

Análisis de vulnerabilidad climática de los medios de vida del cantón Chitulum, San Antonio Palopó, Sololá

Proyecto:

Contribuyendo a paisajes socio-ecológicos resilientes al cambio climático para la prosperidad y nutrición familiar en Guatemala y El Salvador





Análisis de vulnerabilidad climática de los medios de vida del cantón Chitulul, San Antonio Palopó, Sololá

Proyecto:
Contribuyendo a paisajes socio-ecológicos resilientes al cambio climático para la prosperidad y nutrición familiar en Guatemala y El Salvador

GUATEMALA, 2025

5.2 Vulnerabilidad climática del cantón Chitulul, San Antonio Palopó.....	49
5.2.1 Medios de vida.....	49
5.2.2 Calendario de eventos naturales y actividades socioeconómicas cíclicas en cantón Chitulul, San Antonio Palopó.....	50
5.2.3 Identificación de amenazas y análisis de vulnerabilidad.....	53
5.2.4 Análisis de vulnerabilidad climática.....	54
VI. Discusión de resultados.....	56
VII. Conclusiones.....	58
VIII. Referencias.....	59

Índice de figuras

Figura 1. Ubicación del municipio San Antonio Palopó, Sololá.....	14
Figura 2. Marco metodológico empleado en el análisis de vulnerabilidad climática.....	16
Figura 3. Frecuencia de temperatura máximas absolutas registradas en estación INSIVUMEH El Capitán, periodo 1972-2023.....	21
Figura 4. Temperaturas absolutas y promedios de máximas, mínimas y promedios mensuales registrados en estación INSIVUMEH El Capitán, periodo 1979-2023.....	21
Figura 5. Comportamiento de la temperatura durante el día registrada en la estación AMSCLAE San Antonio Palopó.....	22
Figura 6. Comportamiento de las temperaturas máximas, mínimas y medias, registradas en la estación AMSCLAE, San Antonio Palopó.....	23
Figura 7. Frecuencia empírica de lluvia acumulada anual registrada en la estación INSIVUMEH El Capitán, periodo 1979-2023.....	24
Figura 8. Lluvia acumulada anual registrada en estación INSIVUMEH El Capitán, periodo 1979-2023.....	25
Figura 9. Clasificación de la lluvia anual acumulada registrada en estación INSIVUMEH El Capitán, periodo 1979-2023.....	26
Figura 10. Lluvia acumulada mensual (máximas y mínimas) registradas en la estación INSIVUMEH El Capitán, periodo 1979-2023.....	28
Figura 11. Máximos valores de lluvia acumulada mensual registrados en la estación El Capitán de INSIVUMEH, periodo 1979-2022.....	29
Figura 12. Frecuencia de lluvia acumulada mensual superior a 300 en la estación INSIVUMEH El Capitán, periodo 1979-2023.....	29
Figura 13. Máximo acumulado de lluvia en un día registrado en la estación meteorológica de INSIVUMEH El Capitán, periodo 1979-2023.....	30
Figura 14. Máximo acumulado de lluvia registrado en un día/año en estaciones meteorológicas de INSIVUMEH Santiago Atitlán y El Capitán, periodo 1991-2023.....	31

Figura 15. Mapa de eventos de lluvia máxima registrada en un día en las estaciones del INSIVUMEH El Capitán, El Tablón y Santiago Atitlán, periodo 1991-2023.....	32	Figura 29. Tendencia de temperatura media registrada en la estación INSIVUMEH San Lucas Tolimán en el periodo 1979-2023.....	45
Figura 16. Mapa de distribución de máximos acumulados de lluvia en una hora en el departamento de Sololá.....	33	Figura 30. Comportamiento de cambios (diferencia a mediados del siglo comparado con el año 2000) en la temperatura máxima en el territorio del municipio de San Antonio Palopó.....	46
Figura 17. Velocidad máxima del viento registrada en las estaciones meteorológicas del INSIVUMEH, Santiago Atitlán, El Capitán y Santa María El Tablón, periodo 2004-2023.....	34	Figura 31. Comportamiento de cambios (diferencia a mediados del siglo) comparación de los años 2000-2050 en la temperatura mínima en la República de Guatemala.....	47
Figura 18. Velocidad máxima y dirección del viento registrados en estación meteorológica AMSCLAE, periodo 2020-2024.....	35	Figura 32. Comportamiento de cambios (diferencia a mediados del siglo) en comparación de los años 2000-2050 en la precipitación (lluvia) acumulada anual en el territorio del municipio de Sololá.....	48
Figura 19. Meses de ocurrencia de las máximas velocidades del viento registradas en estación meteorológica INSIVUMEH El Capitán, periodo 2007-2023.....	35	Figura 33. Mapa de impactos históricos de amenazas climáticas/meteorológicas en el cantón Chitulul.....	53
Figura 20. Temporalidad de ocurrencia de las máximas velocidades del viento registradas en San Antonio Palopó, periodo 2022-2024.....	36	Figura 34. Fenómenos naturales y efectos sobre los principales medios de vida de la población de Chitulul, San Antonio Palopó.....	56
Figura 21. Mapa de dirección y velocidad del viento en San Antonio Palopó.....	36		
Figura 22. Mapa de velocidad del viento en San Antonio Palopó clasificada en Escala Beaufort.....	37		
Figura 23. Correlación lineal entre la anomalía de temperatura del océano Pacífico región el Niño 3.4 y la lluvia registrada en la estación meteorológica del INSIVUMEH Santiago Atitlán, periodo 1991-2023.....	38		
Figura 24. Comportamiento de la anomalía de temperatura del océano Pacífico y anomalía de lluvia acumulada anual registrada en estación INSIVUMEH Santiago Atitlán, periodo 1991-2023.....	39		
Figura 25. Eventos mensuales con lluvia menor a la evapotranspiración promedio para la región durante el periodo 1979-2023.....	41		
Figura 26. Lluvia mensual registrada en estación ANACAFE Cooperativa San Miguel, San Antonio Palopó, periodo 2021-2024.....	42		
Figura 27. Tendencia de precipitación anual en Guatemala.....	43		
Figura 28. Tendencia de precipitación extrema en Guatemala.....	44		

Índice de cuadros

Cuadro 1. Categorías de clasificación de los registros de la lluvia acumulada anual del periodo 1979-2023 de la estación meteorológica INSIVUMEH El Capitán.....	27
Cuadro 2. Lluvia máxima acumulada en un día durante los fenómenos meteorológicos ocurridos en el periodo 1991-2023 en Sololá.....	31
Cuadro 3. Clasificación de la lluvia anual registrada en la estación meteorológica del INSIVUMEH El Capitán, San Lucas Tolimán, según el rango de lluvia anual esperada para probabilidades 10, 25, 50, 75 y 90	40
Cuadro 4. Medios de vida más importantes de cantón Chitulul, municipio de San Antonio Palopó, Sololá.....	49
Cuadro 5. Calendario estacional sobre actividades y fenómenos cíclicos en el cantón El Chitulul.	50
Cuadro 6. Matriz de vulnerabilidad perceptiva para el cantón Chitulul.....	55

I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es un fenómeno global de mucha relevancia a nivel mundial, especialmente, por sus múltiples efectos negativos en los diferentes sistemas socio-ecológicos en el planeta Tierra. Actualmente, se están impulsando acciones para contrarrestar sus múltiples efectos negativos en los diferentes ecosistemas, ciudades, poblaciones rurales y los sistemas productivos agrícolas (cultivos).

De acuerdo con el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático –IPCC–, (2014), el cambio climático es una variación del estado del clima, identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos periodos de tiempo, generalmente decenios o periodos más largos.

El cambio climático puede deberse a procesos naturales o por forzamientos (factores) externos como variaciones en los ciclos solares, erupciones volcánicas y por actividades humanas, como las emisiones de gases de efecto invernadero y cambios en el uso del suelo (IPCC, 2014). En las últimas décadas, el clima ha cambiado de manera significativa, afectando los sistemas naturales como a las comunidades humanas en todo el mundo. La evidencia de estos impactos del cambio climático es más sólida para los sistemas naturales y para algunas variables que tienen más registros o datos de su comportamiento.

El presente documento sintetiza los principales hallazgos de cambios en el comportamiento de variables meteorológicas y climáticas en el departamento de Sololá, especialmente en la

comunidad cantón Chitulul, municipio de San Antonio Palopó. Entre los principales hallazgos se observa una tendencia de incremento de la lluvia desde el año 1979. Los años con mayor acumulación de lluvia fueron 2010 y 2005, asociados con los eventos ciclónicos Agatha (2010) y Stan (2005). En contraste, los años con menor precipitación (lluvia) coincidieron con el fenómeno de El Niño Oscilación Sur (ENOS), destacándose los años 2002, 2016 y 2020.

A través de herramientas participativas se identificaron las zonas expuestas a las siguientes amenazas: vientos fuertes, lluvias fuertes, sequías. En cuanto a vulnerabilidad climática de los medios de vida de la población de este cantón resaltan las actividades: agricultura (cultivo de maíz, café, aguacate y frijol), tejeduría, actividades pecuarias (aves), jornaleros (venta de mano de obra) entre otros. Dichos medios de vida son vulnerables ante las amenazas: fuertes vientos, fuertes lluvias, canícula e incremento de temperatura. La percepción comunitaria de incremento de temperatura concuerda con los registros históricos de la estación El Capitán, con una tendencia de incremento de la temperatura a partir del año 2005.

La información presentada en este informe constituye un insumo clave para la identificación de amenazas climáticas puntuales y los medios de vida más vulnerables. Estos hallazgos deben considerarse en el diseño de estrategias de adaptación ante la variabilidad y el cambio climático, ya que en ambos pueden impactar negativamente los sistemas agroalimentarios, especialmente, aquellos más frágiles dentro del contexto del departamento de Sololá.



II. OBJETIVOS

Objetivo General:

Analizar la vulnerabilidad climática de los principales medios de vida del cantón Chitulul, municipio de San Antonio Palopó.

Objetivos específicos:

1. Definir y analizar el comportamiento de las principales variables climáticas/meteorológicas para el periodo 1994 - 2024.
2. Determinar las amenazas climáticas de mayor importancia para la población del territorio y sus principales medios de vida.
3. Establecer el grado de vulnerabilidad climática de los medios de vida basado en la percepción comunitaria.

IV. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS UTILIZADOS

Para este estudio se consideró una combinación de métodos estadísticos y técnicas participativas para recopilar y/o analizar la información meteorológica/climática, áreas de impacto de fenómenos climáticos pasados y percepción de riesgo entre otros factores.

El análisis de vulnerabilidad fue elaborado considerando los elementos que se detallan en la figura 2. Así mismo, se emplean los conceptos y definiciones del IPCC en su sexto informe (2022), donde la amenaza es definida como el acaecimiento potencial de un fenómeno o tendencia física que pueda causar pérdidas de vida, lesiones u otros

efectos negativos. La exposición se refiere a la presencia de personas, medios de vida, especies o ecosistemas, funciones, servicios y recursos; o activos económicos, sociales o culturales en lugares y entornos que podrían verse afectados negativamente. La vulnerabilidad es conceptualizada como la propensión o predisposición que un sistema puede verse adversamente afectada, el riesgo es definido como la potencial consecuencia adversa para sistemas humanos o ecológicos, reconociendo la diversidad de valores y objetivos asociados con tales sistemas.

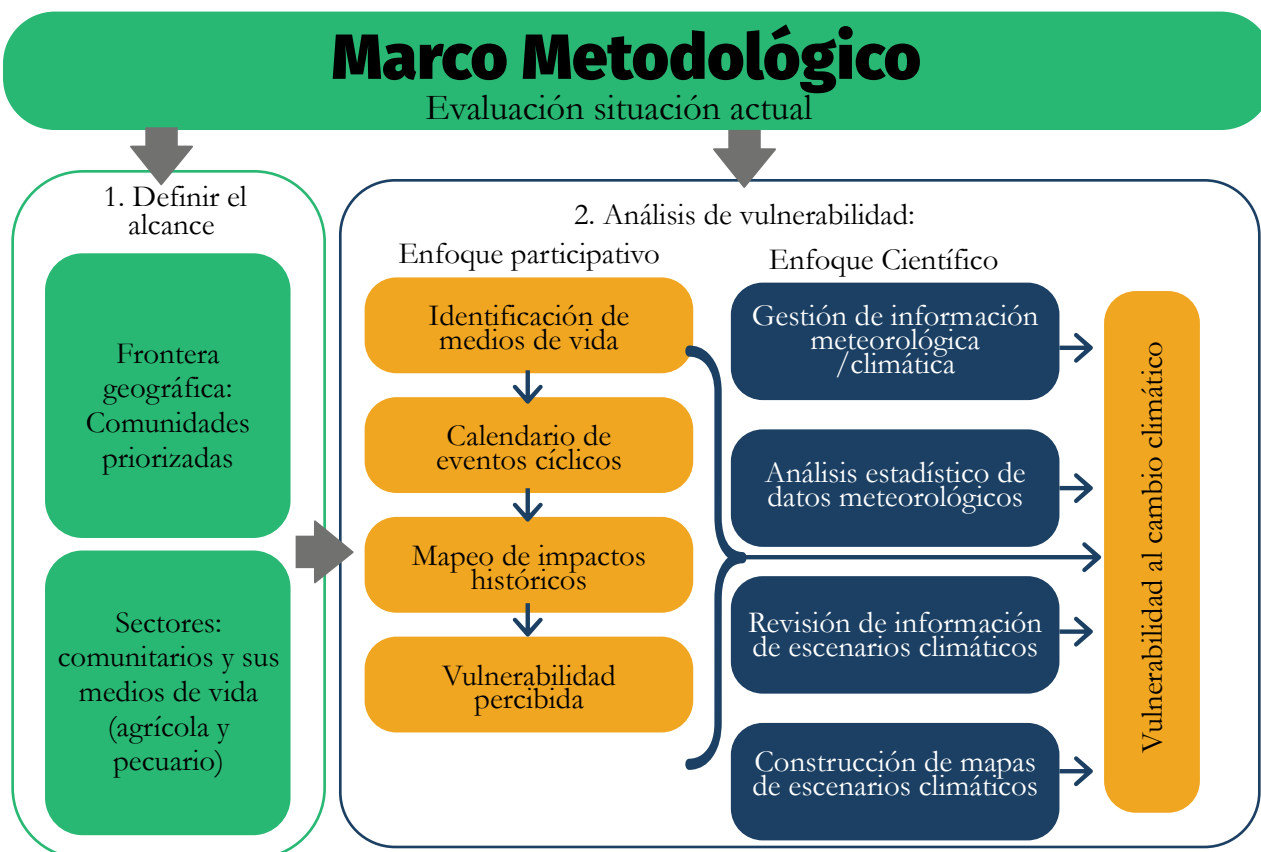


Figura 2. Marco metodológico empleado en el análisis de vulnerabilidad climática.

Uno de los primeros pasos fue la definición de la escala espacial, y se basó en la delimitación de la comunidad con base a la información proporcionada por actores locales. Entendiendo a una comunidad como un grupo de personas que se encuentran dentro de un territorio particular y comparten elementos culturales, económicos, sociales y ambientales en común. Así mismo, se priorizaron los principales medios de vida de la cual dependen las familias y población en general.

La segunda fase se basó en un enfoque participativo para sistematizar la percepción comunitaria en cuanto a la vulnerabilidad y amenazas climáticas que ha impactado históricamente en el territorio en estudio. Para ello se organizaron talleres focales y empleando distintas herramientas participativas para la evaluación de la vulnerabilidad climática a escala comunitaria. La tercera fase fue desarrollada de manera paralela a la anterior, para analizar el comportamiento del clima basándose en información meteorológica/climática disponible para el departamento de Sololá y el municipio de San Antonio Palopó.

4.1 Delimitación o alcance territorial

La comunidad fue seleccionada en función de listado definido en el proyecto: Contribuyendo a paisajes socio-ecológicos resilientes ante el cambio climático para la prosperidad y nutrición familiar en Guatemala y El Salvador, priorizando comunidades con niveles altos de prevalencia de desnutrición en la población infantil. La delimitación espacial se basó en el conocimiento de los líderes comunitarios, quienes reconocen los límites territoriales de su territorio con las circunvecinas.

4.2 Análisis de vulnerabilidad climática con enfoque participativo

- 4.2.1 El primer paso, consistió en la identificación de líderes comunitarios, agricultores, y la convocatoria de representantes del Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación -MAGA- y del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social -MSPAS- del municipio y otros actores sociales clave de ambos géneros.
- 4.2.2 Por medio de un taller focal se identificaron y se discutieron los diferentes medios de vida que emplean los hogares y su vulnerabilidad a través de la identificación de amenazas de índole climático y geofísicas detonadas por eventos hidrometeorológicos. Para gestionar el conocimiento sobre los medios de vida y las amenazas climáticas, se emplearon varias herramientas para la recopilación de información (matrices en papelógrafos), entre los cuales se mencionan: el calendario estacional, matriz y priorización de medios de vida, matrices de vulnerabilidad y mapeo de exposición histórica a amenazas climáticas en la comunidad.
- 4.2.3 Para la identificación de medios de vida de mayor relevancia dentro de la comunidad, se contó con la valoración de los participantes de manera colectiva sobre las principales actividades o medios de vida que emplean.
- 4.2.4 En cuanto a eventos o actividades agrícolas cíclicas de relevancia, se utilizó la herramienta calendario estacional, bajo la escala de meses del año natural para la identificación de los períodos de ocurrencia de los fenómenos o el inicio y finalización de actividades relevantes.

- 4.2.5 Para el mapeo de exposición histórica de amenazas climáticas dentro de la comunidad, se construyó un croquis de la localidad, que permitió la identificación de los principales elementos de la comunidad como: áreas de vivienda, áreas de cultivos, escuela e iglesias. Así mismo, las áreas que están expuestas a amenazas o que fueron impactadas por fenómenos climáticos en el pasado.
- 4.2.6 Para la estimación de la vulnerabilidad de los principales medios de vida se empleó la matriz (cuadro) de vulnerabilidad de medios de vida y la de valoración escala de Likert de (0 a 3), donde: 0 = nulo, 1 = bajo, 2 = medio y 3 = alto. La herramienta brindó la oportunidad de la recolección de información de manera personalizada (individual) al recolectar la percepción de cada participante.
- 4.2.7 Toda la información obtenida a través de las distintas herramientas empleadas durante el taller fue compilada y organizada de manera digital utilizando hojas de cálculo de Excel y QGIS entre otras herramientas.
- 4.2.8 En función de los insumos o información generada en las subsecciones anteriores, se discutió el efecto de las amenazas climáticas sobre los medios de vida y sus impactos en la seguridad alimentaria y nutricional de los hogares en la comunidad de estudio.

4.3. Análisis del comportamiento histórico de variables meteorológicas y climáticas

- 4.3.1 En función de los insumos o información generada en las subsecciones anteriores, se discutió el efecto de las amenazas climáticas sobre los medios de vida y sus impactos en la seguridad alimentaria y nutricional de los hogares en la comunidad de estudio.
- 4.3.2 Para el análisis de los datos climáticos y/o meteorológicos se requirió de un proceso de gestión/obtención de los registros de las estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) ubicadas en el departamento de Sololá como: la de Santiago Atitlán, Santa María El Tablón y El Capitán. Los datos correspondientes se registran a partir de 1979 hasta el año 2023. Así mismo, se gestionó información meteorológica de las estaciones que administra AMSCLAE, ANACAFE y la organización Vivamos Mejor, para el período 2016 a 2023.
- 4.3.3 Posteriormente se procedió a la revisión de datos faltantes y errores humanos en la transcripción en las bases de datos climáticos y meteorológicos. Así mismo, se verificó la continuidad y validez de los datos para luego analizarlos.
- 4.3.4 El análisis de temperatura se efectuó a los datos de registros de máximos y mínimos absolutos y a los datos de promedio mensual. El análisis consistió en determinar variables de estadística descriptiva del conjunto de datos meteorológicos/climáticos para determinar las medidas de tendencia central, de dispersión y de

posición. Además, se efectuó un análisis de datos agrupados y de correlación lineal. Se efectuaron cálculos de probabilidades de ocurrencia de las distintas magnitudes para determinar la temperatura con probabilidad de ocurrencia de 10, 25, 50, 75 y 90%. Para el análisis de tendencia de temperatura se realizó mediante el análisis de promedio anual de temperatura, máximos y mínimos absolutos y su respectiva media móvil con periodo de 5 años.

- 4.3.5 Para el análisis de lluvia, se calculó las variables de estadística descriptiva para los registros mensuales y acumulados anuales, análisis de anomalía de lluvia anual y mensual, además, se determinó la magnitud de la lluvia mensual con probabilidad de ocurrencia de 10, 25, 50, 75 y 90%, con distribución Gamma generalizada extendida, ya que esta función no admite valores de cero, solo se realizó para la estación lluviosa (mayo – octubre). El análisis de tendencia de lluvia se realizó con correlación lineal y análisis de anomalías anuales. Se realizó análisis de correlación entre la anomalía de lluvia anual registrada en las estaciones INSIVUMEH Santiago Atitlán y Santa María El Tablón con la anomalía de temperatura del océano Pacífico en la región El Niño 3.4.

- 4.3.6 Para realizar el análisis del viento y lluvia diaria se utilizaron los datos de las estaciones meteorológicas de AMSCLAE con periodo de registro desde 2021-2023. Además, de las estaciones meteorológicas de Cooperativa San Miguel (ANCAFÉ) con registros desde 2020 a 2024.
- 4.3.7 El modelamiento de la distribución espacial de las variables meteorológicas temperatura, lluvia, viento, fue con interpolación inverso de la distancia de los valores promedio, máximos, mínimos y anomalías de las variables asociadas a la temperatura, lluvia y viento, para el análisis espacial y cartografía de los datos se empleó el software QGIS versión 3.20.3. El análisis estadístico de los datos se realizó con el software Microsoft Excel y el software InfoStat versión 2020.
- 4.3.8 En cuanto a los productos de escenarios climáticos, se empleó el producto generado de la Universidad de Nebraska para Guatemala a una resolución espacial de 4 Km cuadrados. A partir de dichos insumos, se elaboraron los mapas de escenarios climáticos en cuanto a temperatura máxima y promedio. Además, se proyectó la diferencia de lluvia que podría generarse para los meses de mayo, junio y julio.

V. Resultados

5.1. Análisis de vulnerabilidad climática del municipio de San Antonio Palopó.

5.1.1 Comportamiento climático de la zona sur de la cuenca de lago de Atitlán

La información climática empleada en el presente análisis para el departamento de Sololá proviene de los registros de las estaciones meteorológicas del INSIVUMEH Santiago Atitlán y Santa María El Tablón y El Capitán desde el año 1994.

5.1.1.1 Temperatura

Los principales factores que limitan la distribución de la vida en el planeta son la temperatura y la humedad (Krebs, C. 1985), ante el cambio de la temperatura de un hábitat, Krebs (1985) indica que los organismos hacen frente al cambio mediante la migración o la adaptación, indicando el mismo autor que cada especie tiene límites de temperatura inferior y superior, fuera de éstos, podrían hasta morir. La temperatura es un indicador del calentamiento global y cambio climático, específicamente, el incremento de la temperatura media (Pastor, V. 2014). Los registros de temperatura también permiten caracterizar y cuantificar la magnitud de dicha variable en condiciones extremas o en periodos de tiempo prolongados, esto mediante el análisis estadístico de distribución de probabilidades.

El comportamiento característico de la temperatura en el territorio de San Antonio Palopó se detalla a continuación.

El promedio mensual de la temperatura máxima oscila entre 24.2°C y 26.2°C, mientras que la temperatura media mensual varía entre 17.9°C y 19.8°C (figura 3). En el caso de la temperatura mínima su promedio mensual se comporta dentro del rango de 12.5°C y 14.1°C. La temperatura media mensuales por debajo de 17.1°C y por encima de 21.0°C corresponden a valores pocos frecuentes, con probabilidades menores al 10% y superiores al 90%, respectivamente.

La temperatura absoluta máxima más común se encuentra entre los 24 y 27°C, observándose en el 50% de los registros de máximos mensuales, mientras que, temperaturas absolutas superiores a 28.4°C exceden la probabilidad del 90%, consideradas como extremas (pocos frecuentes), estas han alcanzado el máximo absoluto de 36.3°C.

Con relación a temperaturas mensuales mínimas absolutas, es poco frecuente valores por debajo de 8.7°C (probabilidad menor al 10%) y por encima de 16.33°C (superior a la probabilidad del 90%) para el territorio en estudio y se consideran extremas. Las temperaturas mínimas hacen referencia a la temperatura nocturna y las temperaturas máximas a la temperatura diurna.

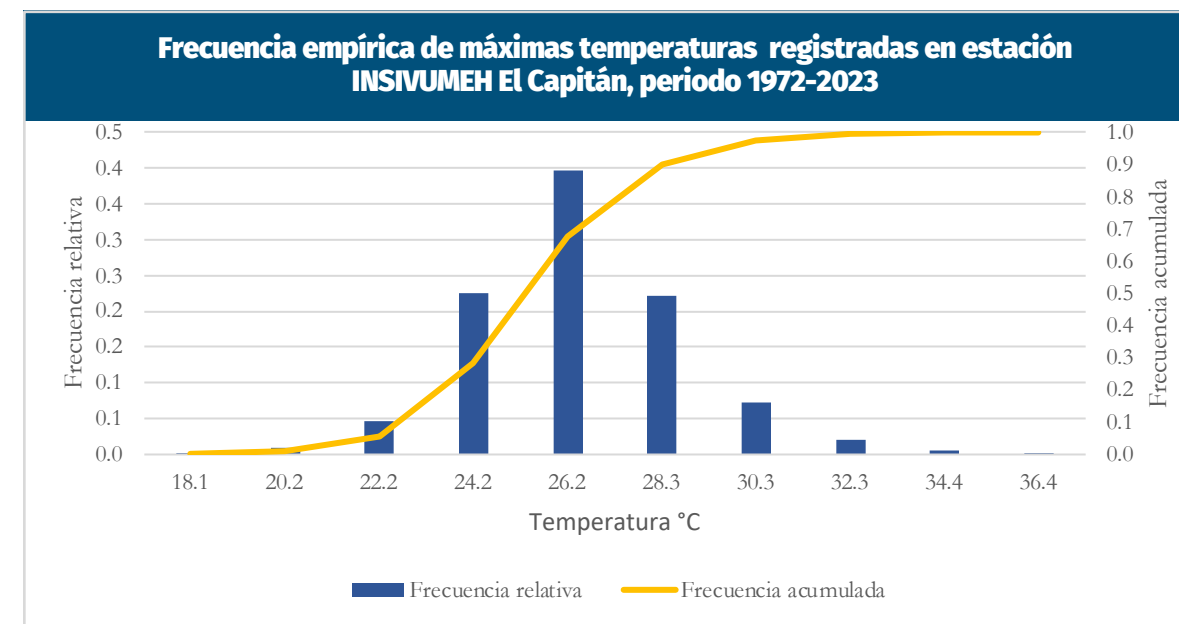


Figura 3. Frecuencia de temperatura máximas absolutas registradas en estación INSIVUMEH El Capitán, periodo 1972-2023.

La temperatura presenta una variabilidad a lo largo del año. La temperatura máxima mensual se incrementa a partir de octubre a mayo (figura 4), pero

desciende a partir de junio hasta julio coincidiendo con la época lluviosa y vuelve a incrementarse en agosto, reduciéndose de nuevo en septiembre.

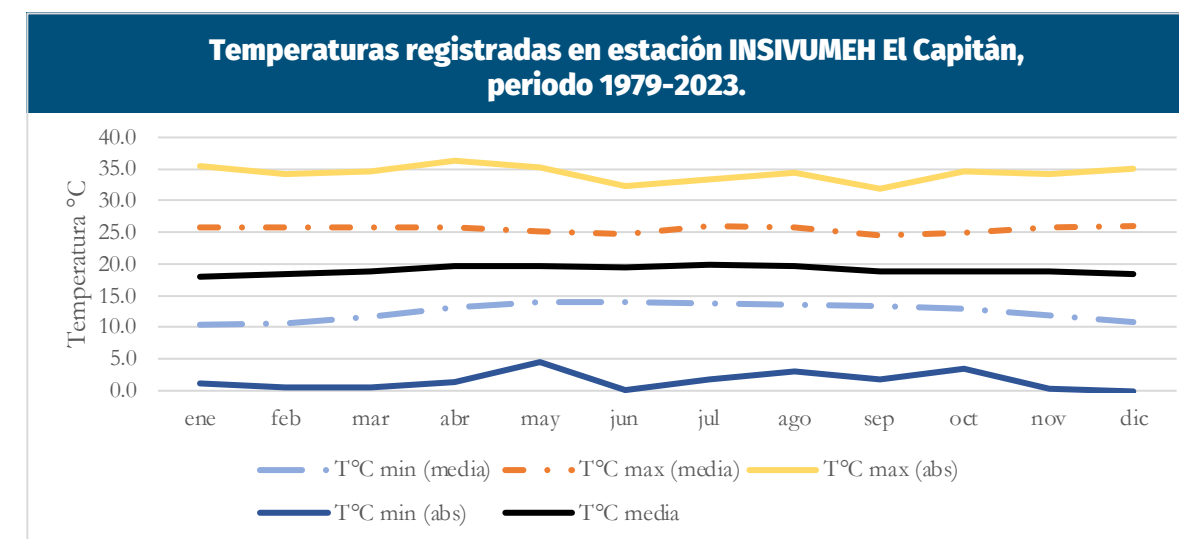


Figura 4. Temperaturas absolutas y promedios de máximas, mínimas y promedios mensuales registrados en estación INSIVUMEH El Capitán, periodo 1979-2023.

La temperatura mínima se reduce (valores bajos) a partir de noviembre hasta marzo, pero incrementa a partir de abril con altibajos hasta octubre. Los valores más altos se han registrado en mayo y octubre. Las temperaturas mínimas son nocturnas (antes del amanecer), por lo tanto, las noches más frías se registran de noviembre a marzo y las más calurosas de abril a octubre.

La temperatura media mensual con mayor frecuencia oscila entre los 18.5 y 20.0°C, observándose en el 56.4% de los registros de temperatura mensual de la estación meteorológica INSIVUMEH El Capitán,

con más registros históricos para la zona. El promedio mensual de la temperatura máxima con mayor frecuencia se registró entre 25.4 y 26.3°C. En el caso de la temperatura mínima, valores entre 7 y 13.5°C son más frecuentes.

La temperatura durante el día varía conforme transcurre las horas, observándose los valores mínimos entre la 1:00 hasta las 5:00 horas, a partir de las 7:00 horas la temperatura se incrementa, registrando los máximos entre las 12:00 y 15:00 horas, a partir de las 17:00 horas, la temperatura desciende.

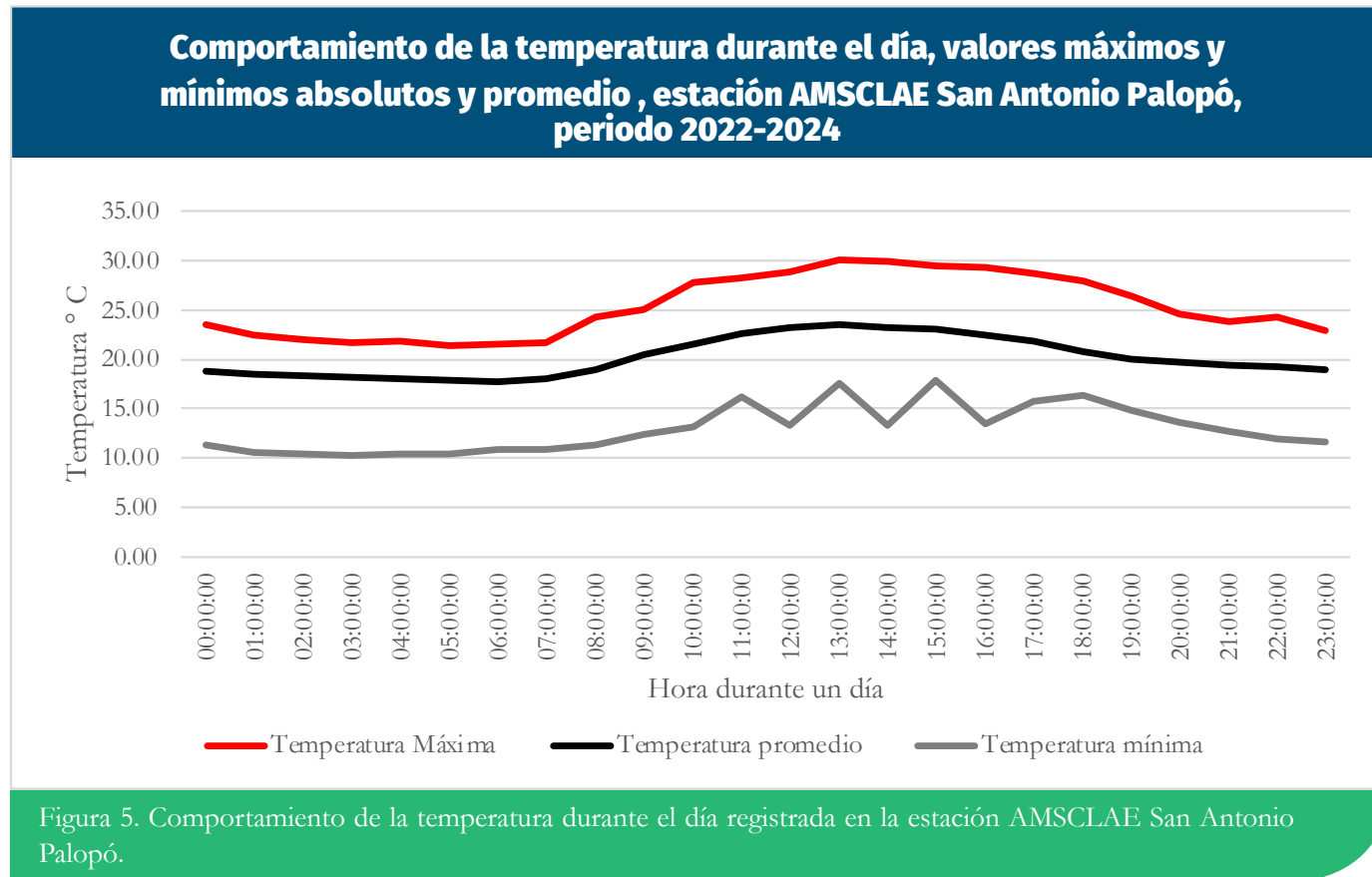


Figura 5. Comportamiento de la temperatura durante el día registrada en la estación AMSCLAE San Antonio Palopó.

Los datos de la estación de AMSCLAE en San Antonio Palopó, aunque cuenta con pocos años de registro (2022-2024), muestra el comportamiento de la temperatura mensual de años recientes (Figura 6). La temperatura mínima desciende (valores bajos) a partir de noviembre hasta febrero, pero incrementa a partir de abril hasta octubre, siendo

los meses con noches y madrugadas más calurosas. La temperatura máxima alcanza los valores más altos en mayo, manteniéndose estable hasta septiembre. En noviembre hasta enero vuelve a elevarse, donde noviembre es el periodo más caluroso durante el día.

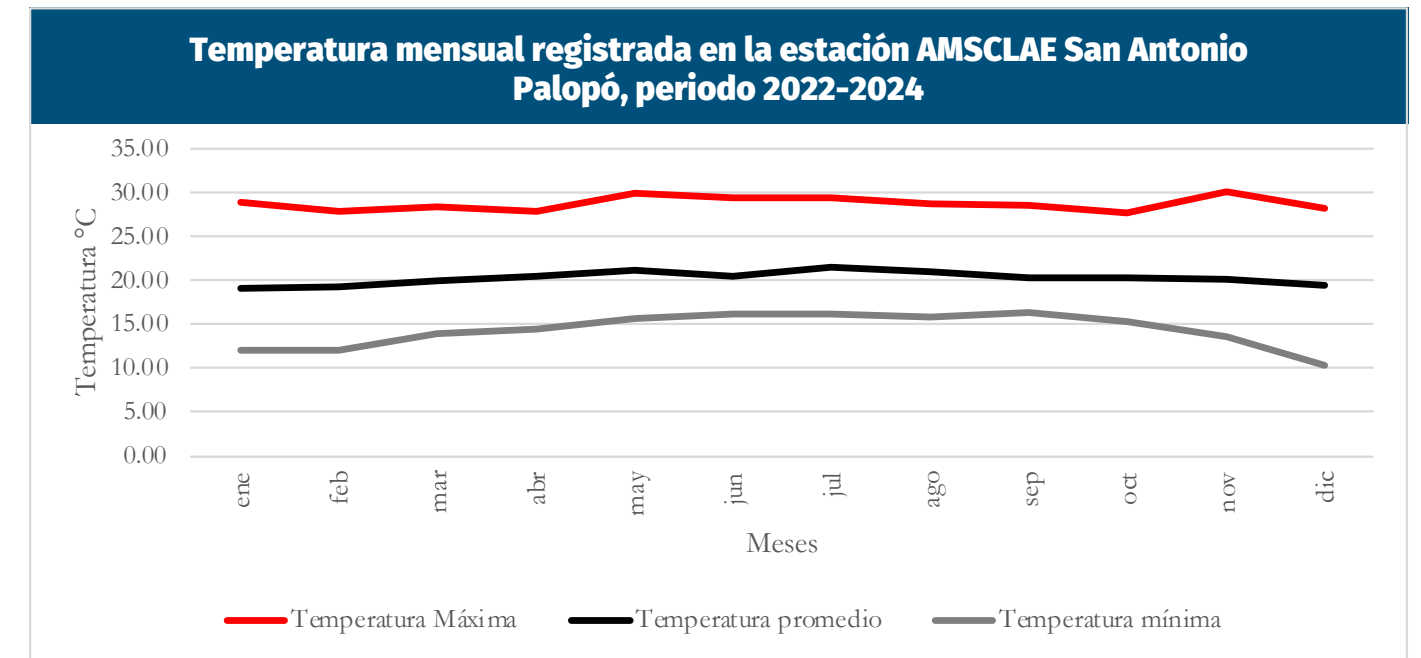
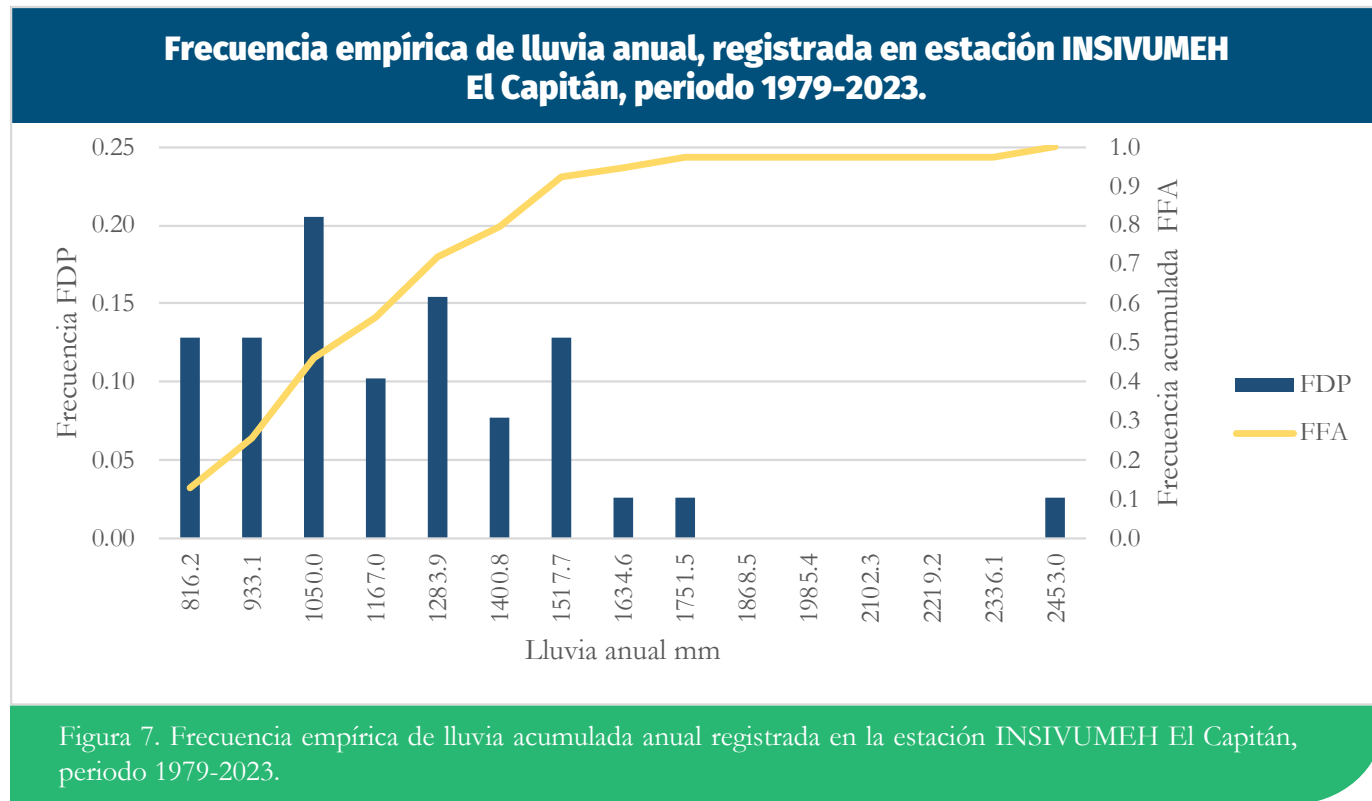


Figura 6. Comportamiento de las temperaturas máximas, mínimas y medias, registradas en la estación AMSCLAE, San Antonio Palopó.

5.1.1.2 Lluvia

El análisis de los registros de lluvia acumulada en la estación del INSIVUMEH El Capitán, como estación de referencia histórica para el municipio de San Antonio Palopó, muestra que la lluvia anual oscila entre 699.3 y 2452.9

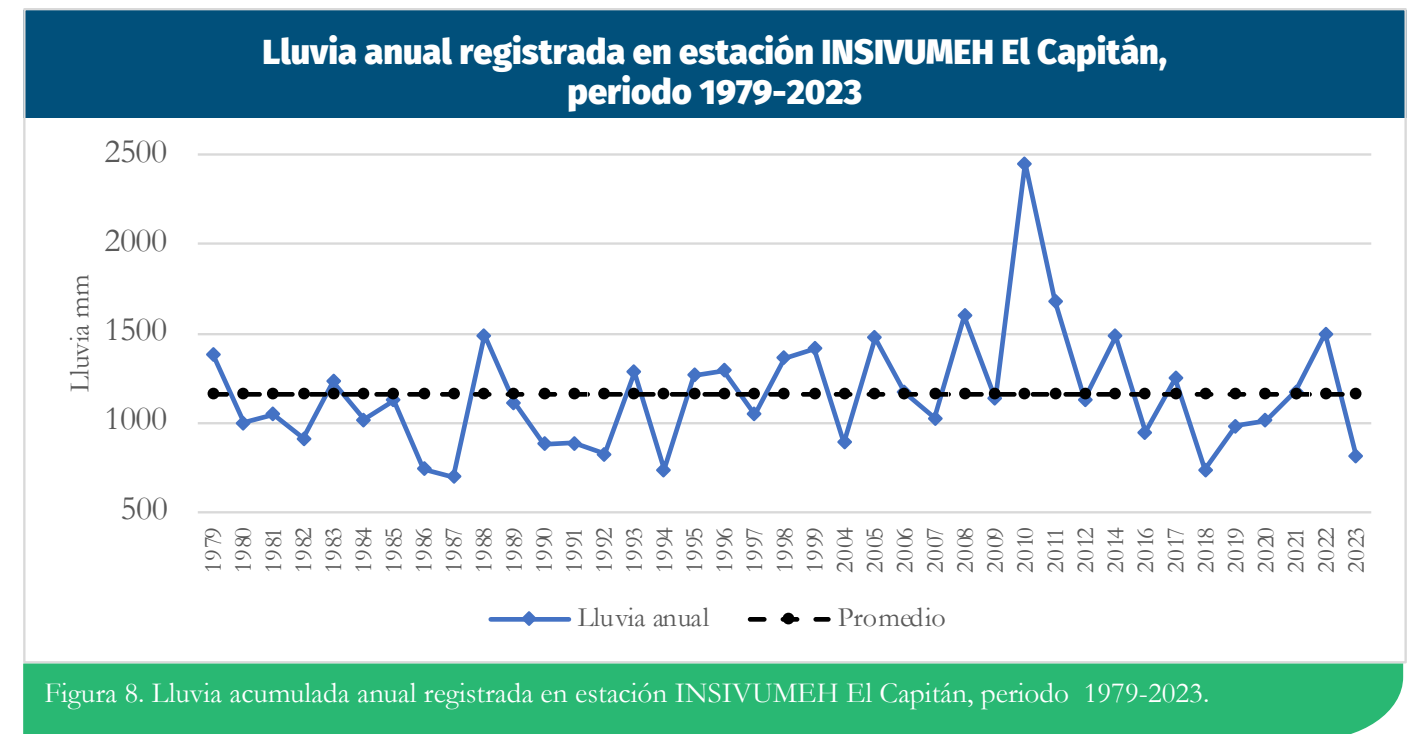
mm. La lluvia anual con mayor frecuencia está entre los 933 mm y 1050 mm, con 43.75 % de los registros; seguido de la lluvia en el rango de 1166 mm a 1283.9 mm con frecuencia del 31.25 %, el promedio de la lluvia anual es de 1165.3 mm con desviación estándar de 347.5 mm.



El análisis de probabilidad empírica de lluvia acumulada anual determinó que las probabilidades de 10 %, 25 %, 50 %, 75 % y 90% fueron 788 mm, 940 mm, 1132 mm, 1347 mm y 1564 mm, respectivamente. La lluvia acumulada anual considerada “normal” o registran algunos años con lluvias cercanas al promedio (1148.1) de la zona. Los acumulados anuales de lluvia con mayor frecuencia en la zona de influencia de la estación INSIVUMEH El Capitán se encuentran entre 894 mm y 1283 mm. Los años con lluvia inferior

a 788 mm se consideran muy secos; los años con lluvia superior a 1564 mm se consideran muy lluviosos mientras que años con lluvia 1703 mm se consideran años extremadamente lluviosos.

Los acumulados de lluvia anual muy por debajo o muy por encima del promedio, estas diferencias en la cantidad de lluvia anual se expresan como anomalías, las cuales indican cuanto se aleja del promedio, lo que permite identificar los años donde se pudo manifestar deficiencias hídricas como sequías o años muy lluviosos.



En la figura 8 se observa el comportamiento de la lluvia acumulada anual registrada por la estación El Capitán, donde se nota que los años ochenta las lluvias fueron inferiores al promedio, a partir del año 1995 hasta el 2015 se observan cambios, donde la lluvia anual superó el promedio con más frecuencia.

Clasificación de la lluvia anual, registrada en estación INSIVUMEH El Capitán, periodo 1979-2023

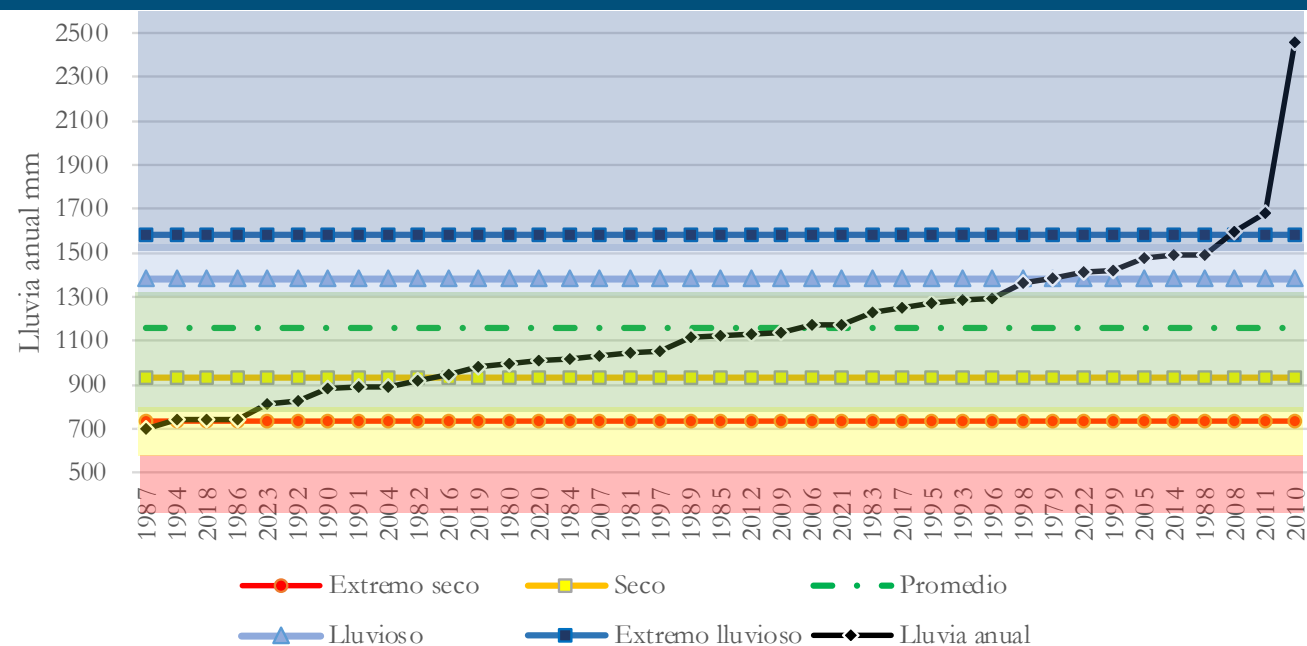


Figura 9. Clasificación de la lluvia anual acumulada registrada en estación INSIVUMEH El Capitán, periodo 1979-2023.

Fuente: Gráfica elaborada con datos del INSIVUMEH (2024).

La clasificación de la lluvia anual acumulada registrada en la estación INSIVUMEH El Capitán (figura 9) se basa en la probabilidad empírica. El año con menor lluvia fue 1987, entrando en la categoría de sequía meteorológica siendo muy seco; los años 1982, 1986, 1990, 1991, 1992, 1994, 2004, 2018, 2023, años que se consideran dentro de la categoría de sequía meteorológica de años secos (sequía). Los años categorizados como muy lluviosos fueron 1979, 1988, 1999, 2005 y 2014, mientras que los años extremadamente lluviosos fueron 2008, 2010 y 2011.

El acumulado de lluvia suele contrastar (variabilidad) de un año a otro, caso como en el año 1987 que fue muy seco y el año siguiente, 1988, fue muy lluvioso, pero también se observan años consecutivos con lluvia similar, casos 1990 al 1992; 1995 y 1996; 1998 y 1999, todo lo anterior como parte de la variabilidad climática.

De acuerdo con los datos de las estaciones en el municipio de San Antonio Palopó, la lluvia acumulada para los años 2022, 2023 y 2024 fueron 1104.9 mm, 674.8 mm y 938.6 mm (AMSCLAE San Antonio Palopó) y 1776.3 mm, 945.8 mm y 1722.0 mm (ANACAFÉ, San Miguel), respectivamente.

Cuadro 1. Categorías de clasificación de los registros de la lluvia acumulada anual del periodo 1979-2023 de la estación meteorológica INSIVUMEH El Capitán.

Probabilidad de ocurrencia (%)	Lluvia esperada mm	Clasificación*
< 10	< 733	Muy seco
10 -25	733-935	Seco
25 - 50	935-1158	Normal (promedio)
50 - 75	1158-1382	Normal (promedio)
75 - 90	1382-1583	Lluvioso
>90	>1583	Extremo lluvioso

*Clasificación arbitraria que se basa en la probabilidad empírica, determinada a partir de la frecuencia de ocurrencia de los acumulados de lluvia en distintos rangos probabilísticos. Estos valores son específicos para la estación meteorológica El Capitán y la localidad bajo estudio.

5.1.1.3 Lluvia mensual

La estación lluviosa en el departamento de Sololá se establece en mayo, en el presente análisis se emplea el criterio de inicio de lluvia, cuando el acumulado de lluvia supera la evapotranspiración mensual (117 mm), que es la evapotranspiración promedio mensual acumulada, derivada de la evapotranspiración anual de 1,400 mm (INSIVUMEH, 2002). El comportamiento de la lluvia mensual muestra un incremento en el acumulado desde abril, alcanzando su máximo valor en junio.

El comportamiento de la lluvia en la zona departamental de Sololá, en el periodo 1979 a 2023 no muestra un patrón o una tendencia fuerte de cambio, se explica porque los factores que inciden en la cantidad y distribución de la lluvia corresponden no solo a la circulación atmosférica, sino también a la ubicación altitudinal y continental y la temperatura superficial del océano Pacífico entre otros factores o fenómenos de teleconexión climática.

Posteriormente, se observa una reducción en julio y agosto, seguida de un nuevo incremento en septiembre y una disminución progresiva desde noviembre hasta el marzo. La estación lluviosa se establece regularmente desde mayo hasta el mes de octubre, aunque existen casos excepcionales. Durante la época lluviosa, los acumulados mensuales de lluvia suelen superar la evapotranspiración potencial, sin embargo, algunos meses dentro de la estación lluviosa, la precipitación ha sido inferior a la evapotranspiración potencial.

Lluvia acumulada mensual registrada en estación INSIVUMEH El Capitán, periodo 1979-2023

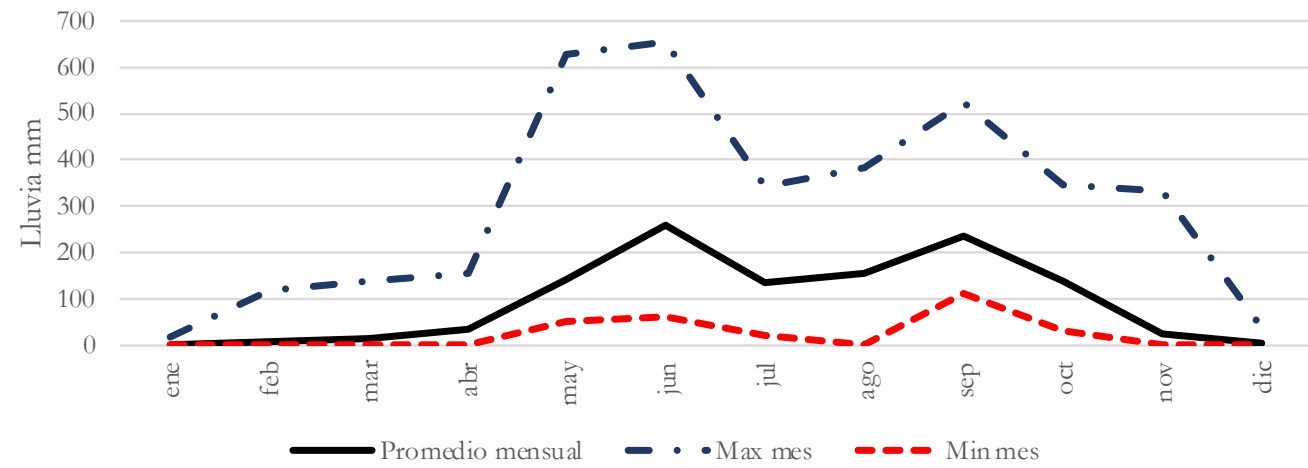


Figura 10. Lluvia acumulada mensual (máximas y mínimas) registradas en la estación INSIVUMEH El Capitán, periodo 1979-2023.

Fuente de datos: INSIVUMEH (2024).

Así como se han registrado durante la estación lluviosa acumulados de precipitación mensual inferiores a la evapotranspiración, también se han observado acumulados mensuales que superar ampliamente los valores promedios y la evapotranspiración. Entre los máximos acumulados registrados destaca mayo de 2010, cuando la inestabilidad atmosférica asociada al paso de la tormenta tropical Agatha provocó 478.0 mm de lluvia entre el 29 y 30 de mayo (Gobierno de Guatemala 2010). Otros eventos extremos incluyen octubre de 2005, cuando

la tormenta Stan dejó un acumulado de 263.5 mm entre el 4 y 6 de octubre, y noviembre de 1998, cuando el huracán Mitch generó 300 mm de lluvia, registrados el 02 y 04 de noviembre en la estación El Capitán. El mayor acumulado mensual de todos los registros corresponde a junio de 2014 con 655.7 mm (figura 11). Los registros específicos para San Antonio Palopó, estación ANACAFÉ Cooperativa San Miguel, destacan el máximo acumulado de lluvia mensual para junio de 2024 y septiembre 2022 con 683.4 mm y 515.2 mm, respectivamente.

Máximos valores de lluvia acumulada mensual en la estación de INSIVUMEH El Capitán, periodo 1979 -2022

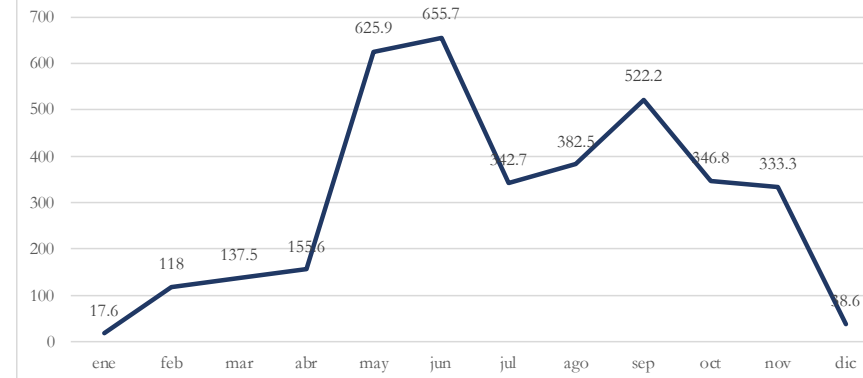


Figura 11. Máximos valores de lluvia acumulada mensual registrados en la estación El Capitán de INSIVUMEH, periodo 1979-2022.

Los meses con lluvias mensuales acumuladas superiores a 300 mm se encuentran sobre el 90% de las observaciones mensuales, considerados muy lluviosos a extremas para la zona de estudio.

Frecuencia de lluvia acumulada mensual superior a 300 = 300 mm, estación El Capitán, periodo año: 1979-2023

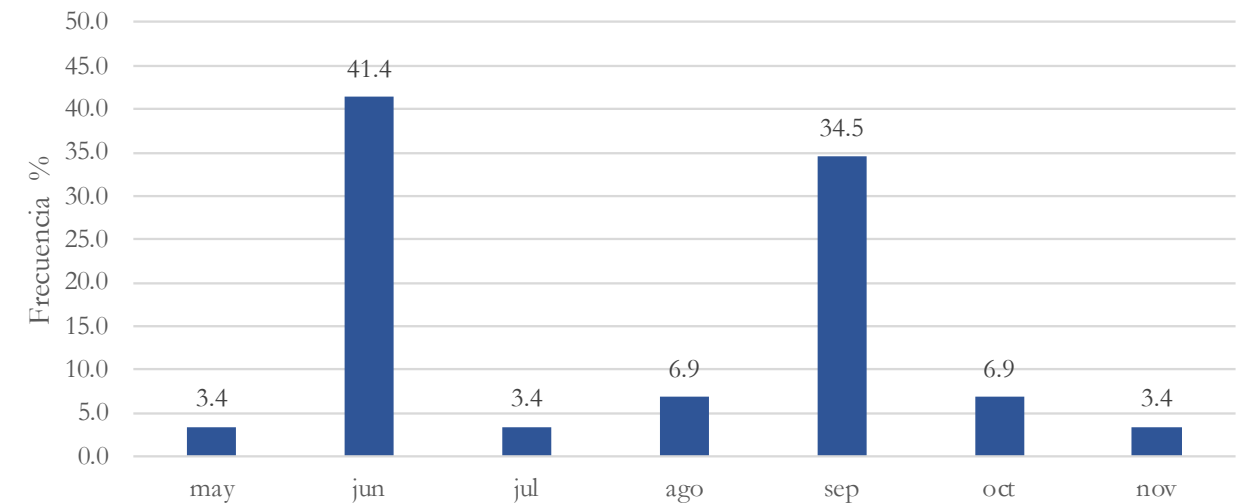


Figura 12. Frecuencia de lluvia acumulada mensual superior a 300 en la estación INSIVUMEH El Capitán, periodo 1979-2023.

Fuente: Elaborado con datos del INSIVUMEH (2024)

La frecuencia de mayor cantidad de máximos mensuales se registra en junio, con el 41.4% de los registros, seguido de septiembre con 34.5 % y los meses de agosto y octubre con 6.9 % cada uno (figura 12).

Lluvia máxima registrada en un día, registrado en la estación de INSIVUMEH El Capitán, periodo 1979-2023

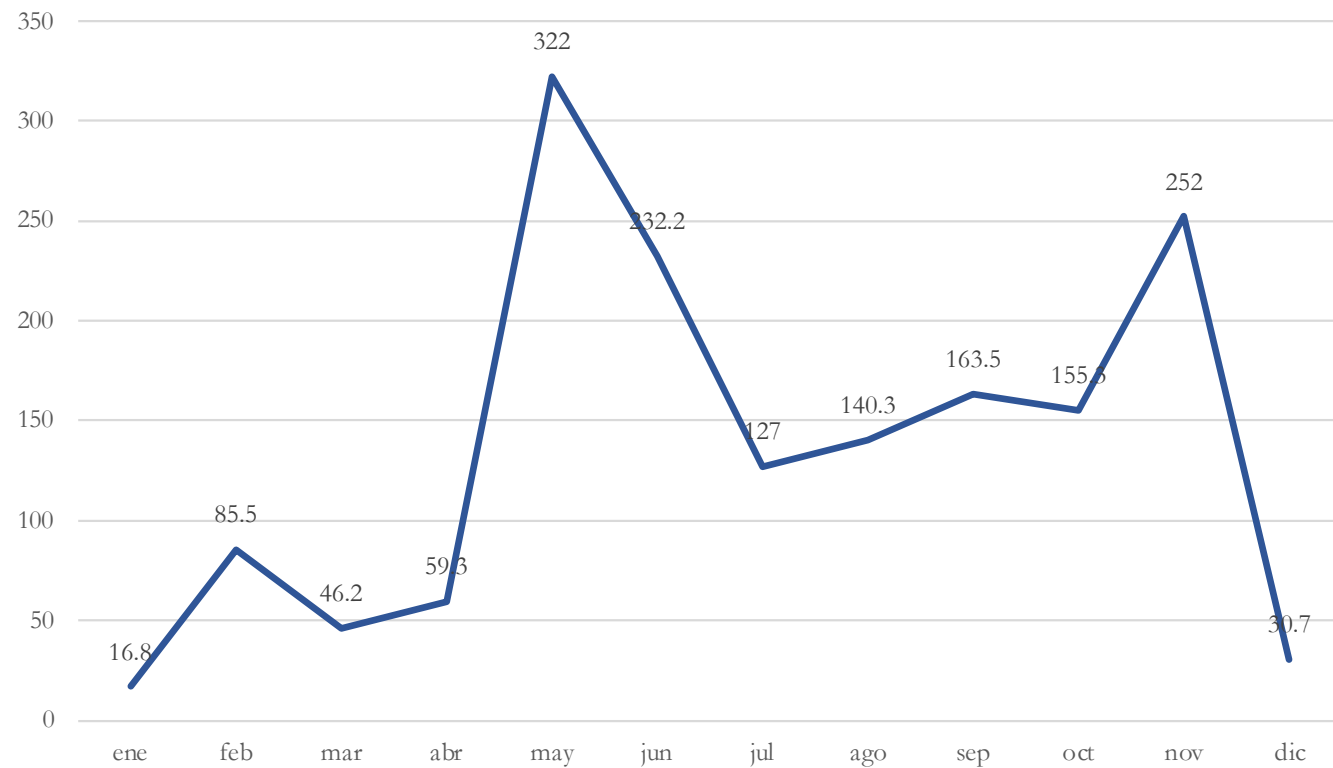


Figura 13. Máximo acumulado de lluvia en un día registrado en la estación meteorológica de INSIVUMEH El Capitán, periodo 1979-2023.

Fuente: Elaborado con datos del INSIVUMEH (2024)

La amenaza meteorológica de lluvias fuertes fue identificada por la comunidad como una de las que mayor impacta a los medios de vida. Los registros indican que se han registrados lluvias en un día de hasta 155.3 mm, en el mes de octubre, 252.00 mm en noviembre y 322 mm en mayo (figura 13 y 14).

Los datos específicos de la estación ANACAFE San Miguel en el territorio de San Antonio Palopó, que tienen pocos años de registros, destacan el máximo acumulado de un día de 113 mm para el 20 de junio de 2022. Seguido por los acumulados 86.6 mm y 80.8 mm, para las fechas 17 de junio de 2024 y 19 de octubre de 2024, respectivamente.

Máximo acumulado de lluvia en un día/año en estaciones de INSIVUMEH Santiago Atitlán y El Capitán, periodo 1991-2023

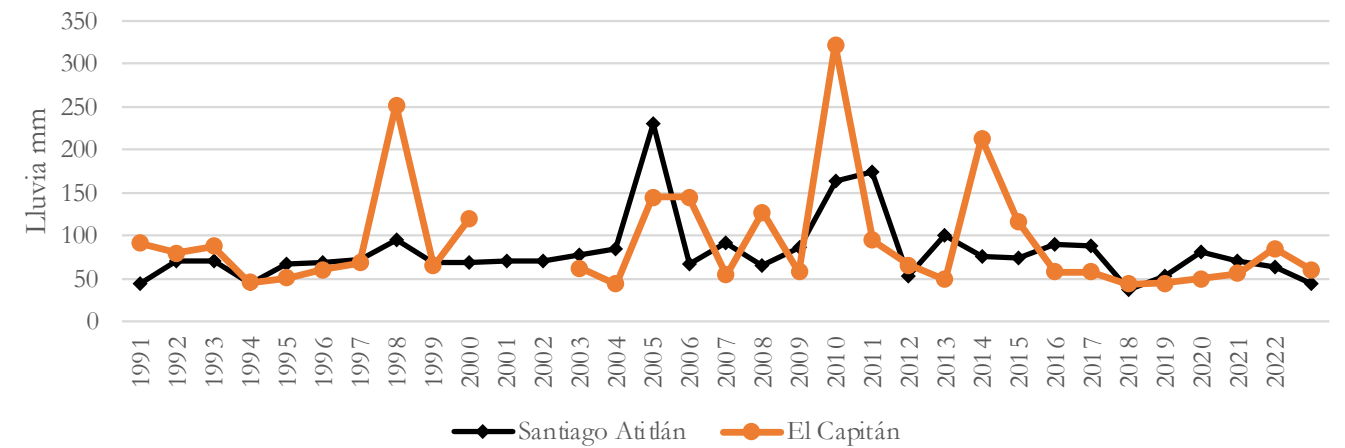


Figura 14. Máximo acumulado de lluvia registrado en un día/año en estaciones meteorológicas de INSIVUMEH Santiago Atitlán y El Capitán, periodo 1991-2023.

Fuente: Elaborado con datos del INSIVUMEH (2024)

El máximo acumulado de lluvia en un día que se registran en las dos estaciones de la zona sur del departamento de Sololá (figura 14 y cuadro 2), resaltan los acumulados más altos en mayo de 2010, noviembre de 1998 y octubre 2005.

Los máximos de lluvia en un día que se han registrado en el departamento de Sololá, en su mayoría asociados con fenómenos ciclónicos, siendo éstos el huracán Mitch 1998, tormenta Stan 2005, tormenta Agatha 2010, depresión tropical 12 E 2011, tormenta tropical Boris 2014 y en el año 2015 en junio y septiembre influenciados por fenómenos locales.

Cuadro 2. Lluvia máxima acumulada en un día durante los fenómenos meteorológicos ocurridos en el periodo 1991-2023 en Sololá.

Estación	Huracán MITCH 1998	Tormenta tropical STAN 2005	Tormenta tropical AGATHA 2010	Depresión tropical 12E 2011	Tormenta Tropical BORIS 2014	2015	Lluvia Máxima en un día mm
EL Capitán	252	144.6	322	95	213	116	322
EL Tablón	146	166	215	180.5	181	105	215
Santiago Atitlán	95	230	145	75.9	76	74.8	230

Elaborada con datos del INSIVUMEH, (2024).

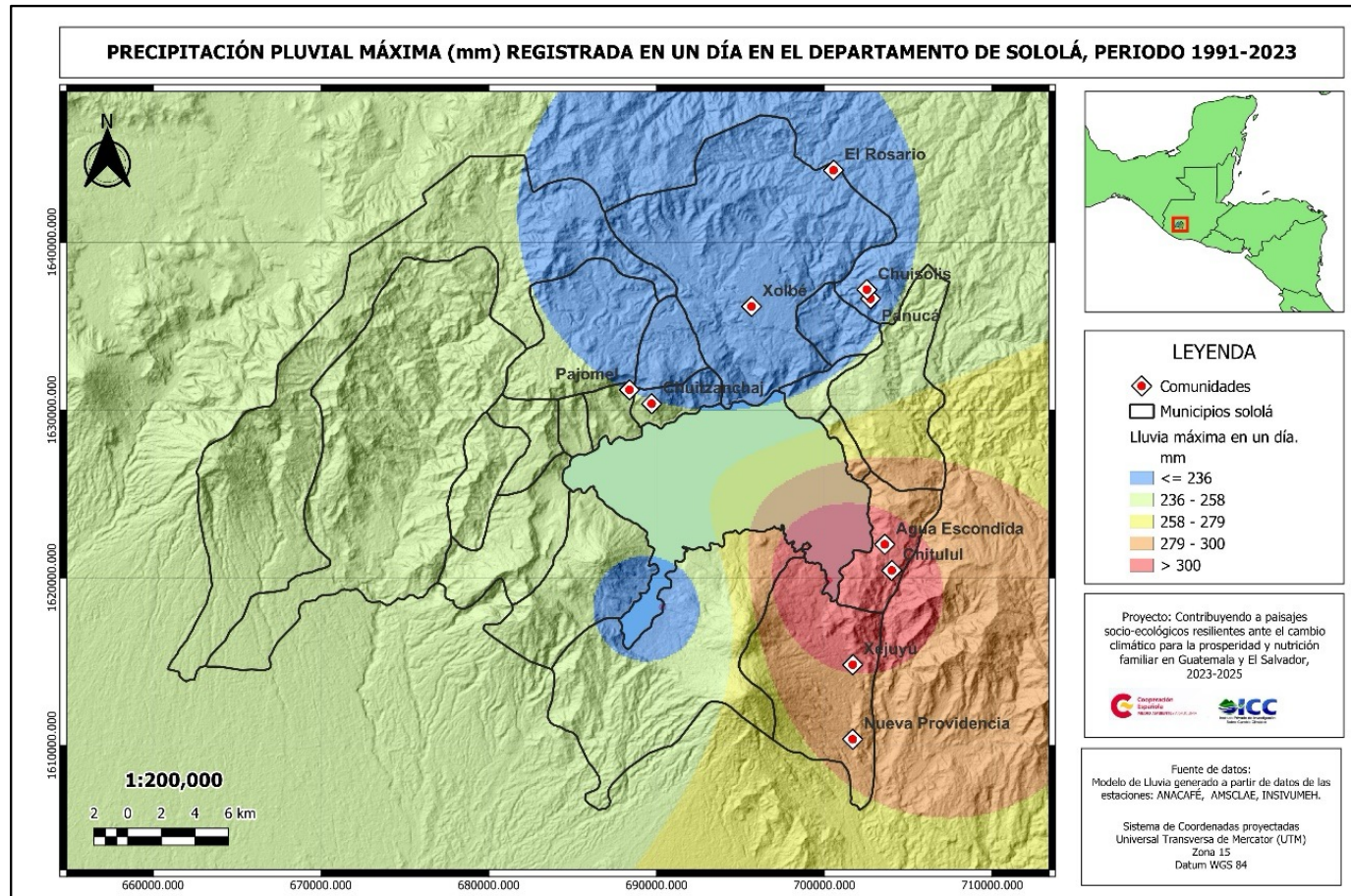


Figura 15. Mapa de eventos de lluvia máxima registrada en un día en las estaciones del INSIVUMEH El Capitán, El Tablón y Santiago Atitlán, periodo 1991-2023.

La figura 15 muestra la distribución espacial de las lluvias máximas registrada en un día en el territorio del departamento de Sololá. Donde, resalta que el territorio de San Lucas Tolimán y San Antonio Palopó fueron afectados por acumulados superiores a los 279 mm/día.

En cuanto a la distribución espacial de los máximos acumulados de lluvia durante una hora (figura 16), resalta que la zona norte del departamento de Sololá y en el municipio de Santiago Atitlán se han presentado lluvias mayores de 60 milímetros en una hora, lluvia clasificada según la AEMET (2023) como lluvias torrenciales.

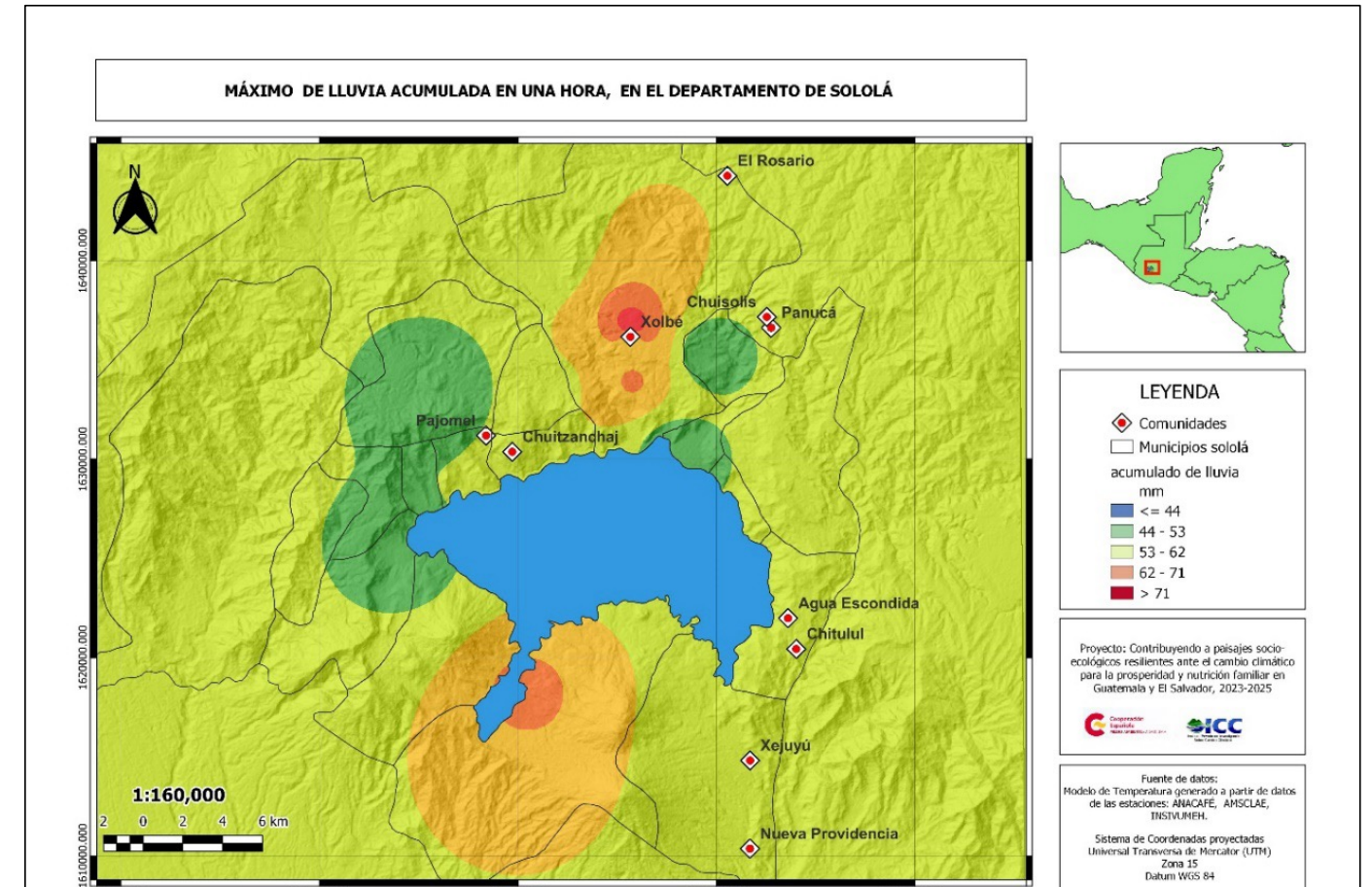


Figura 16. Mapa de distribución de máximos acumulados de lluvia en una hora en el departamento de Sololá. Fuente. Mapa elaborado con datos de INSIVUMEH, ANACAFÉ, AMSCLAE.

5.1.1.4 Viento

El viento es un fenómeno meteorológico que se produce por el movimiento del aire de zonas de alta presión a zonas de baja presión, siempre y cuando exista un gradiente, el movimiento es de las zonas de alta presión hacia las zonas de baja presión.

Las máximas velocidades (figura 17) que se han registrado en las estaciones Santiago Atitlán y El

Capitán para los años 2009 y 2008, han alcanzado los 58 km/h y 53 km/h, respectivamente. Un comportamiento notable de altos y bajos en las velocidades máximas en las estaciones de Santiago Atitlán y El Capitán, dentro del rango de los 10 a 60 Km/hora. En contraste con los registros de la estación de El Tablón (zona norte de Sololá), donde el comportamiento es más estable en las velocidades máximas, alrededor de los 50 Km/hora.

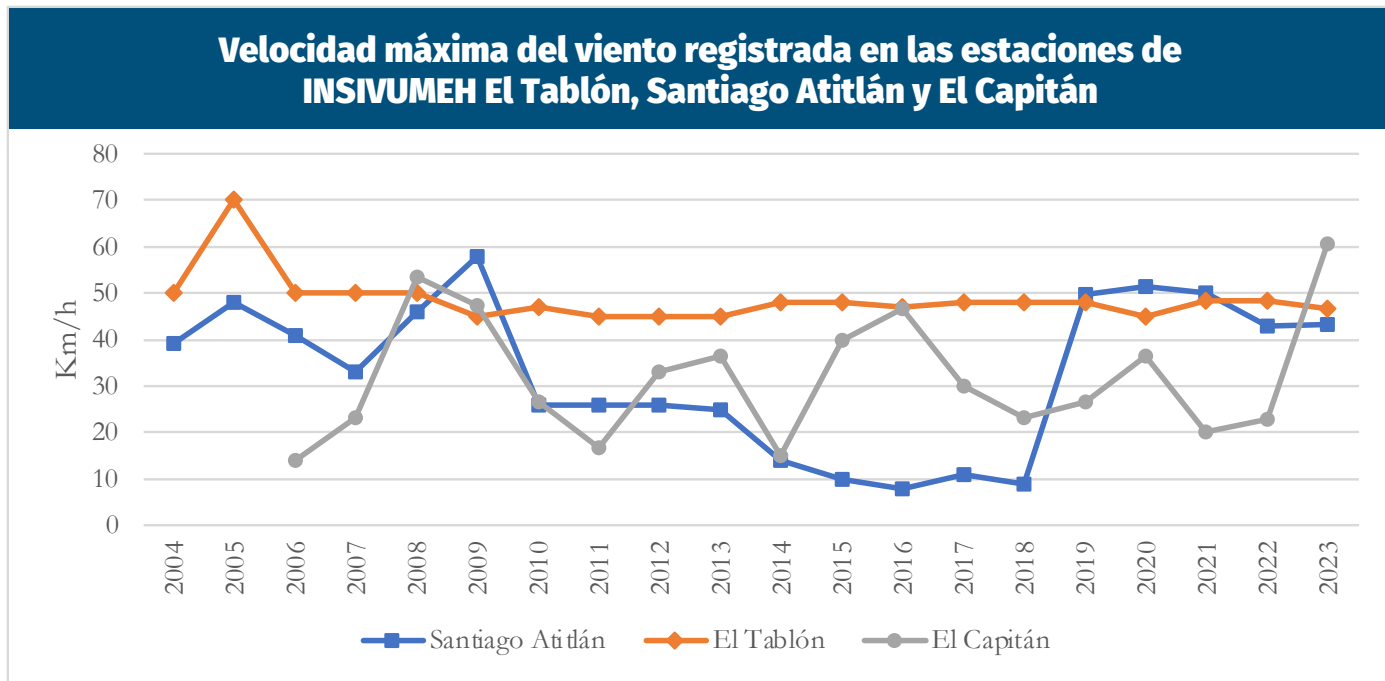


Figura 17. Velocidad máxima del viento registrada en las estaciones meteorológicas del INSIVUMEH, Santiago Atitlán, El Capitán y Santa María El Tablón, periodo 2004-2023. Fuente. Elaborada con datos de INSIVUMEH (2024).

En cuanto a la dirección de los vientos con máximas velocidades en el municipio de San Antonio Palopó, provienen del nornoreste, noreste y noroeste (figura 18), alcanzando velocidades entre 60 y 80 km/hora y con recuento de eventos de 4.0 %, 10.25 % y 3.9 %, respectivamente. Se registraron que el 15.7% de los vientos máximos procedían de sur con velocidades del 60 km/hr. En el 2023, un 12.8% de los vientos comunes (corrientes)

procedían del sur; un 11.92% procedían de noreste; el 10.94% procedían de este-noreste y 10.62% del este-sureste. En el 2024, el 18.2% de los vientos comunes provenían del sur, seguido por 12.76% con dirección este-sureste. La estación de ANACAFE Cooperativa San Miguel (Palopó) registró que el 33.5% de la frecuencia de los vientos procedían entre el sur-sureste.

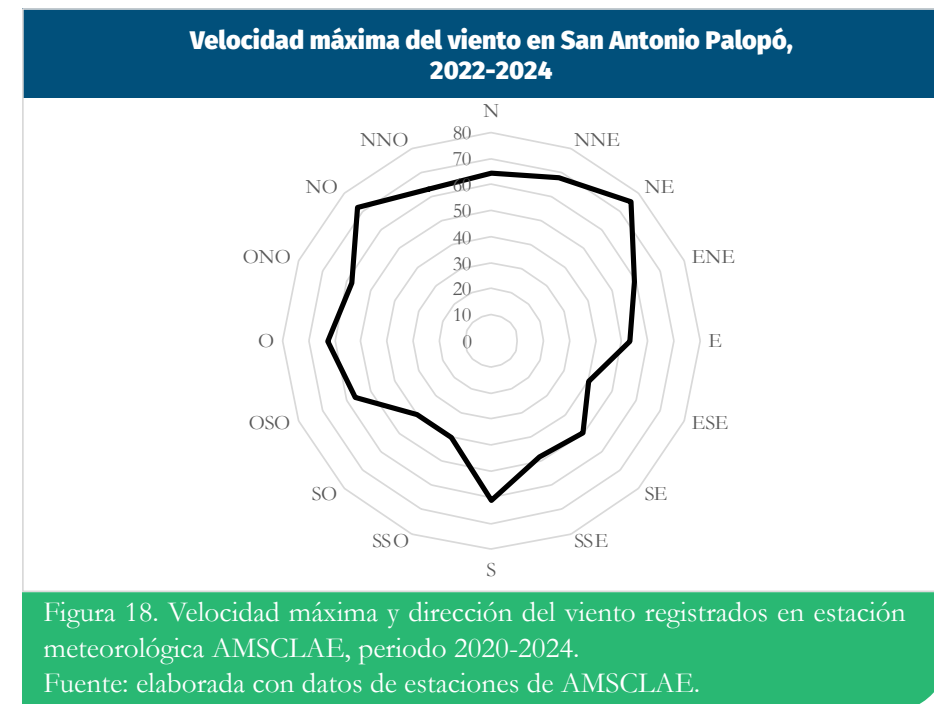


Figura 18. Velocidad máxima y dirección del viento registrados en estación meteorológica AMSCLAE, periodo 2020-2024. Fuente: elaborada con datos de estaciones de AMSCLAE.

La velocidad del viento se incrementa a partir de octubre hasta marzo. A partir de abril hasta julio la velocidad del viento disminuye. Los máximos entre diciembre y enero, sin embargo, hay registros de vientos que alcanzaron velocidades entre 35 y 48km/h en agosto y septiembre.

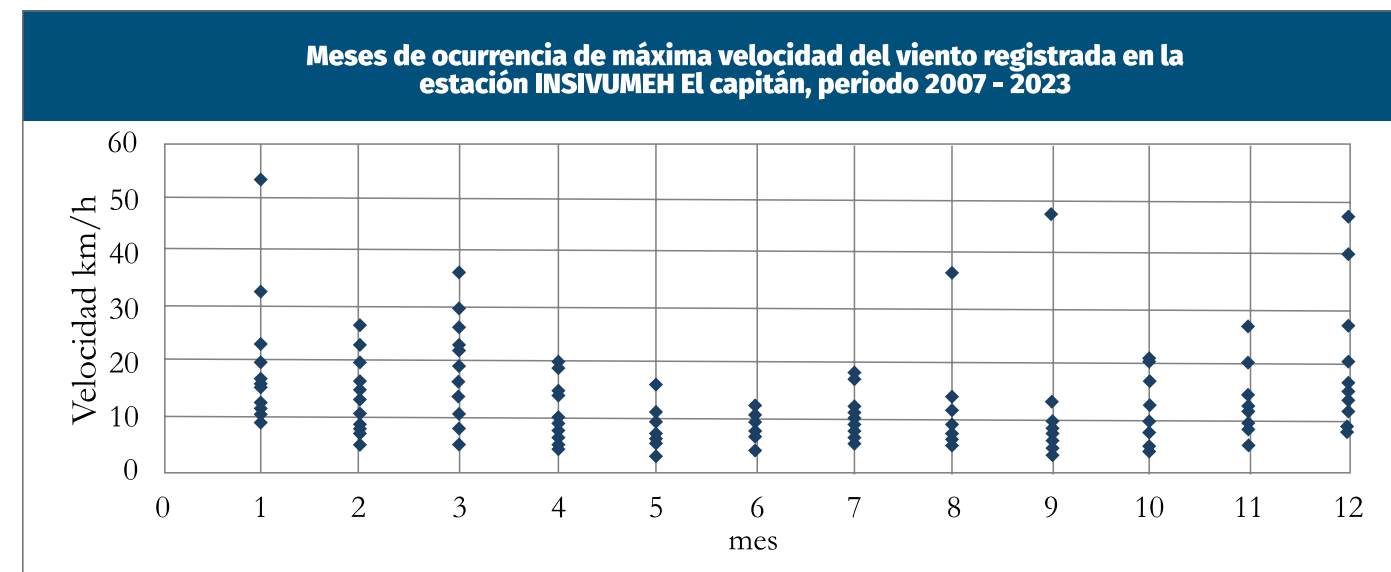


Figura 19. Meses de ocurrencia de las máximas velocidades del viento registradas en estación meteorológica INSIVUMEH El Capitán, periodo 2007-2023

Los registros de la estación San Antonio Palopó de AMSCLAE, registra la ocurrencia de vientos con máxima velocidad. Donde, los eventos con los

máximos valores han ocurrido en febrero, abril y enero diciembre. En febrero se registró el evento máximo de viento con 75.6 km/hora.

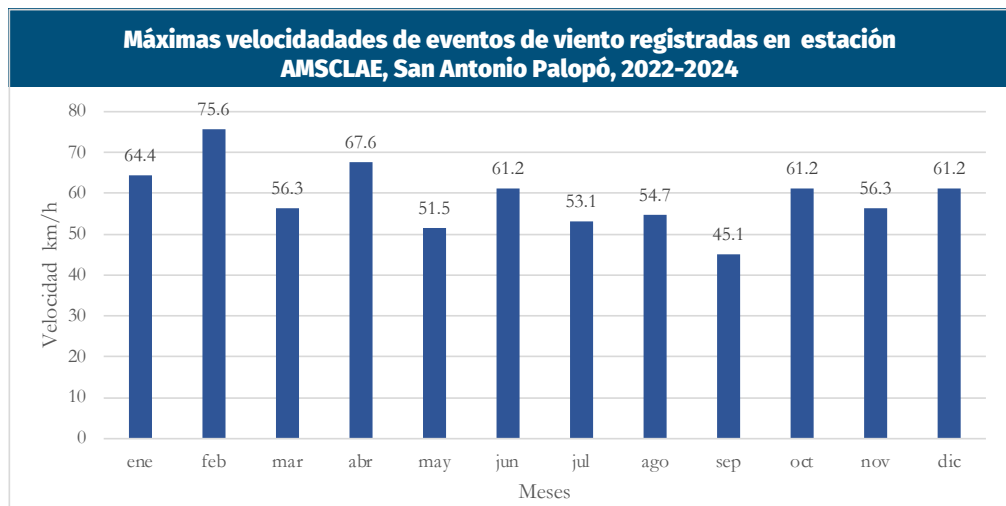


Figura 20. Temporalidad de ocurrencia de las máximas velocidades del viento registradas en San Antonio Palopó, periodo 2022-2024.

La escala Beaufort clasifica la velocidad del viento según la fuerza que ejerce sobre los objetos sobre el océano y sobre la tierra, los vientos en la escala 7, tienen velocidades de 50-61 km/hora que impide a las personas caminar contraviento, tiene la capacidad de mover árboles grandes. La categoría Beaufort 8, clasifica los vientos de 62 a 74 km/h

que provocan el quiebre de copas de los árboles, la locomoción de personas es difícil y tiene la capacidad de mover vehículos. La escala Beaufort 9, se refiere a vientos con velocidades de 74 a 88 km/h, que provoca daños en árboles, es imposible para las personas caminar con normalidad, provoca daños en construcciones y arrastra vehículos.

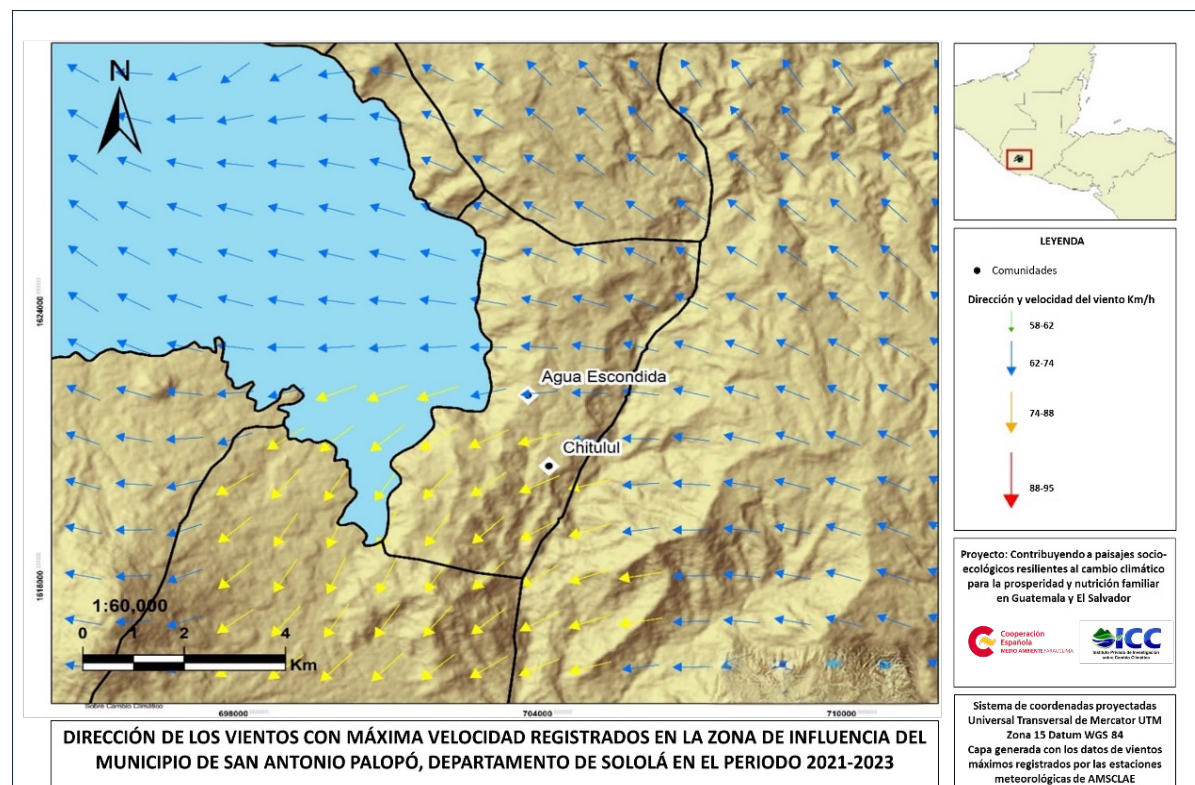


Figura 21. Mapa de dirección y velocidad del viento en San Antonio Palopó. Fuente. Elaborado con datos de INSIVUMEH, AMSCLAE, ANACAFE.

La modelación de la dirección y la velocidad del viento (figura 21) con base a los registros de estaciones meteorológicas circunvecinas, muestra que la predominancia de las máximas velocidades

sobre el territorio del cantón Chitulum (círculo rojo) son con dirección de este a sudeste y sur sureste. Los vientos con las velocidades máximas afectan más a la zona del sur del municipio de San Antonio Palopó.

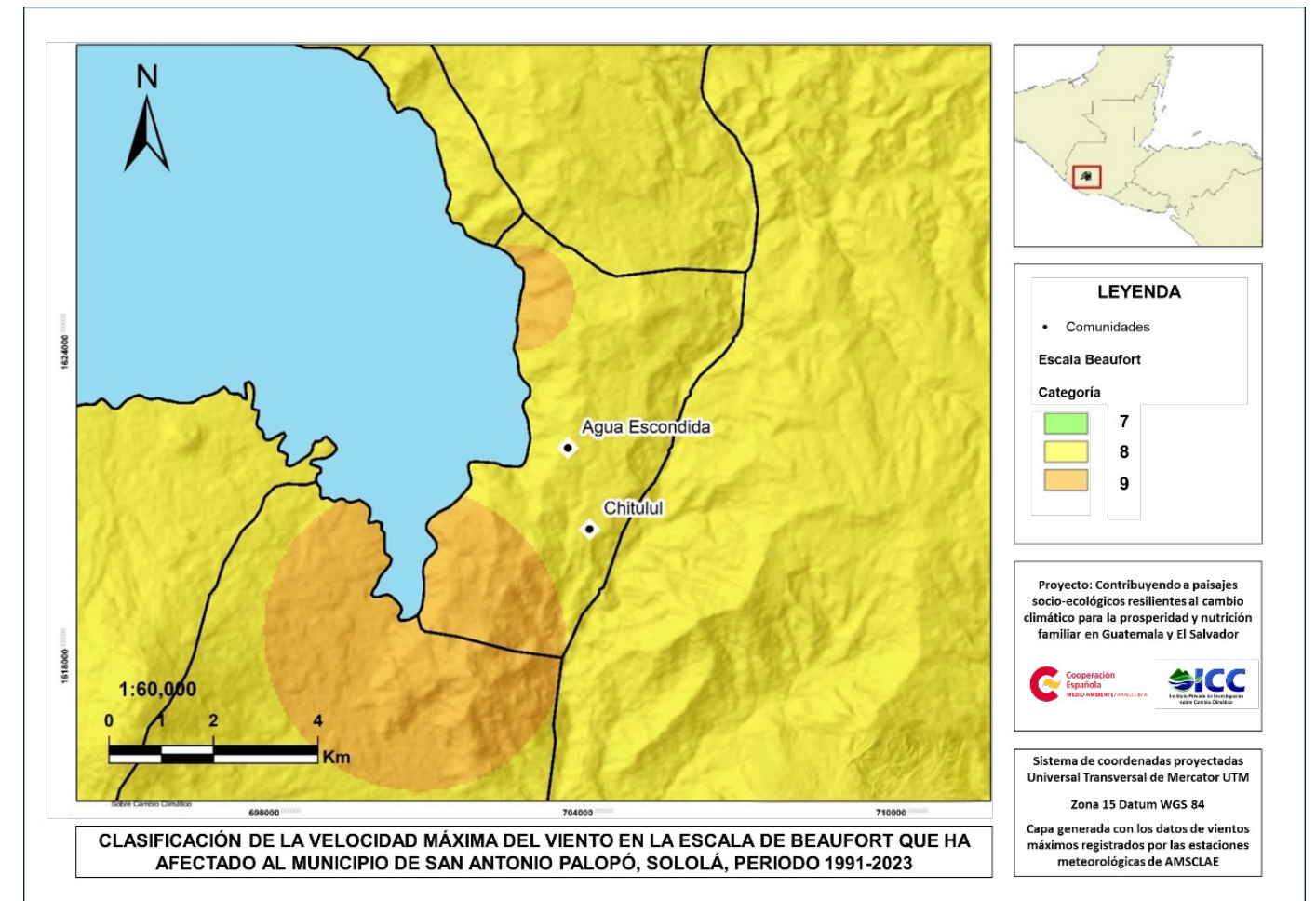


Figura 22. Mapa de velocidad del viento en San Antonio Palopó clasificada en Escala Beaufort.

5.1.1.5. Teleconexiones climáticas con variables locales

El comportamiento de los acumulados anuales de lluvia asociados a la anomalía de temperatura del océano Pacífico, en la región El Niño 3.4, presentaron baja correlación lineal (figura 23). Los datos de la lluvia anual y la anomalía de temperatura de las aguas superficiales del océano Pacífico, mostraron cierto grado de relación ($R=0.28$), es decir, que el comportamiento de las lluvias no es explicada o influenciada

fuertemente por la anomalía de temperatura del océano. Sin embargo, se observa en la figura 23 cierto incremento en el acumulado anual de lluvia al reducirse la temperatura del océano, que generalmente se asocia al fenómeno de la Niña (fase fría de la anomalía), mientras que se reduce ligeramente la lluvia al incrementarse la temperatura del océano, condición asociada al fenómeno de el niño.

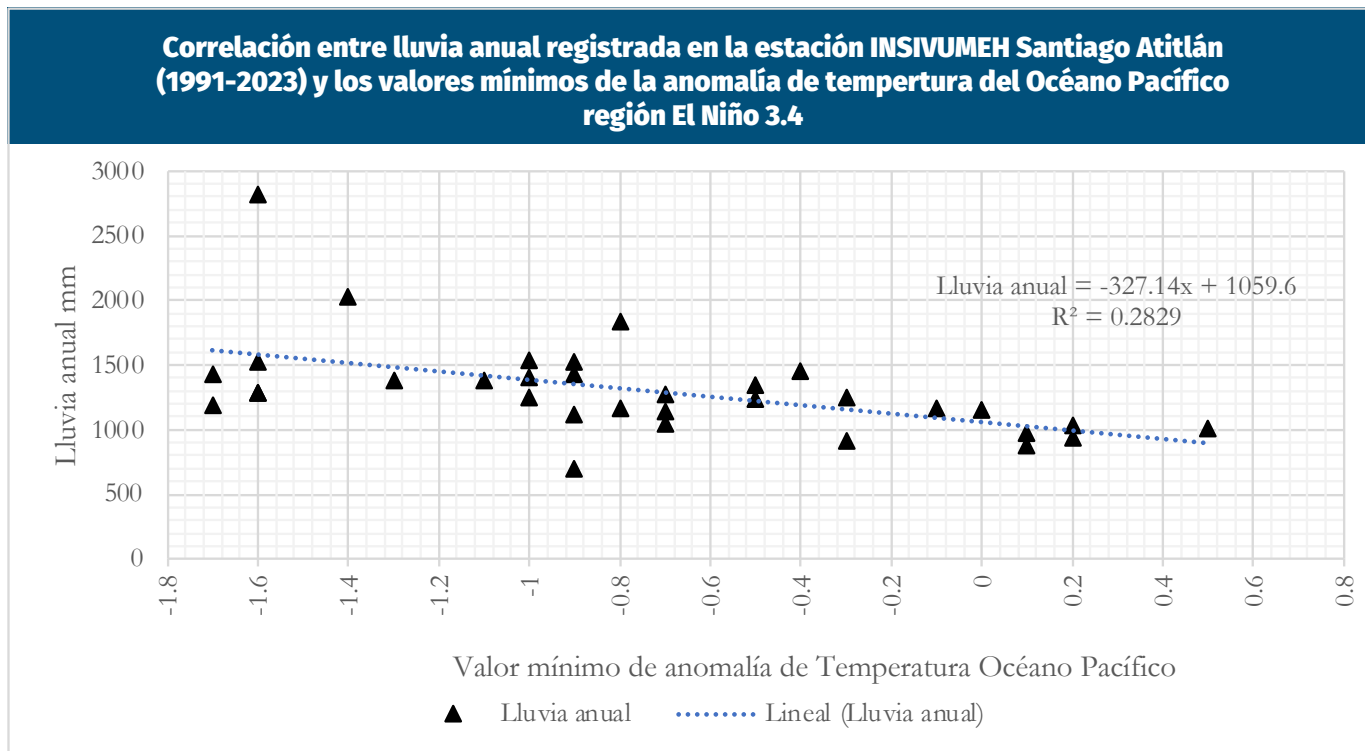


Figura 23. Correlación lineal entre la anomalía de temperatura del océano Pacífico región el Niño 3.4 y la lluvia registrada en la estación meteorológica del INSIVUMEH Santiago Atitlán, periodo 1991-2023. Fuente: Gráfico elaborado con datos de INSIVUMEH (2024) y NOAA (2024).

La correlación entre la anomalía de la lluvia acumulada anual en las estaciones de referencia, Santiago Atitlán, El Tablón y el Capitán y la anomalía de temperatura de las aguas del

océano Pacífico en la región El Niño 3.4, tienen coeficiente de determinación R^2 de 0.28, 0.26 y 0.19 respectivamente, dichos valores son bajos, que indican baja asociatividad entre las variables en mención.

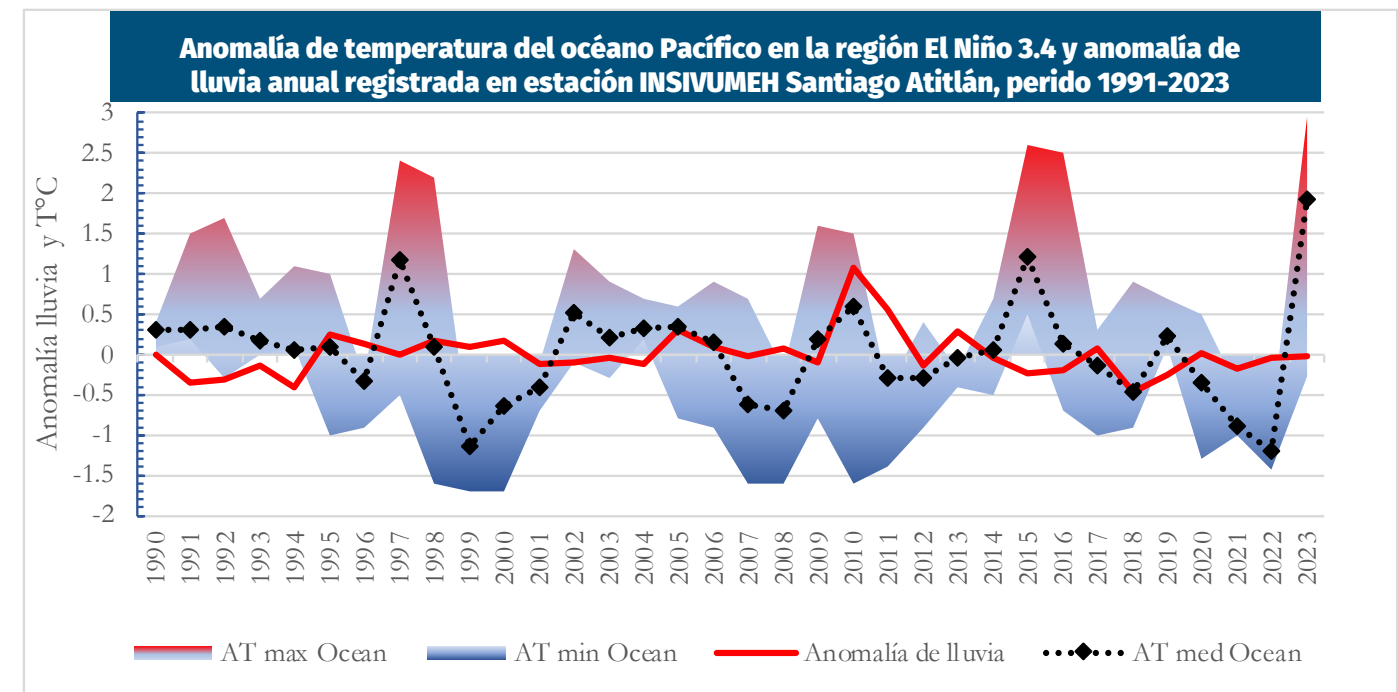


Figura 24. Comportamiento de la anomalía de temperatura del océano Pacífico y anomalía de lluvia acumulada anual registrada en estación INSIVUMEH Santiago Atitlán, periodo 1991-2023. Fuente: Gráfica elaborada con datos de INSIVUMEH (2024), NOAA (2024)

5.1.1.6 Sequía

El fenómeno asociado a la lluvia son las sequías, siendo éstas la reducción en la cantidad de lluvia que percibe una región en un determinado periodo de observación. Valiente, O. (2001), indica que la sequía es un déficit de precipitaciones en un periodo de tiempo prolongado, el mismo autor indica que la cantidad de déficit de lluvia y la prolongación de tiempo depende de las particularidades de la región.

La sequía meteorológica es la reducción de la lluvia con respecto a cantidades esperadas, Valiente, O. (2001) señala que la cuantificación de la sequía varía según el país, teniéndose en algunos como la reducción de lluvia con respecto a la media, la lluvia inferior a dos veces

la desviación estándar, o la lluvia inferior al 80% de los valores normales, en todas, la sequía se cuantifica como una reducción asociada al promedio.

La sequía agrícola según Ponvert-Delisle, D. (2016) es la combinación de la cantidad de lluvia, su distribución, el agua almacenada en el suelo y la evaporación que causan disminución considerable en el rendimiento de los cultivos, Valiente, O. (2001) indica que es la disminución de la disponibilidad del agua en el suelo que permitan el desarrollo de un cultivo en cualquier etapa de su fenología.

Otra definición de sequía, es la disminución de los recursos hídricos durante un periodo suficientemente prolongado, que afecta

determinada región y que trae consecuencias socioeconómicas adversas (CRC-OSA. CIIFEN, 2025). Las sequías se clasifican según la disciplina que analice el fenómeno, Valiente, O. (2001) hace un análisis de las definiciones sobre las sequías, indicando que la clasificación de Wilhite & Glantz (1985) es la más completa, esta clasificación agrupa las sequías en meteorológicas, hidrológica, agrícola y económica.

Para el caso de Sololá, con registros de la estación meteorológica del INSIVUMEH El Capitán, para el periodo 1979-2023, se clasificó los acumulados de lluvia según el rango de valores de probabilidad de 10, 25, 50, 75, y 90% (Ver cuadro 1); donde los valores de lluvia entre el 25 y 10% son secos y valores inferiores al 10% son muy secos, de forma gráfica se presenta los años en los que la lluvia registrada fue inferior al valor de 10% y los años donde la lluvia fue entre el 10 y 25%. El promedio anual fue 1160.6 mm y la desviación estándar de 338.02 mm.

Cuadro 3. Clasificación de la lluvia anual registrada en la estación meteorológica del INSIVUMEH El Capitán, San Lucas Tolimán, según el rango de lluvia anual esperada para probabilidades 10, 25, 50, 75 y 90.

Probabilidad de ocurrencia (%)	Lluvia esperada mm	Lluvia esperada mm
< 10	< 733	Muy seco
10 - 25	733-935	Seco
25 - 50	935-1158	Normal
50 - 75	1158-1382	Normal
75 - 90	1382-1583	Lluvioso
>90	>1583	Muy lluvioso

Los años con sequía meteorológica extrema, se registra únicamente en 1987. los años considerados con sequía moderada o años secos se registraron en los años 1982, 1986, 1990, 1991, 1992, 1994, 2004, 2018 y 2023.

5.1.1.7 Sequía mensual

De acuerdo con los registros de lluvia (1979-2023) en la estación El Capitán; en el periodo de enero a abril se contabilizaron 46 meses sin lluvia. En mayo el mínimo (más bajo) de lluvia acumulada registrada fue de 51.1 mm, mientras que el 10% de los registros más bajos (poca lluvia) no superan los 63 mm/mensual. Por otro lado, el 25% de los registros corresponden a acumulados de hasta 86.7 mm.

Si consideramos que la evapotranspiración promedio en mayo es de 117 mm, es probable que se presente estrés hídrico en las plantas (cultivos) cuando las lluvias sean iguales o inferiores al 25% de los registros (datos): En el caso de junio, la lluvia acumulada con ocurrencia menor al 10%, supera la evapotranspiración potencial promedio del mes, lo que indica que

en este periodo no se ve afectado por sequía agronómica. Sin embargo, en 1986 se registró un evento atípico de lluvia acumulada de sólo 61.7 mm.

En julio se registra cuatro ocasiones donde la lluvia fue inferior al 10% de los registros y seis eventos donde la lluvia acumulada osciló entre el 10 y 25% de los registros, sin embargo, se contabilizaron 20 ocasiones donde la lluvia acumulada no superó la evapotranspiración potencial del mes. Basado en dichos registros, julio es el mes con mayor probabilidad (0.49 de ocurrencia de escasez de agua para los cultivos. Agosto es el tercer mes con mayor cantidad de eventos mensuales donde la evapotranspiración potencial fue superior al acumulado de lluvia mensual, con 17 ocasiones, seguido por octubre y mayo con 18 ocasiones (Figura 25).

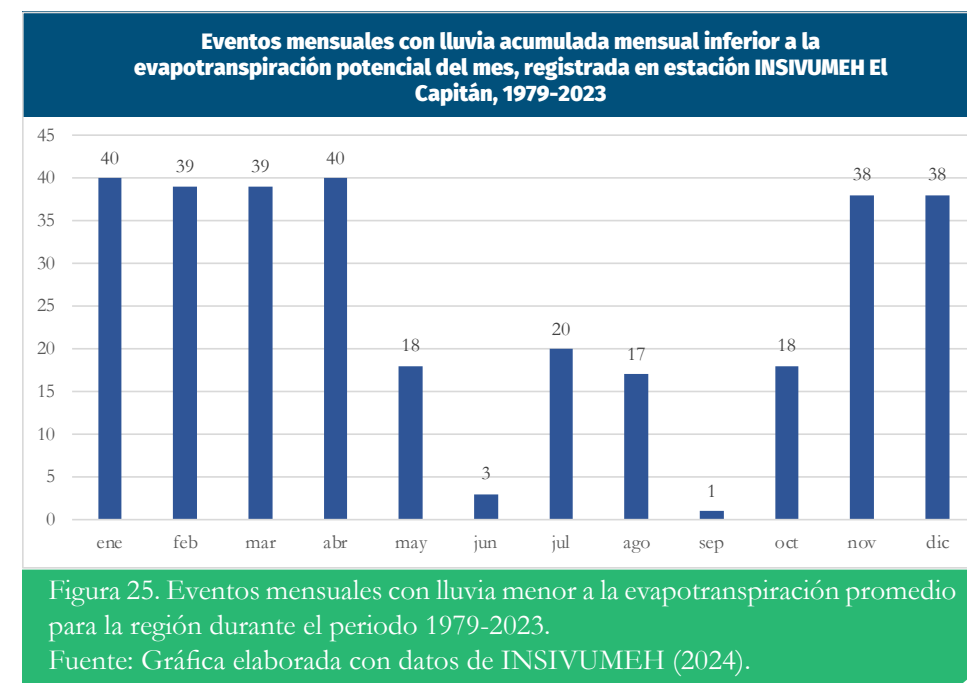


Figura 25. Eventos mensuales con lluvia menor a la evapotranspiración promedio para la región durante el periodo 1979-2023. Fuente: Gráfica elaborada con datos de INSIVUMEH (2024).

En la estación lluviosa mayo-octubre, los meses en los que la escasez de lluvia afecta a los cultivos son mayo, julio, agosto y octubre. Los meses de mayo y octubre, representan el inicio y el fin de la estación lluviosa, cuando inicia tardía y finaliza tempranamente.

5.1.1.8 Canícula

La época lluviosa en Guatemala inicia regularmente en mayo y finaliza en octubre. En la distribución de las lluvias entre los meses de julio y agosto (Figura 26), ocurre el fenómeno de la canícula, donde las lluvias disminuyen, se reduce la presencia de nubes, desciende la humedad del suelo y atmosférica y se incrementa la temperatura, condición que incrementa el

estrés a las especies cultivadas en la zona. En julio se han registrado lluvias menores a la evapotranspiración potencial (Figura 25) en 20 ocasiones de un total de 41 registros, seguido del mes de agosto con 17 ocasiones.

La figura 26, muestra el comportamiento de la lluvia en el periodo 2019-2023, resaltando una reducción en los meses de julio y agosto.

2019 oscila entre 0.8°C y 1.3°C. En cuanto a la lluvia (precipitación) media mundial sobre las superficies continentales haya aumentado desde 1950, con un ritmo de aumento más rápido desde la década de 1980 (IPCC, 2021).

Los cambios en la biosfera terrestre desde 1979 son coherentes con el calentamiento global; las zonas climáticas desplazados hacia los polos en ambos hemisferios. El nivel de mar global aumentó 0.20 metros entre 1901 y 2018 (IPCC, 2021).

En el contexto guatemalteco, el promedio de lluvia anual a nivel nacional ha aumentado 52

milímetros desde 1981. El 62% de las estaciones evaluadas presentan un incremento de lluvia para el periodo de evaluación, presentando una variación entre uno a 43%, respecto al promedio de la estación, 1981-2000, (Bardales Espinoza, Castañón y Herrera, 2019).

La temperatura media anual para Guatemala ha mostrado un incremento promedio de 0.6°C desde 1971. El comportamiento histórico de la temperatura muestra una clara tendencia al incremento en sus valores (calentamiento), condicionada por el predominio de anomalías positivas a finales de los años 80 (Bardales Espinoza, Castañón y Herrera, 2019).

5.1.1.10 Cambios en la lluvia

Para el análisis climático para la zona sur del departamento de Sololá, se han empleado datos de la estación de Santiago Atitlán. De

acuerdo con Guerra (2010), los registros en dicha estación (Santiago Atitlán), presenta una tendencia de incremento de la cantidad de lluvias de acuerdo con los datos de 1979-2009 (figura 27).

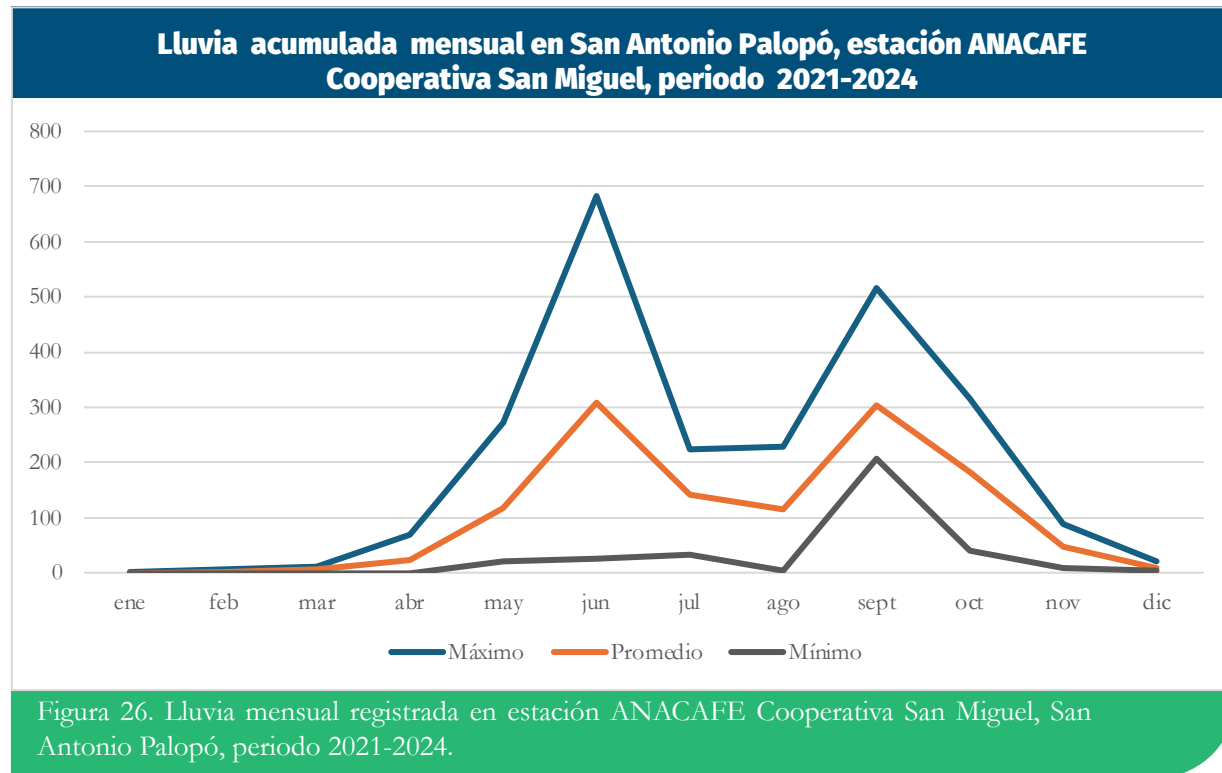


Figura 26. Lluvia mensual registrada en estación ANACAFE Cooperativa San Miguel, San Antonio Palopó, periodo 2021-2024.

5.1.1.9 Cambios en el clima

El cambio climático supone la mayor amenaza para la población en general y los pequeños productores rurales, especialmente para las comunidades pobres y más vulnerables. Esta presión se produce a través de fenómenos meteorológicos extremos cada vez más frecuentes, como sequías, tormentas e inundaciones, así como de cambios graduales como una duración más breve de la estación húmeda y su inicio tardío, la subida del nivel del mar y el deshielo de los glaciares (FAO, FIDA, OMS, PMA y UNICEF, 2022).

IPCC (2014), define el cambio climático como la variación del estado del clima, identificable en las variaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos periodos de tiempo, generalmente decenios o periodos más largos. El cambio climático y el calentamiento de la atmósfera, el océano y la tierra, debido a la influencia humana es inequívoco.

El rango probable de aumento total de temperatura global en superficie provocado por las actividades humanas de 1850-1900 a 2010-

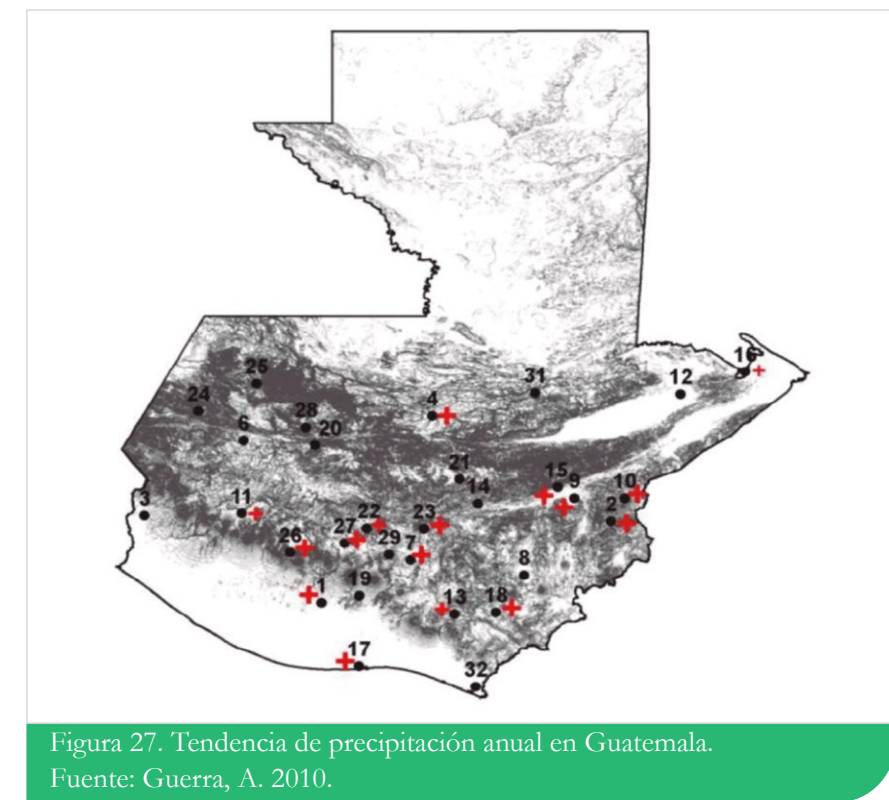


Figura 27. Tendencia de precipitación anual en Guatemala. Fuente: Guerra, A. 2010.

En cuanto a lluvias extremas, los registros de la estación meteorológica de Santiago Atitlán, nos revela que no existe tendencia estadística de

lluvias extremas en la zona sur del departamento de Sololá (figura 28).

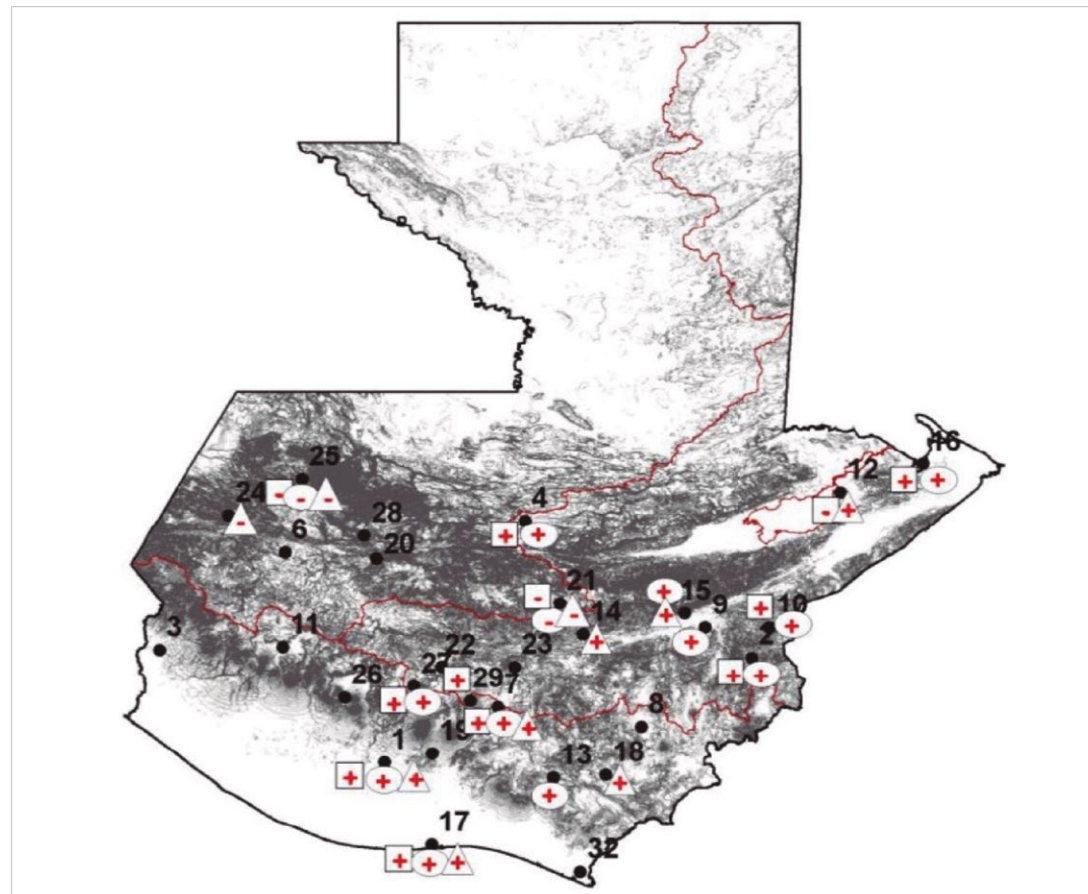


Figura 28. Tendencia de precipitación extrema en Guatemala. Fuente: Guerra, A. (2010).

5.1.1.11 Cambios en la temperatura

Los registros de temperatura media anual en la estación meteorológica de INSIVUMEH en San Lucas Tolimán, muestran una tendencia de incremento desde el año 1979 hasta el 2023; pero desde el 2004 se observa un cambio acentuado de incremento (figura 29). El incremento de la temperatura media ha sido 0.0284°C por año, con coeficiente de determinación R2 de 0.2914. El modelo lineal para determinar el cambio de

temperatura media anual es de “ $Y= 0.0248x - 30.575$ ”. Previo al año 2004, el comportamiento de la temperatura media anual presentó una oscilación marcada con altos y bajos, resaltando la temperatura más alta en 1987 con un valor de 20.5 °C, a partir del año 2004, el incremento de la temperatura se incrementó a razón de 0.0431 °C por año, con coeficiente de determinación R2 de 0.55, el modelo lineal para proyectar la temperatura media anual es “ $Y= 0.0431x - 67.528$ ”.

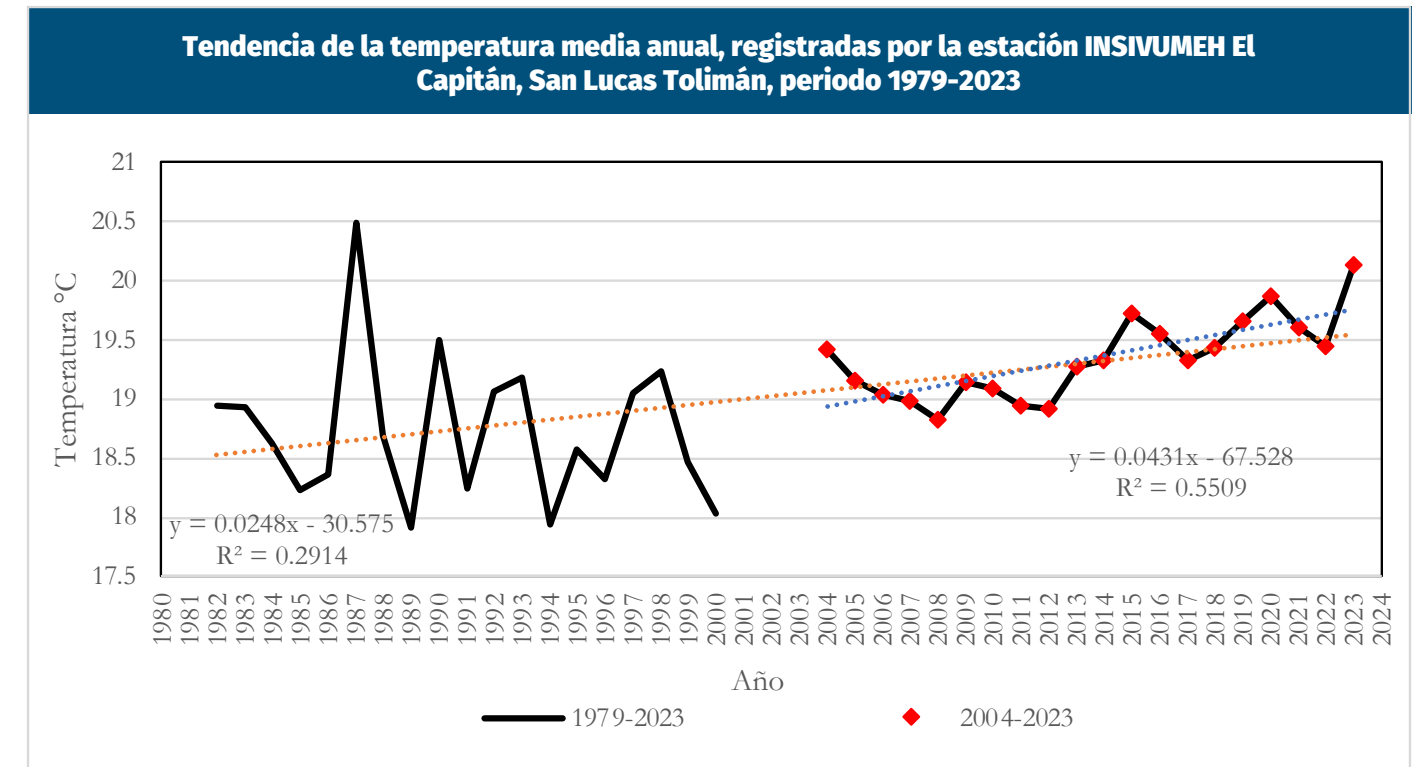


Figura 29. Tendencia de temperatura media registrada en la estación INSIVUMEH San Lucas Tolimán en el periodo 1979-2023.

Fuente: Elaborado con datos de INSIVUMEH (2024).

La gráfica de temperatura media anual para el periodo 1979-2023 (figura 29), evidencia que existe una tendencia al incremento de la temperatura para el territorio de la zona sur del departamento de Sololá y representativa de territorio aledaño.

5.1.1.12 Escenarios climáticos para el departamento de Sololá

En cuanto a la respuesta climática a futuro en el territorio guatemalteco y del departamento de Sololá, dependerá del calentamiento mundial a raíz de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el pasado, así como, las emisiones futuras a nivel global en conjunto con la variabilidad natural del clima (IPCC, 2014).

Los escenarios climáticos del IPCC se han construido para aportar información para la toma de decisión en un futuro cercano

bajo ciertos supuestos de comportamiento socioeconómico y de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI's). De acuerdo con el IPCC (2021), los escenarios son imágenes alternativas de lo que podría acontecer en el futuro y constituyen un instrumento apropiado para analizar de qué manera influirán las fuerzas determinantes en las emisiones futuras, y para evaluar el margen de incertidumbre de dicho análisis.

De acuerdo con el nuevo ciclo de informes del IPCC (AR6), existe un conjunto de cinco

nuevos escenarios ilustrativos de emisiones de GEI para estudiar la respuesta climática a un abanico más amplio de futuros de gases de efecto invernadero, uso de la tierra y otros factores atmosféricos (IPCC, 2021). En estos modelos climáticos nuevos (CMIP6), considerado en el informe AR6 tiene un rango de sensibilidad climática más amplia que los escenarios CMIP5 (AR5). Dichos modelos nuevos sugieren incremento de temperaturas entre 3.3 a 5.7° Celsius para todo el planeta. Los escenarios elaborados para Guatemala, a

una resolución espacial de cuatro kilómetros cuadrados, sugieren que el municipio de San Antonio Palopó podría experimentar un incremento de temperatura máxima (escenario RCP8.5) entre el rango 1.81 a 1.91° Celsius para el año 2050. Los mayores incrementos podrían darse en la zona norte del municipio de San Antonio Palopó, especialmente, la zona colindante al lago de Atitlán y central. El territorio sur del municipio podría incrementar alrededor de 1.8 gados Celsius (figura 30).

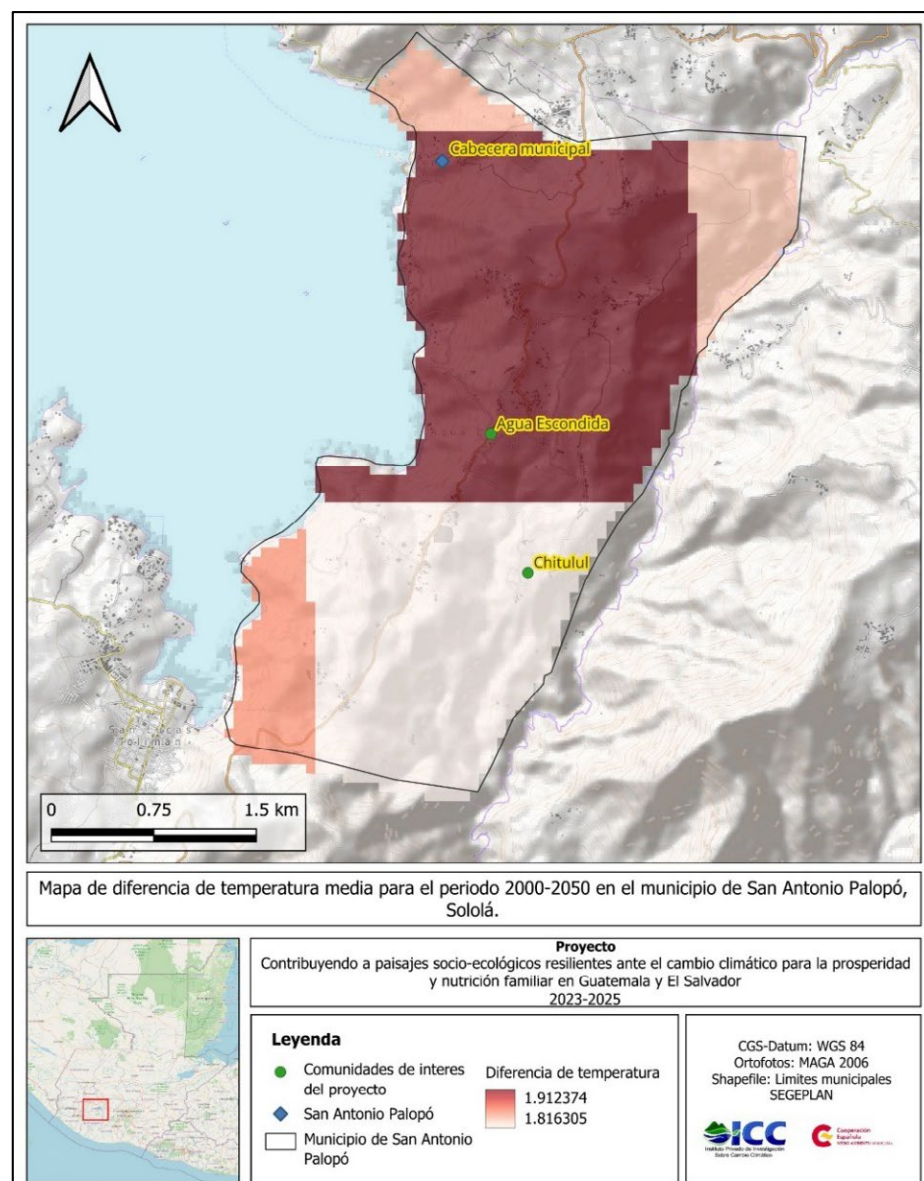


Figura 30. Comportamiento de cambios (diferencia a mediados del siglo comparado con el año 2000) en la temperatura máxima en el territorio del municipio de San Antonio Palopó.

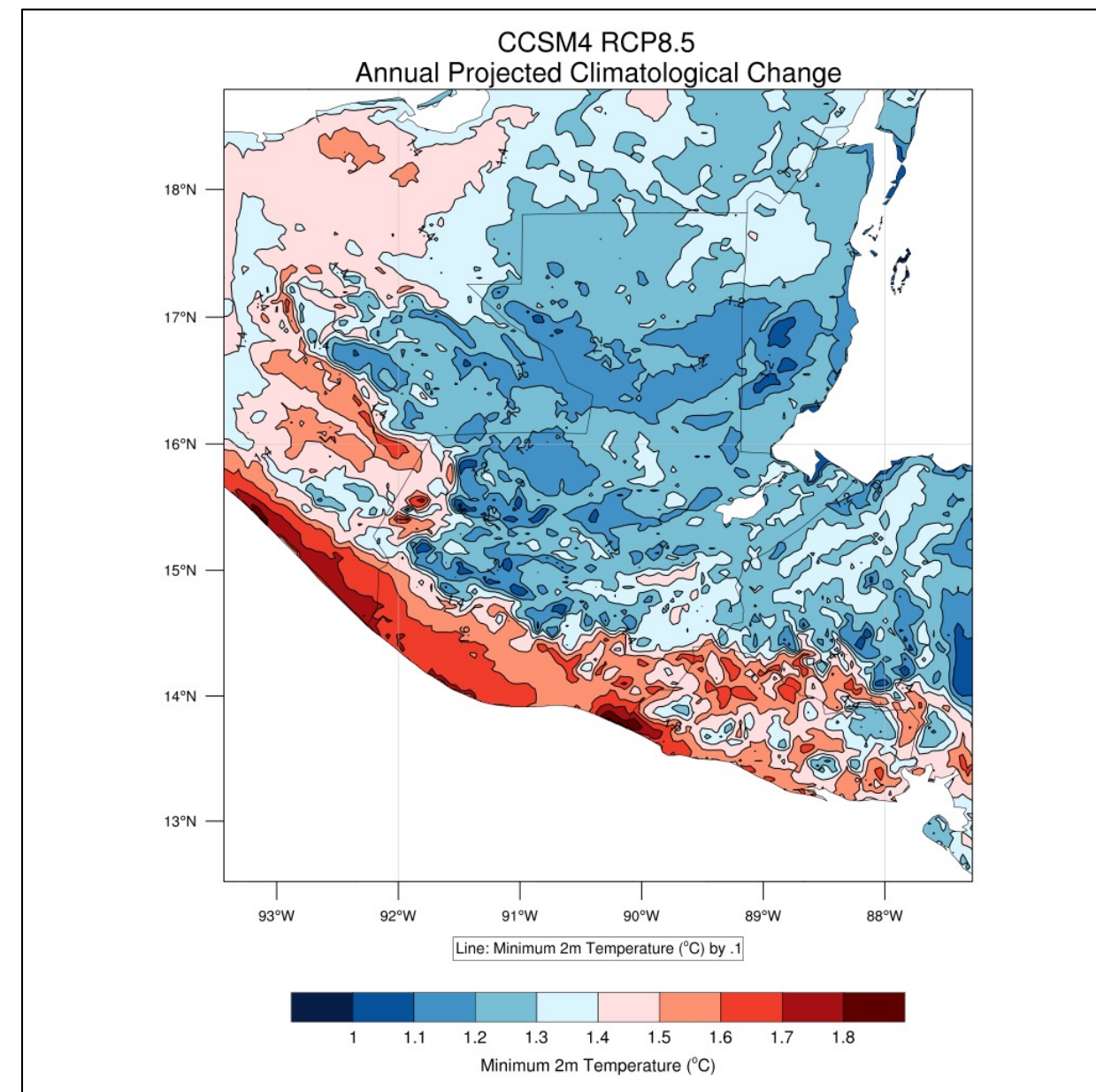


Figura 31. Comportamiento de cambios (diferencia a mediados del siglo) comparación de los años 2000-2050 en la temperatura mínima en la República de Guatemala.

De acuerdo con los escenarios, se proyecta que la temperatura mínima anual para el año 2050, sea más cálida comparado con los registros del año 2010. Se espera un incremento de temperatura mínima en el rango de 1.4 a 1.6° Celsius (figura 31).

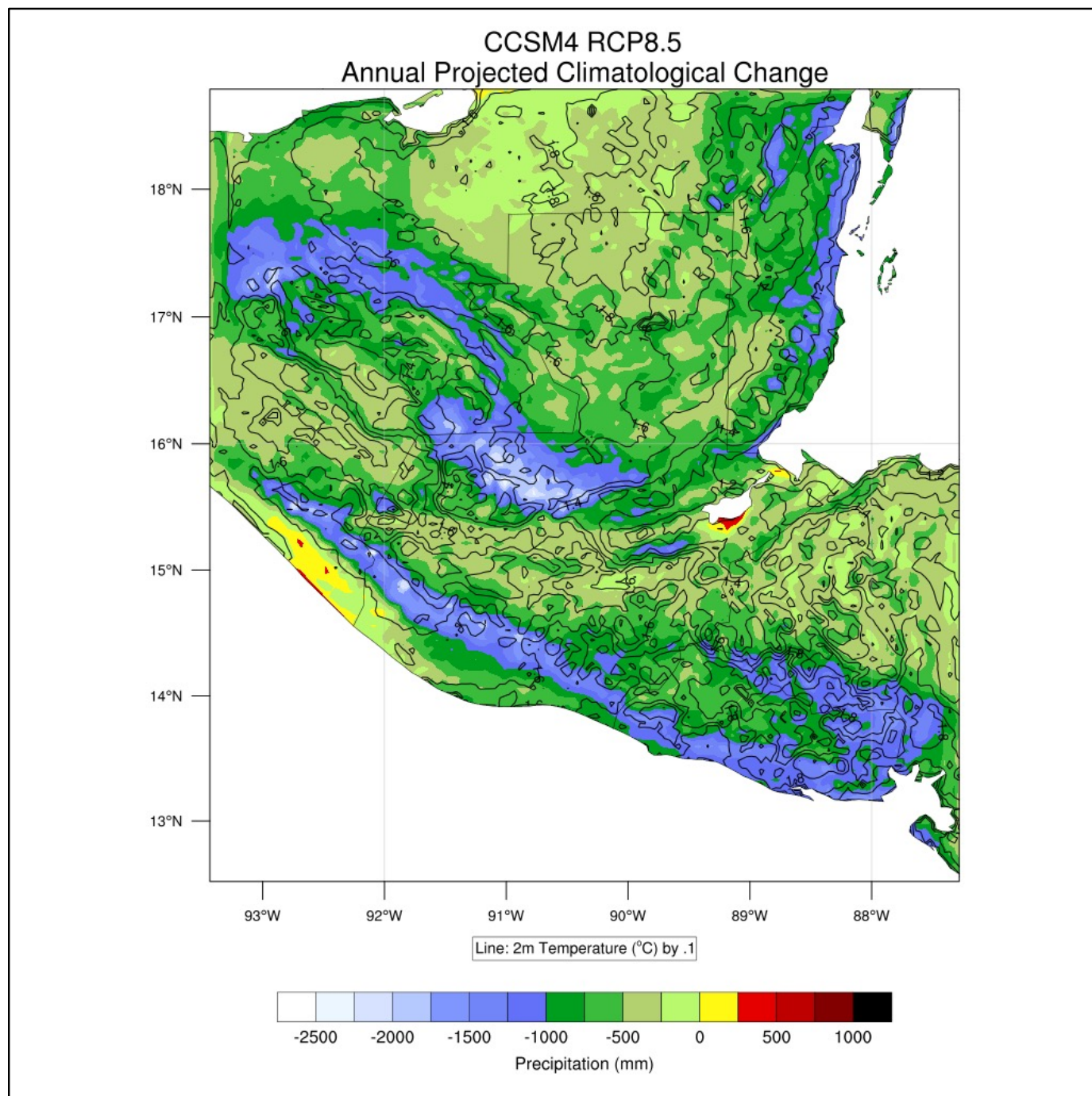


Figura 32. Comportamiento de cambios (diferencia a mediados del siglo) en comparación de los años 2000-2050 en la precipitación (llovía) acumulada anual en el territorio del municipio de Sololá.

Para Guatemala, en general, se proyecta un aumento de temperatura entre los 1 y 2° C en su mayoría, entre 2.5 a 3° C., para algunos sectores en específico, para la década del 2060 al 2070, respecto a la climatología de los años 2011-2020 (Rivera, P.F., Bardales, W.A; Ochoa W.,2019).

5.2 Vulnerabilidad climática del cantón Chitulul, San Antonio Palopó.

La vulnerabilidad es el grado de propensión de una vivienda, comunidad, ecosistema o cultivo que tiene ante diferentes amenazas climáticas. Para promover la adaptación al cambio climático, resulta necesario primero estudiar la vulnerabilidad de la comunidad que nos interesa, en este caso, cantón Chitulul. Así mismo, se indaga como han sido afectados en el pasado por las amenazas climáticas.

Dentro de los cambios biofísicos que se han dado en el territorio de Chitulul resaltan los participantes que en la comunidad años anteriores, había más áreas verdes, la temperatura era más fresca, pero con el transcurrir de los años la temperatura fue aumentando, percibiendo calor, los pobladores empezaron a talar árboles para construir viviendas y para sembrar cultivos de maíz y café.

5.2.1 Medios de vida

Un medio de vida comprende las posibilidades, activos (recursos materiales o sociales) y actividades necesarias para ganarse la vida (DFID, 2001). Los medios de vida se pueden

considerar como una serie de actividades que permiten a la población suplir sus necesidades y estas se encuentran ligadas a las condiciones topográficas y recursos naturales del entorno aunado al conocimiento de cada individuo.

Chitulul, actualmente es un cantón que forma parte del municipio de San Antonio Palopó cuya fundación según la población se realizó en el año 1910 por lo que actualmente cuenta con un aproximado de 115 años, el nombre Chitulul pertenece al idioma maya Kaqchikel y cuya traducción al español se interpreta como “A orillas de la mata de zapote” como afirma (Patzán & Ajsivinac Sián, 2011).

Para este cantón las actividades de mayor relevancia se identificaron en la aplicabilidad de las actividades que les permiten la obtención de recursos (económicos o en especie) y que son realizadas por lo menos por uno de los miembros de la familia. De este análisis se identificaron actividades como la agricultura, remesas, tejeduría entre otras actividades que aportan a la subsistencia de dicha población como se describe en el cuadro 4.

Cuadro 4. Medios de vida más importantes de cantón Chitulul, municipio de San Antonio Palopó, Sololá.

No.	Medios de vida	Porcentaje de población que lade-sarrolla
1	Agricultura	100
2	Remesas	66.7
3	Tejedoras	58.3 -70
4	Actividad pecuaria (aves)	55.3 -80
5	Jornaleros	44.4 -100
6	Transportistas	11.1

Entre las actividades de importancia en la comunidad se encuentra la agricultura basada en la siembra de maíz, frijol, aguacate y café, seguido están las remesas (migración), la elaboración de güipiles, fajas, servilletas típicas, que es una de las actividades que gran parte de las mujeres realizan presentando un rango de 58.3 a 70%. La crianza de aves de traspatio es la cuarta actividad de importancia en la comunidad teniendo un rango de 55.3 a 80%, debido a que gran parte de los pobladores cuentan con aves de traspatio, para aprovechamiento propio o comercializándolas. La actividad de jornaleros se encuentra representada por un 44.4 a 100%, debido que las familias siembran por lo menos algún tipo de cultivo (maíz, frijol, garbanzo,

ejote, aguacate, café) que ocupa el quinto lugar. Dicha actividad aporta en el desarrollo de distintas actividades de manejo en la agricultura. Los transportistas ocupan el último lugar de los medios de vida, siendo esta una actividad que aporta diariamente en el traslado de las personas a distintos lugares circunvecinas.

5.2.2 Calendario de eventos naturales y actividades socioeconómicas cíclicas en cantón Chitulum, San Antonio Palopó.

Con el propósito de identificar fenómenos cíclicos como estrés, amenazas, enfermedades, entre otros eventos naturales o socioeconómicos en el territorio, el cuadro cinco, resumen una serie de actividades y eventos particulares para el territorio de Chitulum.

Cuadro 5. Calendario estacional sobre actividades y fenómenos cíclicos en el cantón Chitulum.

No.	Evento	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	Siembra y cosecha de maíz												
2	Canícula												
3	Fuertes vientos												
4	Patrones de lluvia												
5	Enfermedades y plagas												
6	Enfermedades (aves)												
7	Sequía												
8	Aguacate												
9	Café												
10	Frijol												

Las actividades de importancia relacionadas con los eventos cíclicos son los siguientes: siembra de maíz, realizándose el mes de mayo y la cosecha en los meses de diciembre a enero.

Para la época lluviosa, la canícula se presenta en los meses de julio a agosto, en el taller de validación, reportaron los participantes, fases

de canícula en el mes de septiembre, aunque no es algo tan común. Los fuertes vientos dan inicio el mes de noviembre y finalizan el mes de enero.

Con relación a los patrones de lluvia, de forma conjunta, los asistentes indicaron que a través de los años han observado como las lluvias

han sido más intensas, de manera mensual lo que se considera alarmante para la comunidad especialmente por la dependencia a la actividad agrícola como lo demuestran en el cuadro 4.

Dentro de las enfermedades y plagas de mayor importancia para los participantes especialmente en el cultivo de maíz, fueron la presencia del gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), plaga que realiza perforaciones en las hojas, espiga y tallos, afectando el desarrollo de estas. Los participantes indicaron que actualmente realizan un control químico a través de aspersión directa al área de alojamiento de la larva, un fenómeno que requiere de atención a través de la información colectiva, resurge que la larva de la (*Spodoptera frugiperda*), se ha observado como una especie de relación entre la presencia de dicha especie y la presencia del insecto conocido como tijereta (*Forficula auricularia*). La larva conocida como gallina ciega (*Phyllophaga spp*), actualmente, representa una amenaza importante considerando el daño que provoca como una muerte relativamente súbita y con síntomas de amarillamiento del tallo hacia las hojas desde la parte inferior hasta la muerte de la planta. Los participantes mencionaron que es una plaga que no ha sido relevante hasta los últimos 4 años, con base a su memoria colectiva, la presencia de esta larva se hace notar en los meses de mayo especialmente en las primeras etapas de desarrollo de las plantas V1 – V5, hasta la fecha no tienen un control específico. Aunado a la plaga en el suelo, la presencia de taltuzas (*Geomyndidae*), roedor considerado como plaga el cual afecta alimentándose de las plantas, cuya presencia se hace notoria especialmente en los meses de julio a agosto (fase de canícula), para este roedor tampoco se cuenta con un plan de control.

Dentro del cultivo de maíz con relación a plagas conocidas coloquialmente como Chocoyos cuyo nombre técnico es (*Psittacara strenuus*), son aves consideradas como plagas para el cultivo especialmente en zonas tropicales, actualmente en el territorio de Chitulum se considera de poca relevancia, porque de acuerdo con la información colectiva, estas aves afectan solamente a cultivos de maíz ubicados en cercanías a zonas de bosque.

El cultivo de maíz se ha asociado con el cultivo de frijol del tipo arbustivo (vara), con base a la experiencia colectiva, dicha combinación o asociación tiende a provocar acame en las plantas de maíz por el peso extra. Así mismo, mencionaron que el frijol de vara a mermado su producción en la comunidad, bajo el supuesto del incremento de la temperatura (más cálidas), finalmente resaltaron que el sistema milpa ya no es una práctica común en la agricultura en la comunidad.

El mes de febrero, marzo y abril, las aves de traspatio se enferman por coriza infecciosa (*Avibacterium paragallinarum*), que afecta las vías respiratorias de las aves y provoca inflamación facial; viruela aviar, (*Variola avium*), enfermedad que produce lesiones en las partes del cuerpo del ave donde no hay presencia de plumas y Newcastle, (*Paramyxovirus aviar* tipo 1 (APMV-1)), las aves se ven afectadas por tos, estornudos, parálisis, cuello torcido, diarrea y pérdida de apetito, para estas enfermedades los pobladores les dan jugo de limón a las aves y amoxicilina; uno de los parásitos que se presentan en las aves son los piojillos (*Dermanyssus gallinae*), plaga común cualquier mes del año, con más incidencia en la época seca, para controlar este parasito aplican piofin; los

meses de mayo y junio las aves se ven afectadas por colera aviar, (*Pasteurella multocida*), donde presentan: depresión, pérdida de apetito, diarrea verde amarilla, fiebre y deshidratación, para tratar estas enfermedades utilizan amoxicilina y acetaminofén.

La época seca inicia en el mes de noviembre y finaliza el mes de abril, pero el mes de marzo y abril, los pobladores perciben que se intensifica más calor.

Para el cultivo de aguacate, la siembra se realiza en el mes de mayo, después de dos años la floración inicia en el mes de junio en adelante. Entre las plagas que afecta este cultivo esta la araña roja, (*Tetranychus urticae*) esta plaga puede ocasionar daños a las hojas y la defoliación; la agalla del aguacate (*Trioza anceps*) que produce nódulos en las hojas. Otra de las plagas son los trips (*Frankliniella occidentalis*) que ocasionan mal formaciones en los frutos y tallos tiernos, aborto de flores y todas las heridas provocadas contribuyen al ingreso de enfermedades. Los pulgones (*Aphis spiraecola*) ocasionan daños en los brotes de la planta, pueden ser trasmisores de virus en las plantas. En otras plagas que afectan el cultivo Las enfermedades que afecta el cultivo de aguacate son la roña (*Sphaceloma persea*), esta enfermedad se caracteriza por formar lesiones en forma de costras color café en los frutos, anillamiento del pedúnculo del aguacate: (*Diplodia* sp; *Alternaria* sp; *Helminthosporium* sp; *Dothiorella* sp; *Colletotrichum gloeosporioides*, *Pestalotiopsis* sp. y *Xanthomonas* sp.) esta enfermedad se caracteriza por formar un anillo entre la unión del pedúnculo con el fruto, provocando la caída del fruto, al momento de presentar esta

enfermedad tanto el pedúnculo como la fruta comienzan a tornarse de un color café oscuro. La cosecha de aguacate se realiza los meses de agosto a diciembre.

El café lo siembra en junio, la floración da inicio en el mes de agosto y la cosecha inicia en el mes de febrero; este cultivo se ve afectado por las siguientes plagas: la broca del café (*Hypothenemus hampei*) esta plaga se presenta principalmente en los frutos del café, formando agujeros, causando pudrición y caída de estos. Entre las enfermedades que se presenta en el cultivo de café se enlista el ojo de gallo (*Mycena citricolor*), esta se caracteriza por presentar manchas de color café en las hojas y en los frutos de la planta provocando la defoliación y caída de los frutos; otra enfermedad es la roya (*Hemileia vastatrix*), esta enfermedad forma lesiones anaranjadas en las hojas del café provocando una defoliación de la planta; para la presencia de plagas y enfermedades en el cultivo, las personas aplican fungicidas y plaguicidas (caldo bordelés). La cosecha de café inicia de noviembre a marzo.

El cultivo de frijol se siembra el mes de mayo y la cosecha se realiza en agosto. Dentro de las plagas y enfermedades que afectan este cultivo se destacan los siguientes: mosca blanca (*Bemisia tabaci*) esta plaga se alimenta de la savia de las plantas, siendo uno de los vectores importantes en la transmisión de virus; el minador (*Liriomyza* sp.) que afecta las hojas y el desarrollo de las plantas de frijol. La babosa (*Sarasinula plebeia*) ocasiona daños tanto en las hojas, tallos y frutos. La langosta (*Schistocerca piceifrons piceifrons*) se alimenta de toda la planta, causando pérdidas en los cultivos; los grillos son plagas que se alimentan de las hojas de las plantas, provocando

la muerte de estas. Entre las enfermedades que se pueden mencionar que afectan el cultivo de frijol están las siguientes: cenicilla (*Erysiphe polygoni*) esta enfermedad se caracteriza por presentar manchas blanquecinas y polvorientas en las hojas; antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum*), es una enfermedad que afecta las hojas y las vainas de los frijoles presentando manchas hundidas con bordes color marrón, lo cual provoca pérdidas en el cultivo; fusarium (*Fusarium solani*) afecta las raíces y los tallos de las plantas, estas se tornan amarillentas y se marchitan, para las enfermedades y plagas las personas aplican fungicidas y plaguicidas.

5.2.3 Identificación de amenazas y análisis de vulnerabilidad.

En este apartado se aborda el conocimiento local sobre las amenazas (eventos meteorológicos) y sus impactos en los principales medios de vida en el territorio del cantón Chitulul. Basado en la experiencia de las personas y la memoria histórica colectiva (secciones anteriores), los hallazgos se discuten en los siguientes párrafos. Las personas delimitaron las áreas específicas de los impactos de las amenazas meteorológicas o climáticas (figura 33). Dado a las condiciones particulares de esta localidad su exposición es especial ante las siguientes amenazas.

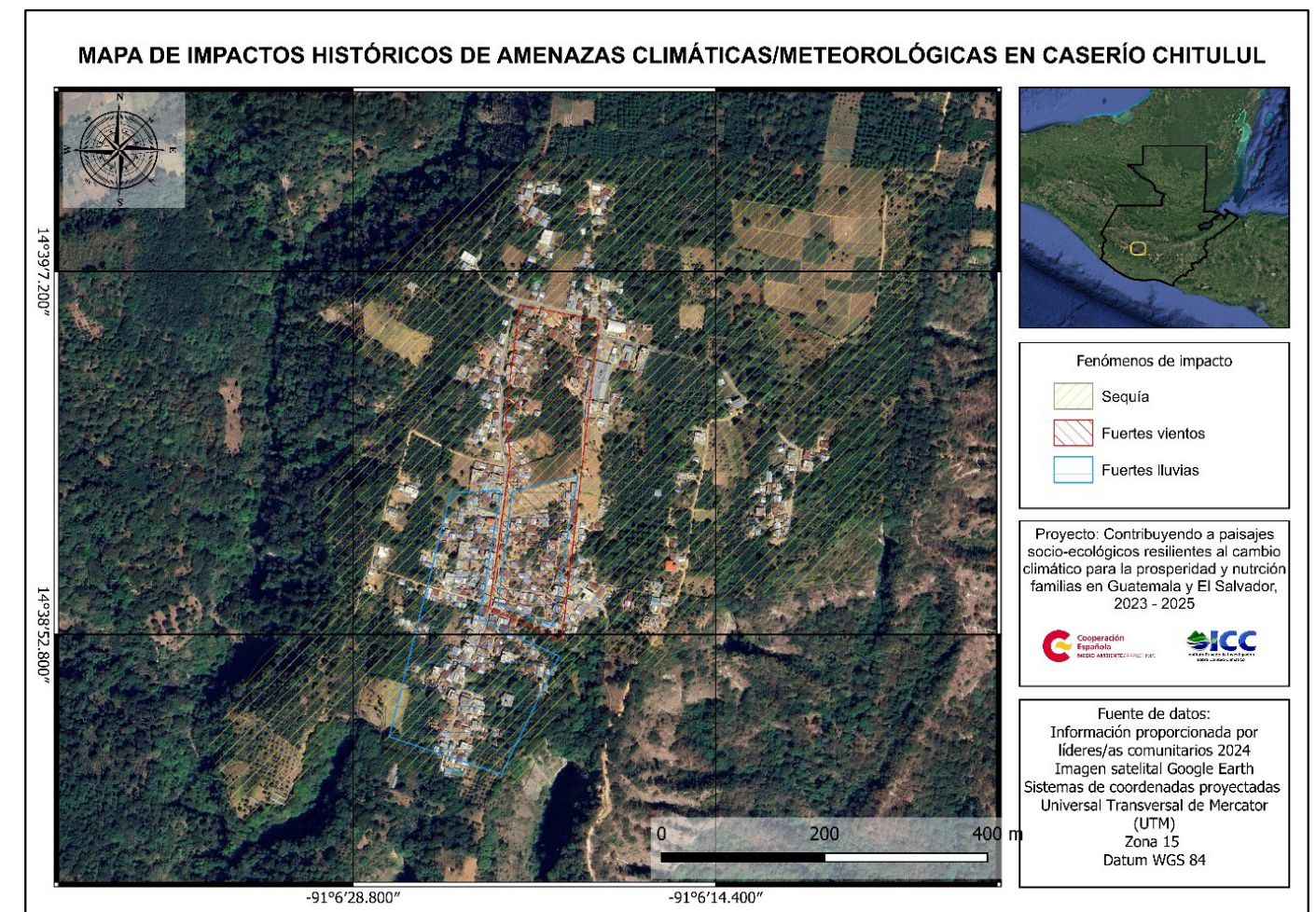


Figura 33 Mapa de impactos históricos de amenazas climáticas/meteorológicas en el cantón Chitulul.

El área que ocupa la población de Chitulul es afectada distintos fenómenos que afectan la infraestructura frágil y áreas de cultivo, principalmente. En la figura 33 se puede visualizar como la población percibe las áreas más susceptibles ante fenómenos como fuertes vientos, fuertes lluvias y sequía estacional. En la zona remarcada en coloración amarillo representa una mayor exposición ante la sequía, debido al periodo de la temporada seca de noviembre a abril en donde la producción agrícola se ve limitada a la producción de maíz, por la tolerancia de este grano a la recepción de las primeras lluvias de mayo y al cultivo de aguate en edad adulta, considerando la vulnerabilidad que este tipo de cultivo tiene especialmente en los primeros meses después de la siembra. La canícula es otro fenómeno de importancia pero que para la percepción comunal se enmarca en la sequía y que afecta a toda la población especialmente al cultivo de café cuya floración inicia en el mes de agosto por lo que el cuajado del fruto se vuelve susceptible a dicho fenómeno que puede reducir la producción.

La zona remarcada en color rojo es considerada vulnerable principalmente al fenómeno de fuertes vientos, afectando principalmente a las estructuras frágiles de las viviendas y es asociada a posibles enfermedades respiratorias por el polvo que se eleva durante la temporada seca. La zona resaltada en color azul, con base a la percepción local, es una zona vulnerable al fenómeno de fuertes lluvias, impactando principalmente en la zona del sur, donde se genera escorrentías, trasladando desechos de viviendas de la parte norte, lo que atenta a la salud por el encharcamiento que se provoca.

5.2.4 Análisis de vulnerabilidad climática

La vulnerabilidad climática puede conceptualizarse como la predisposición a ser afectado negativamente. La vulnerabilidad comprende una variedad de conceptos y elementos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación (IPCC, 2021).

Las personas con base a su memoria individual y colectiva de eventos o sucesos pasados, la exposición a los fenómenos (amenazas climáticas/meteorológicas) y la susceptibilidad de cada medio de vida de ser afectado por este tipo de fenómenos se enmarcan en el cuadro 6.

La valoración de vulnerabilidad se basó en una escala de Likert que consideró cuatro niveles, siendo los siguientes:

- 3 = Nivel alto de vulnerabilidad del medio de vida
- 2 = Nivel medio de vulnerabilidad del medio de vida
- 1 = Nivel bajo de vulnerabilidad del medio de vida
- 0 = Vulnerabilidad nula del medio de vida

Cuadro 6. Matriz de vulnerabilidad perceptiva para el cantón Chitulul

Medios de vida / Amenazas	Fuertes vientos	Fuertes lluvias	Sequías (época no lluviosa)	Canícula	Aumento de temperatura
Agricultura	2.83	2.17	2.17	3	3
Remesas (Migración)	1.17	1	1.17	1.50	1
Tejedoras	2.17	2.00	1.20	0.67	0
Actividad pecuaria (aves)	2.67	2.83	2	3	2.67
Jornaleros	2.50	2.83	2	2.33	2.00
Transportistas	1.83	2	0	2.67	0

En la matriz de vulnerabilidad (cuadro 6), se evidencia la interacción de los fenómenos meteorológicos extremos y su impacto en los medios de vida de mayor aplicación a nivel comunitario. La escala utilizada enmarca la siguiente descripción 0-0.5 impactos casi imperceptibles, 0.51-1.5 impactos poco significativos o de valor poco importante para la población, 1.51-2.5 daños importantes que permiten por lo menos recuperar parte de la inversión realizada en el medio de vida, 2.51 – 3 daños sumamente importantes, pérdidas casi totales del medio de vida afectado.

Para la población de Chitulul, la agricultura es uno de los medios de vida más importantes especialmente en el cultivo de maíz, sin embargo, esta se ve altamente afectada como se ve reflejado en el cuadro 5, esto especialmente por fenómenos como fuertes vientos, canícula e incremento de la temperatura; con relación al primer fenómeno en mención este tiene impactos a través del acame, especialmente, cuando se siembra en asocio con el cultivo de maíz y frijol, razón por la cual actualmente se ha reducido considerablemente la implementación del sistema milpa; con relación a la canícula y aumento de temperatura, con base a la percepción local hay menos lluvias y más calor lo que tiene efectos en la producción de maíz, aunque no cuentan con un dato concreto, en

conjunto se hizo mención que las mazorcas presentan un menor llenado de grados y el tamaño se ha reducido.

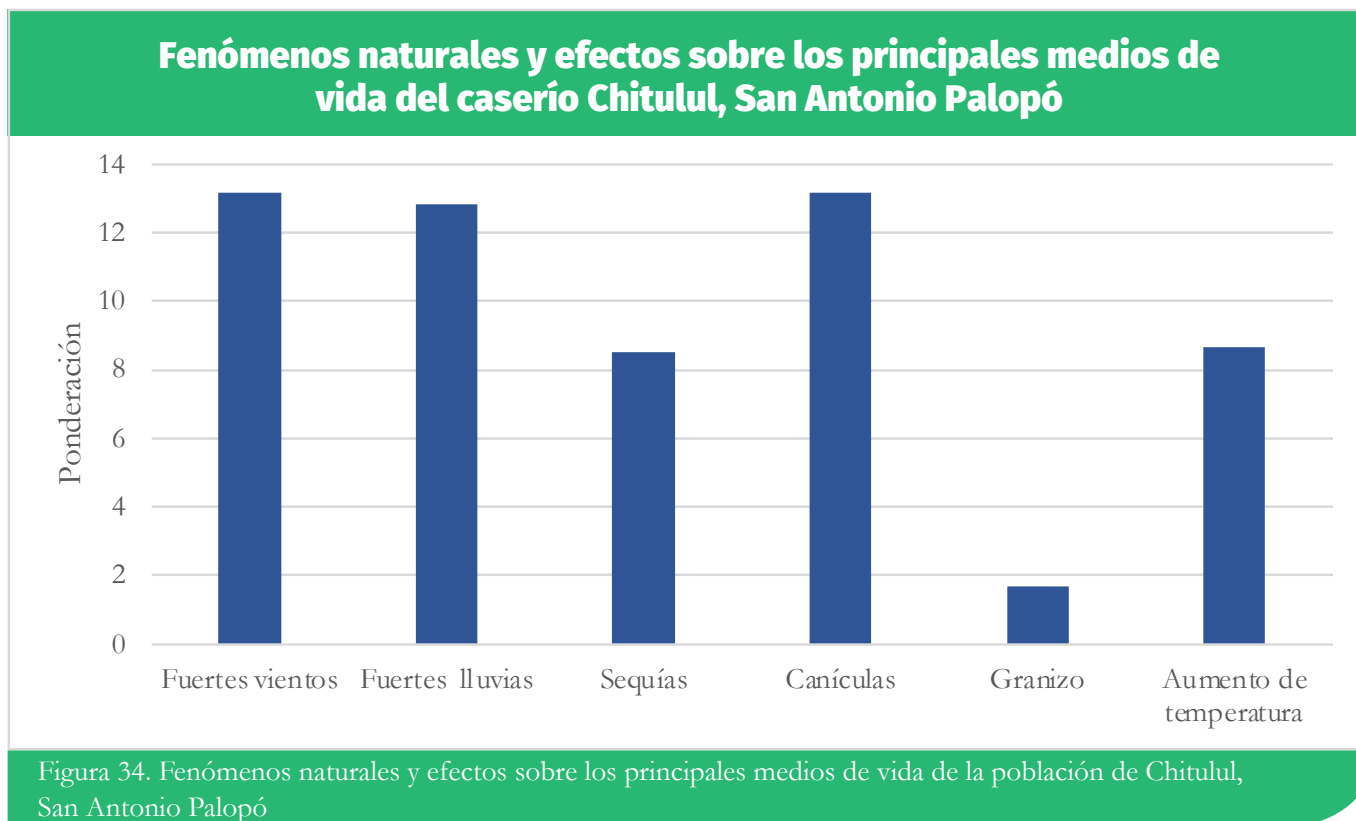
La crianza de aves de traspatio, con base a la memoria colectiva se hizo evidencias la alta vulnerabilidad que este medio de vida tiene ante fenómenos como fuertes vientos, fuertes lluvias, canícula e incremento de temperatura. A través de los fenómenos de fuertes vientos y fuertes lluvias se presentan enfermedades como gripe aviar o como coloquialmente se conoce como “tzoc” por el sonido que emiten las aves al momento de contraerla y durante todo el desarrollo de la sintomatología. La presencia de la canícula e incremento de temperatura tienden a acrecentarse la presencia de piojillo (*Dermanyssus gallinae*), la que controlan usando permetrina y el butóxido de piperolino como ingredientes activos.

La actividad de jornalero a nivel comunitario sigue siendo de mucha relevancia y relativamente vulnerable, ya que al ser actividades que se desarrollan en condiciones del día, las labores pueden limitarse cuando hay presencia de fuertes vientos y fuertes lluvias, dejando de percibir un ingreso que puede cubrir las necesidades de la familia; las remesas, tejeduría y transporte son actividades cuya vulnerabilidad es relativamente baja.

VI. Discusión de resultados

Dentro de los fenómenos naturales que más afectan los principales medios de vida de la población de Chitulul, destacan: los fuertes vientos y la canícula;

seguido por las fuertes lluvias, con una ponderación acumulada (12.8) menor que las anteriores, se identificaron el aumento de temperatura y sequía fueron considerados, figura 34.



Los vientos son considerados por la población (percepción) como una amenaza de relevancia que afecta los principales medios de vida. De acuerdo con los registros meteorológicos, los vientos regularmente incrementan en velocidad a partir de octubre hasta marzo. Los vientos con las máximas velocidades ocurren en diciembre y enero, sin embargo, hay registros de vientos que alcanzaron velocidades entre 35 y 48km/h en agosto y septiembre. La población señaló que los vientos se tornan fuerte en noviembre y diciembre.

Así mismo, han ocurrido eventos durante el ciclo del cultivo de maíz que han generado el acame de plantas de maíz.

De acuerdo con los registros de la estación El Capitán (INSIVUMEH), el rango de lluvia acumulada anual más frecuente se encuentra entre 933 mm y 1050 mm, con 43.75 % de los registros; seguido por el rango de 1166 mm a 1283.9 mm con una frecuencia del 31.25 %. Las estaciones meteorológicas registran eventos de lluvia extremos (fuertes) que

conducen con la percepción comunitaria sobre las lluvias intensas que se han presentado en la localidad. El máximo acumulado de lluvia para un día fue de 322 mm, influenciado por la tormenta Agatha (2010); seguido por el acumulado de 252 mm/día influenciado por el huracán Mitch (1998). Los datos específicos de la estación ANACAFE San Miguel, registró un evento de 113 mm/día el 20 de junio de 2022, sin influencia de algún evento ciclónico. En cuanto a lluvia acumulada durante una hora se registran entre 53 y 62 mm/hora. Estas lluvias fuertes o intensas es muy probable que hayan generado erosión de suelos agrícolas en la comunidad y en el municipio.

En cuanto a la canícula, es un fenómeno que se presenta entre los meses de julio y agosto, donde las lluvias disminuyen. Además, se reduce la presencia de nubes, desciende la humedad del suelo y atmosférica y se incrementa la temperatura, condición que incrementa el estrés a las especies cultivadas en la zona. Condición que concuerda con los resultados del proceso participativo (talleres) con personas de la comunidad de Chitulul.

Los fenómenos como fuertes vientos, canícula e incremento de la temperatura han afectado el desarrollo de los cultivos de maíz, situación que ha causado reducción del rendimiento, acame en el cultivo de maíz y ha provocado que el sistema milpa ya no sea una práctica habitual entre otros factores. En cuanto a la canícula y aumento de temperatura hace que las plantas se estresen en campo.

VII. Conclusiones

El comportamiento de la temperatura (mínima y máxima) en el territorio de San Antonio Palopó oscila en el rango de 12.5 a 26.2 °C, y con una temperatura media mensual entre 17.9 y 19.8 °C, un clima considerado como Semiseco cálido en la clasificación de Thornthwaite y en lado sur clasificado como un clima Húmedo templado.

La temperatura máxima incrementa a partir de febrero hasta mayo, pero disminuye cuando inicia la temporada de lluvias (mayo-junio) y en los siguientes meses se mantiene estable entre los 26 y 30 °C.

La dinámica de la temperatura mínima sigue un patrón opuesto a la temperatura máxima. Es decir, las noches y madrugadas más frías ocurren entre noviembre y marzo. Mientras que muestra un patrón de incremento a partir de abril y alcanza sus niveles altos entre mayo y septiembre.

Durante el periodo de 1979 a 2023, la temperatura promedio para la zona sur del departamento de Sololá, mostró una de tendencia al incremento, que se vuelve significativo a partir de 2004, con un incremento promedio de 0.0431 °C por año. Dicha tendencia coincide con los modelos predictivos (escenarios) de temperatura, que muestran una proyección al incremento.

Mayo, julio, agosto y octubre fueron los meses que registraron más ocasiones de menor acumulado mensual de lluvia. El papel de la lluvia es clave durante estos meses para el ciclo agrícola de secano (dependiente de la lluvia) y una reducción de las lluvias puede provocar pérdidas de cosecha por estrés hídrico.

Los vientos máximos registrados para el municipio de San Antonio Palopó han alcanzado velocidades entre 64 a 75.6 km/h, con un comportamiento de altibajos durante el periodo de análisis y con una predominancia de dirección nor-noreste, norte y noreste.

La población de la comunidad de Chitulul se basa en los medios de vida de agricultura (cultivo de maíz, café, aguacate y frijol); las remesas (migración), tejeduría, actividades pecuarias de traspatio (aves), jornaleros y transportistas. La actividad agrícola es la más sensible ante los fenómenos climáticos como los fuertes vientos que afectan el cultivo de maíz por acame; la canícula y aumento de temperatura que generan estrés en el cultivo de maíz repercutiendo en el desarrollo vegetativo y el rendimiento del cultivo.

La producción pecuaria de aves de corral es un medio de vida relevante, pero sensible a enfermedades influenciadas por fenómenos meteorológicos.

VIII. Referencias

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (2023). Manual de uso de términos meteorológicos. https://www.aemet.es/documentos/es/conocermas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/publicaciones/Manual_de_uso_de_terminos_met_2023/Manual_de_uso_de_terminos_met_2023.pdf

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

Centro Regional del Clima para el Oeste de Sudamérica (CRC-OC) (2025). Monitor Regional de Sequías. <https://crc-osa.ciifen.org/monitor-sequias-osa/>

CONRED. 2001. Un Mapa de Riesgo de Guatemala para la Sequía del 2,001. <https://www.unisdr.org/2003/campaign/english/Others/Guatemala.doc>

Del Valle, J. (1991). Propuesta de un índice climático para evaluar la continentalidad termopluviométrica. Lucas Mallada. 3. 129-135. <https://www.divulgameteo.es/fotos/meteoroteca/Propuesta-índice-climático.pdf>

Department for International Development (DFID) (2001). Sustainable livelihoods guidance sheets. <https://www.livelihoodscentre.org/documents/114097690/114438878/Sustainable+livelihoods+guidance+sheets.pdf/594e5ea6-99a9-2a4e-f288cbb4ae4bea8b?t=1569512091877>

Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

FAO, FIDA, OMS, PMA y UNICEF. 2022. El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2022. Adaptación de las políticas alimentarias y agrícolas para hacer las dietas saludables más asequibles. Roma, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0639es>

Instituto Geográfico Nacional (IGN). (2016). Mapa de división política administrativa de la República de Guatemala [mapa digital]. Guatemala.

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH). (2002). Evapotranspiración promedio anual. Atlas climatológico. República de Guatemala. https://insivumeh.gob.gt/hidrologia/ATLAS_HIDROMETEOROLOGICO/Atlas_Climatologico/etp.jpg

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH). (2018). Curvas de intensidad, duración y frecuencia (idf) para la república de Guatemala.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2014). CAMBIO CLIMÁTICO 2014 Informe de síntesis. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2021). Annex VII: Glossary. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.022>

Lavado, W. & Espinoza, J. (2014). Impactos de El Niño y La Niña en las lluvias del Perú (1965-2007). *Rev. bras. meteorol.* 29 (2) • Jun 2014. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862014000200003>

Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. (2006). Modelo de elevación digital de la República de Guatemala. Píxel 15×15 m [mapa digital]. Guatemala.

Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (MAGA) (2013). Estudio Semidetallado de los Suelos del Departamento de Sololá, Guatemala. <https://www.maga.gob.gt/wp-content/uploads/pdf/suelos/solola1.pdf>

National Aeronautics and Space Administration (NASA) CATHALAC. (2010). Capa de Amenaza deslizamientos metodología Mora-Vahrson. <http://ideg.segeplan.gob.gt/geoserver/wms?service=wms>

National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). (2024) Historical El Niño /La Niña episodes (1950-present). https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php

Ponvert-Delisle Batista, Dámaso R. (2016). Algunas consideraciones sobre el comportamiento de la sequía agrícola en la agricultura de Cuba y el uso de imágenes por satélites en su evaluación. *Cultivos Tropicales*, 37(3), 22-41. <https://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.4591.3843>

RELIEF. 2014. Guatemala: Reporte de Situación No. 1 Sequía (al 28/08/2014). <https://reliefweb.int/report/guatemala/guatemala-reporte-de-situaci-n-no-1-sequ-al-28-08-2014>

Rivera, P. F., Bardales Espinoza, W. A., & Ochoa, W. (2019). Escenarios futuros de cambio climático para Guatemala. En E. J. Castellanos, A. Paiz-Estévez, J. Escribá, M. Rosales-Alconero, & A. Santizo (Eds.), *Primer reporte de evaluación del conocimiento sobre cambio climático en Guatemala*. (pp. 40–61). Guatemala: Editorial Universitaria UVG.

Salazar-García, Samuel; Lovatt, C. J. (2002). Flowering of avocado (*Persea americana* Mill.). I. Inflorescence and flower development. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 8(1): 71-75, 2002. https://www.researchgate.net/publication/262262780_Flowering_of_avocado_Persea_americana_Mill_I_Inflorescence_and_flower_development

Secretaría General de Planificación y Programación de la Presidencia en Guatemala (SEGEPLAN) (2022). Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial Sololá. https://portal.segeplan.gob.gt/segeplan/wp-content/uploads/2022/09/0701_PDM_OT_SOLOLA.pdf

Stats Kingdom (31/05/2024). Prueba Shapiro-Wilk. <https://www.statskingdom.com/shapiro-wilk-test-calculator.html>

Valiente, Ó.M. (2001). Sequía: definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. *Investigaciones Geográficas (España)*, (26), 59-80. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=111741>

