

Análisis de vulnerabilidad climática de los medios de vida de colonia Xejuyú, San Lucas Tolimán, 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 de colonia Xejuyú, San Lucas Tolimán, Sololá

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

GUATEMALA, 2025

Autores:

Dr. Pablo Yax López
Ing. Agr. Kevin Manolo Noriega Elías
Ing. Agr. Francisco Espinoza Marroquín

Diseño y diagramación

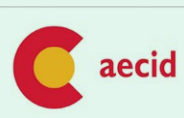
Licda. Yohana Ramírez

Cita Bibliográfica

Yax López, P., Noriega Elías, K. M., & Espinoza Marroquín, F. (2025). Análisis de vulnerabilidad climática de los medios de vida de la colonia Xejuyú, San Lucas Tolimán, Sololá, Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático. Guatemala.

Esta publicación se generó en el marco del proyecto: Contribuyendo a paisajes socio-ecológicos resilientes al cambio climático para la prosperidad y nutrición familiar en Guatemala y El Salvador

Esta publicación cuenta con la colaboración de la Cooperación Española a través de la Agencia Española de Cooperación (AECID). El contenido de la misma es responsabilidad exclusiva del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático. y no refleja, necesariamente, la postura de la AECID»



ISBN: xxx-xxxx-xxxx-x-x

ICC 2025

Todos los derechos reservados

Índice

- I. Introducción 11
- II. Objetivos 13
 - 2.1 Objetivo general:..... 13
 - 2.2 Objetivos específicos:..... 13
- III. Área de estudio..... 14
- IV. Métodos y procedimientos utilizados..... 16
 - 4.1 Delimitación o alcance territorial 17
 - 4.2 Análisis de vulnerabilidad climática con enfoque participativo 17
 - 4.3. Análisis del comportamiento histórico de variables meteorológicas y climáticas..... 18
- V. Resultados 20
 - 5.1. Análisis de vulnerabilidad climática de la comunidad Xejuyú del Municipio de San Lucas Tolimán..... 20
 - 5.1.1 Comportamiento climático de la zona sur de la cuenca de lago de Atitlán..... 20
 - 5.1.1.1 Temperatura 20
 - 5.1.1.2 Lluvia..... 23
 - 5.1.1.3 Lluvia mensual..... 27
 - 5.1.1.4 Viento 33
 - 5.1.1.5. Teleconexiones climáticas con variables locales..... 38
 - 5.1.1.6 Sequía..... 39
 - 5.1.1.7 Sequía mensual 41
 - 5.1.1.8 Canícula 42
 - 5.1.1.9 Cambios en el clima..... 42
 - 5.1.1.10 Cambios en la lluvia..... 43
 - 5.1.1.11 Cambios en la temperatura..... 44
 - 5.1.1.12 Escenarios climáticos para el departamento de Sololá..... 45

5.2 Vulnerabilidad climática de la colonia Xejuyú, San Lucas Tolimán.....	49
5.2.1 Medios de vida.....	49
5.2.2 Calendario de eventos naturales y actividades socioeconómicas cíclicas en colonia Xejuyú.....	51
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 geográfica y altitudinal del municipio San Lucas Tolimán, Sololá.....	15
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 Lucas Tolimán.....	22
Figura 6. Comportamiento de las temperaturas máximas, mínimas y medias, registradas en la estación AMSCLAE, San Lucas Tolimán.....	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 período 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 Lucas Tolimán.....	46
Figura 17. Velocidad máxima del viento registrada en las estaciones meteorológicas del INSIVUMEH, Santiago Atitlán, El Capitán y Santa María El Tablón, periodo 1004-2023.....	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, San Lucas Tolimán, periodo 2021-2023.	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. Vista aérea de la comunidad de Xejuyú, San Lucas Tolimán.....	53
Figura 20. Temporalidad de ocurrencia de las máximas velocidades del viento registradas en San Lucas Tolimán, periodo 2021-2023.....	36	Figura 34. Percepción comunitaria de los principales fenómenos meteorológicos que afectan a la comunidad Xejuyú, San Lucas Tolimán	56
Figura 21. Mapa de dirección y velocidad del viento en San Lucas Tolimán.	36		
Figura 22. Mapa de velocidad del viento en San Lucas Tolimán 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 Santo Tomás Pachuj, San Lucas Tolimán 2019-2023.....	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 Xejuyú, San Lucas Tolimán Sololá.....	49
Cuadro 5. Calendario estacional sobre actividades y fenómenos cíclicos en la comunidad de Xejuyú	51
Cuadro 6. Matriz de vulnerabilidad perceptiva para la comunidad de Xejuyú	54

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 para el territorio del departamento de Sololá y con influencia sobre colonia Xejuyú del municipio de San Lucas Tolimán. Entre los principales hallazgos se pueden mencionar: la tendencia de incremento

de la lluvia desde el año 1979. Los años 2010 y 2005 mostraron los valores más altos de acumulados de lluvia anual, asociados con los eventos ciclónicos Agatha (2010) y Stan (2005). Por otro lado, los años con los menores valores de precipitación se asocian con el fenómeno de El Niño Oscilación Sur (ENOS), destacándose los años 2002, 2016 y 2020. Se destaca el acumulado de mayo de 2024, con el menor acumulado de lluvia (17.6 mm).

A través de herramientas participativas, se identificaron las zonas expuestas a las siguientes amenazas: vientos fuertes, incremento de temperatura, canícula. En cuanto a vulnerabilidad climática de los principales medios de vida, la colonia Xejuyú, San Lucas Tolimán, resalta la actividad de jornalero (venta de mano de obra), actividad pecuaria de traspatio y la agricultura (cultivo de café y aguacate) estas actividades presentan mayor vulnerabilidad ante las amenazas como fuertes lluvias, fuertes vientos, sequía, la canícula y al aumento de la temperatura. La percepción comunitaria de incremento de temperatura concuerda con los registros históricos de la estación El Capitán (INSIVUMEH), con una tendencia clara de incremento de la temperatura a partir del año 2005.

El conocimiento generado a través de este informe se convierte en una herramienta para la identificación de amenazas puntuales. Las cuales deben considerarse para su abordaje en materia de adaptación ante la variabilidad y el cambio climático que en conjunto pueden afectar de manera negativa los sistemas agroalimentarios, especialmente, los más vulnerables dentro del contexto del territorio del departamento de Sololá.



II. OBJETIVOS

Objetivo General:

Analizar la vulnerabilidad climática de los principales medios de vida la colonia Xejuyú, municipio de San Lucas Tolimán

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.

III. ÁREA DE ESTUDIO

San Lucas Tolimán está localizado dentro de la cuenca del Lago de Atitlán, con una latitud de 14°46'26" y longitud de 91°11'15"; por la altura sobre el nivel del mar, está dividido en dos partes: la parte baja que oscila entre los 800 metros sobre el nivel del mar o la boca costa del Municipio que está ubicada al sur del mismo y la parte alta a 3,537 metros de altura sobre el nivel del mar en la cumbre del volcán Atitlán, es el punto más alto del departamento, que marca el límite entre San Lucas Tolimán y el municipio vecino de Santiago Atitlán. La Cabecera Municipal se encuentra a 1,591 metros de altura, casi a orillas del lago de Atitlán.

Las colindancias del Municipio son las siguientes: Al norte: Con el Lago de Atitlán y el municipio de San Antonio Palopó (departamento de Sololá); al este: Con los municipios de Pochuta y Patzún (departamento de Chimaltenango); al sur: Con el municipio de Patulul (departamento de Suchitepéquez) y al oeste: Con el municipio de Santiago Atitlán (departamento de Sololá).

San Lucas Tolimán cuenta con una extensión territorial de 116 kilómetros cuadrados. En la mayoría de los casos son utilizados para zonas de cultivo, adicionalmente existen áreas de reservas naturales y volcánicas, dentro de las cuales sobresalen los volcanes Tolimán y Atitlán, también existen laderas y picos de montañas.

Hay variedad de climas que van desde el subtropical y húmedo ubicado en la parte baja como lo es la boca costa, que se encuentra entre 800 y 1,200 metros sobre el nivel del mar, hasta un clima templado a frío en la parte alta entre 1,200 y 2,400 metros sobre el nivel del mar. La época lluviosa inicia en el mes de mayo, sin embargo, las etapas altas son en junio y septiembre, existe también la llamada canícula

que se da entre el 15 de julio y el 15 de agosto y que consiste en una pequeña época seca, es decir un paréntesis de verano dentro del invierno. En los últimos años debido al calentamiento global, las épocas secas se han extendido un poco más de lo normal dentro de los meses que debieran ser de lluvia, lo cual genera inviernos más violentos y variaciones importantes en las épocas frías y de calor. (SEGEPLAN, 2020).

Los suelos de Xejuyú se encuentran en la La Consociación Antigua Tierra Santa se encuentra ubicada en el cantón San Martín, caserío Tzalamabaj, colonia Xejuyú, comunidades Porvenir, Tierra Santa, microparciamiento agrario Pampojilá, del municipio de San Lucas Tolimán.

Según Thornthwaite citado en (MAGA, 2013), el clima de la región es del tipo “templado húmedo” (Código B), que se caracteriza por presentar un rango de temperaturas medias anuales entre 17.1 a 20.7 °C y un rango de precipitaciones medias entre 1,001 a 2,000 mm anuales. Los suelos se ubican en una altitud media entre 1,000 a 1,800 msnm. Los polígonos de suelos de la unidad presentan los siguientes valores: temperatura media anual de 18.5 °C, precipitación media anual de 1,733 mm y una altitud media de 1,434 msnm, dentro de la Zona de Vida (Sistema Holdridge, De La Cruz, 1983) denominada bosque muy húmedo subtropical (cálido) (bmh-S(c)), cuyas principales especies indicadoras son: corozo (*Scheelea preussii*), volador (*Terminalia oblonga*), conacaste (*Enterolobium cyclocarpum*), puntero (*Sickingia salvadorensis*), mulato (*Triplaris melaenodendrum*), palo blanco o primavera (*Cibistax donnell-smithii*) y chaperno (*Andira inermis*).

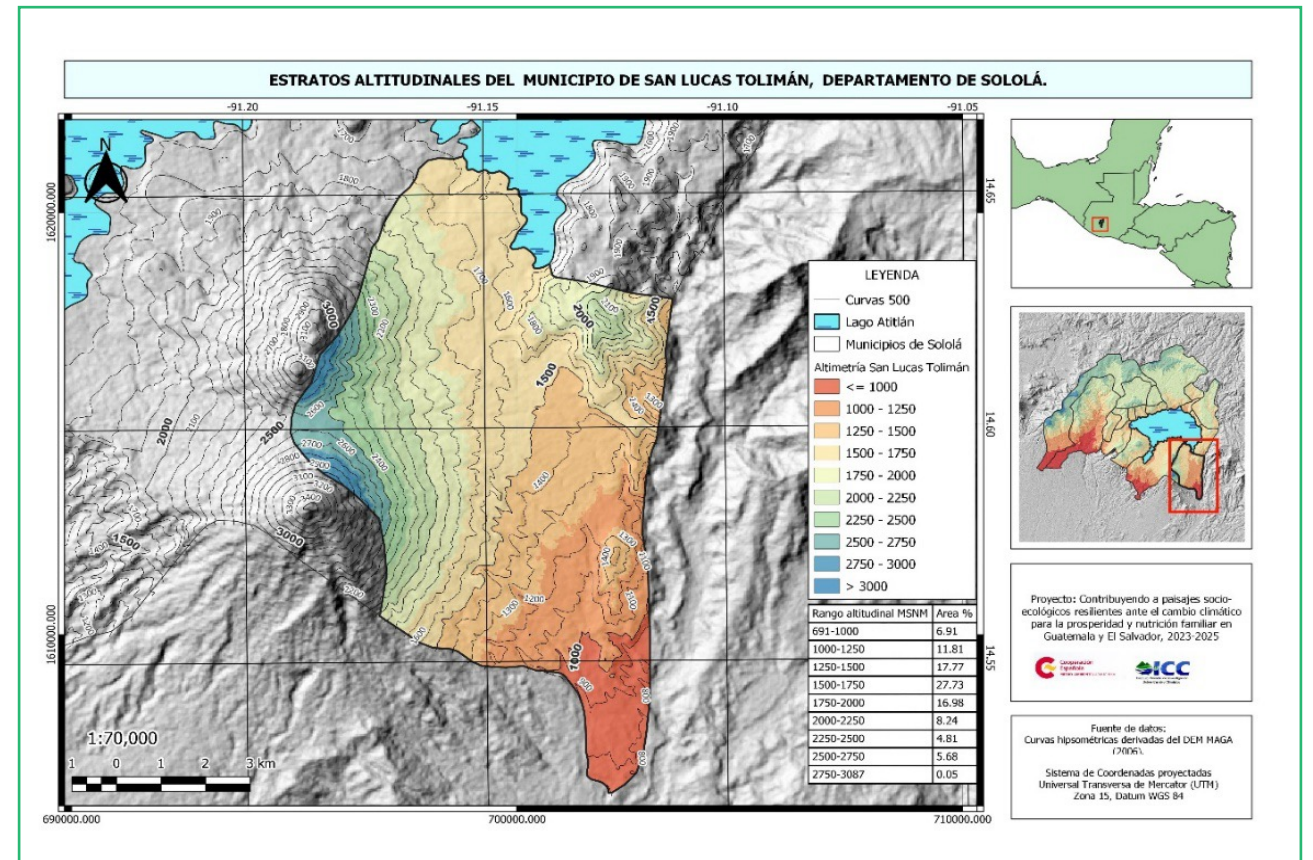


Figura 1. Ubicación geográfica y altitudinal del municipio San Lucas Tolimán, Sololá.

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.

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 Lucas Tolimán.

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.

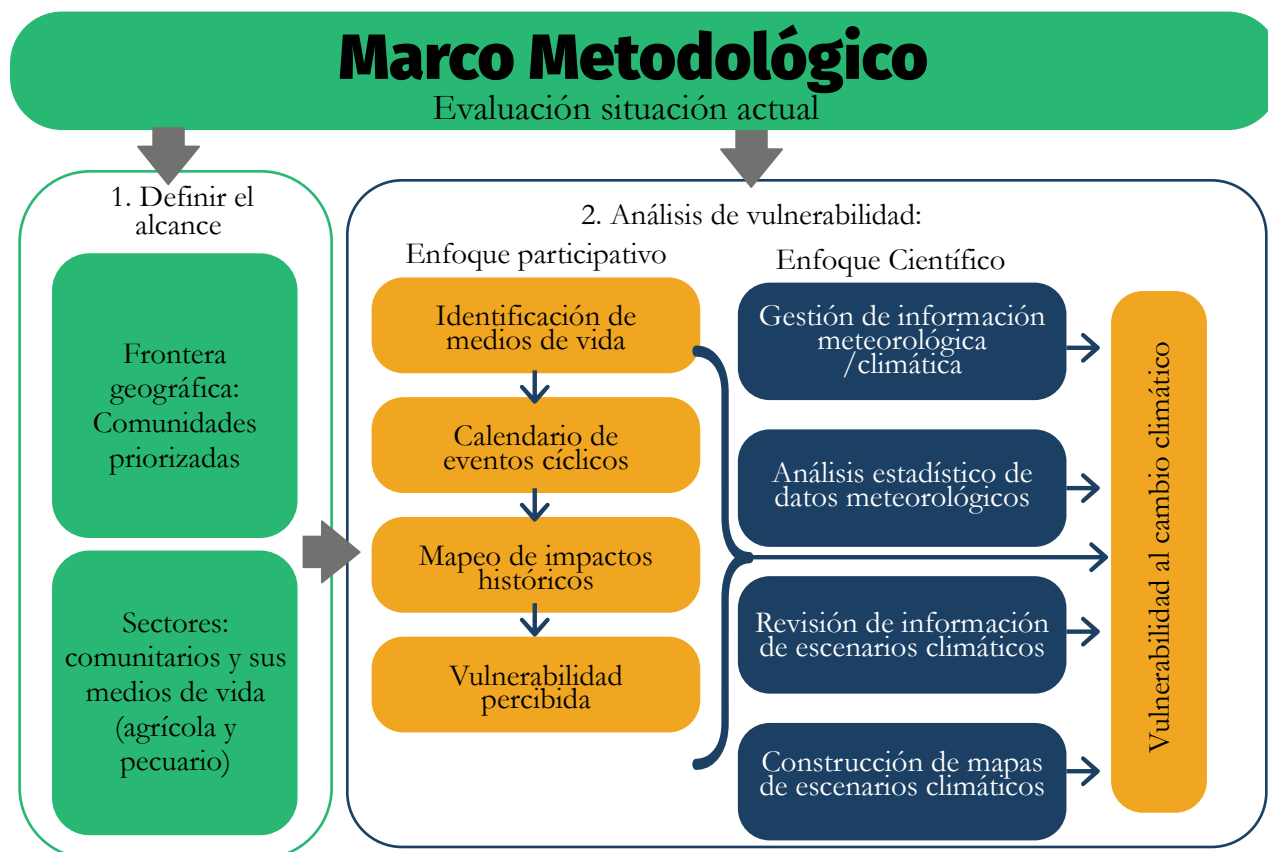


Figura 2. Marco metodológico empleado en el análisis de vulnerabilidad climática.

- 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 de la comunidad Xejuyú del municipio de San Lucas Tolimán.

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.

Las temperaturas máximas en su promedio mensual se ubican entre 24.2°C y 26.2°C y la temperatura media mensual entre 17.9°C y 19.8°C (figura 3). En el caso de la temperatura mínima, el promedio mensual esta entre 12.5°C y 14.1°C. Las temperaturas medias mensuales inferiores a 17.1°C y superiores a 21.0°C corresponden a las probabilidades menores al 10% y superiores al 90% de los registros, respectivamente.

Las temperaturas absolutas máximas más comunes se encuentran 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, estas han alcanzado el máximo absoluto de 36.3°C. Las temperaturas mensuales mínimas absolutas inferiores a 8.7°C tienen la probabilidad menor al 10%, considerándose temperaturas extremas para la zona, mientras que temperaturas superiores a 16.33°C, son temperaturas mínimas que exceden la probabilidad del 90%, siendo extremas. Las temperaturas mínimas hacen referencia a la temperatura nocturna y las temperaturas máximas a la temperatura diurna.

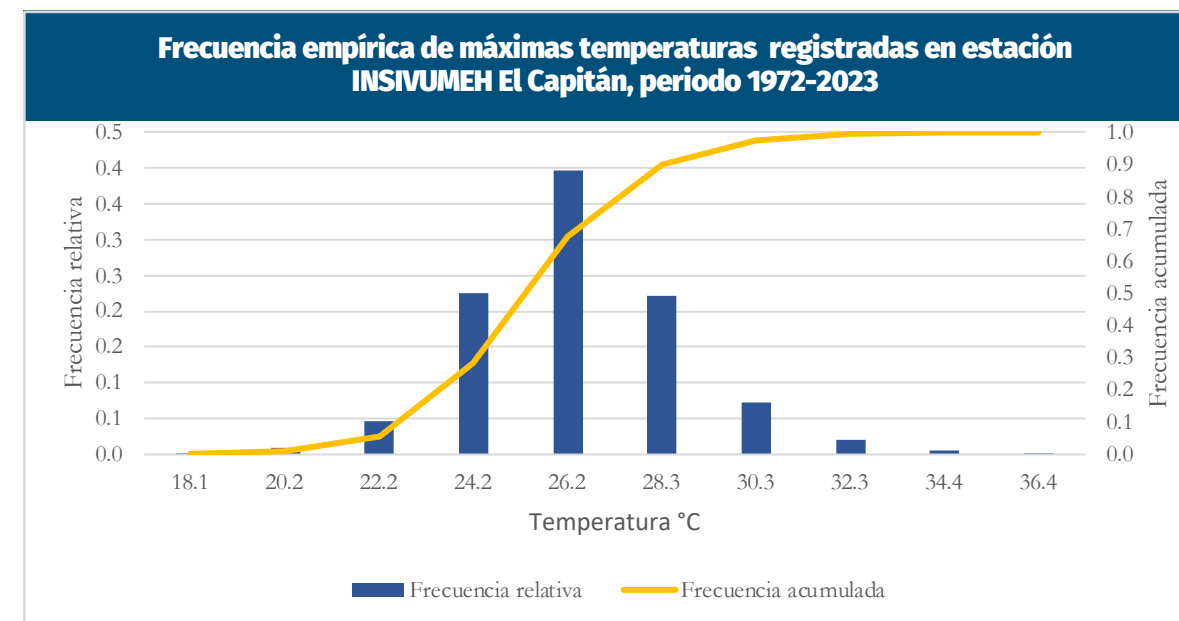


Figura 3. Frecuencia de temperatura máximas absolutas registradas en estación INSIVUMEH El Capitán, periodo 1972-2023.

Durante el año, la temperatura máxima mensual se incrementa de marzo a mayo (figura 4) y se reduce a partir de junio y se incrementa en agosto, de nuevo reduciéndose en septiembre. La temperatura

mínima con los valores más bajos se registra de noviembre a marzo, aumentando a partir de abril a octubre.

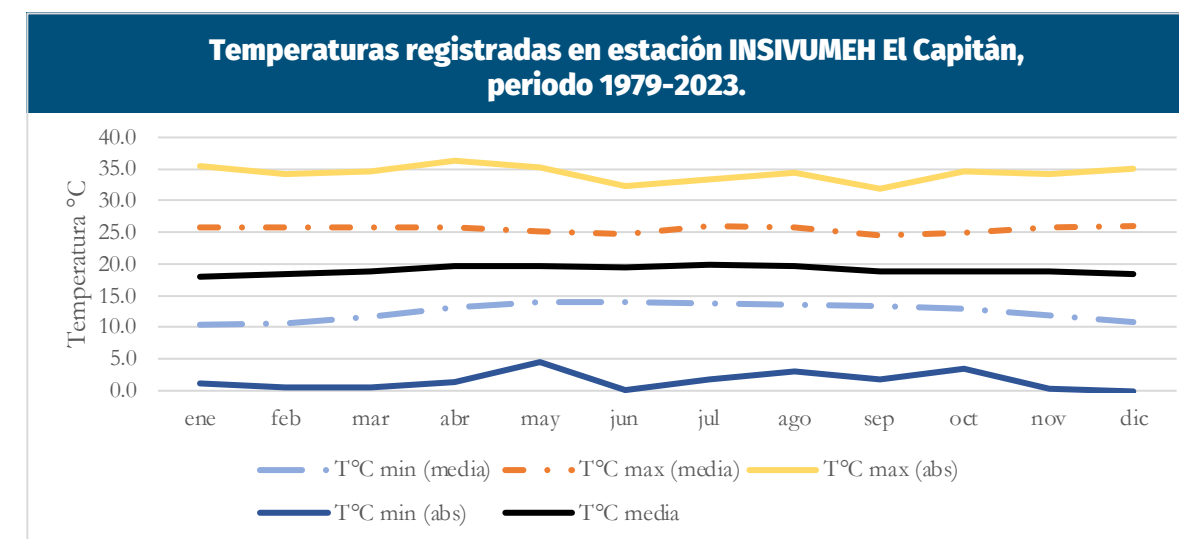


Figura 4. Temperaturas absolutas y promedios de máximas, mínimas y promedios mensuales registrados en estación INSIVUMEH El Capitán, periodo 1979-2023.

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 (Figura 5), la temperatura desciende.

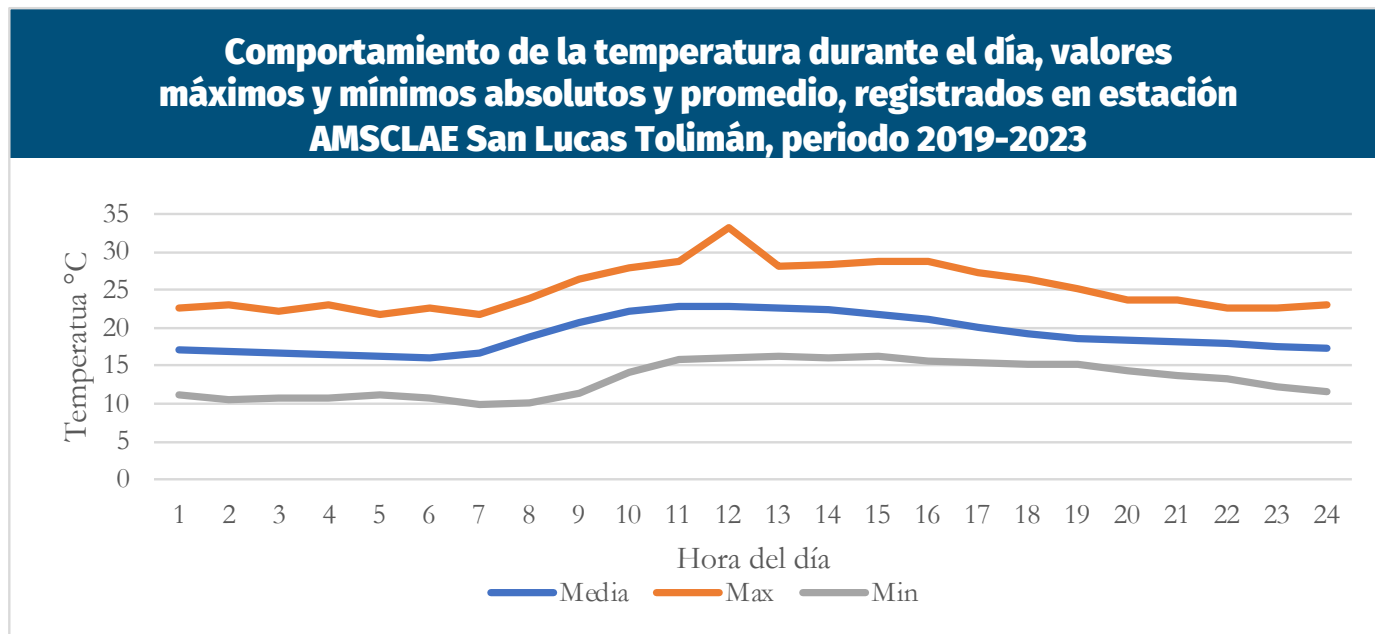


Figura 5. Gráfica del comportamiento de la temperatura durante el día registrada en estación AMSCLAE, San Lucas Tolimán, Sololá.

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 hasta octubre, desde noviembre hasta enero, el mes de febrero es el más

caluroso durante el día, es posible por la reducción de la nubosidad en la zona, a partir de marzo, la temperatura se incrementa hasta los máximos en mayo.

Al comparar los registros de la estación AMSCLAE (figura 6) con la estación El Capitán de INSIVUMEH (figura 4), se observan diferencias debido a los pocos registros de la primera, que sólo cuenta con 5 años de registros.

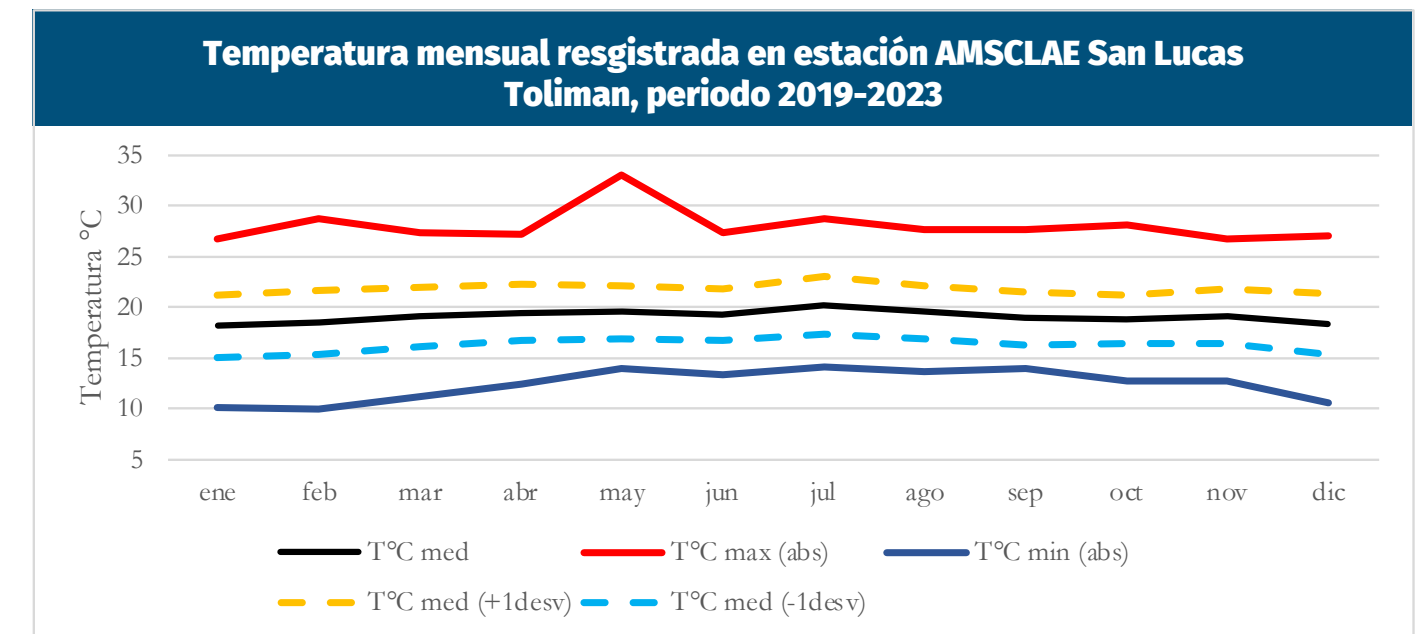
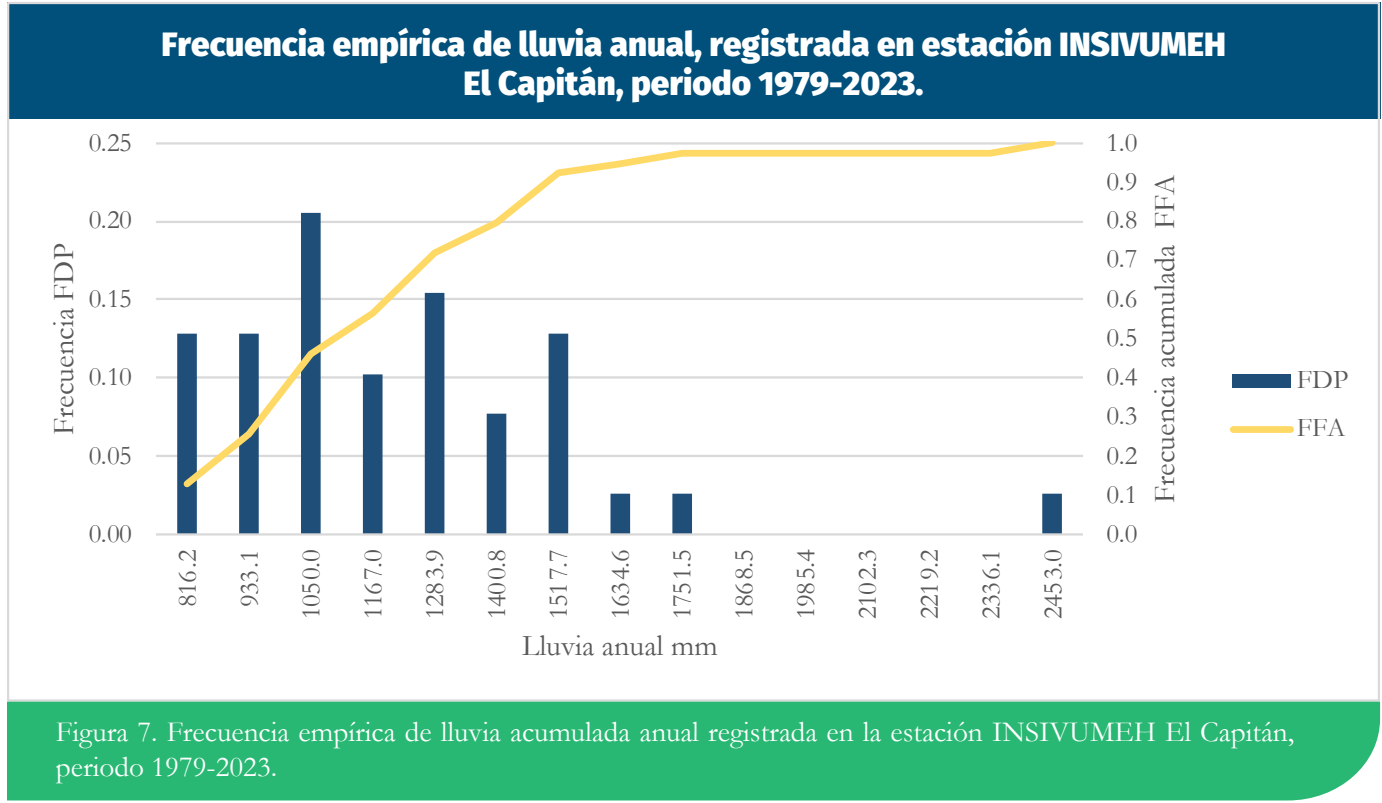


Figura 6. Gráfica de comportamiento de las temperaturas máximas, mínimas y medias, registradas en la estación AMSCLAE, San Lucas Tolimán.

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

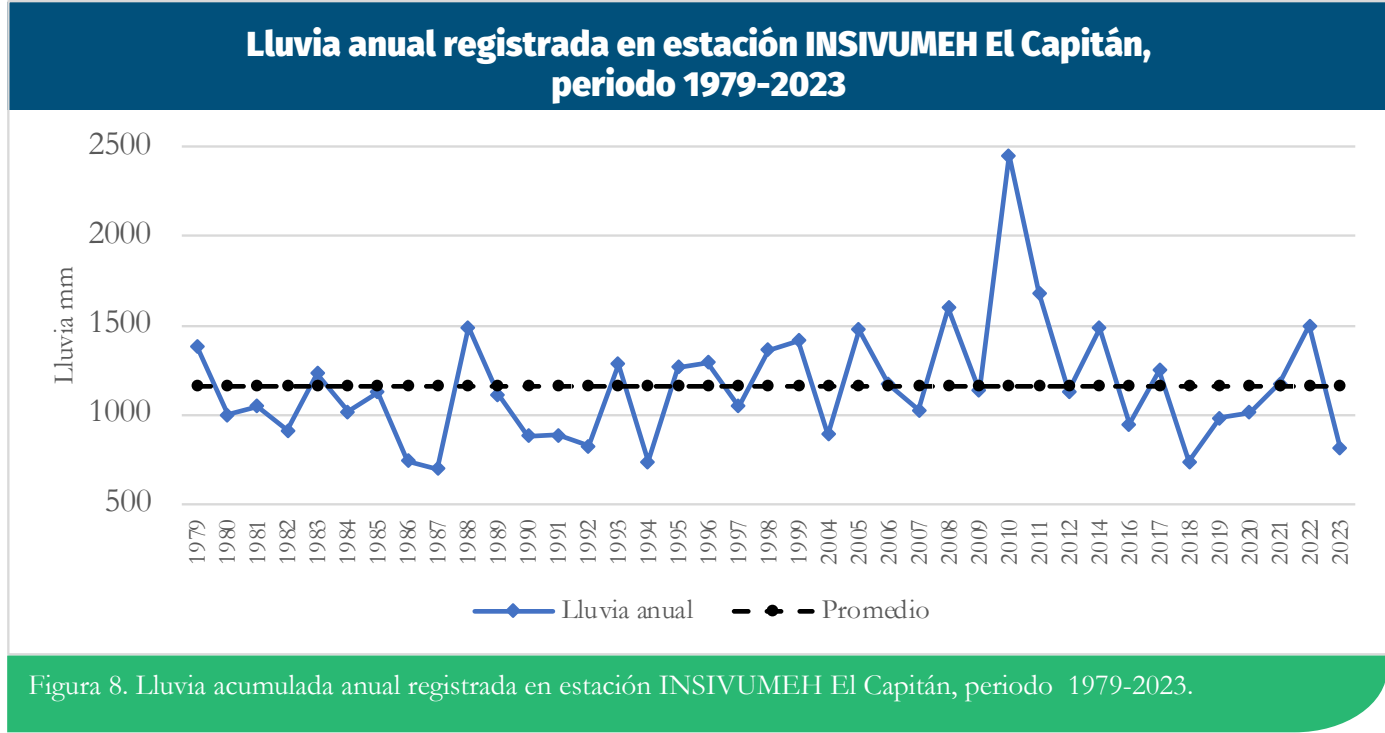
entre los 933 mm y 1050 mm, con 43.75 % de los registros; seguido de la lluvia en el rango de 1166 mm a 1283.9 mm con frecuencia del 31.25 %, el promedio de la lluvia anual es de 1160.6 mm con desviación estándar de 338.02 mm.



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

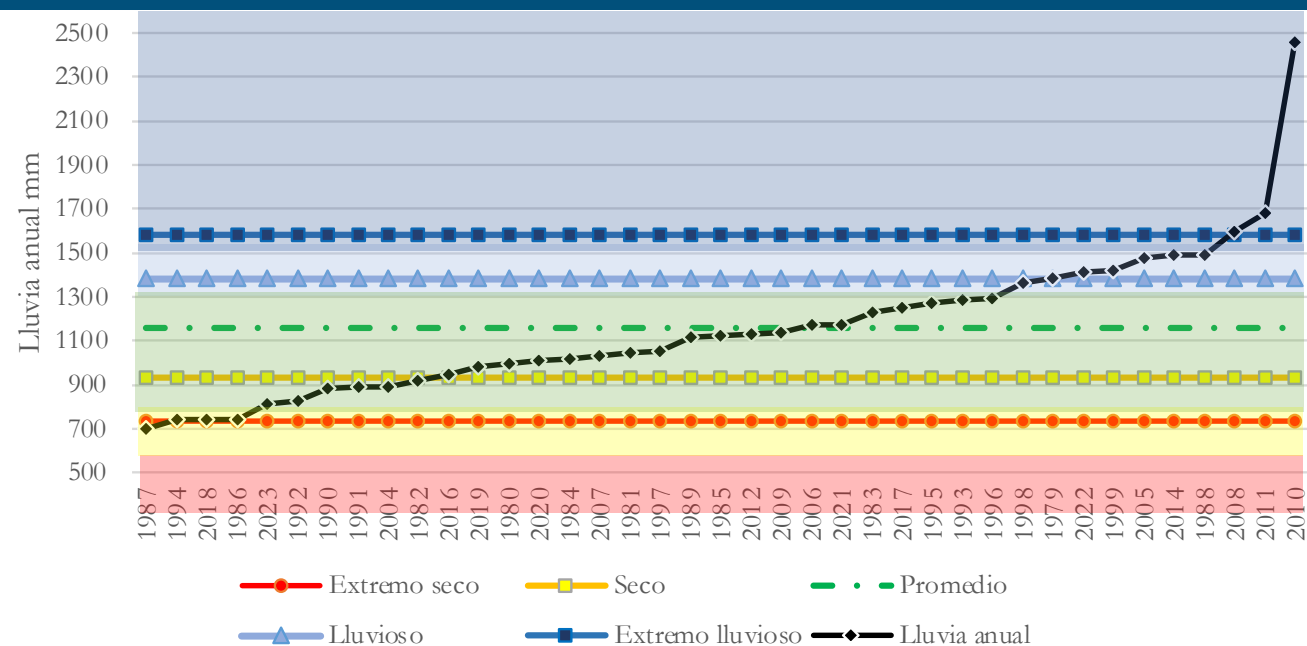


Figura 9. Clasificación de la lluvia anual acumulada registrada en estación INSIVUMEH El Capitán, periodo 1979-2023.

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 que los acumulados mensuales de lluvia se incrementan desde el mes de abril hasta los

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.

El comportamiento de la lluvia mensual muestra que los acumulados mensuales de lluvia se incrementan desde el mes de abril hasta los máximos en el mes de junio, registrándose una reducción de la lluvia mensual en julio y agosto, incrementándose nuevamente en septiembre y reduciéndose desde noviembre hasta marzo. La estación lluviosa se establece desde mayo hasta octubre. Los acumulados mensuales durante la época lluviosa, regularmente, superan la evapotranspiración potencial mensual; sin embargo, hay registros de meses en que la lluvia en la estación lluviosa fue inferior a la evapotranspiración potencial del mes.

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

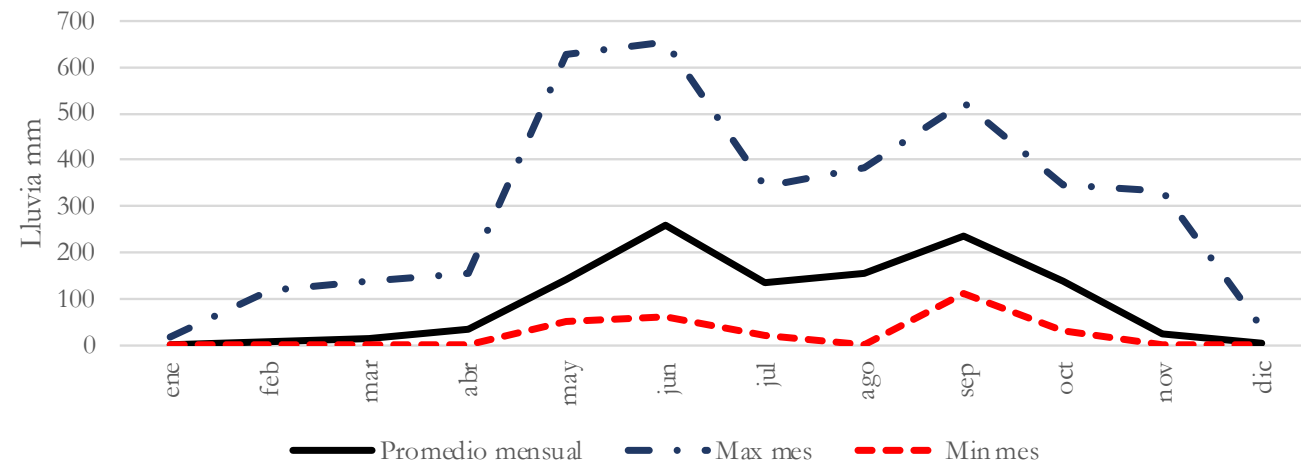


Figura 10. Lluvia acumulada mensual (máximas y mínimas) registradas en la estación INSIVUMEH El Capitán, periodo 1979-2023.

Fuente de datos: INSIVUMEH (2024).

Así como se han registrado meses durante la estación lluviosa donde el acumulado ha sido inferior a la evapotranspiración, también, se tiene registros donde el acumulado mensual ha excedido por mucho los valores promedios, entre los máximos acumulados mensuales registrados se encuentra mayo de 2010, estos acumulados fueron ocasionados por la inestabilidad atmosférica que dejó el paso de la tormenta tropical Agatha (Gobierno de Guatemala 2010). Dichas condiciones provocaron acumulados de lluvia de 478.0 mm

entre el 29 al 30 de mayo de 2010; los acumulados de octubre del año 2005 se relacionan al efecto de la tormenta Stan, con 263.5 mm acumulados entre el 4 y 6 de octubre y finalmente, del 2 al 4 de noviembre de 1998, el paso del huracán Mitch a finales de octubre y la primera semana del mes de noviembre dejó el acumulado de 300 mm de lluvia registrados en la estación El Capitán. Uno de los máximos acumulados mensuales de todos los registros es de junio de 2014 con 655.7 mm (figura 11).

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

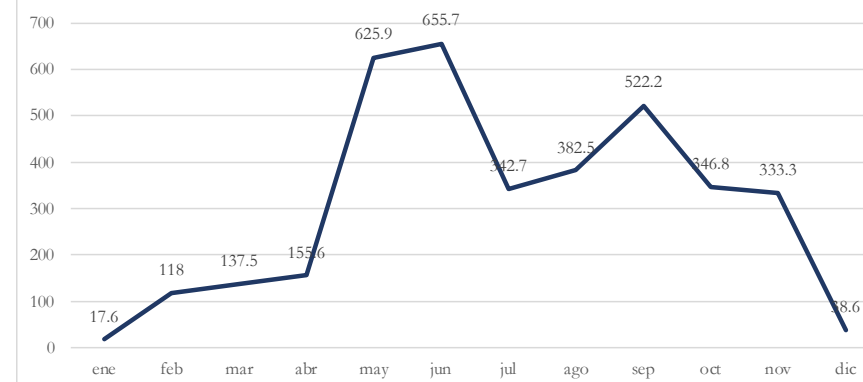


Figura 11. Máximos valores de lluvia acumulada mensual registrados en la estación El Capitán de INSIVUMEH, periodo 1979-2022.

Junio es el que tiene mayor cantidad de máximos mensuales, con el 42.3% de los registros, seguido de septiembre con 30.8 % y los meses de agosto y octubre con 7.7 % cada uno (figura 12).

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

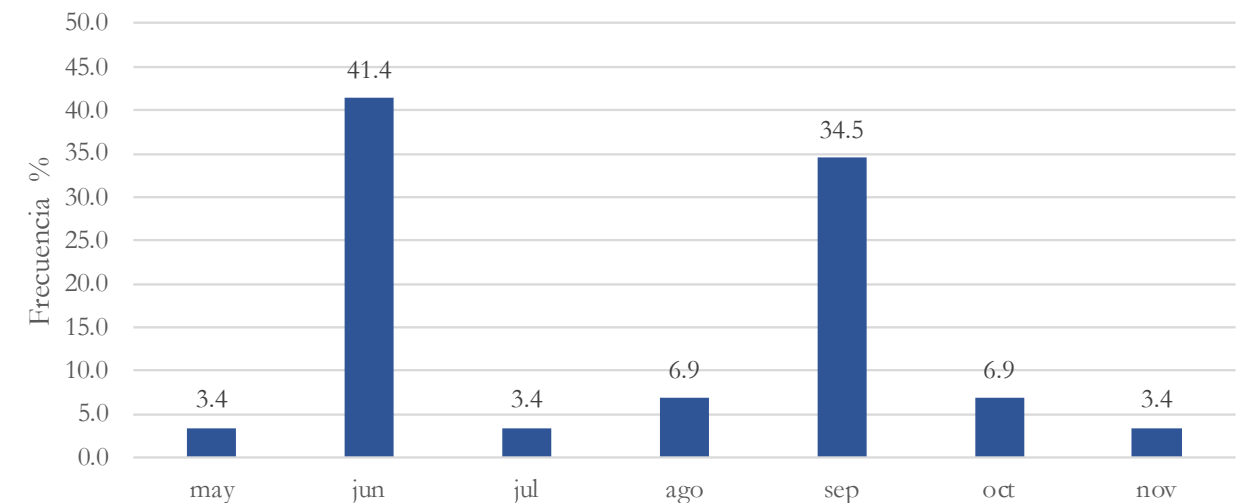


Figura 12. Frecuencia de lluvia acumulada mensual superior a 300 en la estación INSIVUMEH El Capitán, periodo 179-2023.

Fuente: Elaborado con datos del INSIVUMEH (2024)

La amenaza meteorológica de lluvias fuertes fue identificada por la comunidad como la 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).

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

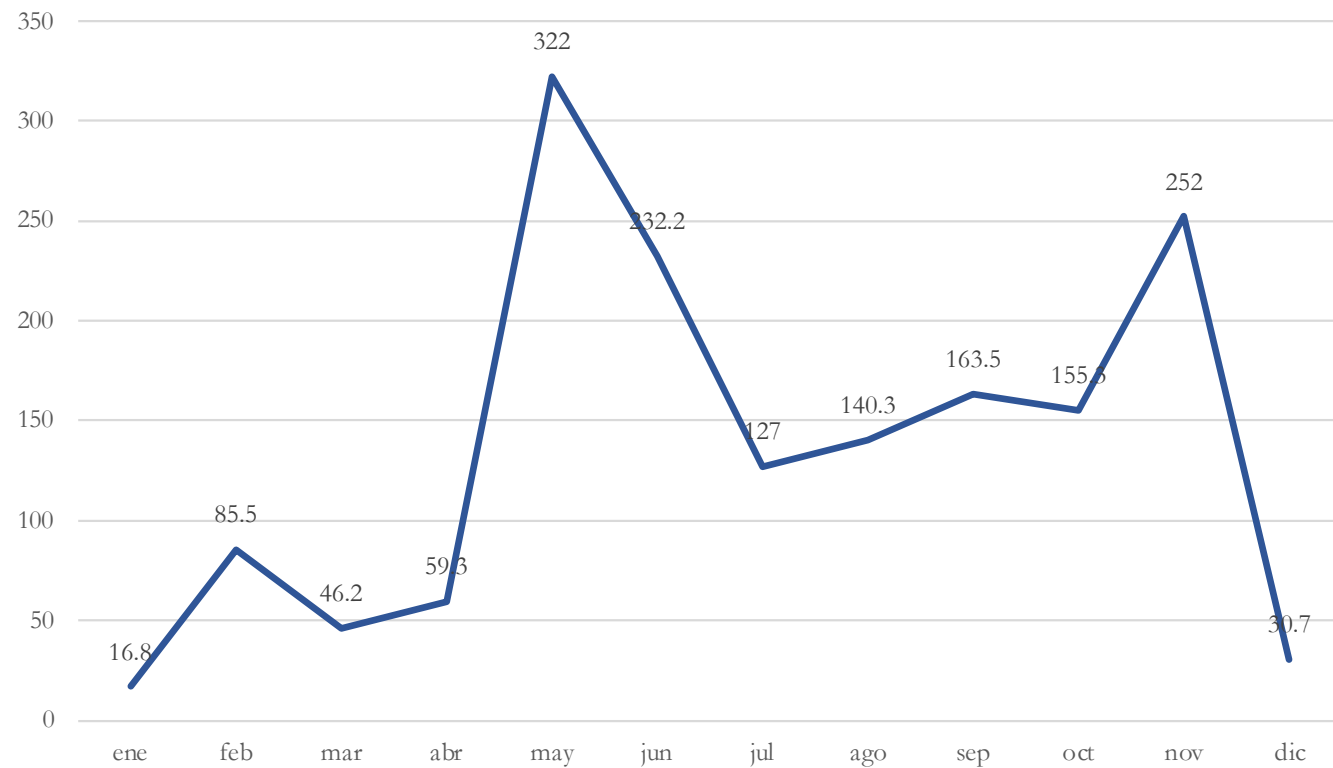


Figura 13. Máximo acumulado de lluvia en un día registrado en la estación meteorológica de INSIVUMEH El Capitán, periodo 1979-2023.

Fuente: Elaborado con datos del INSIVUMEH (2024)

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

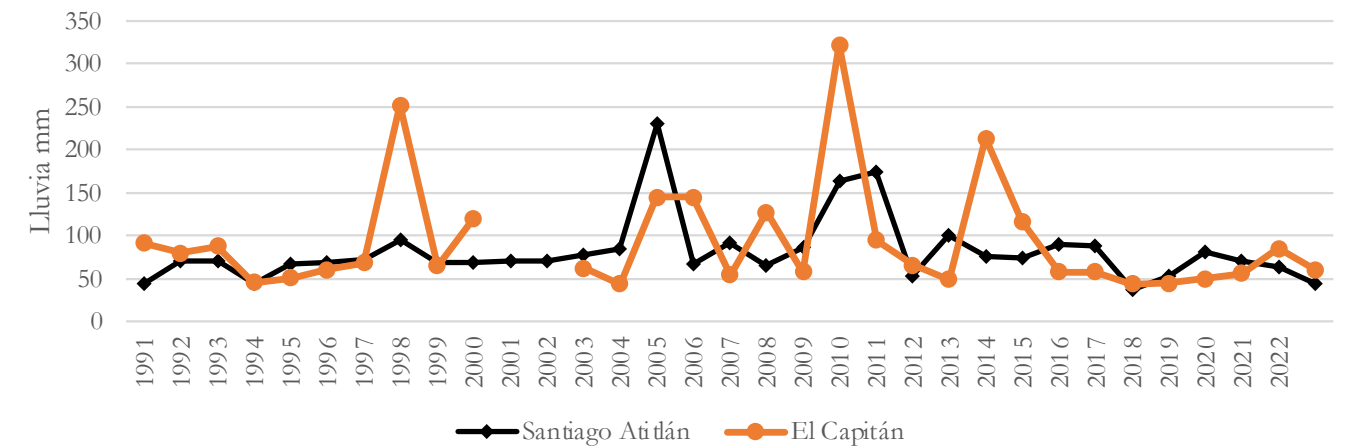


Figura 14. Máximo acumulado de lluvia registrado en un día/año en estaciones meteorológicas de INSIVUMEH Santiago Atitlán y El Capitán, periodo 1991-2023.

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).

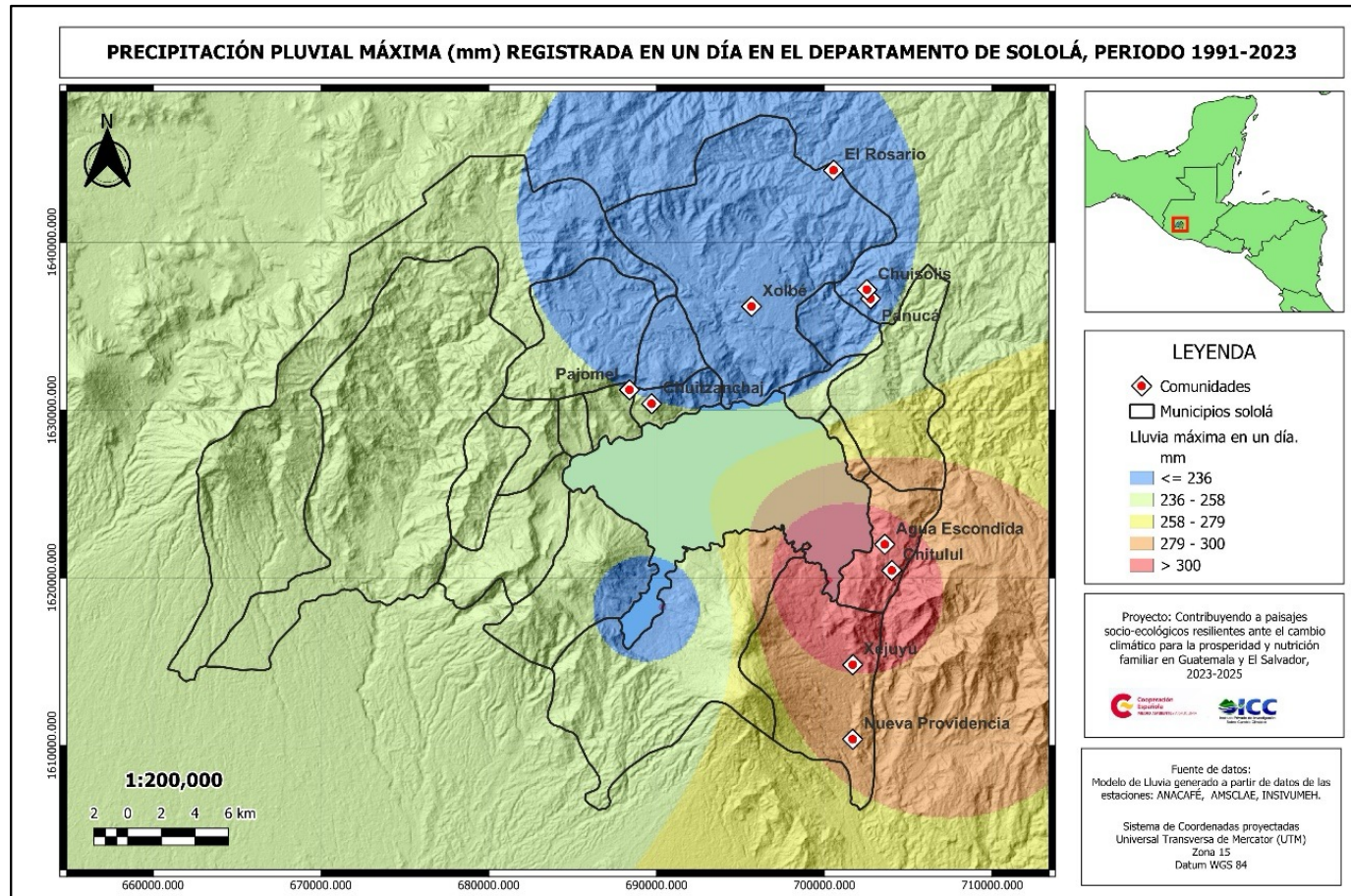


Figura 15. Mapa de eventos de lluvia máxima registrada en un día en las estaciones del INSIVUMEH El Capitán, El Tablón y Santiago Atitlán, periodo 1991-2023.

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.

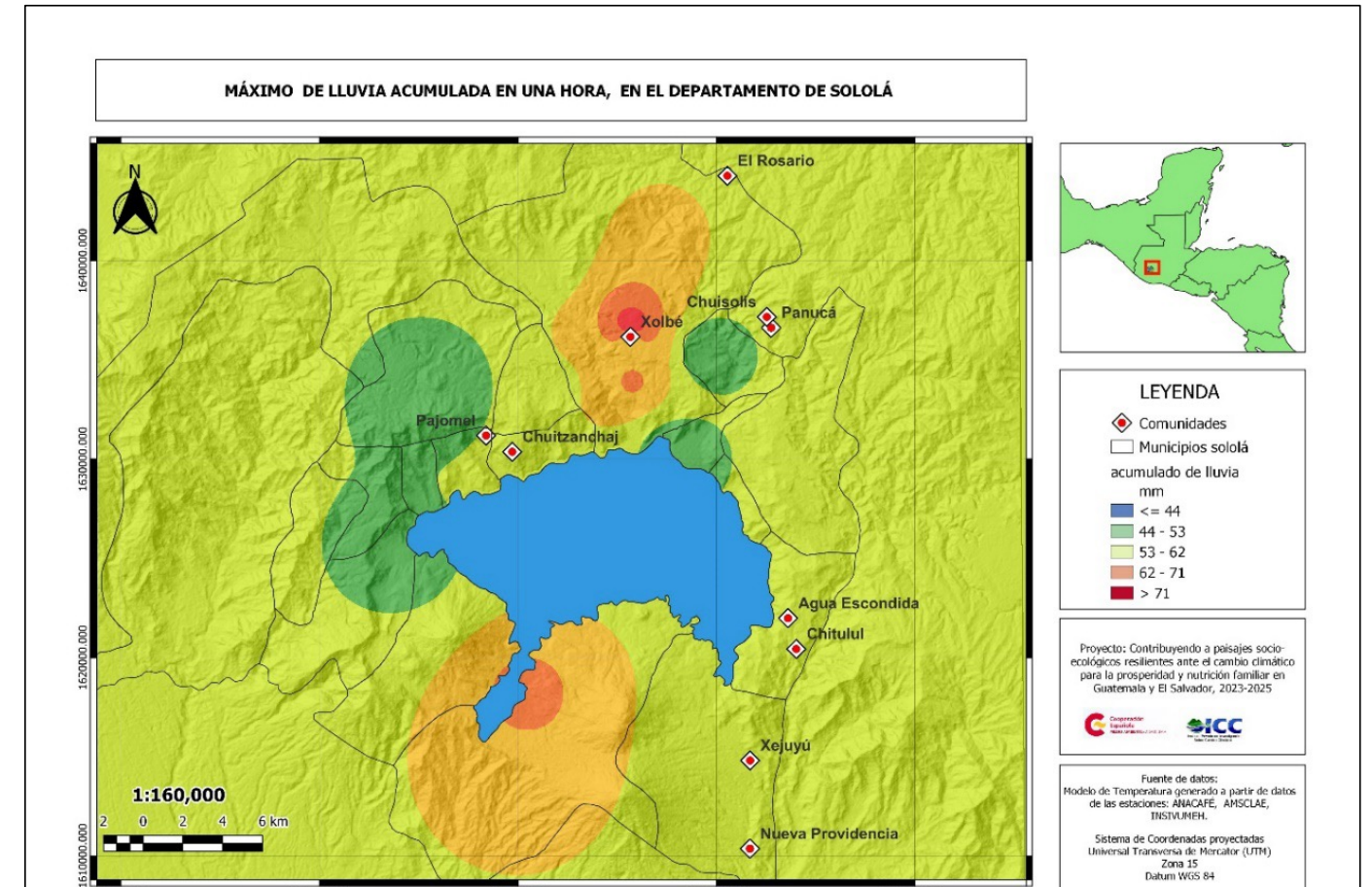


Figura 16. Mapa de distribución de máximos acumulados de lluvia en una hora en el departamento de Sololá. Fuente. Mapa elaborado con datos de INSIVUMEH, ANACAFÉ, AMSCLAE.

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.

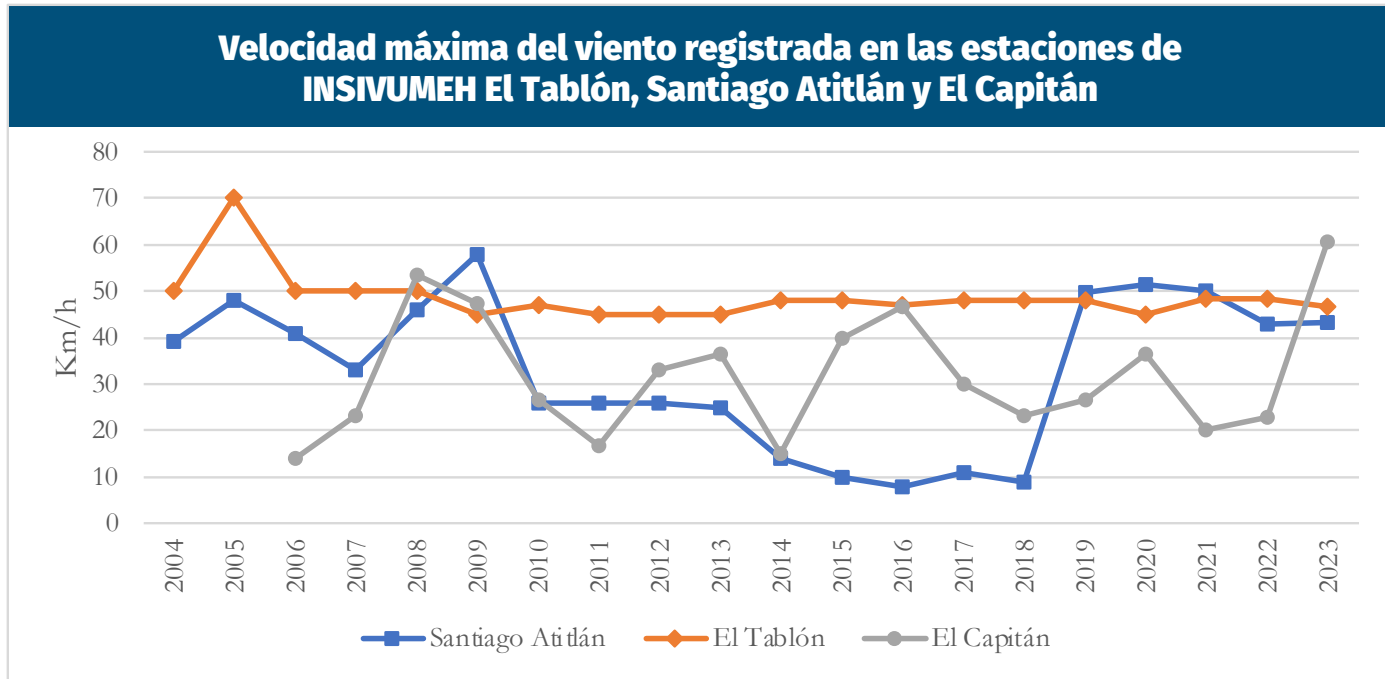


Figura 17. Velocidad máxima del viento registrada en las estaciones meteorológicas del INSIVUMEH, Santiago Atitlán, El Capitán y Santa María El Tablón, periodo 1004-2023.
Fuente. Elaborada con datos de INSIVUMEH (2024).

En cuanto a la dirección de los vientos con máximas velocidades en el municipio de San Lucas Tolimán, provienen del norte y del este (figura 18), alcanzando velocidades entre 60 y 77km/hora. En el 2021, el 45 %

de los eventos de vientos entre 5 y 30 km/hr con predominancia de dirección sudoeste y sursudoeste. En el 2022, el 66 % de los eventos de vientos se manifestaron con dirección de sudoeste, sur y sudeste.

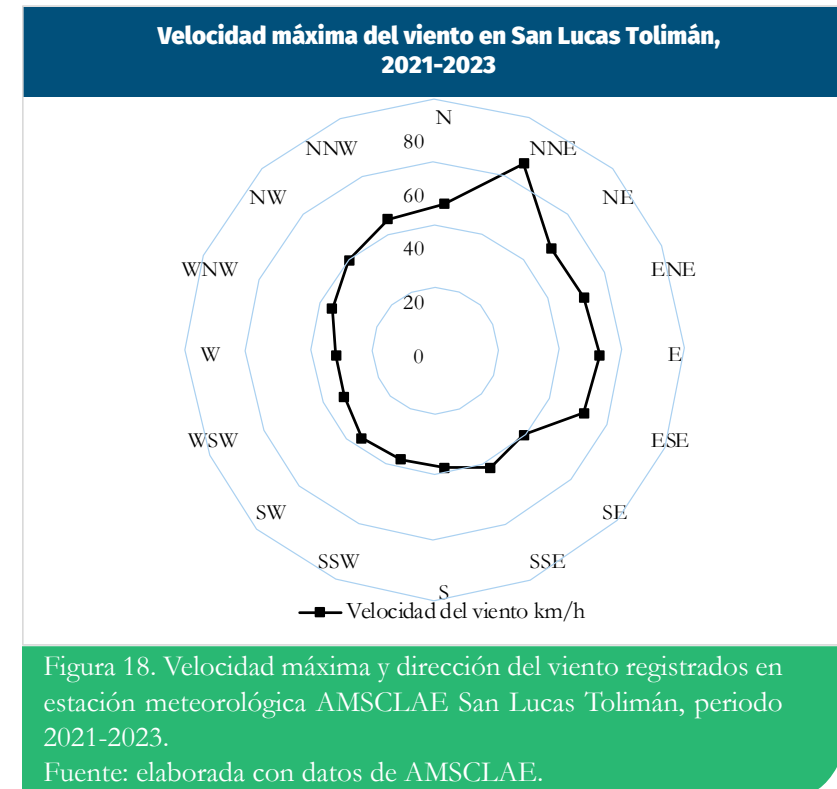


Figura 18. Velocidad máxima y dirección del viento registrados en estación meteorológica AMSCLAE San Lucas Tolimán, periodo 2021-2023.
Fuente: elaborada con datos de AMSCLAE.

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.

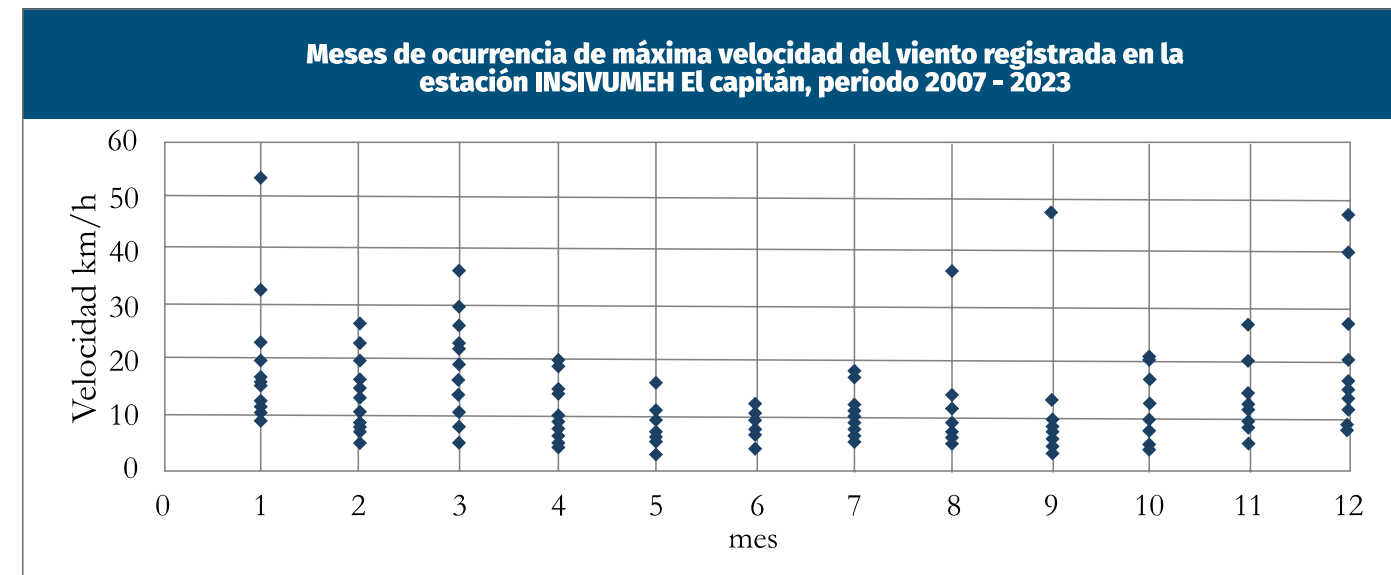


Figura 19. Meses de ocurrencia de las máximas velocidades del viento registradas en estación meteorológica INSIVUMEH El Capitán, periodo 2007-2023

Los registros de la estación San Lucas Tolimán de AMSCLAE, registra la ocurrencia de vientos con máxima velocidad similares a los de la estación El Capitán, con los máximos desde el mes de

diciembre hasta abril, observándose un incremento de la velocidad en julio. En diciembre se registró el evento máximo de viento con 77.2 km/hora.

Temporalidad de las máximas velocidades del viento registradas en la estación AMSCLAE San Lucas Tolimán, periodo 2021-2023

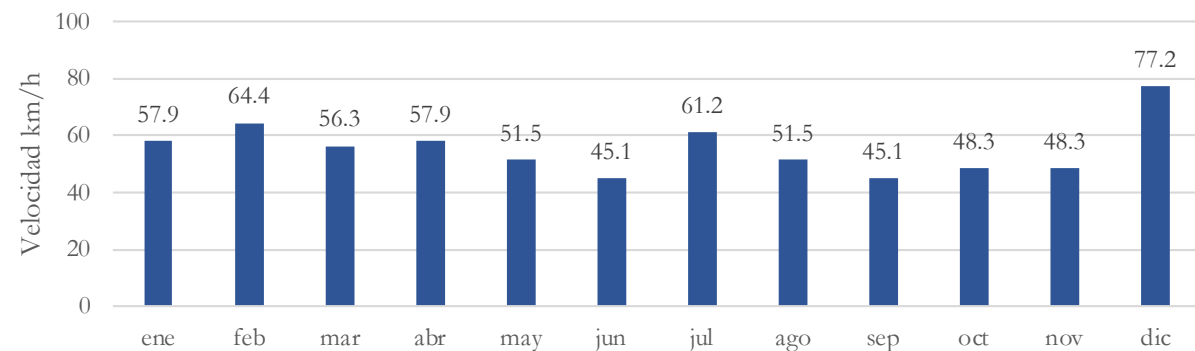


Figura 20. Temporalidad de ocurrencia de las máximas velocidades del viento registradas en San Lucas Tolimán, periodo 2021-2023.

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.

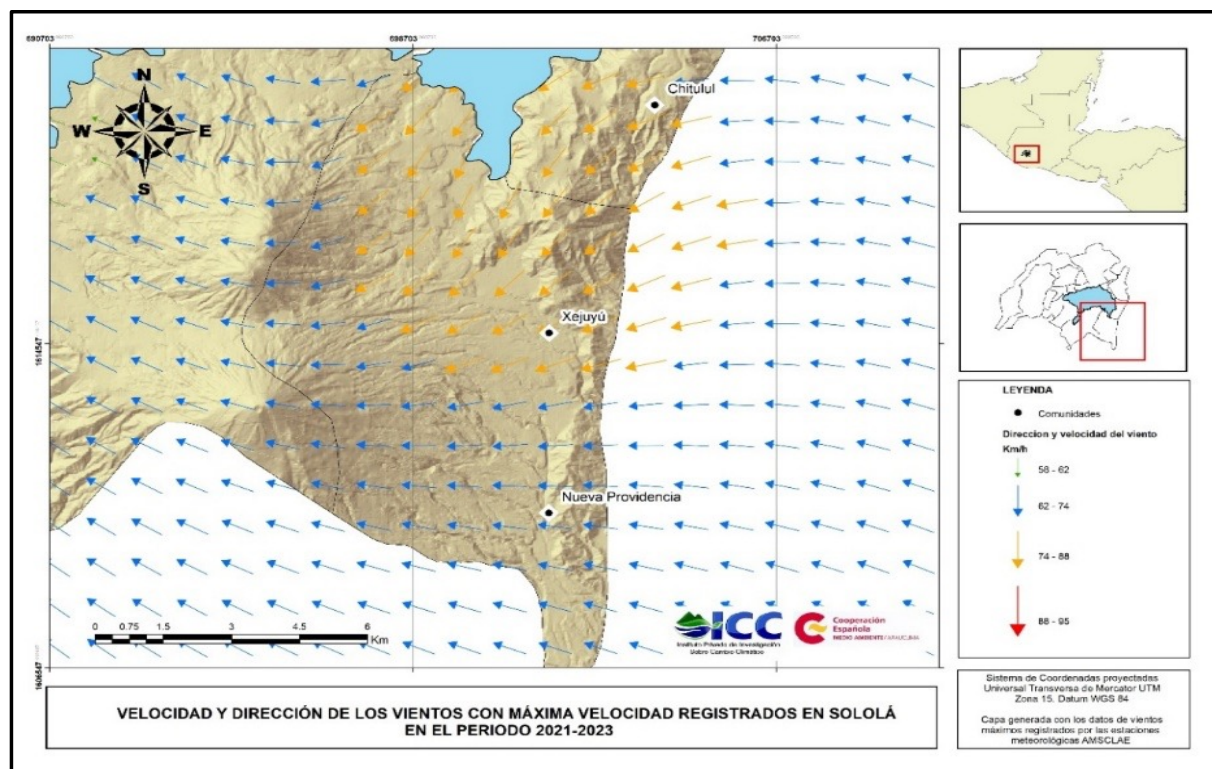


Figura 21. Mapa de dirección y velocidad del viento en San Lucas Tolimán. Fuente. Elaborado con datos de INSIVUMEH, AMSCLAE, ANACAFE.

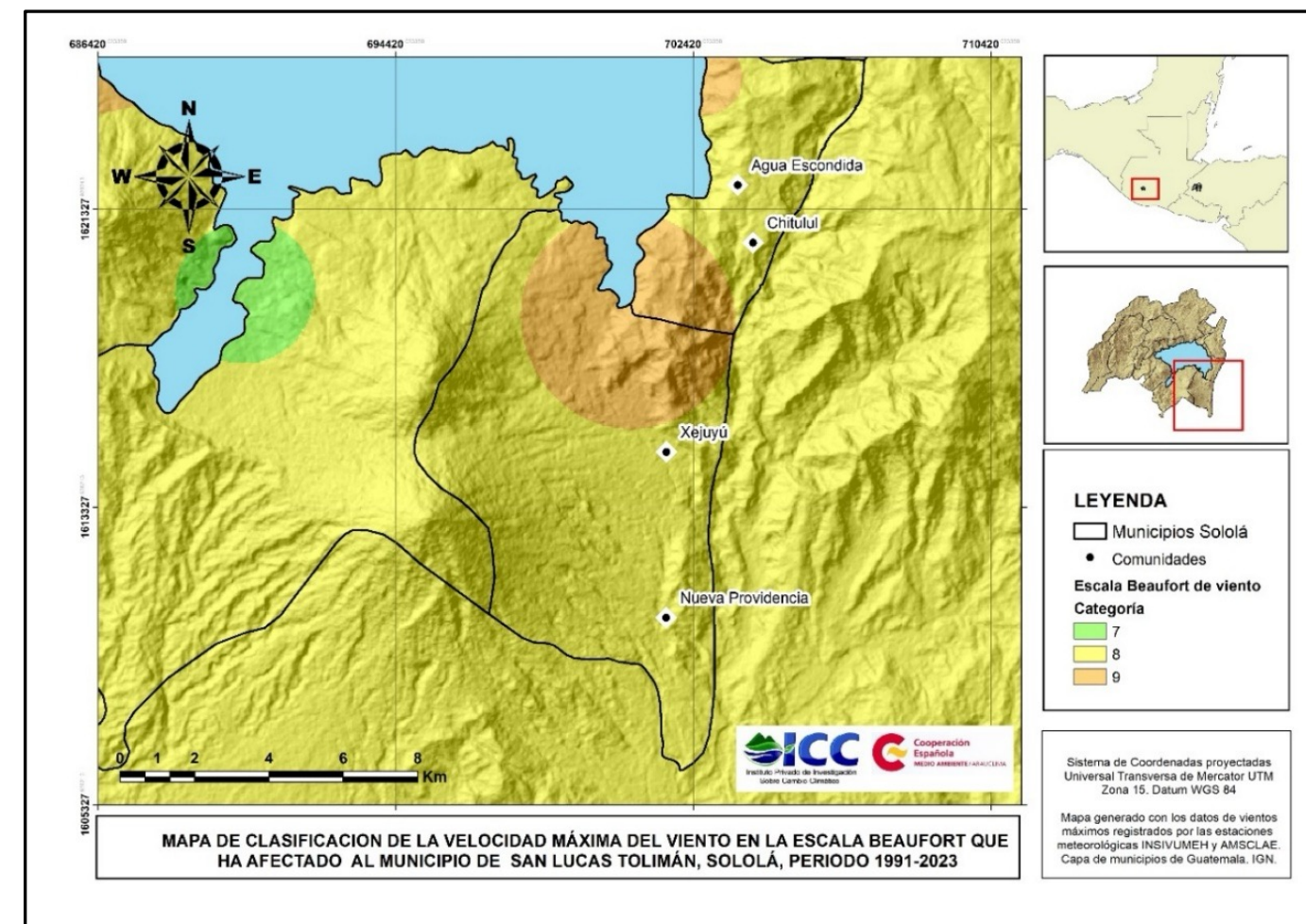


Figura 22. Mapa de velocidad del viento en San Lucas Tolimán clasificada en Escala Beaufort.

La modelación de la dirección y la velocidad del viento (figura 21) muestra que la predominancia es

con dirección de este a oeste a este. Los vientos con las velocidades máximas afectan más a la zona del norte del municipio de San Lucas Tolimán.

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.

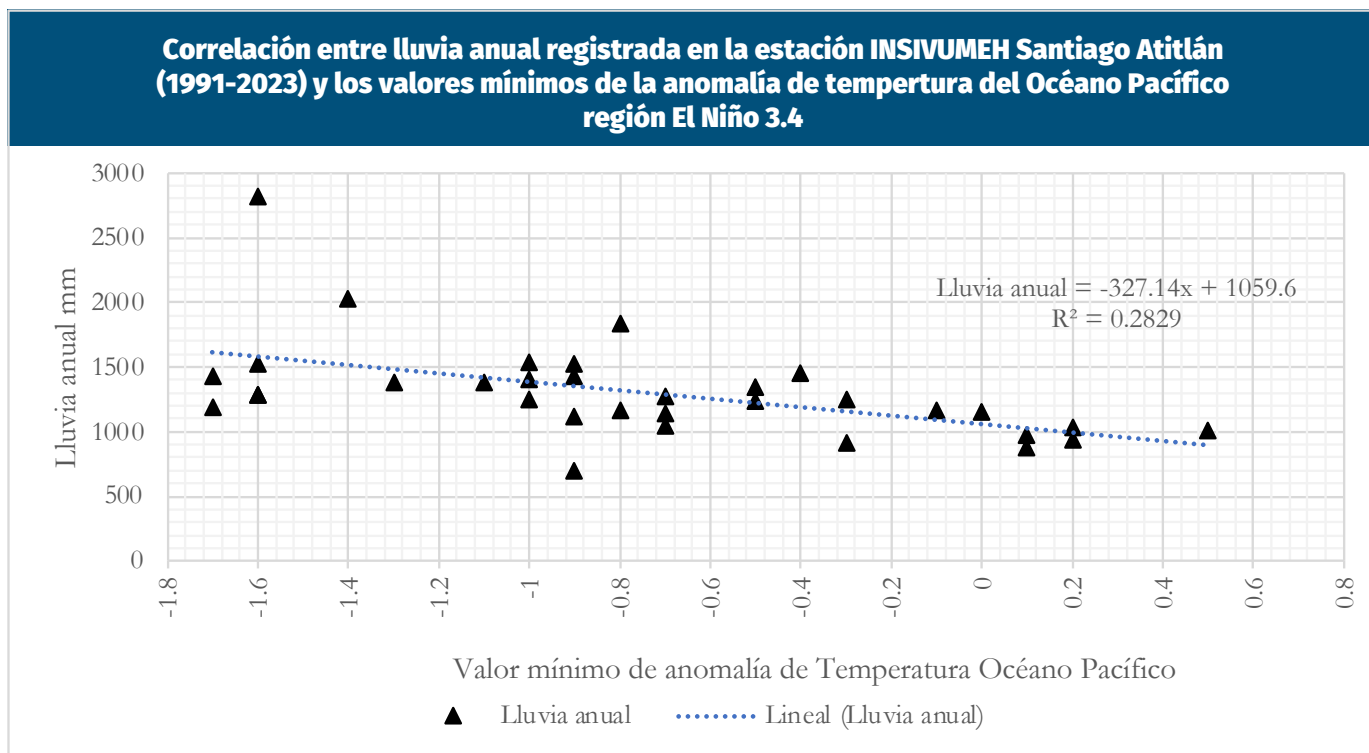


Figura 23. Correlación lineal entre la anomalía de temperatura del océano Pacífico región el Niño 3.4 y la lluvia registrada en la estación meteorológica del INSIVUMEH Santiago Atitlán, periodo 1991-2023. Fuente: Gráfico elaborado con datos de INSIVUMEH (2024) y NOAA (2024).

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.

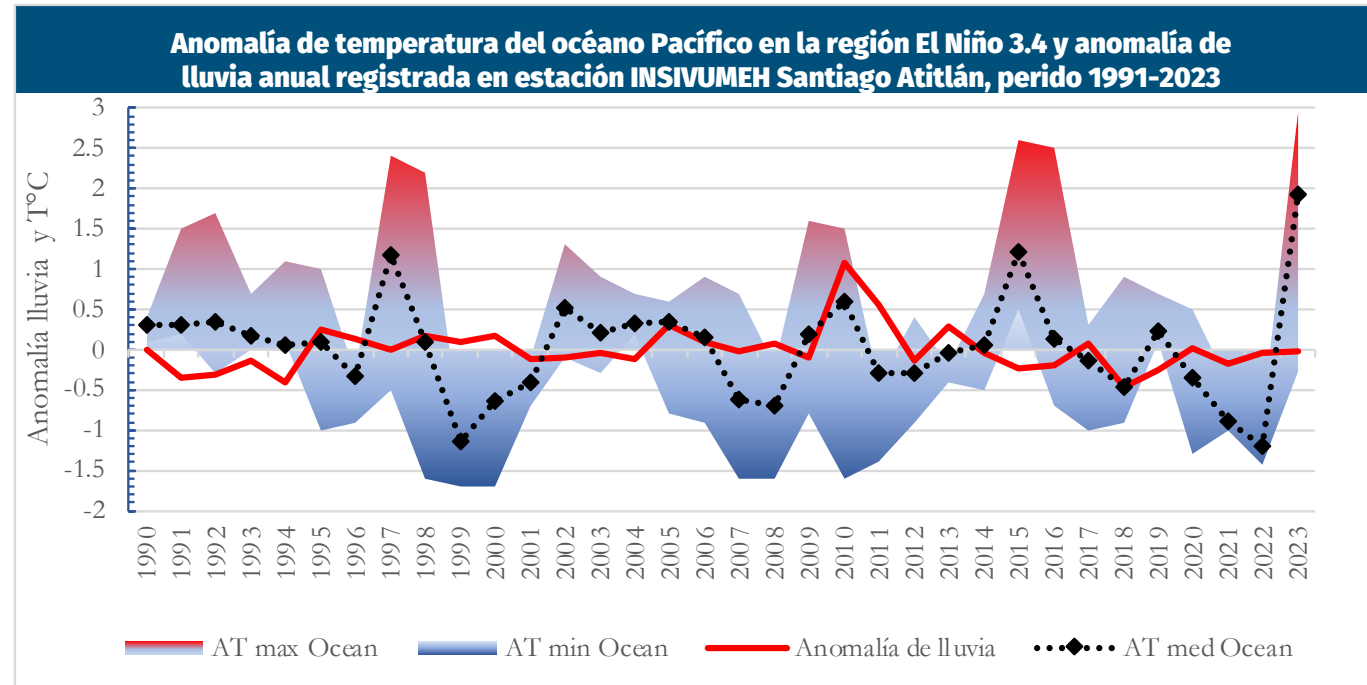


Figura 24. Comportamiento de la anomalía de temperatura del océano Pacífico y anomalía de lluvia acumulada anual registrada en estación INSIVUMEH Santiago Atitlán, periodo 1991-2023. Fuente: Gráfica elaborada con datos de INSIVUMEH (2024), NOAA (2024)

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. 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.

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, teniendo 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 se 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 en 4 eventos mensuales donde la lluvia fue inferior al 10% de los registros y seis eventos mensuales donde la lluvia fue entre el 10 y 25% de los registros, sin embargo, se registraron 20 eventos mensuales donde la lluvia acumulada no superó la evapotranspiración potencial del mes, por lo tanto, julio es el mes con mayor probabilidad de ocurrencia de escasez de agua para los cultivos; el mes de agosto es el tercero con mayor cantidad de eventos mensuales donde la evapotranspiración potencial fue superior al acumulado de lluvia mensual, con 17 eventos y el mes de octubre registra 18 eventos, siendo el segundo mes con probabilidad de escasez de agua para los cultivos, siendo éste el último mes con lluvias regulares.

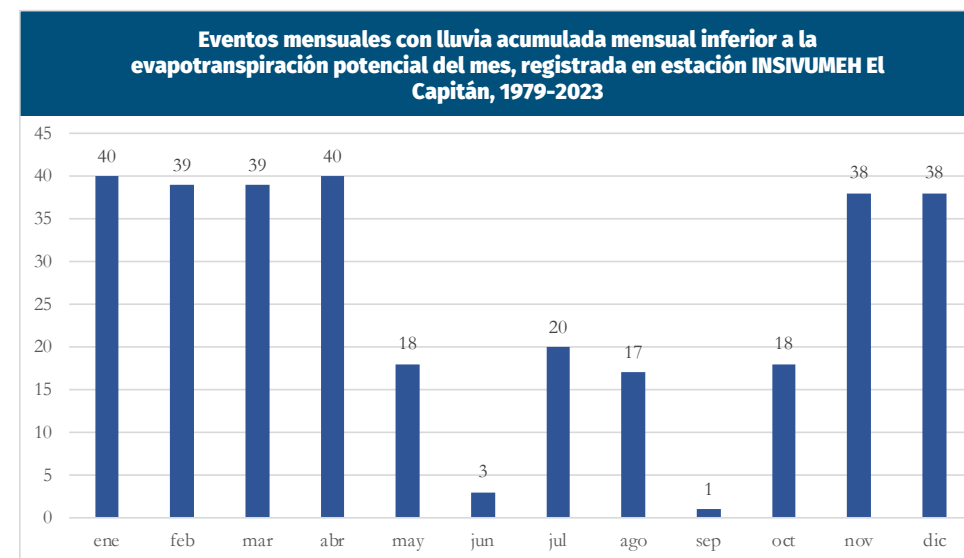


Figura 25. Eventos mensuales con lluvia menor a la evapotranspiración promedio para la región durante el periodo 1979-2023. Fuente: Gráfica elaborada con datos de INSIVUMEH (2024).

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.

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).

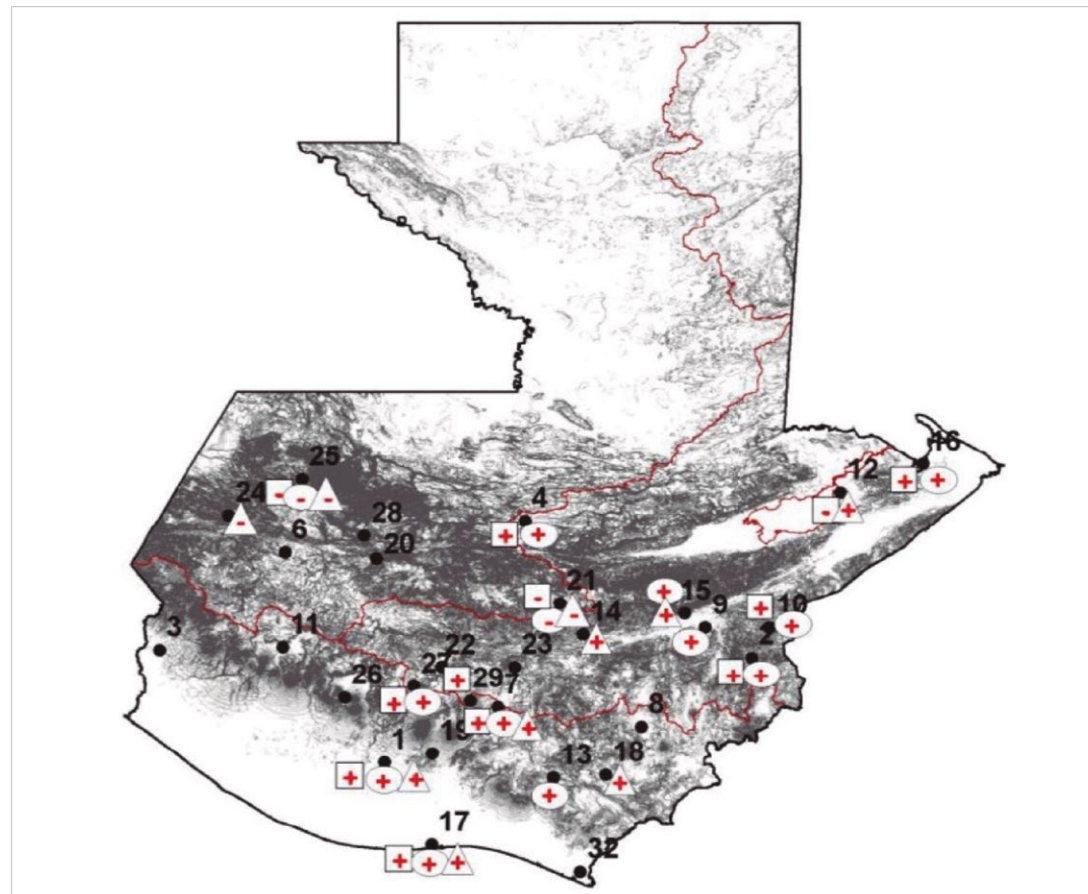


Figura 28. Tendencia de precipitación extrema en Guatemala. Fuente: Guerra, A. (2010).

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 “ $Y= 0.0431x - 67.528$ ”.

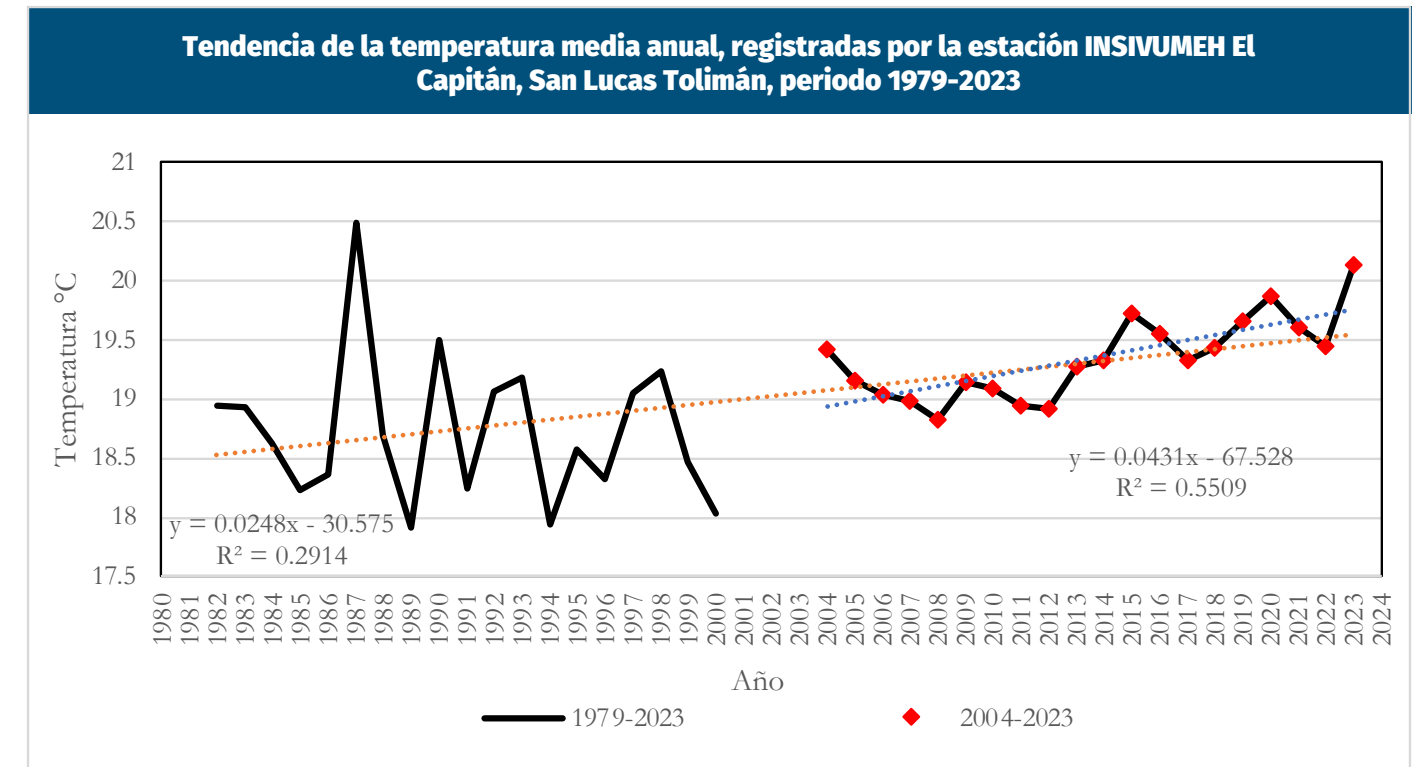


Figura 29. Tendencia de temperatura media registrada en la estación INSIVUMEH San Lucas Tolimán en el periodo 1979-2023.

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).

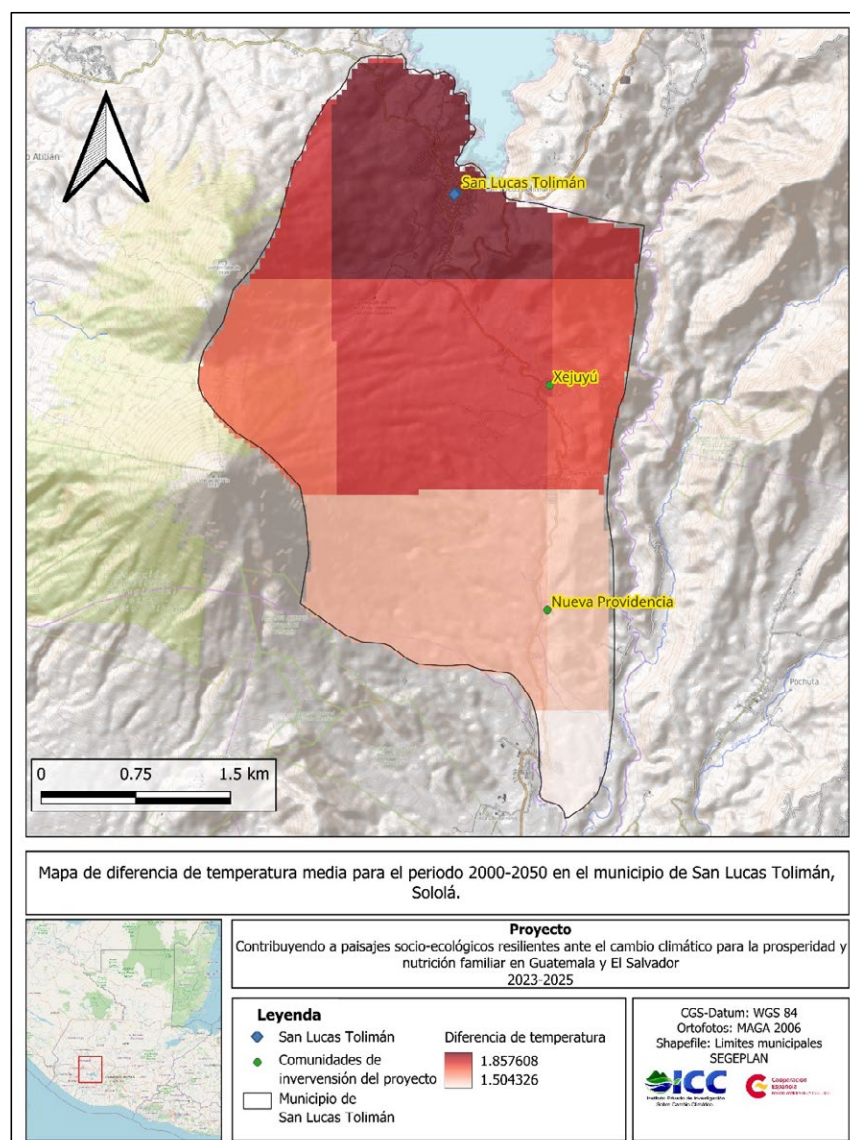


Figura 30. Comportamiento de cambios (diferencia a mediados del siglo comparado con el año 2000) en la temperatura máxima en el territorio del municipio de San Lucas Tolimán.

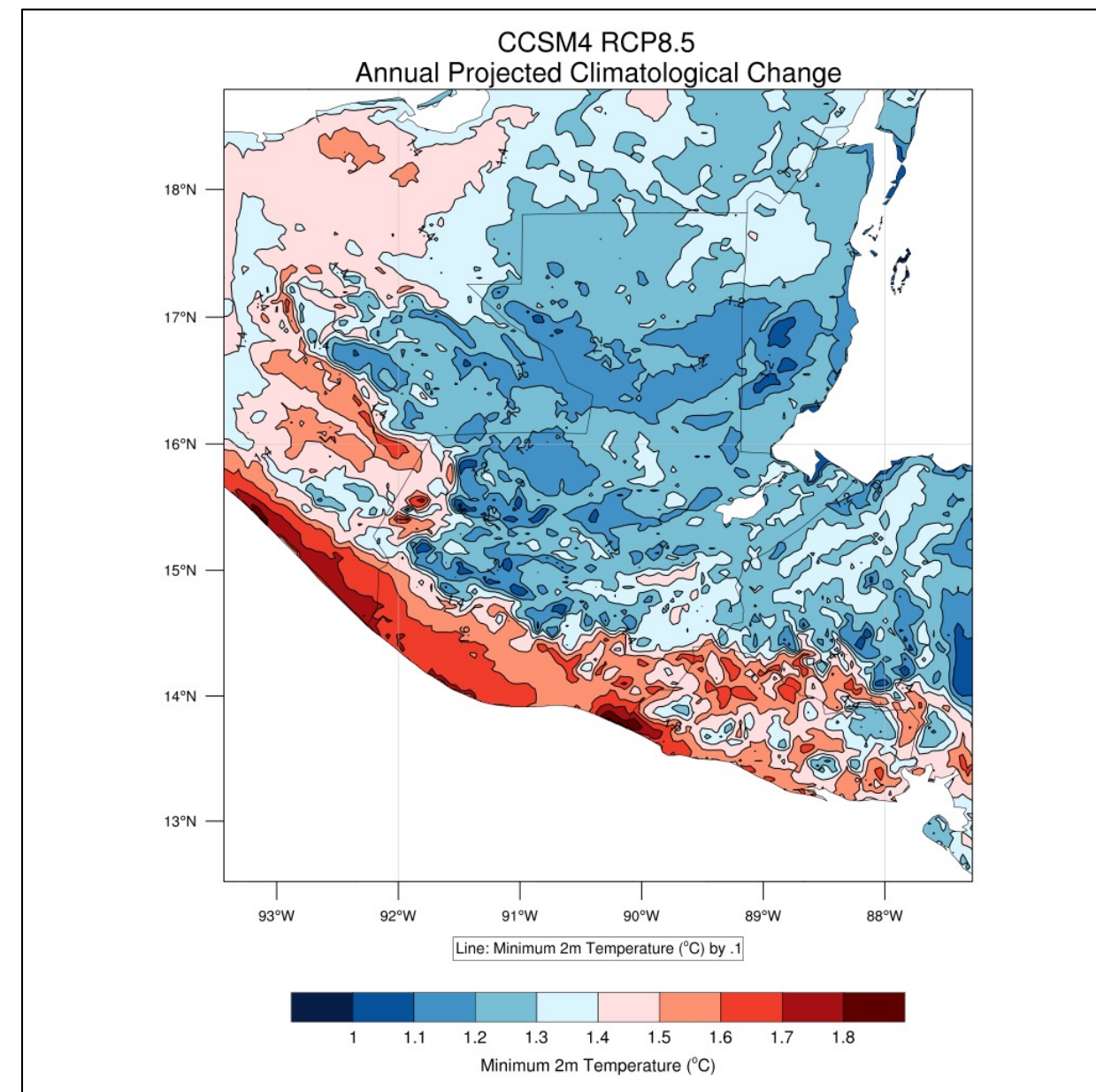


Figura 31. Comportamiento de cambios (diferencia a mediados del siglo) comparación de los años 2000-2050 en la temperatura mínima en la República de Guatemala.

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).

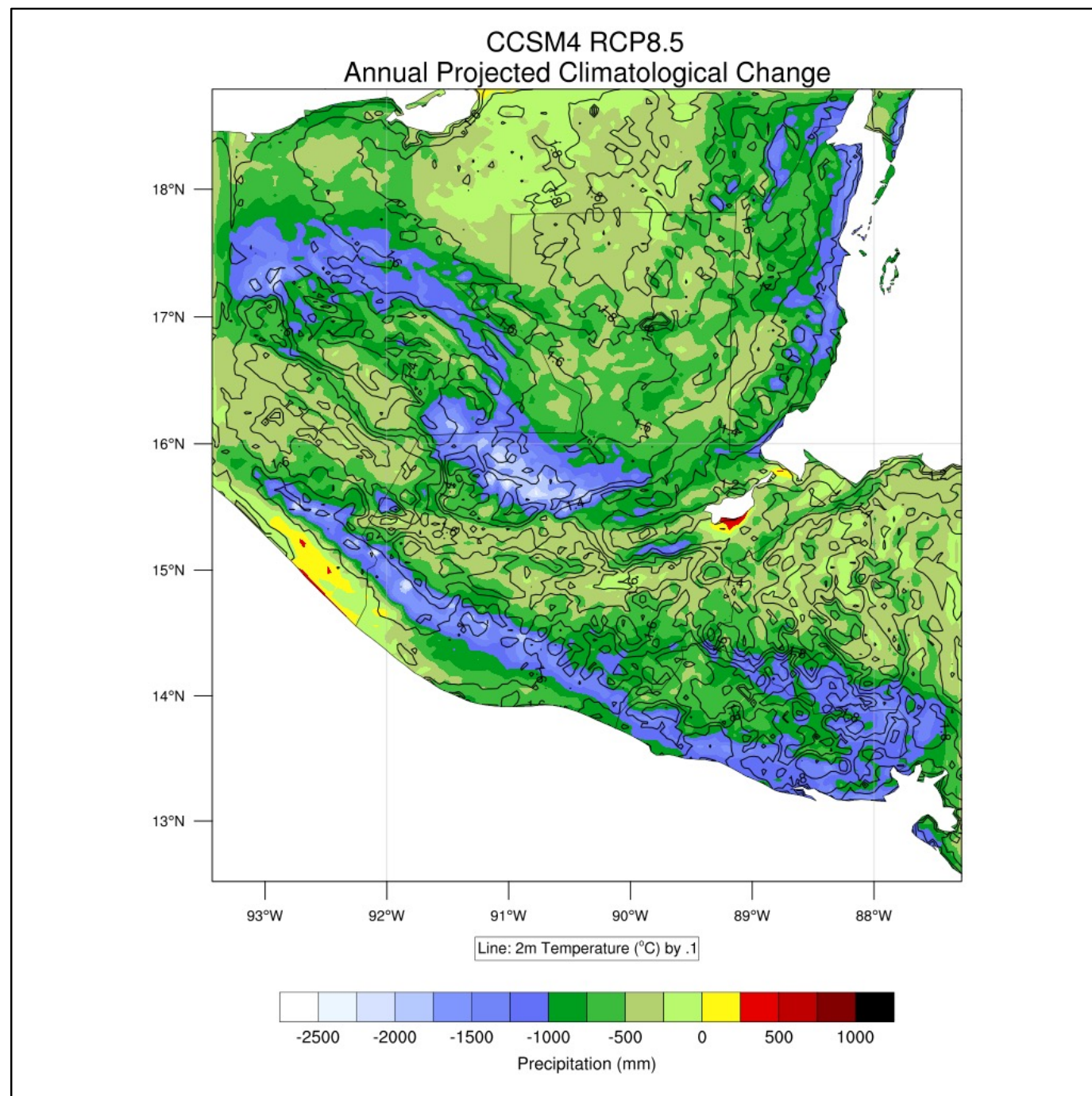


Figura 32. Comportamiento de cambios (diferencia a mediados del siglo) en comparación de los años 2000-2050 en la precipitación (lluvia) acumulada anual en el territorio del municipio de Sololá.

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 de la colonia Xejuyú, San Lucas Tolimán

La vulnerabilidad es el grado de propensión de una vivienda, comunidad, ecosistema o cultivo que tiene ante diferentes amenazas climáticas. La comunidad de Xejuyú o colonia Xejuyú se fundó en el año de 1,999; previamente los habitantes de la comunidad residían en la finca llamada Santo Tomás Perdido y laboraban para dicha empresa agroindustrial. Por decisiones administrativas y compensación laboral, los trabajadores de dicha finca llegaron a un acuerdo con el entonces propietario para que con la compensación monetaria que recibirían le comprarían los terrenos a un costo de Q 4,000.00 por cuerda (1,128 m2). Desde dicho acuerdo mutuo en el año 1999 de manera oficial se fundó dicha comunidad. Debido a que el costo fue relativamente alto, los terrenos dispuestos se utilizaron específicamente para vivienda y con el pasar de los años el crecimiento poblacional ha promovido la disgregación de las áreas para suplir las necesidades de construcción de viviendas especialmente de forma horizontal.

Desde 1999 hasta el año 2024, el conocimiento colectivo argumenta que en Xejuyú han surgido cambios, entre estos elementos destacables se han observado lo siguientes: existen más infraestructuras (viviendas de concreto, calles pavimentadas, redes eléctricas, entre otro tipo de infraestructura), se percibe un cambio en la temperatura que se deriva en un incremento de esta y por ende más calor a comparación de años anteriores, así mismo, indicaron que hay más presencia de vectores, principalmente de la familia *Aedes aegypti* comúnmente llamados zancudos.

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.

Las familias que conforman la comunidad al contar con terrenos específicamente para la vivienda, estos carecen de espacio relativamente suficiente para la producción local de animales y/o plantas comestibles, este argumento se sostiene en base a la información local y a los resultados de línea base donde el 85% de las familias consultadas presentaron contar con áreas disponibles no mayores a 20 m2, cuyo uso no precisamente es para la agricultura, ya que dicho espacios son utilizados como tendedero de ropa, área de descanso, entre otras como la producción de plantas ornamentales y/o comestibles en macetas, sin embargo, los huertos que emplean estas familias no cuentan con un orden específico y se utilizan recipientes que ocupan la misma área superficial que si esta actividad se realiza en suelo directo. Aunque la agricultura no es la actividad más importante dentro del territorio de la comunidad, si es una práctica relevante que se realiza en las inmediaciones a través del arrendamiento de tierras y/o adquisición de tierras dentro del mismo municipio, sin embargo, la distancia se convierte en una limitante para la producción de especies de mayor de mercado por el traslado de los insumos que se requieren para su establecimiento y mantenimiento.

En el cuadro cuatro se enlistan los principales medios de vida de la comunidad de Xejuyú. Como principal actividad resalta ser jornalero, esta actividad ocupa relevancia, especialmente, porque representa la obtención de efectivo de manera inmediata por una actividad diaria, semanal o mensual, lo cual permite a su vez la cobertura inmediata de necesidades, principalmente, alimenticias. El ingreso actualmente oscila entre los Q 75.00 hasta los Q 150.00 por día laborado, dependiendo el rubro (agrícola, no agrícola) al que correspondan las labores.

Para el medio de vida ama de casa, en la actualidad, es una actividad no remunerada, pero de importancia para los que conforman la familia. Dentro de las labores específicas de

las amas de casa se destacan: el mantenimiento de la vivienda, cuidado de los hijos (distintas edades), administración de bienes, preparación de alimentos entre otras actividades importantes en el núcleo familiar.

La elaboración de tejidos como los huipiles (indumentaria maya) es otra de las actividades de importancia para las mujeres. costo que conlleva su adquisición, esta actividad no genera un ingreso directo, pero reduce el posible costo ya que la elaboración de esta indumentaria se realiza en los horarios disponibles que tienen las amas de casa y mujeres del núcleo familiar y en ocasiones pueden comercializar dicho producto en los mercados locales y zonas turísticas contribuyendo así con los ingresos del hogar.

Cuadro 4. Medios de vida más importantes de Xejuyú, San Lucas Tolimán.		
No.	Medios de vida	Porcentaje de población que lade-sarrolla
1	Jornaleros	100
2	Ama de casa	100
3	Tejidos	45 - 90
4	Actividades pecuarias (Aves)	54
5	Café	36
6	Pequeños comercios	9

La crianza de animales de traspatio teniendo como principal especie Gallus gallus domesticus, es una práctica relevante dentro de la comunidad, el valor con base a la percepción local se enmarca en los usos de dicha especie para autoconsumo por los miembros del núcleo familiar como fuente de carne, vísceras y huevos, la crianza y comercialización de polluelos o aves maduras. Actualmente, dicha práctica de comercialización no se maneja bajo

una sistematización de costos, lo que limita la estimación del costo/beneficio, especialmente, por el tiempo que conlleva la madurez fisiológica de dicha especie, regularmente la comercialización de un ave madura se realiza a los siete meses desde su emergencia del huevo.

En cuanto al medio de vida agricultura, se basa en los siguientes cultivos de aguacate, maíz, banano, café variedad Catimor, aunque, esta actividad no

se realiza directamente en el territorio comunal, se realiza en las inmediaciones que también se han visto afectadas por factores meteorológicos derivados de la variabilidad climática. Los participantes indicaron que hoy en día, existe dependencia tanto de fertilizantes y pesticidas, debido a que los cultivos son propensos a plagas y enfermedades, ejemplo de ello es la roya que afecta bastante el cultivo de café. Otro de los cambios que han observado en la agricultura es en el cultivo de aguacate de la variedad, en el pasado se empleaban materiales criollos (nativo) y actualmente, se emplea la variedad de aguacate Hass que requiere más insumos agrícolas y un mejor manejo agronómico.

Como una actividad local diversa se consideró por parte de los asistentes los comercios locales, los cuales representan una fuente de ingresos para las familias, estos comercios están comprendidos en tiendas de barrio, venta de comida (pollo frito, papas, tacos, entre otros), venta de licores, tortillerías, entre otras actividades remuneradas, esta actividad representa un valor de importancia relativamente bajo considerando la aplicación que se tiene por parte de las familias en la comunidad.

5.2.2 Calendario de eventos naturales y actividades socioeconómicas cíclicas en colonia Xejuyú.

La herramienta de calendario permitió identificar los principales eventos y actividades que se presentan a lo largo del año natural y con ello comprender el momento idóneo para prepararse ante fenómenos de índole climático y/o actividades de manejo para el sector agrícola.

En el cuadro cinco se identifican los siguientes eventos: siembra de café, realizada en los meses de mayo-julio y la cosecha durante los meses de septiembre - diciembre. Como toda actividad de secano (dependiente de la temporada lluviosa) la siembra de café, aguacate y/o algún otro tipo de especie vegetal, al no contar con un sistema de irrigación, la actividad de siembra se realiza de manera conjunta en el mes de mayo considerando que en dicho mes la temporada lluviosa inicia, sin embargo, en la memoria colectiva los participantes argumentan que en los últimos años el comportamiento de las lluvias ha sido errático por lo que es posible que a futuro los patrones del inicio y final de la temporada de lluvias se modifique ya sea en un adelanto o retraso de dicho fenómeno.

Cuadro 5. Calendario estacional sobre actividades y fenómenos cíclicos en la comunidad de Xejuyú.													
No.	Evento	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	Siembra y cosecha de café												
2	Canícula												
3	Fuertes vientos												
4	Patrones de lluvia												
5	Enfermedades y plagas (café)												
6	Enfermedades (aves)												
7	Sequía												
8	Aguacate												

Dentro la época lluviosa se identifica el fenómeno de la canícula, que regularmente, se presenta durante julio-agosto y tiene una duración aproximadamente (percepción) entre 20 a 25 días, con efectos negativos sobre la salud de las personas (gripe y tos), en los cultivos principalmente para el maíz el cual presenta floración entre dichos meses, el periodo se vuelve crítico ya que la cosecha depende de la lluvia que se pueda presentar y el llenado de la mazorca.

Los fuertes vientos regularmente se presentan a partir de noviembre finalizando en marzo. Las personas hicieron énfasis que en noviembre los vientos son más fuertes lo cual tiende a impactar principalmente en las viviendas de infraestructura frágil (lámina). Las lluvias típicamente inician en mayo y finaliza en octubre. La percepción comunitaria indica que en septiembre se intensifican las lluvias, afectando la ejecución de labores en campo para los agricultores. En septiembre en la zona de viviendas, los habitantes sufren las fuertes lluvias porque las calles se inundan.

Entre las plagas y enfermedades en el cultivo de café se mencionó la broca del café (*Hypothenemus hampei*). Dicha plaga afecta los frutos del café formando perforaciones, causando pudrición y caída de los frutos. Se mencionó que los meses de enero, febrero, marzo, septiembre, octubre, noviembre y diciembre se presenta dicha plaga.

En los meses de mayo y junio el cultivo de café se ve afectado por la roya (*Hemileia vastatrix*), esta enfermedad forma lesiones anaranjadas en las hojas del café provocando una defoliación de la planta.

Las aves se ven afectadas por la viruela aviar (*Variola avium*) en el mes de junio. Dicha enfermedad provoca lesiones en la cabeza de las aves (barbilla, cresta y parpados). La población mencionó que los principales remedios caseros que utilizan son la aplicación de gasolina, aceite de comida y manteca de cerdo en las partes afectadas del ave. Lo que provoca cicatrización y se desprenda las costras que forma dicha enfermedad.

En agosto las aves se ven afectadas por la influenza aviar, los síntomas de la enfermedad son dificultad respiratoria, tos, plumas erizadas, pérdida de apetito y diarrea. Para dicha enfermedad no indicaron ningún remedio casero. Durante noviembre y diciembre las aves se ven afectadas por coriza infecciosa (*Avibacterium paragallinarum*), enfermedad que afecta las vías respiratorias de las aves, también puede presentar inflamación facial y esto hace que las aves dejen de comer o pierdan el apetito. Dentro los remedios caseros que utilizan se enlistan: té de albahaca, menta y apazote dos veces al día por 8 días, o con vacunas, otra de las enfermedades que afecta es el Newcastle (*Paramyxovirus aviar* tipo 1 (APMV-1)), dicha enfermedad afecta las aves en los meses de marzo a junio. Otra de las enfermedades mencionadas es la colera aviar (*Pasteurella multocida*) que afecta en junio, donde el ave presenta depresión, pérdida de apetito, diarrea verde amarilla, fiebre y deshidratación. Finalmente, la enfermedad de gumboro (IBDV) presenta los siguientes síntomas en las aves; diarrea, plumas erizadas, depresión, pérdida de apetito esta enfermedad se presenta el mes mayo, junio, julio y agosto.

5.2.3 Identificación de amenazas y análisis de vulnerabilidad.

El mapeo y reconocimiento del territorio se convierte en una herramienta valiosa ya que regularmente una población conoce ciertas problemáticas en su territorio, sin embargo, no cuentan con el conocimiento sobre qué tipo de amenazas existen, las ubicaciones más

vulnerables a dicho fenómeno y sobre todo como resolverlo. En este apartado la memoria colectiva describe los límites territoriales, las amenazas que consideran son de mayor importancia especialmente por el potencial daño que presenta o podría presentar a futuro y las áreas o zonas que son más vulnerables a dichos fenómenos.

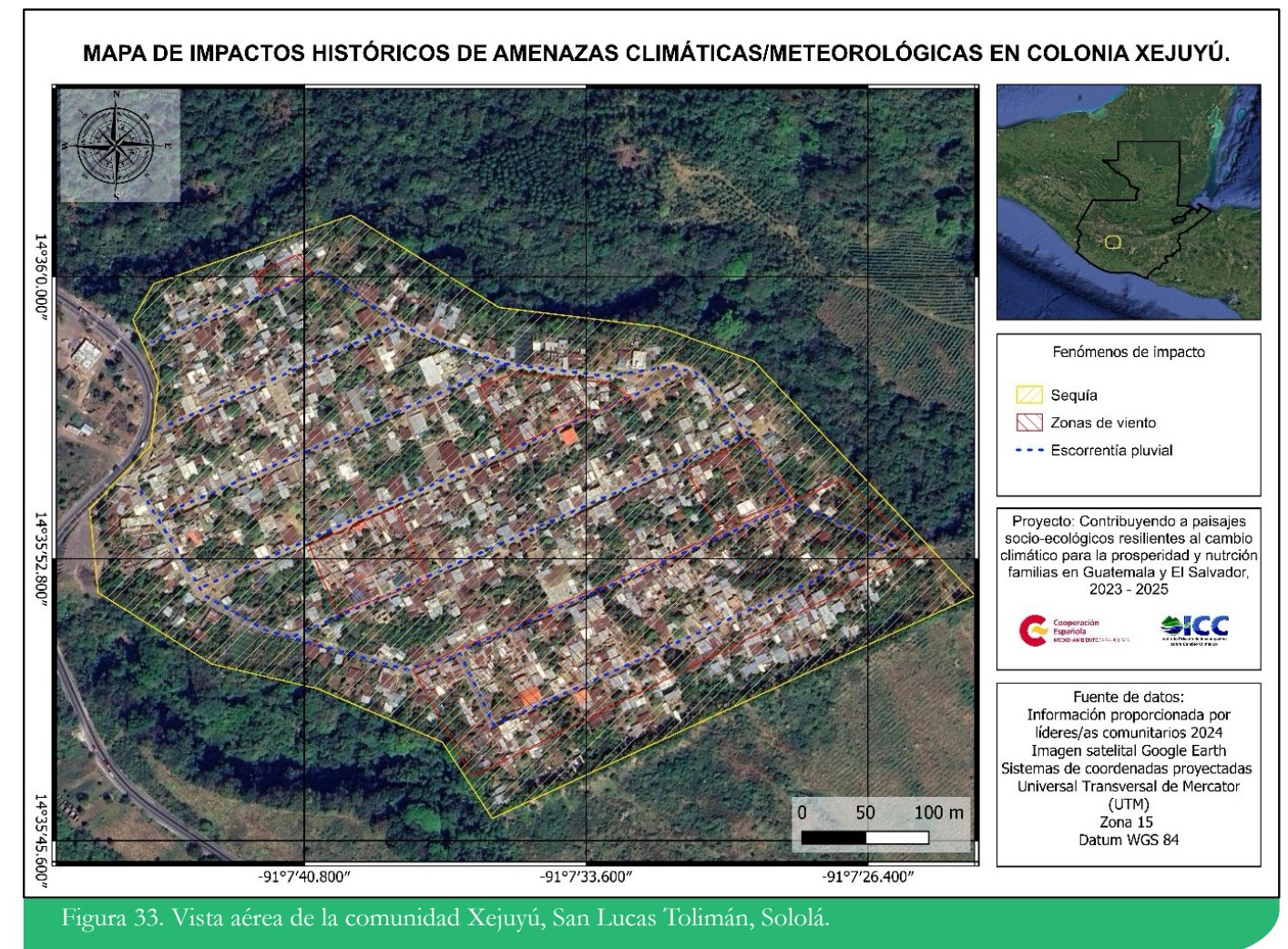


Figura 33. Vista aérea de la comunidad Xejuyú, San Lucas Tolimán, Sololá.

Los participantes argumentaron que las problemáticas de mayor impacto son; fuertes vientos, sequías y escorrentías derivadas de las fuertes lluvias como se enlistan en la figura 33. En base a la percepción los fuertes vientos tienden a ser fenómenos de mayor impacto especialmente por el daño que puede provocar en la infraestructura de viviendas, copas de árboles y el polvo que se levanta por dicho fenómeno lo que atenta contra la salud de la población a través de enfermedades cardio-respiratorias. La sequía o temporada seca afecta a la población con la reducción de la disponibilidad de agua especialmente para consumo humano, lo cual limita su uso y es uno de los factores por lo que en las áreas disponibles no se cuenta con unidades productivas como huertos.

La escorrentía provocada por las fuertes lluvias aunado a una infraestructura con defectos en su sistema de alcantarillado a propiciado que durante la temporada de lluvias sea común la acumulación de las aguas de las zonas altas hacia las zonas bajas lo que detona como inundaciones y/o encharcamientos lo que incrementa problemas con vectores como el zancudo y moscas aunado a los malos olores.

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

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.

En el cuadro seis se identifican los medios de vida que se ven afectados por las amenazas climáticas y el nivel de impacto que dichos fenómenos ejercen sobre las actividades relevantes para la comunidad. Iniciando con la actividad de jornalero, esta se ve afectada de manera directa por el fenómeno de fuertes lluvias, esto se debe a que dicho fenómeno limita las actividades particulares como construcción, actividades agrícolas en la agricultura expuesta a la intemperie, por ende, como se describe en los medios de vida, esta actividad al depender del trabajo y remuneración diaria al no desempeñar dicha actividad no se percibe el recurso necesario para la subsistencia familiar. La actividad pecuaria se describe como una actividad que se ve altamente vulnerable a fenómenos como las fuertes lluvias, dicho fenómeno tiene como consecuencia detonar enfermedades como coriza infeccioso (*Avibacterium paragallinarum*), viruela aviar (*Variola avium*), colera aviar (*Pasteurella multocida*).

La agricultura basada en la producción de café y aguacate tiende a ser vulnerable ante fenómenos como fuertes vientos, fuertes lluvias, sequía y canícula, estos fenómenos tienden a impactar de forma negativa en las fases como floración y a su vez aborto floral, incremento de enfermedades fungosas como roya, la carencia agua repercute en la producción tanto kilogramos por hectárea como por unidad para comercializar.

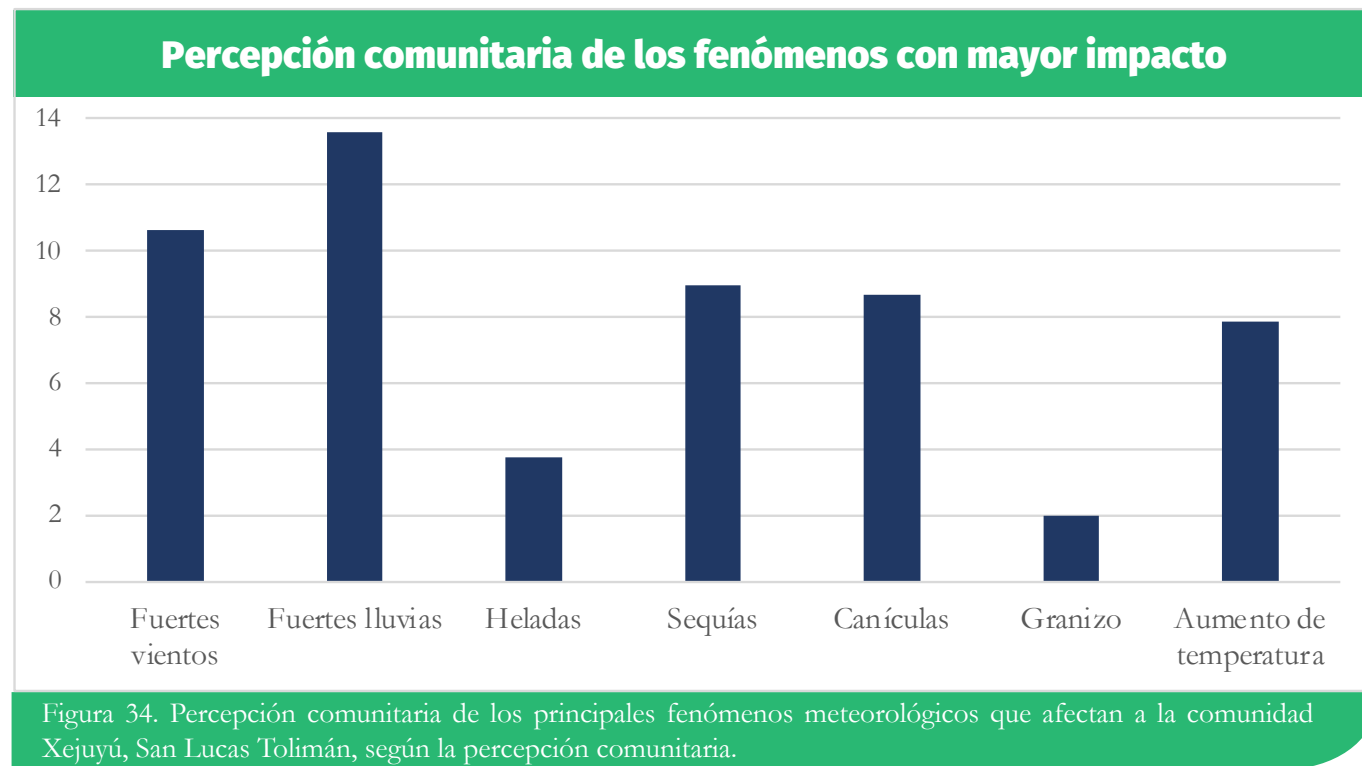
Las actividades como tejidos y comercios locales son actividades que no se ven influenciadas de manera directa por lo fenómenos descritos en el cuadro seis, sin embargo, estas pueden exponerse a fenómenos como tormentas especialmente para los comercios que dependen de la refrigeración y equipo eléctrico.

Cuadro 6. Matriz de vulnerabilidad perceptiva para la comunidad de Xejuyú							
Medios de vida / Amenazas	Fuertes vientos	Fuertes lluvias	Heladas	Sequías	Canícula	Granizo	Aumento de temperatura
Jornaleros	2.16	3	0	2.5	2.5	0	2
Actividad pecuaria Aves	2.29	3	0.33	1.29	1.29	0.43	1.86
Cultivos de café	1.86	2.57	0.57	2.86	2.57	0.71	2.29
Cultivo de aguacate	2.57	2	1.14	2.14	2.14	0.71	1.57
Tejidos	1.14	2.29	1.71	0	0	0.14	0
Comercios	0.567	0.71	0	0.14	0.14	0	0.14

VI. Discusión de resultados

Para el territorio de Xejuyú se evidencia que el acumulado de valores con relación a la percepción local de las amenazas climáticas concuerdan que las fuertes lluvias son los fenómenos de mayor impacto con 13.57 puntos, seguido por los fuertes

vientos que tienden a impactar en la zona foliar de los principales cultivos y techos frágiles, además, es notorio el incremento de temperatura como un fenómeno que es altamente sensible para la población (figura 34)



Para el territorio de San Lucas Tolimán se ha registrado lluvias acumuladas anuales en el rango de 699.3 a 2452.9 mm. El 43.75 % de los registros de acumulados anuales de lluvia se observan en el rango de 933 a 1050 mm, y un 31.2% en rango de 1166 a 1283.9 mm. Los años categorizados como muy lluviosos fueron 1979, 1988, 1999, 2005 y 2014, mientras que los años extremadamente lluviosos fueron, 2008, 2010 y 2011. Los registros de lluvia en un día y en una hora apoyan la percepción comunitaria sobre las lluvias intensas

en las comunidades de San Lucas Tolimán. Los registros revelan que tuvo un evento 322 mm de lluvia, influenciado por la tormenta Agatha (2010); seguido por el acumulado de 252 mm/día influenciado por el huracán Mitch. En cuanto a lluvia acumulada durante hora se registran entre 53 y 62 mm/hora.

Con relación a la canícula, es un fenómeno que es usual en el territorio de San Lucas Tolimán y su influencia se ve reflejada en una reducción de

las lluvias entre los meses de julio y agosto. La percepción comunitaria valoró que tiene efecto sobre los cultivos de café y banano. Se ha observado un cambio en la temperatura promedio anual desde el 2005 hasta el 2023, con base a los registros desde 1979-2023. El modelo lineal sugiere un incremento de temperatura de 0.0248 °C por año; concordando con la percepción comunitaria, manifestada como la existencia de más calor en la actualidad comparada con el pasado.

El incremento de la temperatura afecta la producción de café *Coffea arabica* L., debido a que temperaturas sobre los 23°C junto con deficiencia hídrica produce aborto de flor y formación de

flores estrella, reduciendo el rendimiento de *C. arabica* L. (CENICAFÉ, s.f.), Laderäch et al (2017), encontraron que las condiciones óptimas de temperatura para la producción de café arábigo se subirán a estratos más altos a los que se encuentra actualmente. La producción de café tipo arábigo en Sololá podría reducirse debido a que el incremento de las condiciones térmicas óptimas se encontrarían en estratos altitudinales con precipitaciones anuales que no satisfagan el requerimiento de la especie *C. arabica* L., sin dejar a un lado las implicaciones de la temperatura sobre el comportamiento de plagas y enfermedades para los cultivos.

VII. Conclusiones

El comportamiento de la temperatura (mínima y máxima) en el territorio de San Lucas Tolimán se registran 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 en la clasificación de Thornthwaite de Semiseco cálido y en lado sur clasificado como Húmedo Templado.

La temperatura tiene variaciones durante el año, la temperatura máxima absoluta se incrementa desde el mes de febrero hasta el mes de mayo, reduciéndose una vez en junio, luego se comporta estable entre los 26 y 30 °C.

La dinámica de la temperatura mínima durante el año (natural) es contraria al comportamiento de la temperatura máxima, ya que se reducen a partir de noviembre hasta marzo. El incremento de la temperatura mínima se da a partir del mes de abril y alcanzando los valores más altos desde mayo hasta septiembre.

La temperatura media anual en el territorio del departamento de Sololá denota una tendencia al incremento, en el periodo de 1979 a 2023, esta muestra tendencia al incremento, volviéndose más dramática a partir del año 2005. Dicha tendencia coincide con los modelos predictivos de temperatura, que muestran una proyección al incremento.

Durante la estación lluviosa, los meses de mayo, julio, agosto y octubre son los que mayor cantidad de veces se presentan los mínimos acumulados mensuales de lluvia, siendo estos meses donde se observaría estrés hídrico de los principales cultivos.

Los vientos máximos registrados en San Lucas Tolimán se encuentran entre 53 a 77 km/h, con un comportamiento de altibajos durante el periodo de análisis y con una predominancia de dirección Nor-Noreste, Noreste y Este.

La población de la colonia Xejuyú se basa en los medios de vida de jornalero, amas de casa, textiles (elaboración de indumentaria maya), producción pecuaria de traspatio, cultivo de café y comercios informales locales. Los cultivos de café y aguacate son valores como vulnerables ante la canícula y el incremento de la temperatura.

La producción pecuaria de aves de corral, un medio de vida relevante es afectada por enfermedades prevenibles con programas de vacunación y asepsia.

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. Escribá, M. Rosales-Alconero, & A. Santizo (Eds.), Primer reporte de evaluación del conocimiento sobre cambio climático en Guatemala. (pp. 20–39). Guatemala: Editorial Universitaria UVG.

Cenicafe. (s.f). Agroclimatología del cafeto. <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/859/17/15.%20Agroclimatología%20cafeto.pdf>

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

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>

Gobierno de Guatemala (2010). Evaluación de daños y pérdidas sectoriales y estimación de necesidades ocasionados por desastres naturales en Guatemala entre mayo septiembre de 2010. https://www.gfdrr.org/sites/default/files/Evaluacion_de_danos_y_perdidas_AGATHA_Y_PACAYA_oct_8_2010_reduced.pdf

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>

Krebs, C. 1985. Ecología: Estudio de la Distribución y la Abundancia. México, D.F., Harla, S.A de C.V. Laderach, Peter & Ramirez-Villegas, Julian & Navarro-Racines, Carlos & Zelaya, Carlos &

Martínez Valle, Armando & Jarvis, Andy. (2017). Climate change adaptation of coffee production in space and time. *Climatic Change*. 141:47-62. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-016-1788-9>

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. Vol 2. <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

Pastor, V. 2014. Análisis de los Extremos Climáticos en Europa para el Periodo 1950-2100 EC-Earth Project: RCP4.5 & RCP8.5. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/328767/tfm_vicente.pdf

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-situacion-no-1-sequ-al-28-08-2014>

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

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

Torregrosa, Alicia & Taylor, Maxwell & Flint, Lorraine & Flint, Alan. (2013). Present, Future, and Novel Bioclimates of the San Francisco, California Region. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0058450>

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>

