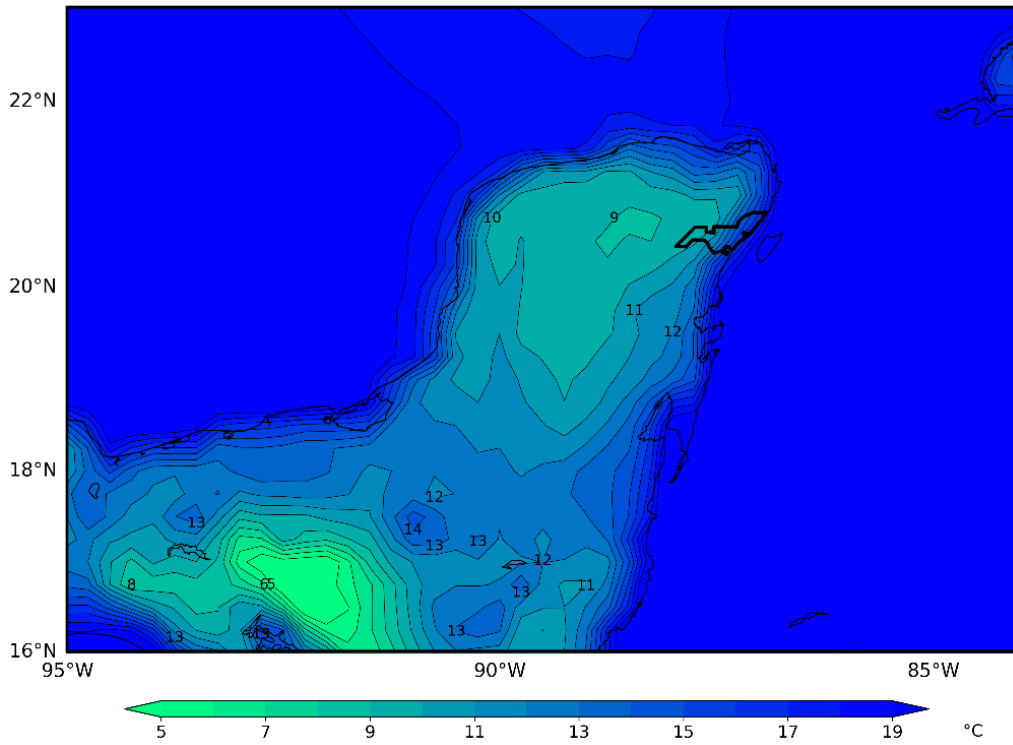


Figura 7. Temperatura a 2 m a las 12:00 UTC del 4 de marzo de 2013. Elaboración propia.

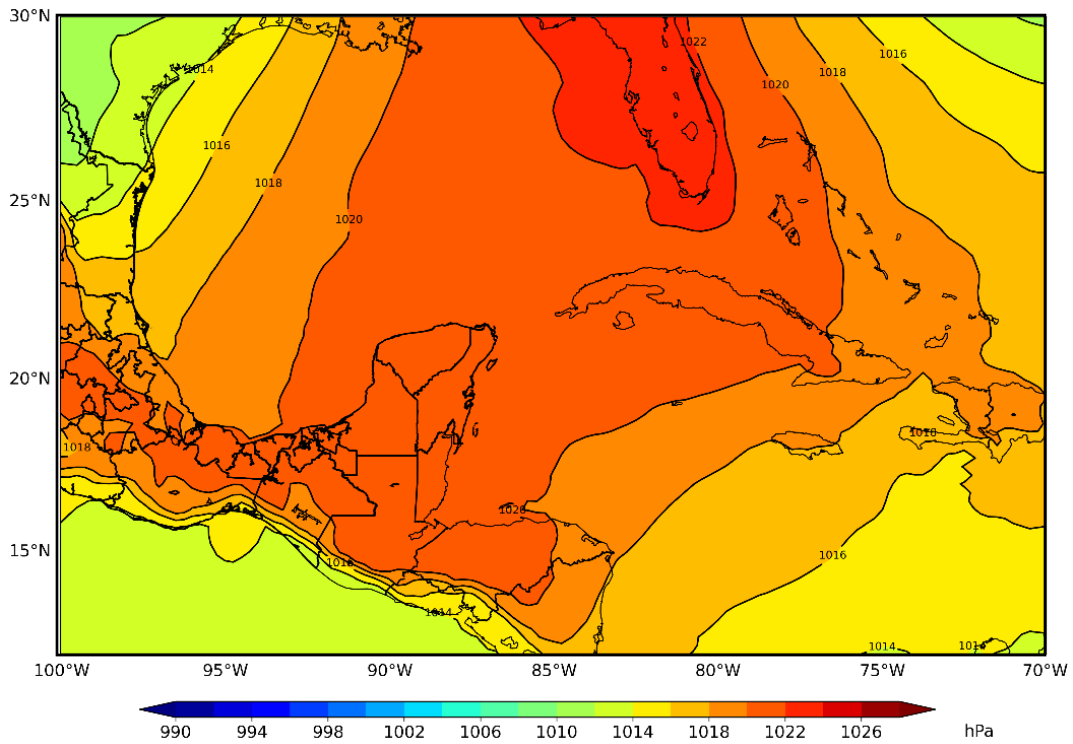


Figura 8. Presión media a nivel del mar a las 12:00 UTC del 4 de marzo de 2013. Elaboración propia.

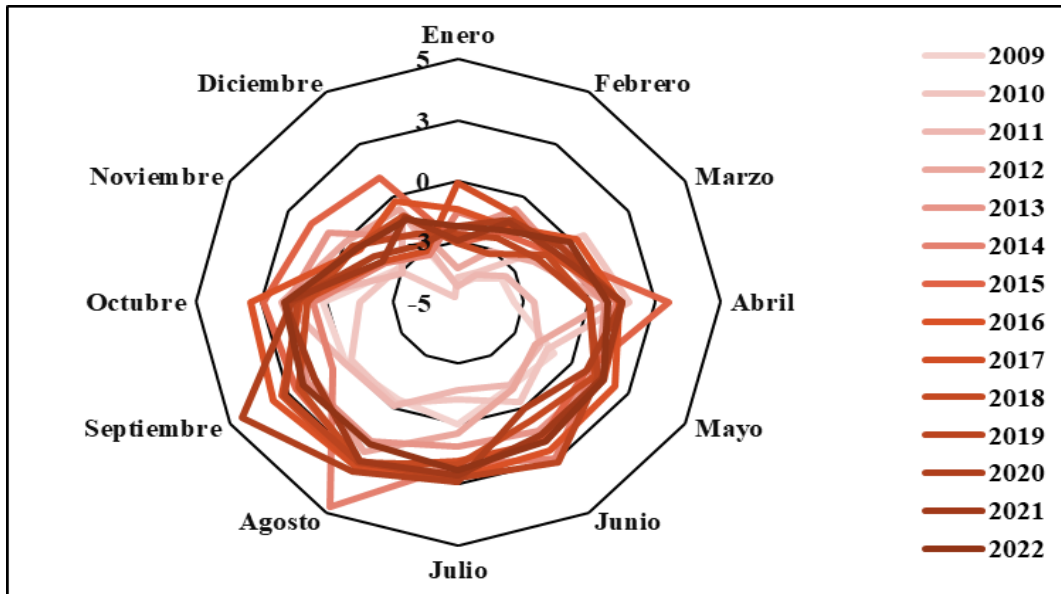


Figura 9. Anomalías de temperatura máxima mensual (°C) para el periodo 2009 – 2022.

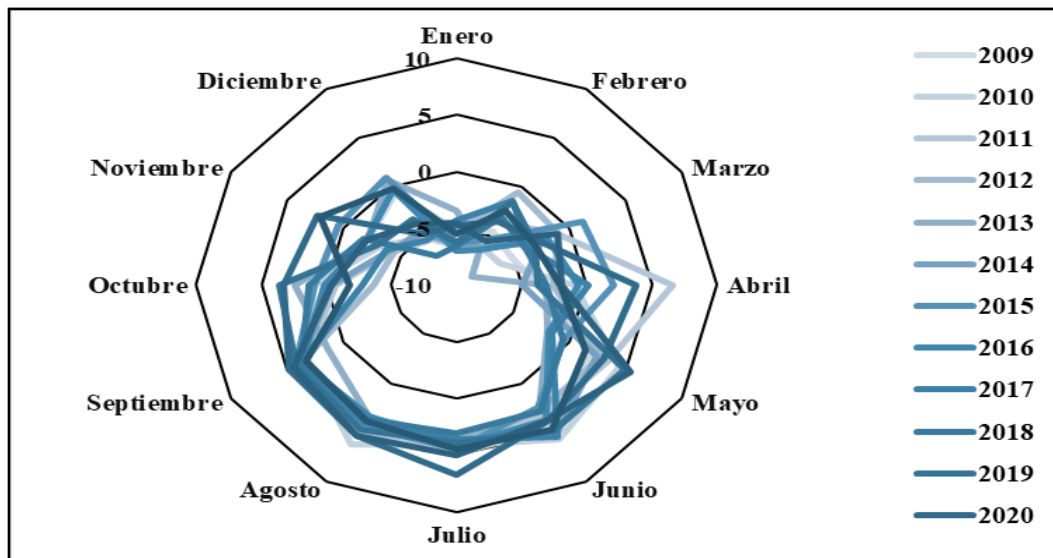


Figura 10. Anomalías de temperatura mínima mensual (°C) para el periodo 2009 – 2022.

Precipitación acumulada mensual promedio para el periodo 2009-2022

En la Figura 11 se muestra que, en promedio, junio es el mes con mayor precipitación acumulada con 231.5 mm y febrero el menor con 54.1 mm. Los meses de verano (invierno) son los de mayor (menor) precipitación acumulada

debido a la temporada de ciclones tropicales. Durante el verano se observa una disminución de la lluvia en julio. Esto es atribuible a la máxima intensidad que alcanza la Corriente en Chorro del Caribe (CLLJ) en ese mes, lo que incrementa la cizalladura vertical en el Mar Caribe

central/occidental y disminuye la ciclogénesis en la región (Shieh and Colucci, 2010).

Precipitación acumulada anual para el periodo 2009-2022

La Figura 12 indica que el registro de mayor precipitación acumulada anual fue de 2406 mm en 2013 y estuvo asociado a la fase neutral de El Niño en el océano pacífico ecuatorial durante el transcurso de ese año, según los datos del CPC. El segundo año con mayor precipitación acumulada anual fue 2014 con 1906.8 mm y el tercer año fue 2020 con 1776 mm. Destaca que al comienzo de la temporada de ciclones tropicales 2014 y 2020 se presentó la fase neutral de El Niño, sin embargo, conforme avanzó la estación, El Niño se tornó negativo. Esto coincide con los resultados de Magaña *et al.* (2003) y Bravo-Cabrera (2017), quienes sugieren que la fase negativa de El Niño está asociada a lluvias por encima de la media en México. En contraparte, el año de menor precipitación acumulada anual fue de 798.6 mm en 2009, relacionado con la fase positiva de El Niño, análogo a lo encontrado por Esparza (2004), De la Barrera *et al.* (2020) y Vega-Camarena *et al.* (2023), quienes identificaron que 2009 fue uno de los años más secos en la historia de México.

Discusión

La ausencia de datos y registros meteorológicos en la zona norte de Quintana Roo es uno de los problemas más significativos para realizar pronósticos y análisis de tendencia a escala detallada. El apoyo de datos de reanálisis ERA5 es una de las técnicas de apoyo más recurrentes para el análisis sinóptico y explicación de eventos donde la ausencia de registros de largo alcance son una limitante (Frustaci *et al.*, 2022) y, desde hace 50 años, el registro continuo de datos meteorológicos superficiales de la Tierra, lo cual ha permitido explicar eventos extremos y sus particularidades (Hersbach *et al.*, 2020).

La recurrencia de ciclones tropicales y la intensidad de los mismos ha sido reportada por Ihl y Frausto (2014), y, recientemente, por Sánchez-Rivera *et al.* (2021b). Estos autores señalan la presencia de lluvias intensas y de temperaturas extremas que se asocian a inundaciones, sequías, marejadas de tormentas y olas de calor, pero debido a la ausencia de datos, no es posible una caracterización detallada de extremos básicos como temperatura o precipitación (Orellana-Lanza, 2009).

En cuanto a las temperaturas extremas registradas en el territorio de Solidaridad, se pueden explicar a la persistencia de viento anticiclónico asociado a alturas geopotenciales

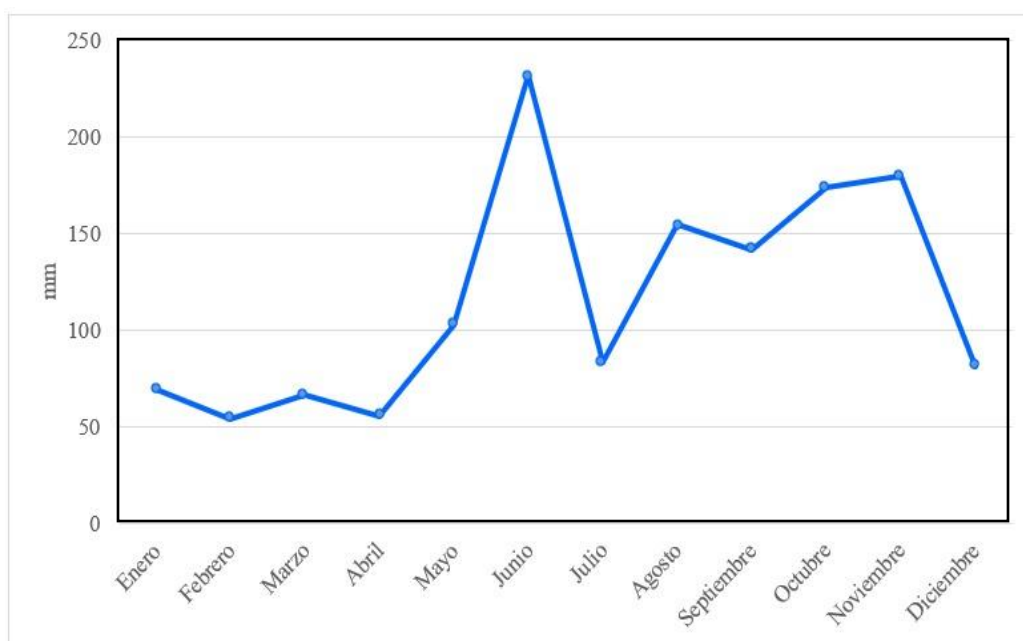


Figura 11. Precipitación mensual promedio (mm) para el periodo 2009-2022

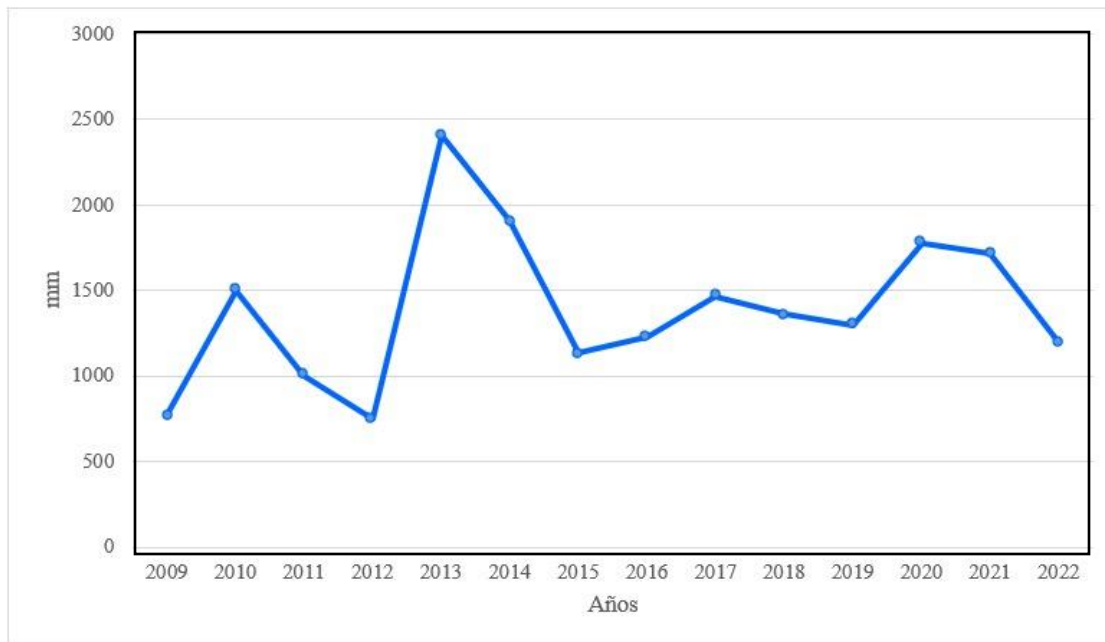


Figura 12. Precipitación acumulada anual (mm) para el periodo 2009 - 2022.

más elevadas que favorecen los eventos de olas de calor, ya que estos sistemas provocan subsidencia en el nivel medio de la tropósfera, limitan la mezcla de la tropósfera baja con la de nivel medio e inhibe la convección libre (Agel *et al.*, 2021). En específico, Allende-Arandía *et al.* (2020), reconoce que, para abril de 2014, en la Península de Yucatán se desarrollaron vientos perpendiculares a la costa que provocaron una disminución de la temperatura en aquella zona y que sigue un patrón oriente – poniente.

Para las temperaturas mínimas más baja, se tiene la referencia de las oleadas de aire frío proveniente de latitudes altas y que en la región se denominan “nortes” (Pérez *et al.*, 2014). Los nortes más fuertes provocan disminuciones abruptas de temperatura, incremento de la presión y ocurren en pleno invierno (Colle y Mass, 1995). Lo anterior se comprobó con el registro de temperatura mínima más baja del 4 de marzo de 2013, debido al frente frío número 31 que ocasionó evento de “Norte” moderado a fuerte con vientos de 50 km/h a 65 km/h en el Golfo de México y la península de Yucatán (CONAGUA, 2013).

Finalmente, las anomalías térmicas y de precipitación acumulada se ven asociados a los escenarios de cambio climático reportados Imbach *et al.* (2018), quien señala la tendencia positiva en verano para la región de Centroamérica y Península de Yucatán, con veranos más calientes e inviernos moderadamente más fríos. Lo anterior, se había reportado por Aguilar *et al.* (2004), pero donde se señalaban que los inviernos serían más cálidos y extremos positivos. En el caso de la precipitación, autores como Andrade-Velázquez *et al.* (2021) y Vega-Camarena *et al.* (2023), señalan la ausencia de significancia en el cambio de patrones de precipitación regional en análisis de periodos de largo tiempo (más de 50 años) y donde las sequías y extremos húmedos se vinculan con la marcha del ENSO (Niño / Niña) y que coincide con los reportes de Magaña *et al.* (2003) y Bravo-Cabrera *et al.* (2017) para el caso de lluvia extrema y por encima de la media reportada. Para el caso de la sequía, Esparza (2004) y De la Barreda *et al.* (2020), coinciden en la fase de El Niño, por lo menos para el evento del 2009.

Conclusiones

Se identificaron las condiciones meteorológicas a nivel sinóptico que favorecieron los valores extremos registrados de temperatura en Solidaridad, sin embargo, es evidente la falta de estudios cuantitativos que caractericen la frecuencia de fenómenos meteorológicos que ocurren a nivel estatal y municipal, por ejemplo, la frecuencia de llegada de las masas de aire frío.

En este trabajo se identifican a los fenómenos meteorológicos relacionados con valores extremos de temperaturas a corto plazo, principalmente con la sequía, que ayudan a definir el diseño de alertamientos a nivel municipal.

Se expone la espiral térmica con el fin de señalar la tendencia en los últimos 13 años y se presenta una relación de los fenómenos de escala regional que favorecen la variabilidad estacional e interanual de la precipitación. En los trece años recientes de análisis de datos (2009 – 2022), las anomalías positivas de temperatura máxima durante los meses de verano se han incrementado. En contraparte, las anomalías de temperatura mínima no presentan tendencias significativas más allá de la variabilidad interanual.

La espiral térmica de temperatura máxima muestra que en los meses intraestacionales (septiembre-noviembre, marzo-mayo) se presenta la mayor variabilidad de los valores debido a la compleja interacción entre fenómenos de origen tropical y extratropical.

La mayor cantidad de lluvia en el municipio se registra durante los meses de verano y parte del otoño, debido a la llegada de ondas del este, y en ocasiones, ciclones tropicales.

La precipitación acumulada anual no presenta tendencias significativas durante el periodo de estudio, sin embargo, los años de mayor cantidad de lluvia están relacionados con la fase negativa de El Niño.

A pesar de la importancia que tiene el análisis y estudio sobre las tendencias de temperatura y precipitación para la planificación social y gubernamental a largo plazo, es importante considerar la dinámica de los fenómenos meteorológicos que ocurren en el corto plazo para la construcción de sistemas de alertamiento o monitoreo, puesto que se cuenta con evidencia de la ocurrencia de tiempo severo en el norte de Quintana Roo, que junto con el rápido

crecimiento poblacional en la zona, puede incrementar el riesgo de desastre en la región.

Agradecimientos

Se agradece a Luis Antonio Morales Ocaña y a Dayfi Antonia Manzo Gerónimo por compartir los datos meteorológicos que han recopilado a lo largo de más de 10 años en la Secretaría de Protección Civil, Prevención de Riesgos y Bomberos de Solidaridad, Quintana Roo.

Referencias

- Agel, L., Barlow, M., Skinner, C., Colby, F., Cohen, J. (2021). Four distinct Northeast US heat wave circulation patterns and associated mechanisms, trends, and electric usage. *Climate and Atmospheric Science*, 1-11.
- Aguilar, E., Peterson, T.C., Ramírez-Obando, P., Frutos, R., Retana, J.A., Solera, M., Soley, J.U., González-García, I., Araujo, R.M., Rosa-Santos, A., Valle, V.E., Brunet, M., Aguilar, L., Álvarez, L., Salgado, J.E., Vázquez, J.L., Baca, M., Gutiérrez, M., Centella, C., Espinosa, J., Martínez, D., Olmedo, B., Ojeda-Espinoza, C.E., Núñez, R., Haylock, M., Benevides, H., Mayorga, R. (2005). Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961-2003. *Journal of Geophysical Research*, 110, D23107.
- Allende-Arandía, M.E., Zavala-Hidalgo, J., Torres-Freyermuth, A., Appendini, C.M., Cerezo-Mota, R., Taylor-Espinoza, N. (2020). Sea-land breeze diurnal component and its interaction with a cold front on the coastal of Sisal, Yucatan: A case study. *Atmospheric Research*, 244, 105051.
- Andrade-Velázquez, M., Medrano-Pérez, O.R., Montero-Martínez, M.J., Alcudia-Aguilar, A. (2021). Regional Climate Change in Southeast Mexico-Yucatan Peninsula, Central America and the Caribbean. *Applied Sciences*, 11, 8284.
- Bravo-Cabrera, J.L., Azpra-Romero, E., Zarraluqui-Such, V., Gay-García, C. (2017). Effects of El Niño in Mexico during rainy and dry seasons: an extended treatment. *Atmósfera*, 30, 221-232.
- <https://doi.org/10.20937/atm.2017.30.03.03>
- Camacho-Sanabria, J.M., Chávez-Alvarado, R. (2022). Riesgos Hidrometeorológicos en el

- sureste mexicano (Quintana Roo): inundaciones urbanas. México, AM Editores.
[CaptuloI.pdf](#)
- Colin-Olivares, O., Chimal-Vázquez, A.E., Ihl, T. (2014). Fenómenos hidrometeorológicos en ciudades turísticas del norte de Quintana Roo. *Teoría y Praxis*, 84-98.
[Fenómenos hidrometeorológicos extremos en ciudades turísticas del norte de Quintana Roo \(redalyc.org\)](#)
- Colle, B.A., Mass, C.F. (1995). The Structure and Evolution of Cold Surges East of the Rocky Mountains. *Monthly Weather Review*, 123, 2577-2610.
- CONAGUA (2013). Las condiciones invernales se intensificarán durante el fin de semana. Comisión Nacional del Agua.
<https://www.gob.mx/conagua/prensa/las-condiciones-invernales-se-intensificaran-durante-el-fin-de-semana-smn>
- CPC (2020). Episodios Fríos y Cálidos por temporada. Centro de Predicción Climática del Servicio Meteorológico Nacional de los Estados Unidos.
https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php
- De la Barreda, B., Metcalfe, S.E., Boyd, D.S. (2020). Precipitation regionalization, anomalies and drought occurrence in the Yucatan Peninsula, Mexico. *International Journal of Climatology*, 40, 4541-4555.
<https://doi.org/10.1002/joc.6474>
- DOF (2019). DECLARATORIA de Desastre Natural por la presencia de sequía severa ocurrida del 1 de mayo al 30 de noviembre de 2019 en 9 municipios del Estado de Quintana Roo y del 1 de diciembre de 2018 al 30 de noviembre de 2019 en 1 municipio de dicha entidad federativa. Diario Oficial de la Federación.
https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5582629&fecha=23/12/2019#gsc.tab=0
- Esparza, M. (2014) La sequía y la escasez de agua en México: Situación actual y perspectivas futuras. *Secuencia*, 89, 193-219.
- Estrada-Medina, H., Cobos-Gasca, V., Acosta-Rodríguez, J.L., Peña-Fierro, S., Castilla-Martínez, M., Castillo-Carrillo, C., Franco-Brito, S., López-Castillo, D., López-Díaz, M., Luna-Flores, W., Maldonado-Repetto, A., Álvarez-Rivera, O., Cámara-Romero, J.L., Morales-Guadarrama, A., Moreno-Arjona, A.M., Pérez-Niño, B., Rodríguez-Lara, P., Zapata-Luna, R.L. (2016). La sequía de la península de Yucatán. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 151-165.
- Frustaci, G., Pilati, S., Lavecchia, C., Montoli, E.M. (2022). High-Resolution Gridded Air Temperature Data for the Urban Environment: The Milan Data Set. *Forecasting*, 4, 238-261.
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Abdalla, S., Abellan, X., Balsamo, G., Bechtold, P., Biavati, G., Bidlot, J., Bonavita, M., De Chiara, G., Dahlgren, P., Dee, D., Diamantakis, M., Dragani, R., Flemming, J., Forbes, R., Fuentes, M., Geer, A., Haimberger, L., Healy, S., Hogan, R.J., Hólm, E., Janisková, M., Keeley, S., Laloyaux, P., Lopez, P., Lupu, C., Radnoti, G., de Rosnay, P., Rozum, I., Vamborg, F., Villaume, S., Thépaut. J.N. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146, 1999-2049.
<https://doi.org/10.1002/qj.3803>
- Ihl, T., Frausto, O. (2014). El cambio climático y los huracanes en la Península de Yucatán. *In* Frausto, O. Monitoreo de riesgo y desastre asociados a fenómenos hidrometeorológicos y cambio climático. Chetumal, México: Universidad de Quintana Roo, 42-49.
https://uniatmos.atmosfera.unam.mx/publicaciones/libro_bases_de_datos_georreferenciados.pdf
- Imbach, P., Chan Chow, S., Lyra, A., Rodrigues, D., Rodriguez, D., Latinovic, D., Siqueira, G., Silva, A., Garolofo, L., Georgiou, D. (2018) Future climate change scenarios in Central America at high spatial resolution. *PLoS ONE*, 13, e0193570.
- INECC (2015). Escenarios de Cambio Climático. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2015).
<http://www.ccpymex.gob.mx/agenda-qroo/escenarios.php#:~:text=El%20portal%20de%20cambio%20clim%C3%A1tico,a%C3%B1os%202020%2C%202050%20Y%202080>
- INEGI (2020). Censo de población y vivienda 2020. Instituto Nacional de Geografía y Estadística.

Censo de Población y Vivienda 2020 (inegi.org.mx)

Magaña, V.O., Vázquez, J.L., Pérez, J.L., Pérez, J.B. (2003). Impact of El Niño on Precipitation in Mexico. *Geofísica Internacional*, 42, 313-330.

Orellana-Lanza, R. (2009). Atlas de escenarios de cambio climático en la Península de Yucatán. CICY-Yucatán.

<http://www.ccpy.gob.mx/agenda-regional/escenarios-cambio-climatico/atlas/>

Pérez, E.P., Magaña, V., Caetano, E., Kusunoki, S. (2014). Cold surge activity over the Gulf of Mexico in a warmer climate. *Frontiers in Earth Science*, 2.

<http://doi.org/10.3389/feart.2014.00019>

Sánchez-Rivera, G., Frausto-Martínez, O., Cervantes-Martínez, A. (2021a). Análisis histórico (1851-2019) de huracanes extremos en Quintana Roo. En: *Gestión de desastres asociados a fenómenos hidrometeorológicos y*

climáticos en sistemas socio-ecológicos. México, AM Editores, 233-249.

Análisis histórico (1851-2019) de huracanes extremos en Quintana Roo, México. (uqroo.mx)

Sánchez-Rivera, G., Frausto-Martínez, O., Gómez-Mendoza, L., Terán-Cuevas, Á.R., Morales-Hernández, J.C. (2021b). Tropical cyclones in the north Atlantic basin and Yucatan Peninsula, Mexico: Identification of extreme events. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics*, 16, 145-160.

<https://doi.org/10.18280/ijdne.160204>

Shieh, O.H., Colucci, J. (2010). Local Minimum of Tropical Cyclogenesis in the Eastern Caribbean. *Bulletin of American Meteorological Society*, 91, 185-196.

<https://doi.org/10.1175/2009BAMS2822.1>

Vega-Camarena, J.P., Brito-Castillo, L., Pineda-Martínez, L.F., Farfán, L.M. (2023). ENSO Impact on Summer Precipitation and Moisture Fluxes over the Mexican Altiplano. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11, 1083.