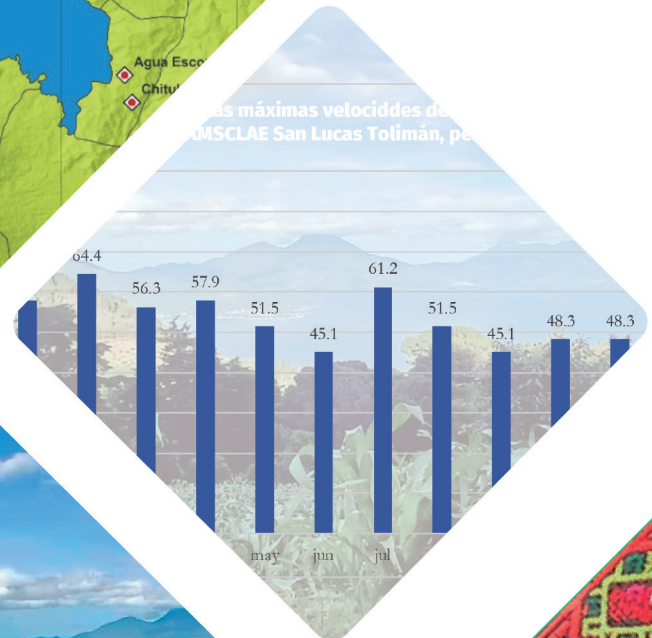
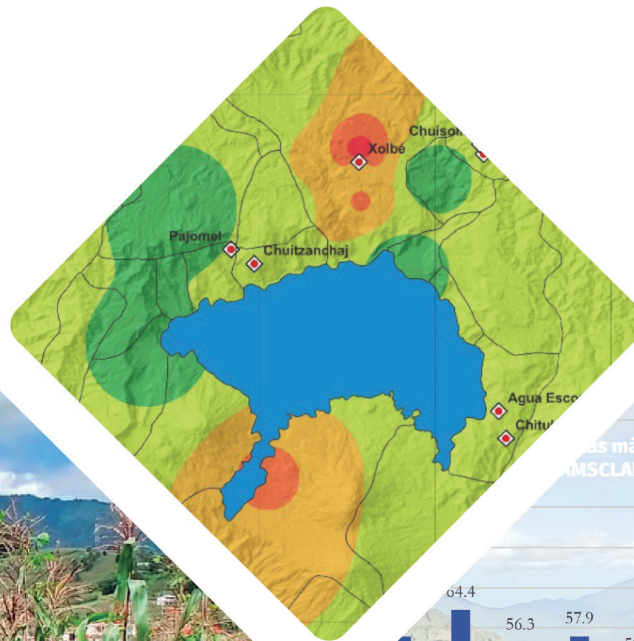


Análisis de vulnerabilidad climática de los medios de vida del caserío Chuitzanchaj, municipio de Santa Cruz la Laguna, departamento de Sololá

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







Cooperación
Española



Instituto Privado de Investigación
sobre Cambio Climático

Análisis de vulnerabilidad climática de los medios de vida del caserío Chuitzanchaj, municipio de Santa Cruz la Laguna, departamento de 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 del caserío Chuitzanchaj, Santa Cruz la Laguna, 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: 978-99939-57-13-3

ICC 2025

Todos los derechos reservados

Índice

I. Introducción.....	11
II. Objetivos.....	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 del municipio de Santa Cruz la Laguna.....	20
5.1.1 Comportamiento climático de la zona norte de la cuenca de lago de Atitlán.....	20
5.1.1.1 Temperatura.....	20
5.1.1.2. Lluvias.....	22
5.1.1.3 Inicio de la estación lluviosa.....	24
5.1.1.4 Lluvias fuertes.....	25
5.1.1.5 Teleconexiones climáticas con variables locales.....	28
5.1.1.6 Sequía/ canícula.....	30
5.1.1.7 Vientos.....	31

5.1.2 Cambios en el clima.....	34
5.1.2.1 Cambios en la lluvia.....	35
5.1.2.2 Cambios en la temperatura.....	36
5.1.2.3 Escenarios climáticos para el departamento de Sololá	37
5.2. Vulnerabilidad climática en el caserío Chuitzanchaj, Santa Cruz la Laguna.	41
5.2.1 Medios de vida del caserío Chuitzanchaj.....	41
5.2.2 Calendario de eventos naturales y actividades socioeconómicas cíclicas en el caserío de . Chuitzanchaj, Santa Cruz la Laguna.....	42
5.2.3. Identificación de amenazas y análisis de vulnerabilidad.....	44
5.2.4. Análisis de vulnerabilidad climática.....	45
VI. Discusión de resultados.....	47
6.1 Sequía	48
6.2. Vientos:	49
6.3 Temperatura:	49
VII. Conclusiones	50
VIII. Referencias	51

Índice de figuras

Figura 1. Ubicación del municipio de Santa Cruz la Laguna, departamento de Sololá.	14
Figura 2. Marco metodológico empleado en el análisis de vulnerabilidad climática.	16
Figura 3. Frecuencia de ocurrencia de temperatura absoluta máxima registradas en estación INSIVUMEH Santa María El Tablón, período 1994-2021 (FDP= Densidad de la Probabilidad; FFA= Probabilidad acumulada).....	20
Figura 4. Temperaturas máximas absolutas mensuales registradas en estación INSIVUMEH Santa María El Tablón, período 1993-2023.....	21
Figura 5. Comportamiento de la temperatura mínima absoluta mensual registrada en estación INSIVUMEH Santa María El Tablón, período 1993-2023.	21
Figura 6. Correlación lineal de la lluvia acumulada anual entre las estaciones INSIVUMEH Labor Ovalle, Santiago Atitlán y Santa María El Tablón, período de referencia: 1991-2023.....	22
Figura 7. Lluvia acumulada anual registrada en las estaciones meteorológicas del INSIVUMEH Santiago Atitlán y Santa María El Tablón, Sololá; período 1991-2023.	23
Figura 8. Lluvia acumulada mensual registrada en la estación INSIVUMEH Santa María, El Tablón, Período 1994 - 2024.....	24
Figura 9. Lluvia acumulada máxima, lluvia mínima mensual (mm) y lluvia registrada en la estación meteorológica INSIVUMEH Santa María El Tablón, periodo 1993-2020...25	25
Figura 10. Eventos con lluvia acumulada mensual superior a la probabilidad de ocurrencia de lluvia de 90% mensual, registrados en estación INSIVUMEH El Tablón, periodo 1993-2020.....	26
Figura 11. 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.....	27
Figura 12. Mapa de distribución de máximos acumulados de lluvia en una hora en el departamento de Sololá.....	28
Figura 13. Anomalía de lluvia expresada en porcentaje del promedio anual del periodo 1990-2023, registrado en las estaciones de INSIVUMEH Santa María El Tablón y Santiago Atitlán.	29

Figura 14. Cantidad de eventos con lluvia mensual inferior a las probabilidades 25% y 10% (seco y muy seco) y superiores a las probabilidades 75% y 90% (lluvioso y muy lluvioso....	30
Figura 15. Anomalía de lluvia bimestral mayo-junio, junio-julio y julio-agosto, estación Santa María, El Tablón.....	31
Figura 16. Frecuencia de velocidades máximas en Chuitzanchaj, Santa Cruz La Laguna.....	32
Figura 17. Frecuencia relativa y dirección de la velocidad máxima de viento	32
Figura 18. Mapa de velocidad y dirección de los vientos con máxima velocidad registrados en el municipio de Santa Cruz la Laguna, en el período 2021-2023	33
Figura 19. Mapa de clasificación del viento en la escala Beaufort que afectó al municipio de Santa Cruz la Laguna, Sololá, en el periodo 2021-2023.	34
Figura 20. Tendencia de precipitación anual en Guatemala.....	35
Figura 21. Tendencia de precipitación extrema anual en Guatemala	36
Figura 22. Temperatura promedio anual en estación INSIVUMEH Santa María El Tablón, periodo 1994-2023.....	37
Figura 23. Comportamiento de cambios (diferencia a mediados del siglo comparado con el año 2000) en la temperatura máxima en el territorio del municipio de Santa Cruz la Laguna.	38
Figura 24. Comportamiento de cambios (diferencia a mediados del siglo) comparación de los años 2000-2050 en la temperatura mínima en el territorio del municipio de Santa Cruz la Laguna, departamento de Sololá, Guatemala.....	39
Figura 25. 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 Santa Cruz la Laguna, departamento de Sololá, Guatemala.....	40
Figura 26. Mapa de impactos históricos de amenazas climáticas/meteorológicas en el caserío Chuitzanchaj, Santa Cruz la Laguna	44
Figura 27. Ponderación acumulado de impactos sobre los medios de via del caserío Chitzañchaj, Santa Cruz La Laguna.....	47
Figura 28 Mapa de amenaza por deslizamiento por el método de Mora-Vahrson para el departamento de Sololá	48

Índice de cuadros

Cuadro 1. Ecuaciones de correlación y coeficientes de determinación de la lluvia anual de las estaciones meteorológicas de INSIVUMEH: Santiago Atitlán, Santa María El Tablón y Labor Ovalle.....	23
Cuadro 2. Lluvia máxima acumulada en un día durante los fenómenos meteorológicos ocurridos en el periodo 1991-2023 en Sololá.....	27
Cuadro 3. Medios de vida más importantes del caserío Chuitzanchaj.	41
Cuadro 4. Calendario estacional para el caserío Chuitzanchaj, Santa Cruz la Laguna.	43
Cuadro 5. Matriz de vulnerabilidad perceptiva para el caserío Chuitzanchaj.....	45

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 internos naturales o a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropógenos (emisiones de gases de efecto invernadero) persistentes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo como afirma IPCC (2014). En los últimos decenios, los cambios en el clima han causado impactos en los sistemas naturales y humanos en todos los continentes y océanos. Las evidencias de los impactos del cambio climático son más sólidas y completa para los sistemas naturales.

El presente documento sintetiza los principales hallazgos de cambios en el comportamiento de variables meteorológicas para el territorio del departamento de Sololá y con influencia sobre el caserío Chuitzanchaj municipio de Santa Cruz la Laguna. 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 el 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. Sin embargo, el acumulado de mayo de 2024 destaca con el menor acumulado de lluvia (17.6 mm) de todos los registros históricos de la zona.

A través de herramientas participativas se identificaron las zonas expuestas a las siguientes amenazas: Sequías, fuertes lluvias y fuertes vientos, amenazas no climáticas como deslizamientos y acumulación de sedimentos por escorrentía. En cuanto a vulnerabilidad climática de los principales medios de vida del caserío Chuitzanchaj, resalta la actividad de ama de casa, agricultura, tejeduría, actividades pecuarias basadas en la avicultura, entre otras actividades.

La agricultura es la actividad más vulnerable ante las amenazas descritas como fuertes vientos, fuertes lluvias, sequía y aumento de la temperatura. La percepción comunitaria sobre el incremento de temperatura concuerda con los registros históricos de la estación Santa María El Tablón, con una tendencia clara de incremento de la temperatura a partir del año 2009.

El conocimiento generado a través de este informe se convierte en una herramienta para la identificación de amenazas puntuales. 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 de los principales medios de vida de la población del caserío Chuitzanchaj, Santa Cruz la Laguna ante la variabilidad y el cambio climático.

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 percepción comunitaria.

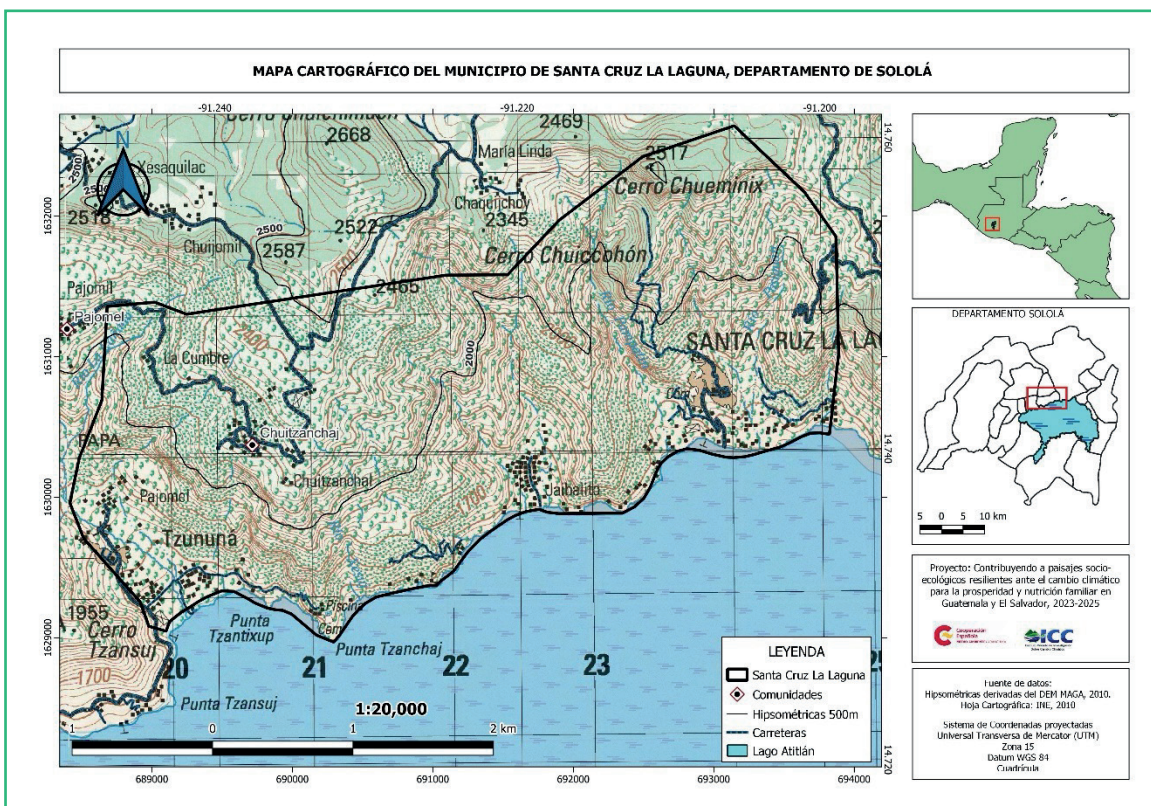
III. ÁREA DE ESTUDIO

El municipio de Santa Cruz La Laguna se ubica al noroeste del lago de Atitlán (Figura 1), colindando al norte con el municipio de San José Chacayá, al sur con el lago de Atitlán, al este con el municipio de Sololá y al oeste con el municipio de San Marcos La Laguna. El municipio está comprendido entre las coordenadas geográficas 14.277° a 14.671 latitud norte y 91.19° a 91.250° longitud oeste.

El municipio de Santa Cruz La Laguna se ubica entre las altitudes de 1,545 hasta los 2,554 msnm. El 7.5% del área se encuentra entre la altitud de nivel del lago de Atitlán hasta los 1,600 msnm; entre los 1,601 a 1,700 msnm se encuentra el

14.08% del territorio del municipio; los poblados en el municipio se encuentran desde los 1,553 hasta los 1,740 msnm, siendo los poblados Jaibalito, Tzununá y la cabecera municipal de Santa Cruz La Laguna.

Entre los 1,700 y 2,100 msnm se encuentra el talud que rodea el Lago de Atitlán, este rango altitudinal ocupa el 45.95% del territorio del municipio y no se encuentra habitado, las razones son las pendientes que superan los 45° de inclinación y no existe acceso terrestre. Entre los 2,100 y 2,200 msnm se encuentra el 12% del territorio del municipio, localizándose en dicho estrato el caserío Chuitzanchaj, existiendo



vías terrestres que comunican hacia el altiplano de Sololá y municipios vecinos y entre las altitudes 2,200 y 2,554 msnm se encuentra el 20.27% del territorio. El municipio Santa Cruz La Laguna tiene comunicación por una sola vía terrestre que comunica desde ciudad de Sololá a (ruta RD Sol-04) hasta la cabecera municipal (SEGEPLAN, 2022). La principal ruta de comunicación del municipio hacia el resto de los municipios del departamento es vía acuática por medio de embarcaciones.

El municipio de Santa Cruz La Laguna se encuentra ubicado en el departamento de Sololá y cuenta con una extensión territorial de 12 km², el cual equivale al 1.13% del territorio departamental, el municipio en su totalidad forma parte de la reserva de usos múltiples de la cuenca del Lago de Atitlán –RUMCLA-, es uno de los diez municipios que se ubica en la ribera del lago (SEGEPLAN, 2022).

Los suelos del municipio mayoritariamente son del orden Andisol e Inceptisol. En menor proporción se encuentran del orden Entisoles y Molisoles. Los suelos andisoles presentan baja densidad aparente y baja capacidad de retención de humedad y los suelos inceptisoles son suelos minerales de baja evolución, pero con horizontes bien diferenciado. En cuanto al origen de los suelos, se encuentran de tipo piroclástico no consolidados (cenizas y pómez), piroclástico consolidados (tobas), clásticos gravigénicos, y clástico hidro-volcánicos (MAGA, 2013).

Según la clasificación Thornthwaite citado en (MAGA, 2013) el clima de la región corresponde al tipo “semifrío húmedo” (Código S), que se caracteriza por presentar rangos de temperaturas medias anuales entre 14.3 y 17.0 °C y un rango de precipitaciones de 1,001 a 2,000 mm anuales y un rango altitudinal entre 1,800 a 2,300 msnm.

El municipio se ubica dentro de la Zonas de Vida (Sistema Holdridge, De La Cruz, 1983) denominada bosque húmedo +montano bajo subtropical (bh-MB), cuyas especies indicadoras son encino (*Quercus* spp.), pino triste (*Pinus pseudostrobus*), pino de ocote (*Pinus montezumae*), ilamo (*Alnus jorullensis*), capulín (*Prunus capulli*), madrón de tierra fría (*Arbutus xalapensis*) y otros.

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). Con base a dicho informe del IPCC, 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.

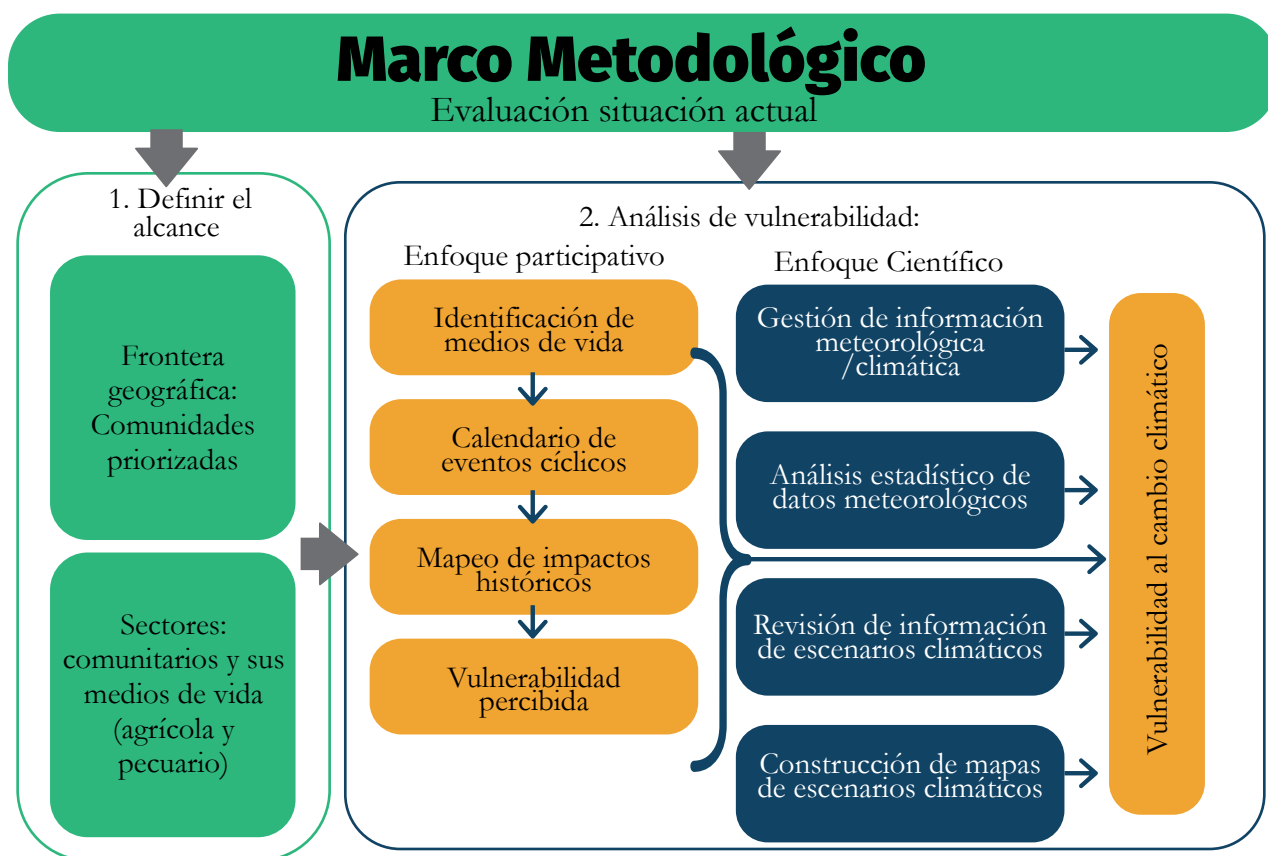


Figura 2. Marco metodológico empleado en el análisis de vulnerabilidad climática.

Uno de los primeros pasos fue la definición de la escala espacial y se basó en la delimitación de la comunidad (caserío), en función de 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 de 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 Santa Cruz la Laguna.

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.
- 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 medios de vida de mayor relevancia dentro del caserío, 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 periodos 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 del caserío. Por medio de la elaboración de un croquis de la localidad se identificaron los principales elementos del caserío 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 meteorológicos/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 valoración en 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 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: Santiago Atitlán, Santa María El Tablón y El Capitán. Los datos correspondientes se registran a partir de 1994 hasta el año 2023. Así mismo, se gestionó información meteorológica de las estaciones que administra AMSCLAE 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 Se efectuó un análisis a los datos de temperatura máxima y mínima, absolutos y promedios mensuales. El análisis consistió en estadística descriptiva para determinar las medidas de tendencia central y de dispersión. Además, agrupamiento de datos 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%. El análisis de tendencia de temperatura se realizó mediante el de promedio anual de temperatura, máximos y mínimos absolutos y su respectiva media móvil con período de 5 años.

4.3.5 Para el análisis de lluvia, se realizó 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 una 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 la AMSCLAE con período de registro desde 2021-2023. Además, se complementaron con datos de las estaciones meteorológicas de Santo Tomás Pachuj con registros desde 2019 y San Jerónimo Miramar con registros desde 2013, ambas de la Asociación Nacional de Café -ANACAFÉ.

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 escenarios climáticos, se empleó el producto generado de la Universidad de Nebraska para Guatemala a una resolución espacial de 4Km. 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

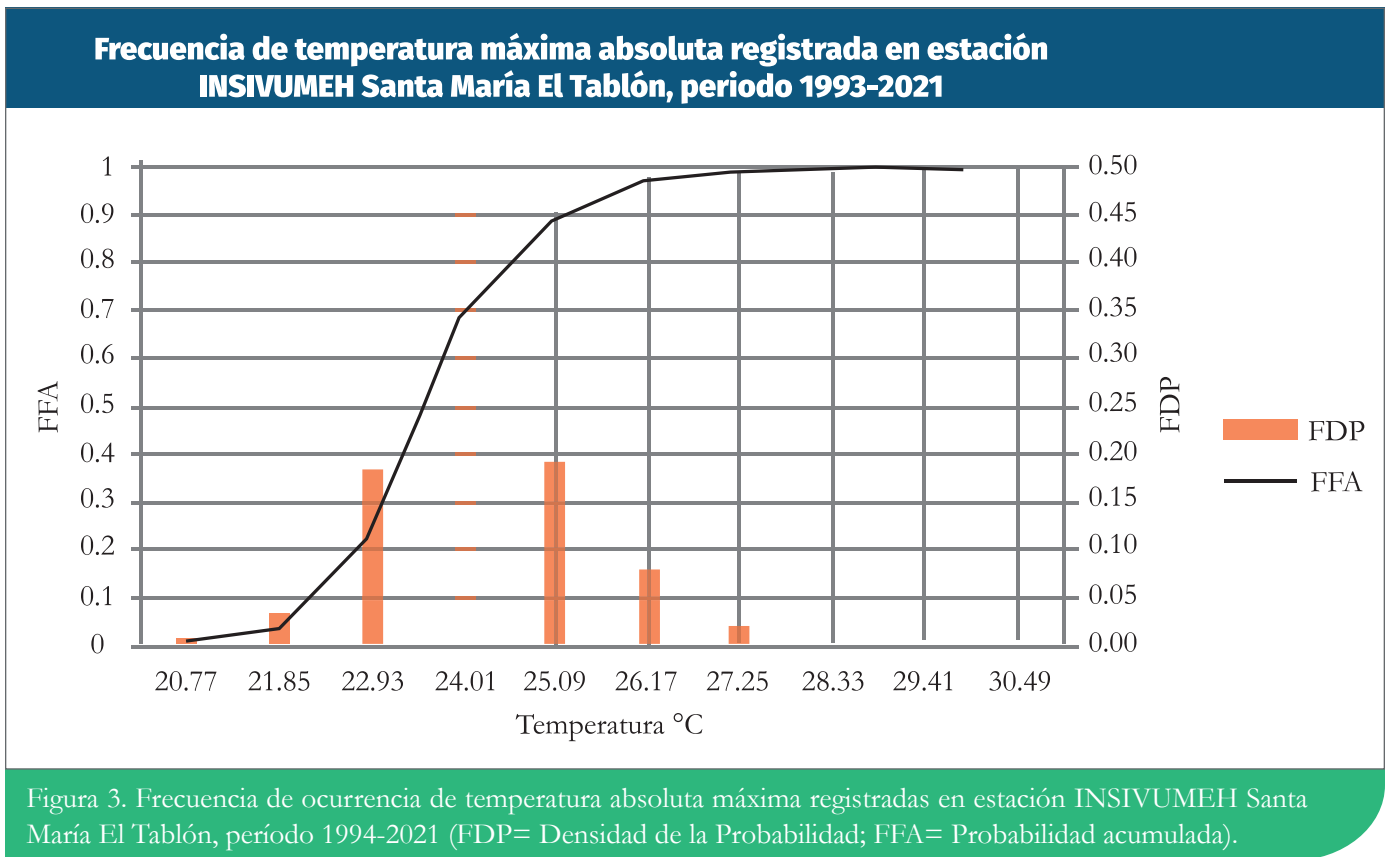
5.1. Análisis de vulnerabilidad climática del municipio de Santa Cruz la Laguna.

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

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

5.1.1.1 Temperatura

La temperatura máxima absoluta mensual con mayor frecuencia (Figura 3), se encuentra en el rango de 22.94 a 24.0°C, con el 47.9% de los registros; mientras que un 19% de los registros de temperaturas se contabilizan entre 24.02°C y 25.09°C. Las temperaturas entre 25.1°C a 30.49°C son temperaturas extremas para el período analizado, ya que éstas superan la probabilidad empírica del 90% de los registros de temperatura.



Comportamiento de la temperatura máxima mensual registrada en estación INSIVUMEH Santa María El Tablón, período 1993-2023

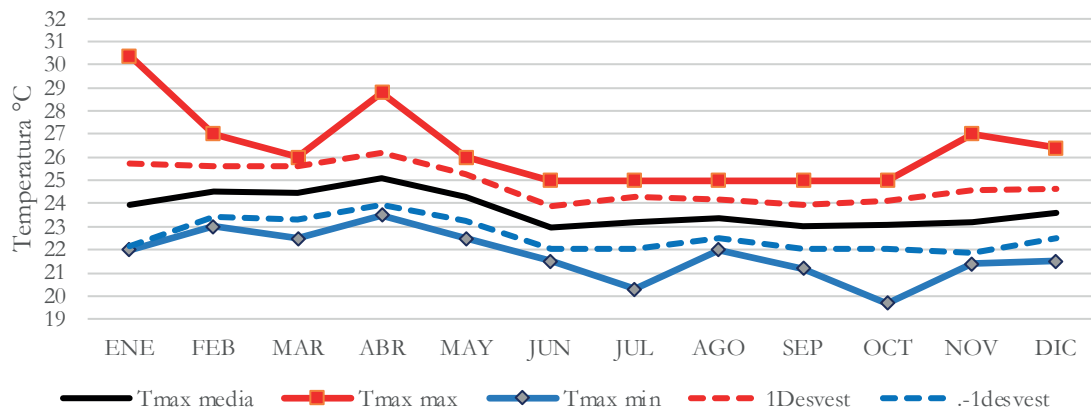


Figura 4. Temperaturas máximas absolutas mensuales registradas en estación INSIVUMEH Santa María El Tablón, período 1993-2023.

El comportamiento de la temperatura máxima mensual tiende a incrementarse desde el mes de noviembre (Figura 4) hasta alcanzar los registros más altos de temperatura en los meses de enero y abril, y descendiendo en mayo y junio. A partir de junio hasta octubre se registran los valores más bajos de temperaturas máximas durante el año. Los

valores de temperaturas máximas van desde los 19.7°C hasta los 30.5°C. La temperatura máxima representa la temperatura diurna, por lo tanto, los días más frescos se presentan en los meses de junio a octubre, mientras que, los días más calurosos se registran en el mes de noviembre a mayo (Figura 4).

Comportamiento de la temperatura mínima mensual registrada en estación INSIVUMEH Santa María El Tablón, período 1993-2023

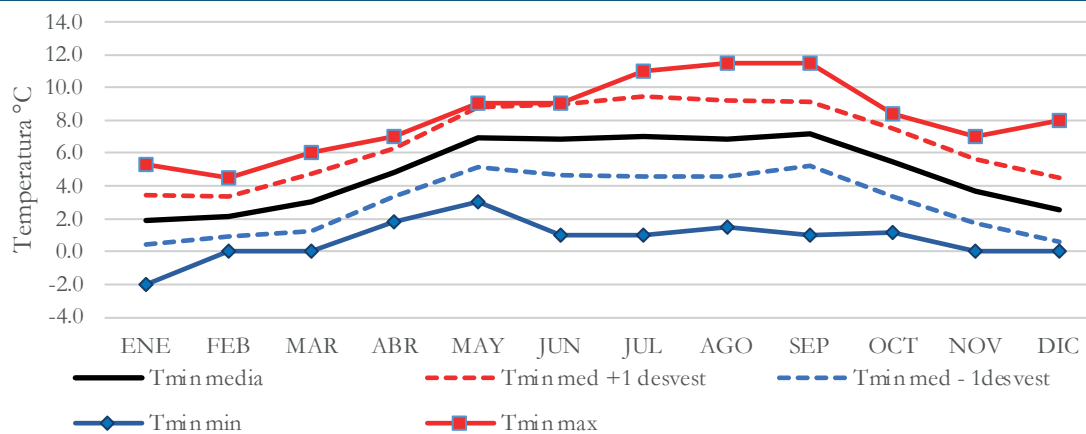


Figura 5. Comportamiento de la temperatura mínima absoluta mensual registrada en estación INSIVUMEH Santa María El Tablón, período 1993-2023.

La temperatura mínima, que representan la temperatura más fría que se siente durante la noche y la madrugada, muestra un comportamiento anual contrario al de la temperatura máxima (Figura 5). En la zona norte del departamento de Sololá, las noches o madrugadas más frías del año se registran entre noviembre y marzo, mientras que el período con noche o madrugadas más cálidos (valores altos) se presentan desde abril hasta octubre. Los registros de la estación Santa María El Tablón, período 1993-2020, revelan que la temperatura mínima absoluta promedio es de 4.93°C. Las temperaturas comunes o con mayor frecuencia son las que se encuentran entre las probabilidades de ocurrencia del 25 y 75%, siendo de 3.07°C y 6.79°C, respectivamente.

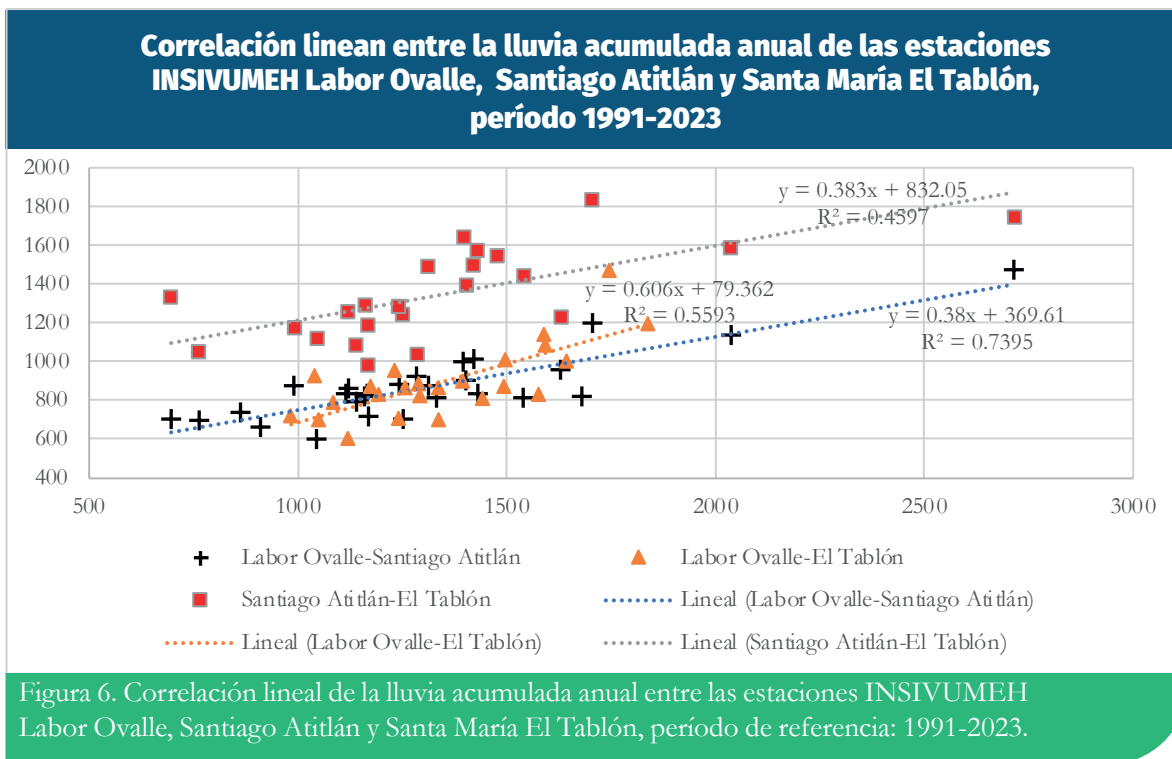
Por otro lado, se identifican temperaturas mínimas extremas con valores inferiores a 1.4°C, que son eventos poco comunes por debajo del 10% de probabilidad, mientras que la temperatura que excede el 90% probabilidad de ocurrencia, son aquellas superiores a 8.47°C. Las noches/madrugadas frías para la zona de

estudio son aquellas donde la temperatura se encuentra entre 1.4°C y 3.07°C. Estos eventos, más frecuentes desde noviembre hasta marzo, y que podrían representar una amenaza para la salud humana (podría provocar infecciones respiratorias) y para animales de traspatio.

5.1.1.2. Lluvias

Como se mencionó, el análisis de la lluvia (precipitación) en el departamento de Sololá se efectuó utilizando datos de las estaciones de referencia Santa María, El Tablón y Santiago Atitlán. Además, se incluyó la estación de Labor Ovalle, ubicada en el departamento de Quetzaltenango.

El análisis mostró una correlación lineal positiva entre la lluvia registrada en las estaciones mencionadas, siendo más alta entre las estaciones Santiago Atitlán y Labor Ovalle (R2 0.74). La correlación entre las estaciones Santiago Atitlán y Santa María El Tablón fue moderada (R2 0.459), mientras que entre las estaciones Labor Ovalle y Santa María El Tablón, el coeficiente fue R2 0.559.



Cuadro 1. Ecuaciones de correlación y coeficientes de determinación de la lluvia anual de las estaciones meteorológicas de INSIVUMEH: Santiago Atitlán, Santa María El Tablón y Labor Ovalle.

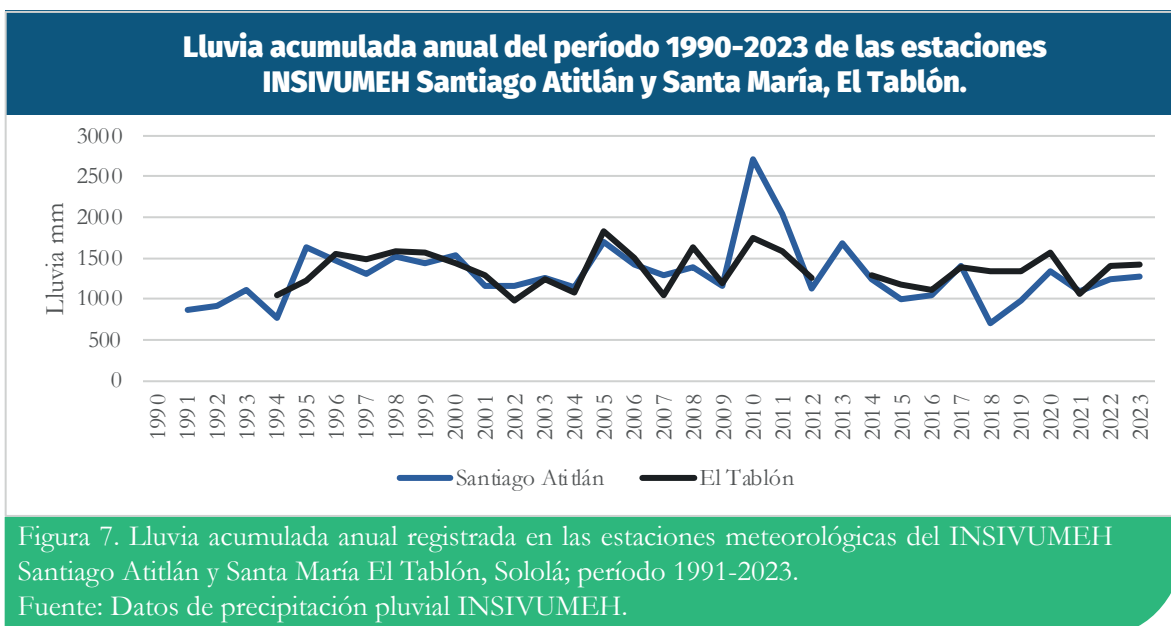
X	Y Labor Ovalle		Y El Tablón	
	Ecuación	R ²	Ecuación	R ²
Santiago Atitlán	$y = 0.38x + 369.61$	0.74	$y = 0.383x + 832.05$	0.46
El Tablón	$y = 0.606x + 79.362$	0.559		

La relación entre la precipitación en la región del departamento de Sololá puede estar influenciada por el efecto climático continental. Se estimó el índice continental térmico que categoriza al clima de la zona de influencia de las tres estaciones como un clima Semicontinental.

El índice continental termo pluviométrico propuesto por Del Valle, J. (1991), considera la diferencia pluviométrica entre la época lluviosa

y la no lluviosa. Para los datos registrados por las estaciones Santiago Atitlán y Labor Ovalle presentan un mayor índice continental que en el caso de Santa María El Tablón, con índices de 29.6, 16.4 y 6.9, respectivamente.

La lluvia acumulada anual registrada en el periodo 1993-2023 para la zona norte-este del departamento de Sololá (estación Santa María el Tablón) está comprendida entre 975 mm y 1837mm.



En el departamento de Sololá, la lluvia interanual varía en un 40 % con respecto al promedio anual del período 1990-2023, según datos de las estaciones del INSIVUMEH en Santiago Atitlán y Santa María, El Tablón. El año 2010, presentó el acumulado anual más extremo, superando en 107% el promedio anual en la estación Santiago Atitlán y el 28 % en la estación Santa María, El Tablón.

5.1.1.3 Inicio de la estación lluviosa

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, S.f). La ocurrencia de la lluvia en las cantidades que supere la evapotranspiración potencial mensual se ha observado desde abril en la estación Santa María, El Tablón. Mientras que en la estación Santiago Atitlán, la lluvia ha superado la evapotranspiración mensual en el registro de 29 años con un evento en febrero, un evento en marzo y un evento en abril, estando asociados, posiblemente a los frentes fríos de la temporada invierno-primavera en el hemisferio norte.

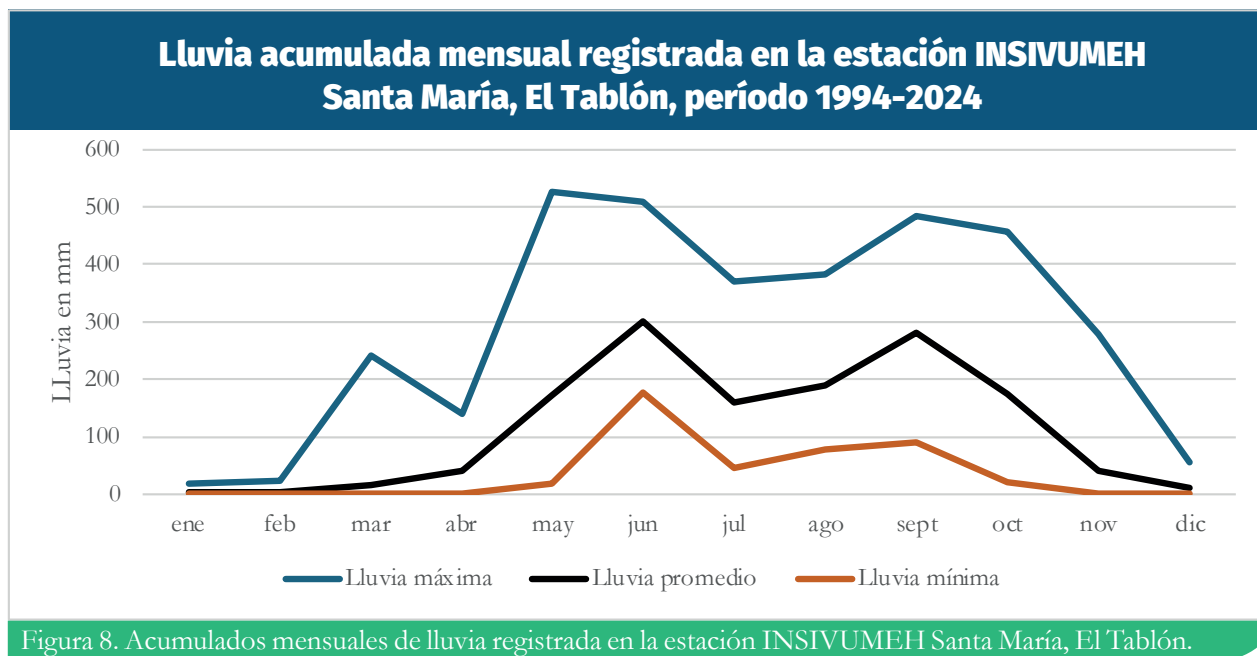


Figura 8. Acumulados mensuales de lluvia registrada en la estación INSIVUMEH Santa María, El Tablón.

Los registros de lluvias en la estación del INSIVUMEH Santa María El Tablón, período 1993-2024, muestran la ocurrencia de lluvias entre enero y abril, sin embargo, dentro este periodo en otros años no se registraron lluvias. A partir de abril, la lluvia se incrementa con un promedio de 41.5mm. Los valores

de lluvia entre los percentiles 25 y 75, oscilan entre 18.1 mm y 64.9 mm, respectivamente. El máximo acumulado registrado en abril fue de 139.8mm, mientras que en algunos años la precipitación fue nula. Entre mayo - noviembre no se registraron meses sin lluvia en el periodo de observación mencionado.

5.1.1.4 Lluvias fuertes

En los registros mensuales de la estación Santa María El Tablón, se tienen acumulados de lluvia que han excedido los valores del percentil 90, que son eventos extremos entre los registros máximos (Figura 9). Los eventos extremos de lluvia mensual fueron, en mayo de 2010 con 527 mm, junio de 2005 con 469.1 mm, julio de 2011 con 368 mm, agosto de 2010 con 382 mm, septiembre de 1997 con 422.6 mm, octubre de 2019 con 456.1 y noviembre de 1998 con 279.4 mm; dichos eventos de máximos acumulados mensuales se asocian a la influencia de eventos ciclónicos tropicales, tales como: el huracán Mitch (26 de octubre y 4 de noviembre de 1998), el huracán Stan (3 y 5 de octubre de

2005), la tormenta Agatha (mayo de 2010), la depresión tropical 12E (octubre de 2011). Se han registrado otros acumulados mensuales de lluvia que han excedido el percentil 90, sin estar asociados a fenómenos ciclónicos tropicales, por ejemplo: un evento ocurrió en mayo, tres en junio, dos en julio, tres en agosto, dos en septiembre y tres en octubre.

Los datos meteorológicos (2015 – 2023) específicos para el municipio de Santa Cruz La Laguna (CEDRACC-Vivamos Mejor), registran el máximo acumulado mensual para junio de 2021 con 514.4 mm, seguido por mayo de 2022 y julio 2020 con 358.2 mm y 261.2 mm, respectivamente.

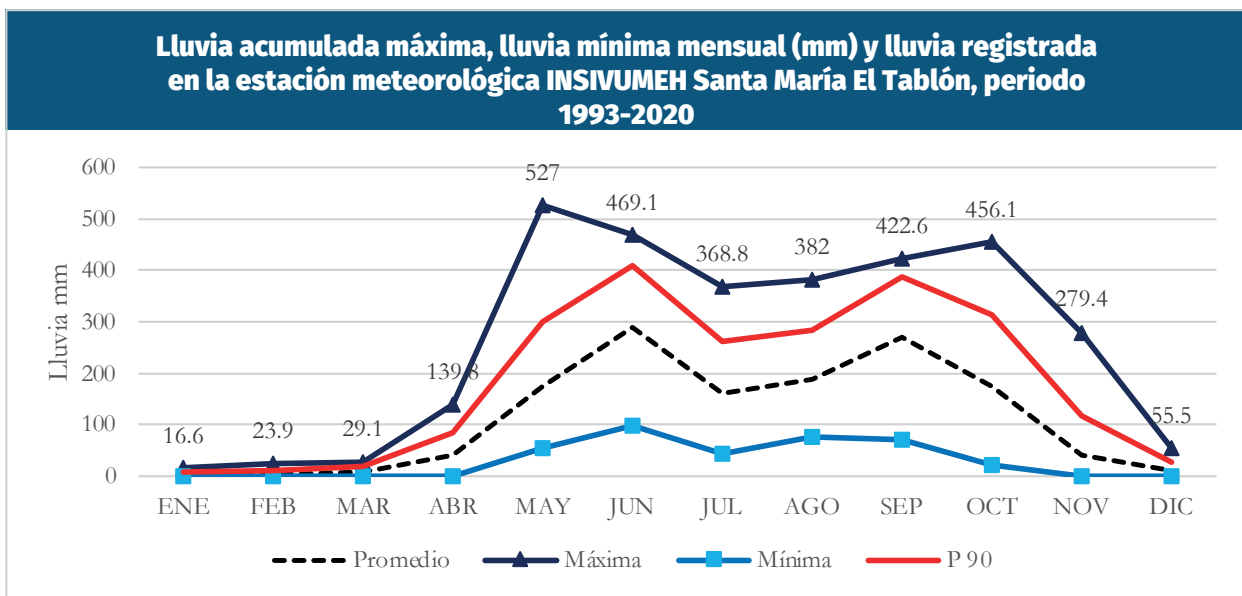


Figura 9. Comportamiento de la lluvia acumulada mensual máxima, mínima, promedio y lluvia en el percentil 90, estación meteorológica de INSIVUMEH Santa María El Tablón.

La figura 10 presenta las lluvias con mayores acumulados mensuales registradas en la estación de Santa María El Tablón. Los acumulados mensuales de lluvia se consideran extremas, que superan el percentil 90 de los registros de lluvia.

Para la zona norte del departamento de Sololá se registró en mayo de 2010 un acumulado de 527 mm. Seguido de 456.1 mm de lluvia acumulada en octubre de 2005.

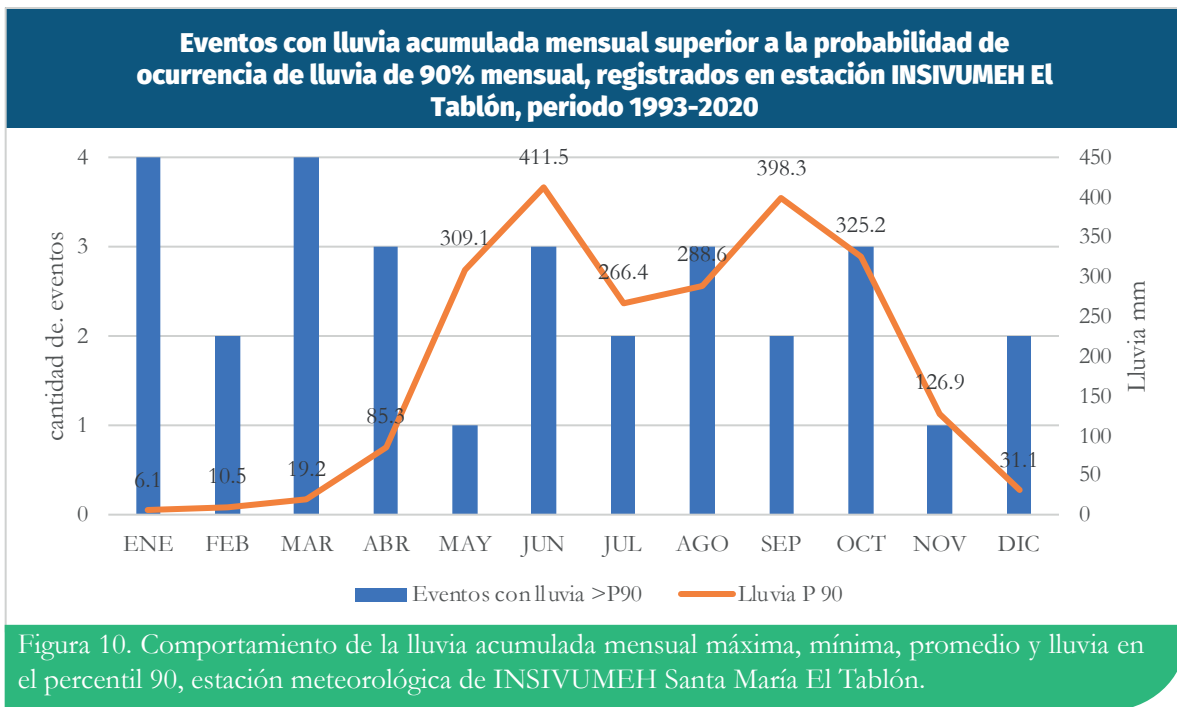


Figura 10. Comportamiento de la lluvia acumulada mensual máxima, mínima, promedio y lluvia en el percentil 90, estación meteorológica de INSIVUMEH Santa María El Tablón.

Los máximos acumulados mensuales, como se indicó, se asocian a fenómenos meteorológicos de gran escala, como ciclones tropicales en sus diferentes categorías, fenómenos que han tenido impacto en el departamento de Sololá, como el huracán Stan (octubre de 2005), donde la lluvia acumulada de octubre fue de 386.5mm, que superó el percentil 90 de lluvias de octubre en la estación Santa María, El Tablón.

El máximo acumulado de lluvia diario para la zona norte del departamento de Sololá se registró para el 30 de mayo de 2010 con 215.8 mm debido a los efectos la tormenta Agatha. Otros eventos significativos incluyen el 03 de junio de 2014 con 180.5 mm y el 05 de octubre de 2005 166 mm por efectos de la tormenta Stan. En cuanto a datos más recientes (2020-2024), el mayor acumulado diario fue 109.5 mm, registrado el 16 de junio de 2024, sin influencia de evento ciclónico. En el caso específico del caserío de Chuitzanchaj, las lluvias máximas registradas en una hora se encuentran en el rango de 30 mm a 69.4 mm/día.

En la estación de Santiago Atitlán (zona sur del departamento), la lluvia en octubre de 2005 fue de 496.1mm, superando la probabilidad del 90% (333 mm) para ese mes. Dicho fenómeno tropical generó lluvias extremas que detonó deslizamientos de tierra que soterró las comunidades de Panabaj y Tzanchaj (INSIVUMEH, 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

La figura 11 muestra la distribución espacial de las lluvias máximas registrada en un día en el territorio del departamento de Sololá (combinando datos de todas las estaciones disponibles para el territorio). Donde resalta que el territorio de San Lucas Tolimán y

San Antonio Palopó fueron afectados por acumulados superiores a los 279 mm/día. Para el caso de la zona norte del departamento, predominan acumulados de lluvia menores a 236 mm/día (color azul).

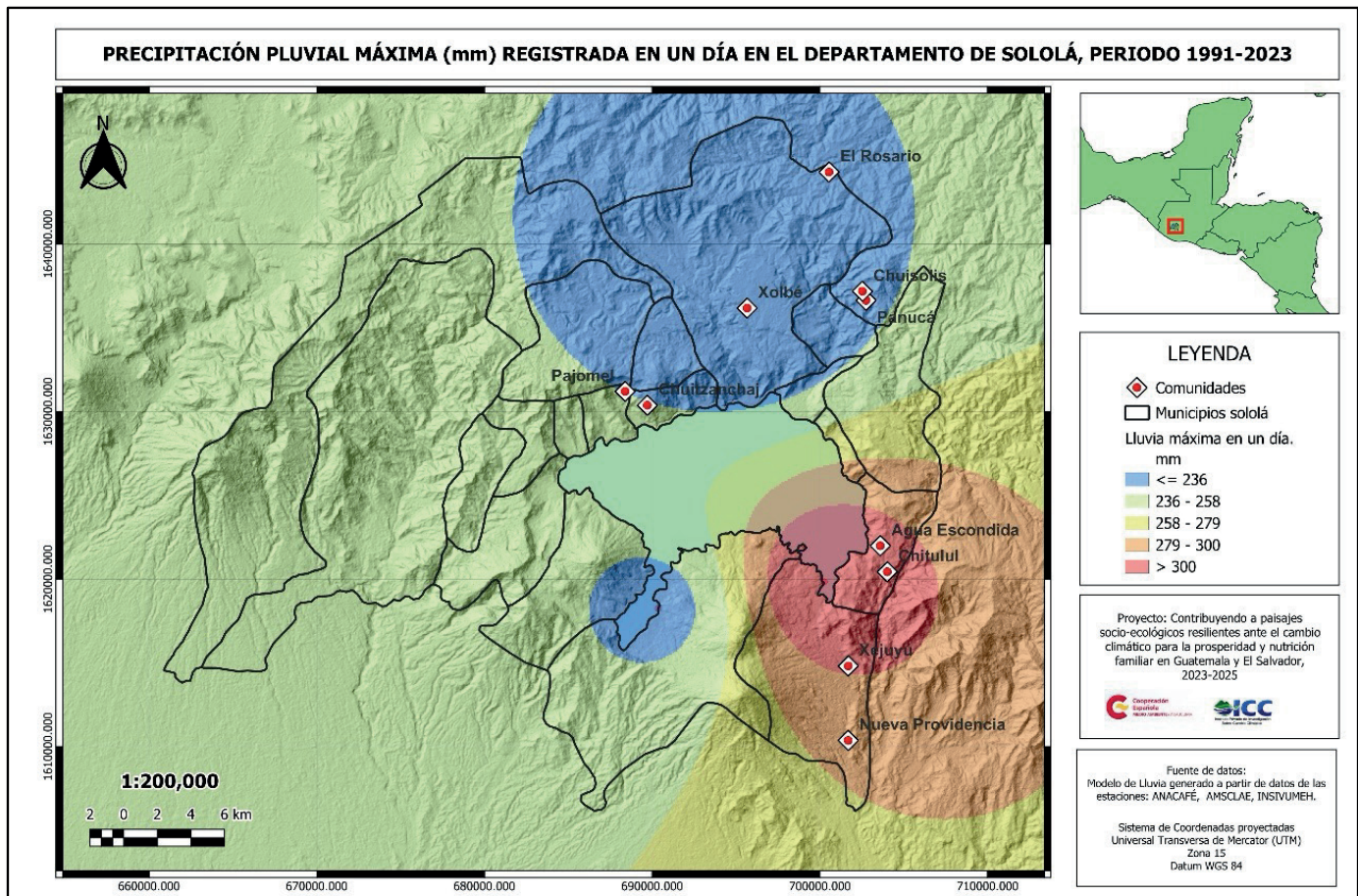


Figura 11. Mapa de eventos de lluvia máxima registrada en un día en las estaciones del INSIVUMEH El Capitán, El Tablón y Santiago Atitlán, periodo 1991-2023.

En cuanto a la distribución espacial de los máximos acumulados de lluvia durante una hora (Figura 12), resalta que la zona norte del departamento de Sololá y en el municipio de

Santa Cruz la Laguna se han presentado lluvias mayores a 60 milímetros en una hora, lluvia clasificada según la AEMET (2023) como lluvias torrenciales.

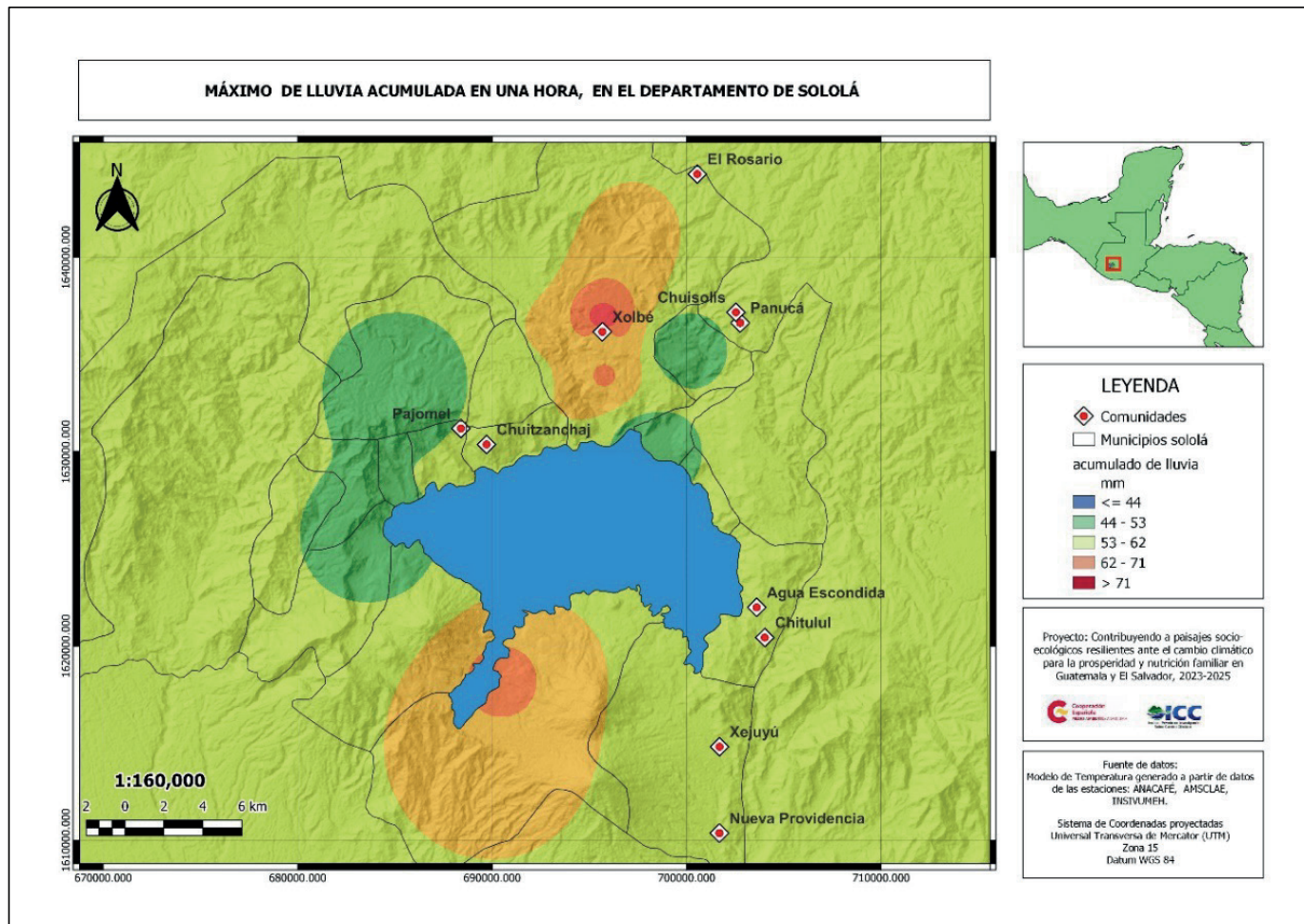


Figura 12. Mapa de distribución de máximos acumulados de lluvia en una hora en el departamento de Sololá. Fuente. Mapa elaborado con datos de INSIVUMEH, ANACAFÉ, AMSCLAE.

5.1.1.5 Teleconexiones climáticas con variables locales

Uno fenómeno de influencia en las condiciones climáticas de Guatemala y Centroamérica, es el fenómeno de El Niño y su fase fría, denominada La Niña. La reducción de la temperatura de las aguas superficiales del océano Pacífico a menos del valor promedio alcanzando -0.5°C , se considera como una fase fría y se

cataloga como “La Niña”, mientras que, si la temperatura de las aguas superficiales del océano Pacífico es superior al promedio a más de 0.5°C se cataloga como “El Niño” y es la fase cálida del ENOS (CIIFEN, 2017). El efecto de este fenómeno influye en la lluvia que se registra en el departamento de Sololá y todo el territorio guatemalteco en general, dado a esas teleconexiones climáticas existentes.

El análisis de relación entre la temperatura del océano Pacífico, en la región de El Niño 3.4, y la anomalía de lluvia acumulada en el departamento de Sololá, reveló una moderada influencia, pero consistente (figura 13) sobre el comportamiento de las lluvias. Se observó que, cuando la temperatura del océano Pacífico se enfría (Fenómeno de La Niña) por debajo de lo normal (Promedio), existe una tendencia hacia un incremento en la cantidad (volumen) de lluvias para el departamento de Sololá.

Por el contrario, cuando la temperatura del Pacífico se calienta (Fase cálida de El Niño)

por arriba de lo normal, se observa una reducción de la cantidad o volumen de las lluvias. Dicha relación se cuantificó por medio de la correlación de Pearson, 0.55 para los datos de la estación de Santiago Atitlán y 0.52 para Santa María, El Tablón. Sin embargo, los coeficientes de determinación R^2 (0.30 y 0.278, respectivamente), indican que las condiciones del océano Pacífico (temperatura) explican solo un 30% del comportamiento de las lluvias en el departamento de Sololá y refleja que existen otros factores locales y de teleconexión climática regional/global que contribuyen a la variabilidad anual de la precipitación.

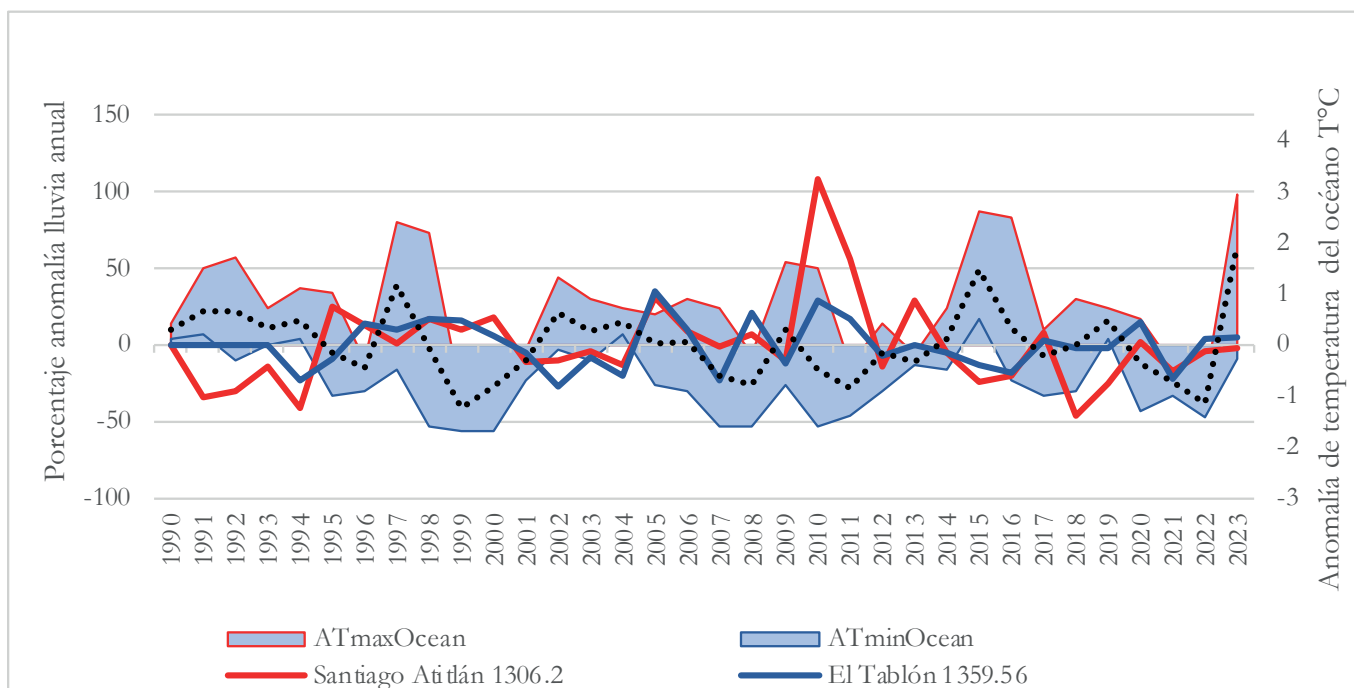


Figura 13. Anomalía de lluvia expresada en porcentaje del promedio anual del periodo 1990-2023, registrado en las estaciones de INSIVUMEH Santa María El Tablón y Santiago Atitlán
Fuente: Gráfica elaborada con datos de INSIVUMEH y NOAA (2024).

Nota: Comparación del promedio de la anomalía de temperatura del océano Pacífico de la región El Niño 3.4. (AT max Ocean = Temperatura máxima de la anomalía de temperatura del océano Pacífico; ATminOcean = Temperatura mínima de la anomalía de temperatura del océano Pacífico; ATmedOcean = Temperatura promedio de la anomalía de temperatura del océano Pacífico)

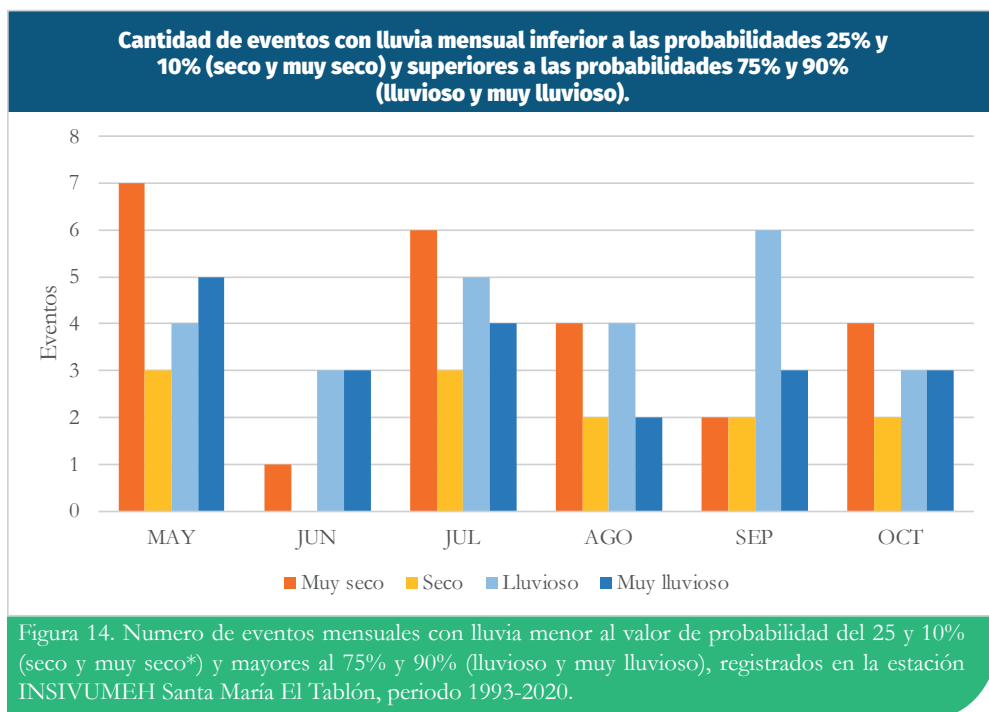
5.1.1.6 Sequía/ canícula

El análisis identifica como meses muy secos (*clasificación propia con base a los registros para la localidad) a aquellos donde la lluvia acumulada anual se encuentra por debajo del percentil 10, que son eventos inusuales y severo. Estos eventos representan condiciones de escasez hídrica que conducen a un tipo de sequía meteorológica severas para las localidades en estudio. De acuerdo con los registros históricos, mayo y julio son los meses más propensos a experimentar este tipo de sequías, con 7 y 6 eventos registrados, respectivamente. Luego le siguen agosto y octubre, con 4 eventos cada uno.

La severidad de estos eventos se confirma al comparar la lluvia acumulada con la evapotranspiración potencial (demanda de agua en el ambiente). En un mes muy seco, la lluvia acumulada es inferior a la evapotranspiración potencial (ETP). Para el departamento de Sololá, este umbral crítico es de aproximadamente

de 114 – a 117.8 mm (INSIVUMEH, 2002). Por lo tanto, los meses de mayo y julio son los meses que más eventos categorizados como muy secos, siendo esta sequía de tipo meteorológica y agrícola.

Las sequías pueden ocurrir al inicio de la estación lluviosa, retrasándose el inicio de la lluvia o con regímenes de lluvia inferiores a los necesarios para que se desarrollen las plantas (Sequía agrícola), como en el año 2001, donde las lluvias se concentraron en cortos periodos seguidos de semanas sin lluvia, situación que redujo la producción de maíz y frijol de secano. El año 2009 con un comportamiento similar al 2001. Cuando ocurren estos eventos, no se logra reponer esta pérdida, la sequía meteorológica podría convertirse en sequía agrícola, generando estrés hídrico para los cultivos. Para el año 2014, se presentó una canícula, iniciando en julio y que se prolongó hasta agosto, con una duración de hasta 45 días sin lluvia.



*Clasificación 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 Santa María El Tablón.

En la figura 14, se presenta para cada mes, la frecuencia histórica (cantidad de años) de acumulados de lluvia, clasificados según los percentiles 10, 25, 75 y 90. La categoría muy seco* (inferior al percentil 10) fue más frecuente en mayo, el cual presenta el mayor número de registros anuales en esta condición. El mes

de Julio le sigue con 6 registros, mientras que agosto y octubre muestran 4 cada uno. Durante Junio, Julio y Agosto regularmente ocurre el fenómeno de la canícula en Guatemala y la región de estudio que provoca en diferentes niveles, escasez hídrica y efectos en la agricultura.

Anomalía de lluvia acumulada bimestral mayo-junio, julio-agosto, estación Santa María El Tablón

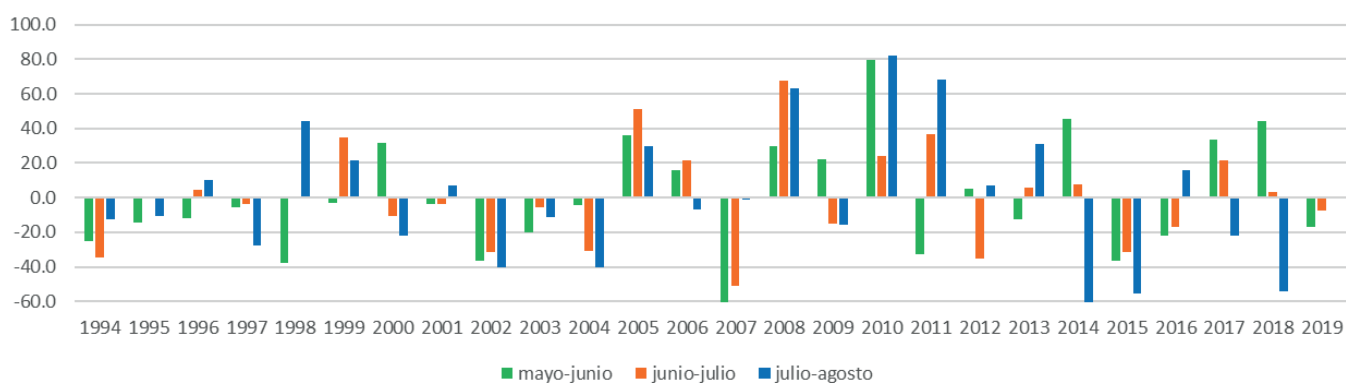


Figura 15. Anomalía de lluvia bimestral mayo-junio, junio-julio y julio-agosto, estación Santa María, El Tablón.

El análisis de la anomalía de lluvia acumulada por bimestre (Figura 15), señala los bimestres donde la lluvia fue inferior al promedio e indicando cuando estos fueron consecutivos, en este caso, se identifican los años 1994, 2002, 2004 y 2014, donde la lluvia se redujo durante los meses de mayo a agosto. La figura 15, señala que los años donde la lluvia fue escasa en su temporada de inicio, bimestre mayo-junio, fueron en los años 1998, 2002, 2007, 2011 y 2015. Así mismo, se evidencian los meses donde ocurre la canícula, bimestre julio-agosto, donde los años más intensos fueron 2014, 2015 y 2018.

5.1.1.7 Vientos

El viento es definido por Ruiz, F. & Serna, J. (2020) como el movimiento horizontal del aire. Los mismos autores indican que el movimiento del aire es ocasionado por el diferencial de presión que se genera por el calentamiento desigual de la superficie terrestre y la atmósfera y por cambios altitudinales.

Los vientos con mayor frecuencia en el caserío Chuitzanchaj, Santa Cruz la Laguna, alcanzan velocidades entre 0 y 1.6 kilómetros por hora, representado por un 35.59% de los datos. El 63.40% de los datos de velocidades máximas (2024) se encuentran en el rango de 3.2 a 20.9 km/h.

Frecuencia de velocidades máximas en Chuitzanchaj, Santa Cruz La Laguna

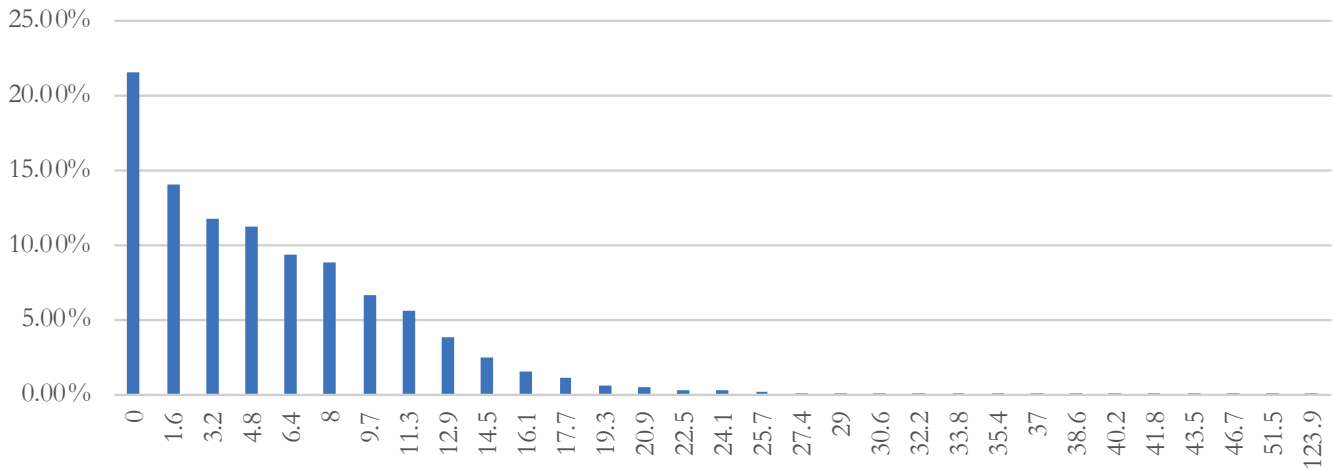


Figura 16. Frecuencia acumulada de velocidad máxima del viento registrada en la estación meteorológica El Tablón AMSCLAE.

Fuente: Elaborado con datos de estación meteorológica El Tablón de AMSCLAE

Frecuencia relativa y dirección de la velocidad máxima de viento

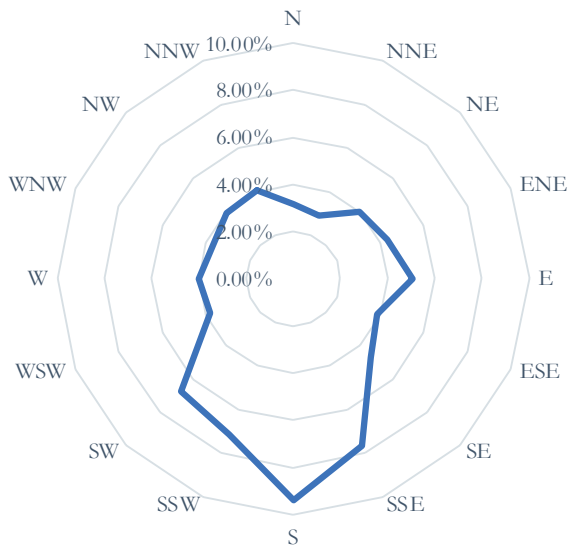


Figura 17. Dirección de los vientos con máxima velocidad registrada para el territorio de Chuitzanchaj, Santa Cruz la Laguna.

Fuente: Elaborado con datos de estación meteorológica CEDRACC-Vivamos Mejor.

Para el territorio del caserío de Chuitzanchaj, el 21.5 % de los datos registran vientos calmos o nulos. El 9.4% de los eventos de viento se dirigen hacia el sur; otro 7.7% con dirección al sureste; 6.7% con dirección al suroeste. Con base a lo anterior, la predominancia de los vientos es con dirección hacia el sur. Mientras que el porcentaje restante se distribuye a las restantes direcciones o rumbos (Figura 17).

En cuanto a velocidades máximas del viento (2021-2023), para el municipio de Santa Cruz La Laguna se han registrado entre los 40.0 y 123.9 Km/h. La modelación de vientos máximos (Figura 16) muestra vientos máximos para el territorio entre 62 a 88 km/h, con

predominancia hacia el noroeste y norte, que contrasta con los datos locales (que tiene menos años con datos), que registran 23.8 % de frecuencia de vientos máximos rumbo sureste y suroeste.

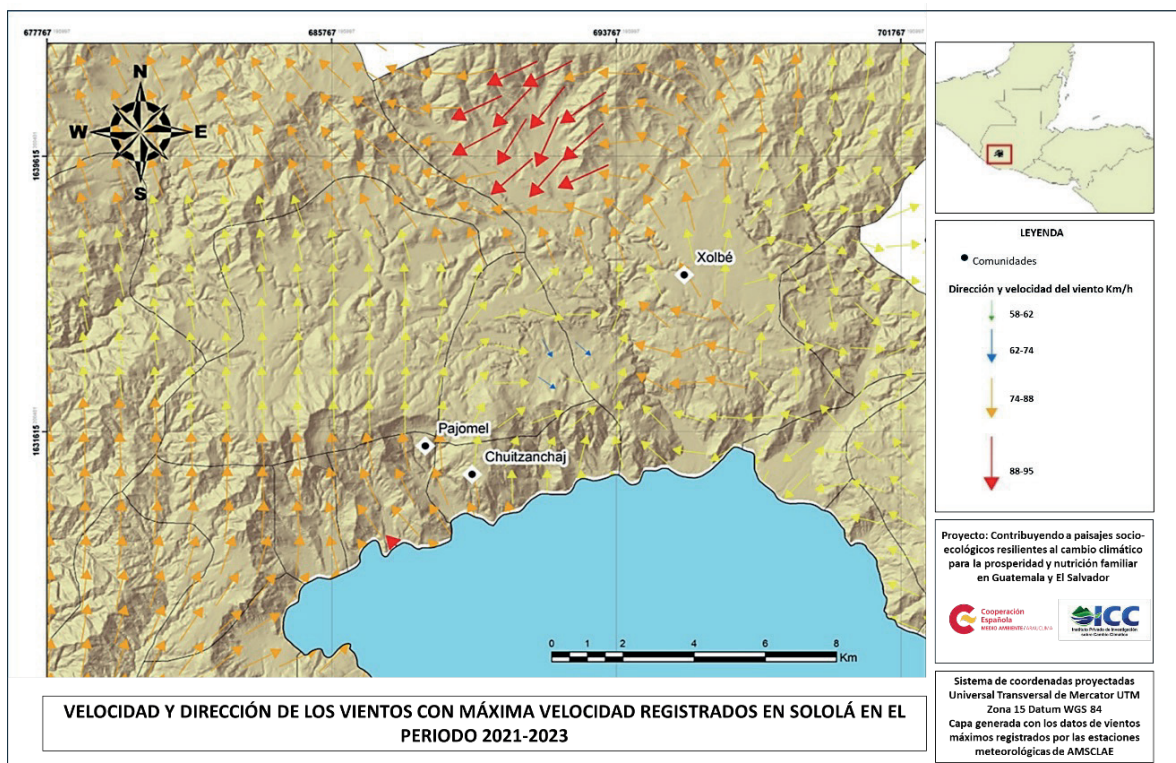


Figura 18. Mapa de velocidad y dirección de los vientos con máxima velocidad registrados en el municipio de Santa Cruz La Laguna, en el periodo 2021-2023.

Fuente: Elaboración propia con datos de estaciones AMSCLAE.

La distribución del comportamiento de los vientos fuertes y su clasificación en la escala Beaufort en la zona norte del departamento de Sololá (Figura 19), evidencian que los vientos se encuentran en la escala de 7 a 9. La escala Beaufort 7 presenta velocidades de 50-61 km/h que impide a las personas caminar contraviento, tiene la capacidad de mover árboles grandes. La categoría Beaufort 8, clasifica a los vientos con velocidades 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. En la zona del caserío Chuitzanchaj, la velocidad del viento con mayor frecuencia se registró entre 0 y 5 km/h, que corresponden a las escalas 0 y 1 de Beaufort. Para el territorio del municipio de Santa Cruz La Laguna se ha registrado algunos eventos de viento en la escala 7 de Beaufort con velocidad entre los 50 y 61 km/h, y vientos de clasificación de Beaufort 12 con velocidad superior a 120/h, que provocaron la quiebra de copas de árboles y techos.

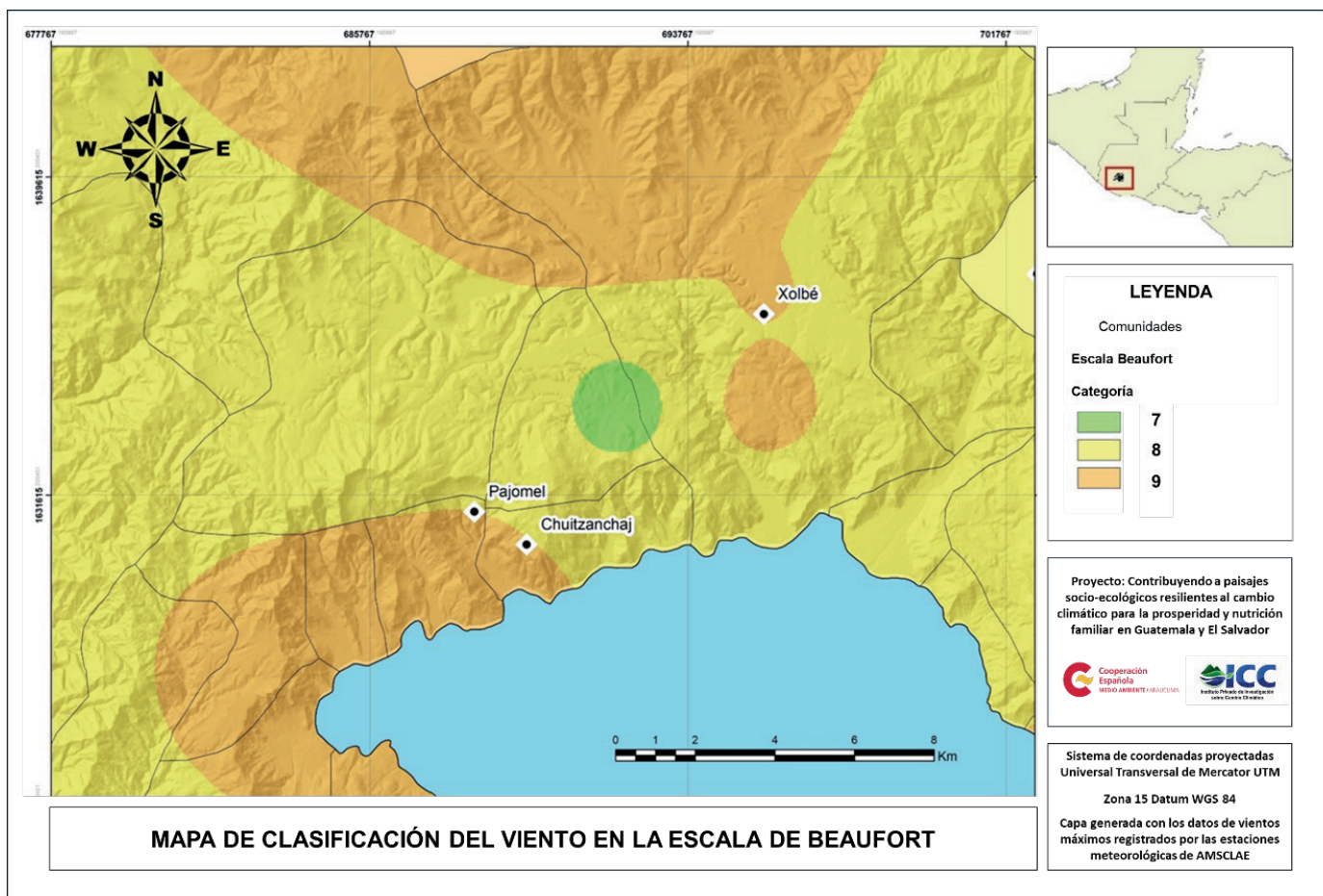


Figura 19. Mapa de clasificación del viento en la escala Beaufort que afectó al municipio de Santa Cruz la Laguna, Sololá, en el periodo 2021-2023.

5.1.2 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 2010-2019 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 tiene un incremento de lluvia para el período de evaluación, presentando una variación entre uno a 43%, respecto al promedio de la estación, 1981-2000 (Bardales Espinoza, Castañón y Herrera, 2019). Los mismos autores encontraron que 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.

5.1.2.1 Cambios en la lluvia

Debido a los pocos registros históricos de variables climáticas que existe en el departamento de Sololá, se han utilizado datos de la estación de Santiago Atitlán, como referencia más cercana y que cuenta con menos vacíos de datos. De acuerdo con Guerra (2010), los registros de la estación meteorológica de Santiago Atitlán, presenta una tendencia de incremento de la cantidad de lluvias de acuerdo con los datos de 1979-2009 (Figura 20).

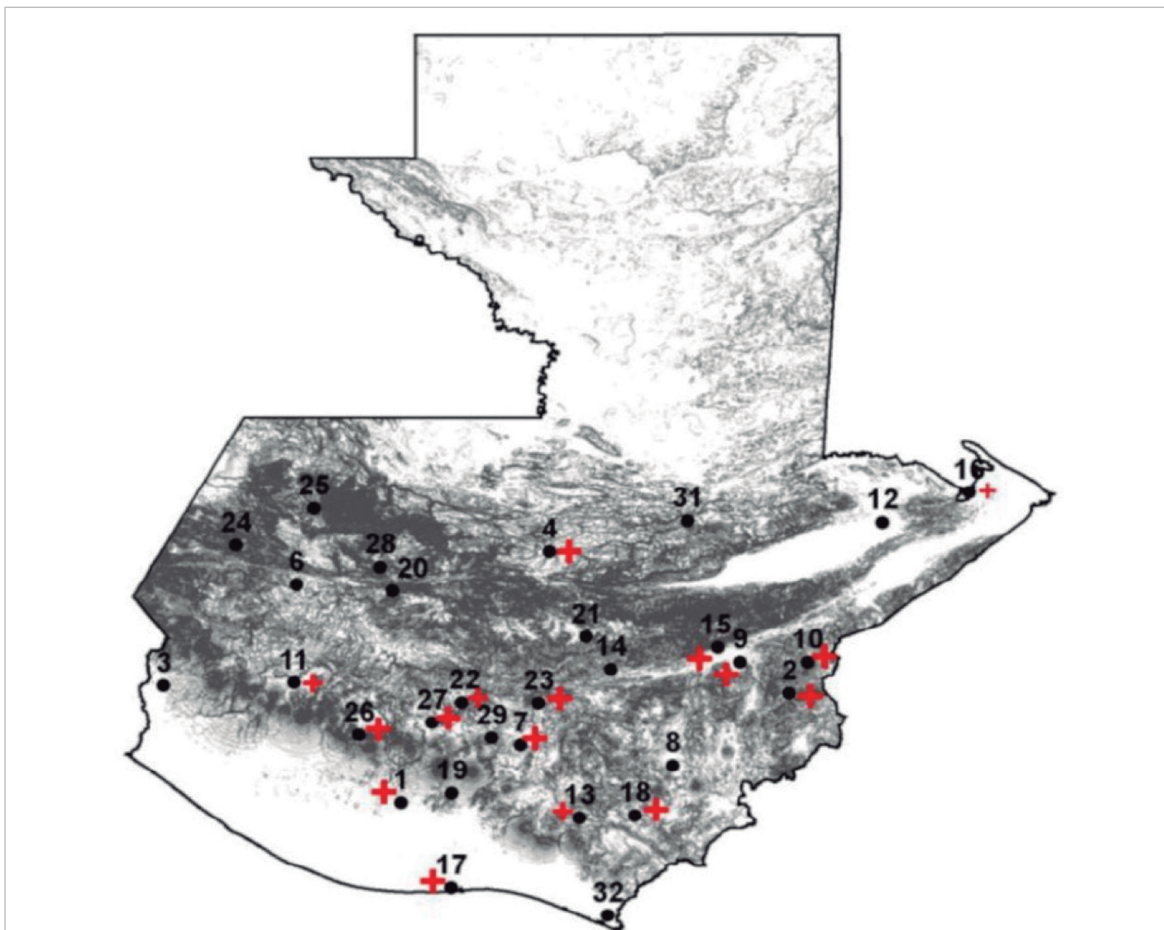


Figura 20. Tendencia de precipitación anual en Guatemala.
Fuente: Guerra, A. 2010.

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 21). En el caso de la zona norte, dado a vacíos de información no contemplaron los datos de la estación Santa María El Tablón.

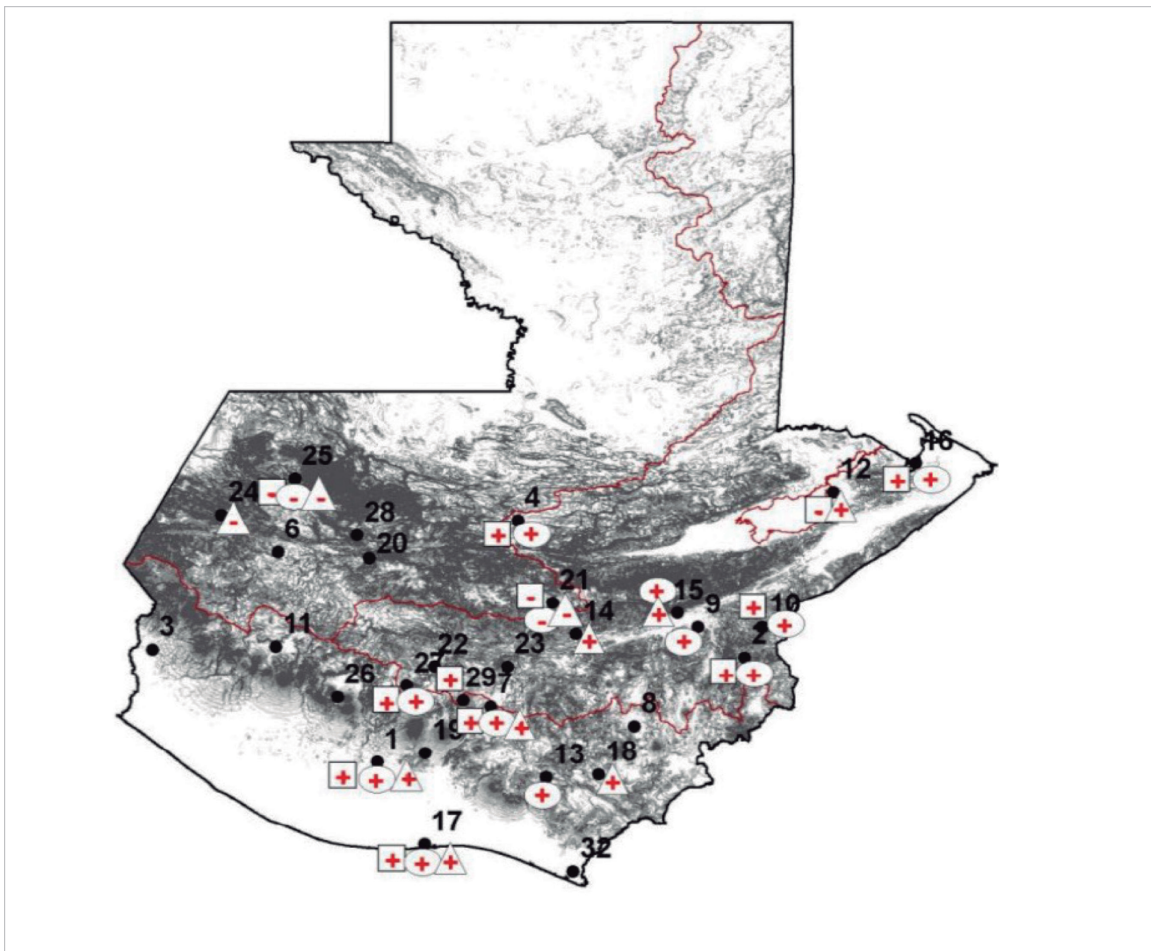


Figura 21. Tendencia de precipitación extrema anual en Guatemala
Fuente: Guerra, A. (2010).

5.1.2.2 Cambios en la temperatura

Los datos de temperatura de la estación de Santa María El Tablón, indican un incremento de la temperatura promedio en el periodo de observación de 1994-2023. El incremento más notable se registró a partir del año 2009; la tasa de incremento de la temperatura media en dicho

período fue de 0.057 grados Celsius por año (Figura 22), con coeficiente de determinación R^2 de 0.66. La misma tendencia al incremento de temperatura se observa en la temperatura máximas promedio anual y temperaturas mínimas absolutas.

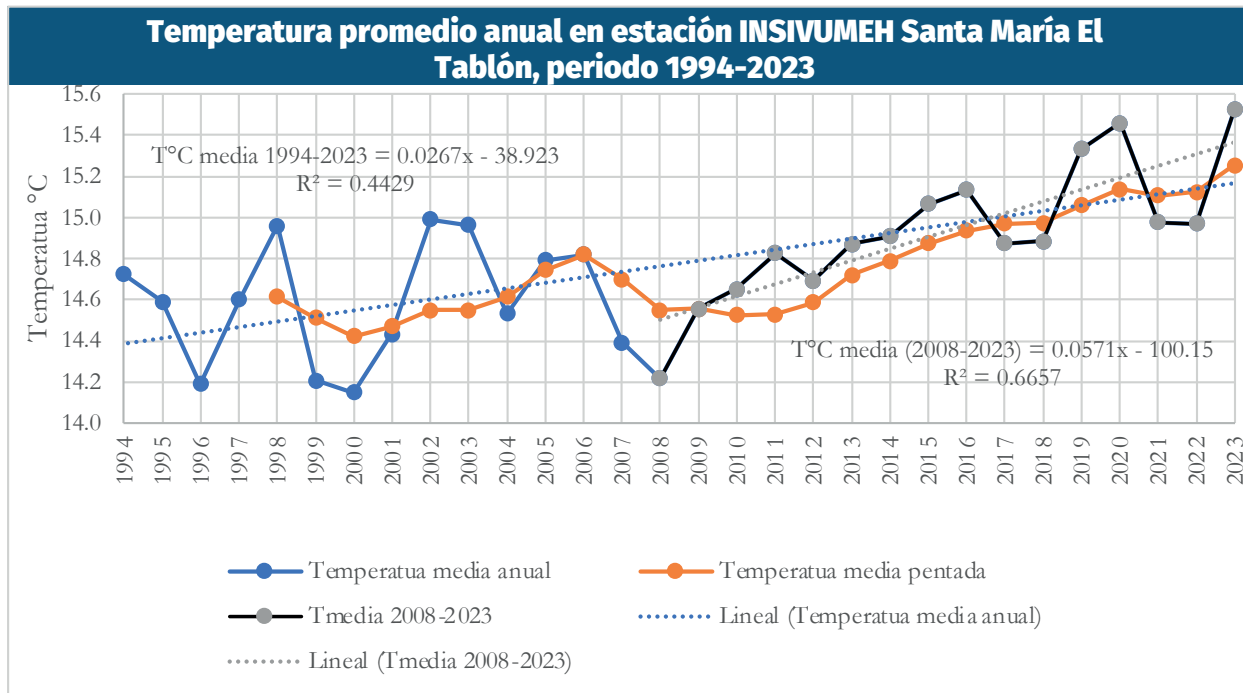


Figura 22. Temperatura promedio registrada en estación meteorológica INSIVUMEH Santa María El Tablón, Sololá, periodo de 1994-2023.

5.1.2.3 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).

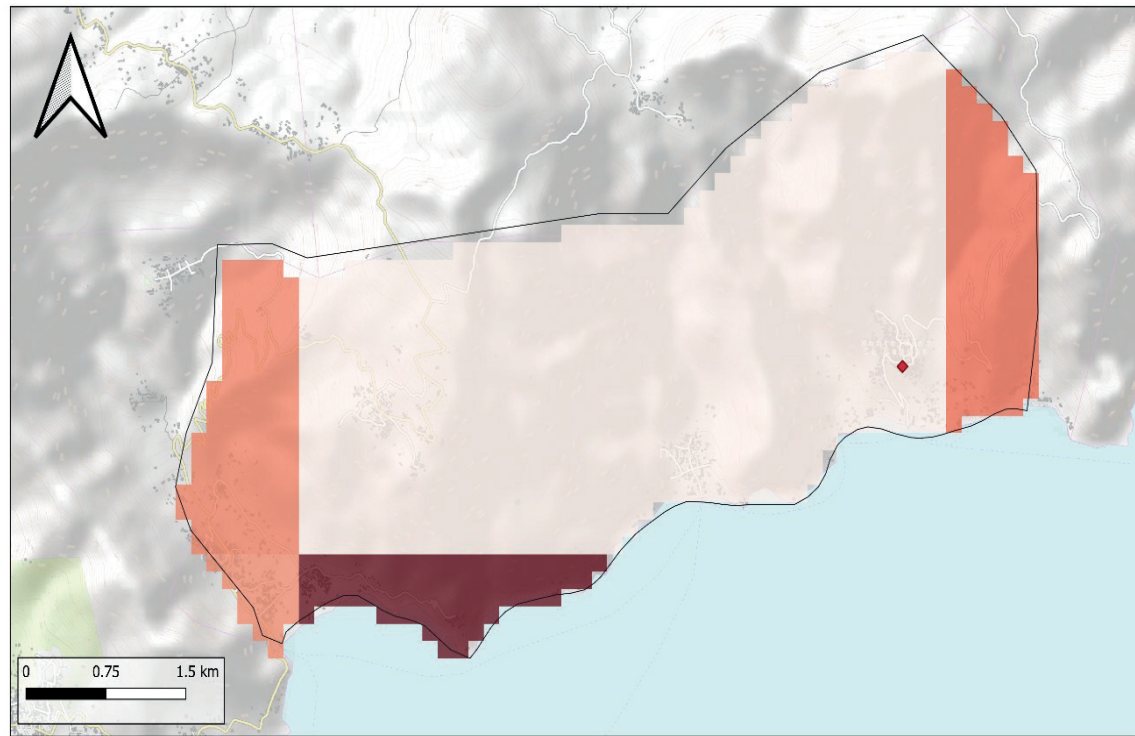
Los escenarios climáticos del IPCC se han construido para aportar información para la toma de decisión en un futuro cercano bajo ciertos supuestos de comportamiento socioeconómico y de emisiones GEI. De acuerdo con IPCC (2021), los escenarios son imágenes alternativas de lo que podría acontecer en el 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 Santa Cruz la Laguna podría experimentar un incremento de temperatura (escenario RCP8.5 entre 1.69°Celsius a 1.74°Celsius (Figura 23). Los mayores incrementos podrían darse en la zona suroccidente del municipio de Santa Cruz, especialmente la zona colindante de Atitlán.

Mapa de diferencia de temperatura media para el periodo 2000-2050 en el municipio de Santa Cruz la Laguna, Sololá.



Proyecto
Contribuyendo a paisajes socio-ecológicos resilientes ante el cambio climático para la prosperidad y nutrición familiar en Guatemala y El Salvador 2023-2025

Leyenda

- ◆ Cabecera municipal
 - Municipio de Santa Cruz la Laguna
 - Departamentos de Guatemala
- Diferencia de temperaturas
- 1.741124
 - 1.69205

CCS-Datum: WGS 84
Ortofotos: MAGA 2006
Shapefile: Limites municipales SEGEPLAN

Figura 23 Comportamiento de cambios (diferencia a mediados del siglo comparado con el año 2000) en la temperatura máxima en el territorio del municipio de Santa Cruz la Laguna.

De acuerdo con los escenarios, se proyecta que la temperatura mínima anual para el año 2050 será más cálida comparado con los registros

del año 2010. Se espera un incremento de temperatura mínima en el rango de 1.2 a 1.6° Celsius (Figura 24).

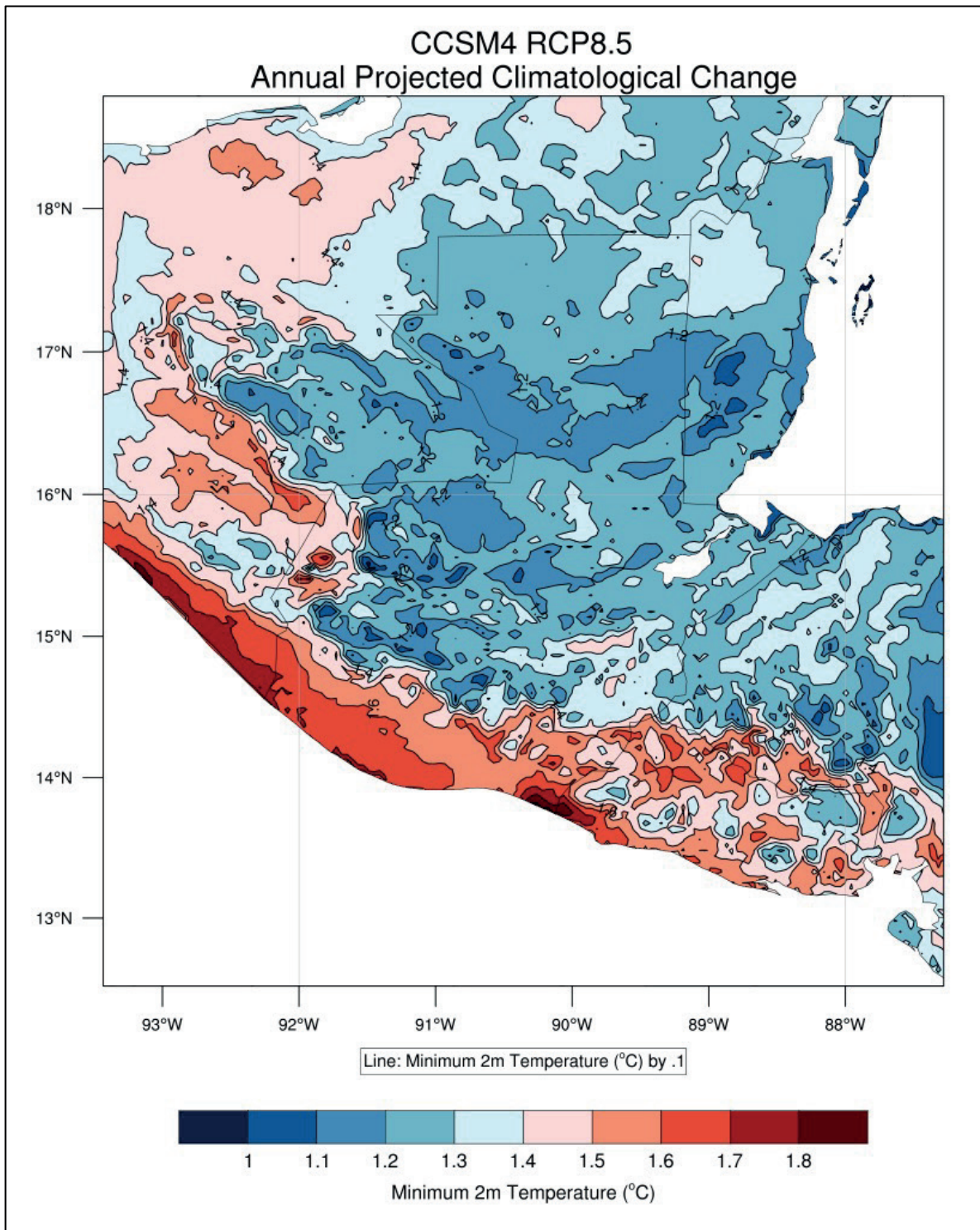


Figura 24. Comportamiento de cambios (diferencia a mediados del siglo) comparación de los años 2000-2050 en la temperatura mínima en el territorio del municipio de Santa Cruz la Laguna, departamento de Sololá, Guatemala.

En cuanto a la lluvia (precipitación), las proyecciones a mediados del siglo XXI sugieren que el acumulado anual se verá reducido alrededor de 500 milímetros para el territorio del municipio de Santa Cruz la Laguna (Figura

25). Para la zona de la “boca costa” del departamento de Sololá, la reducción anual de lluvia estaría alrededor de 1,000.0 milímetros anuales.

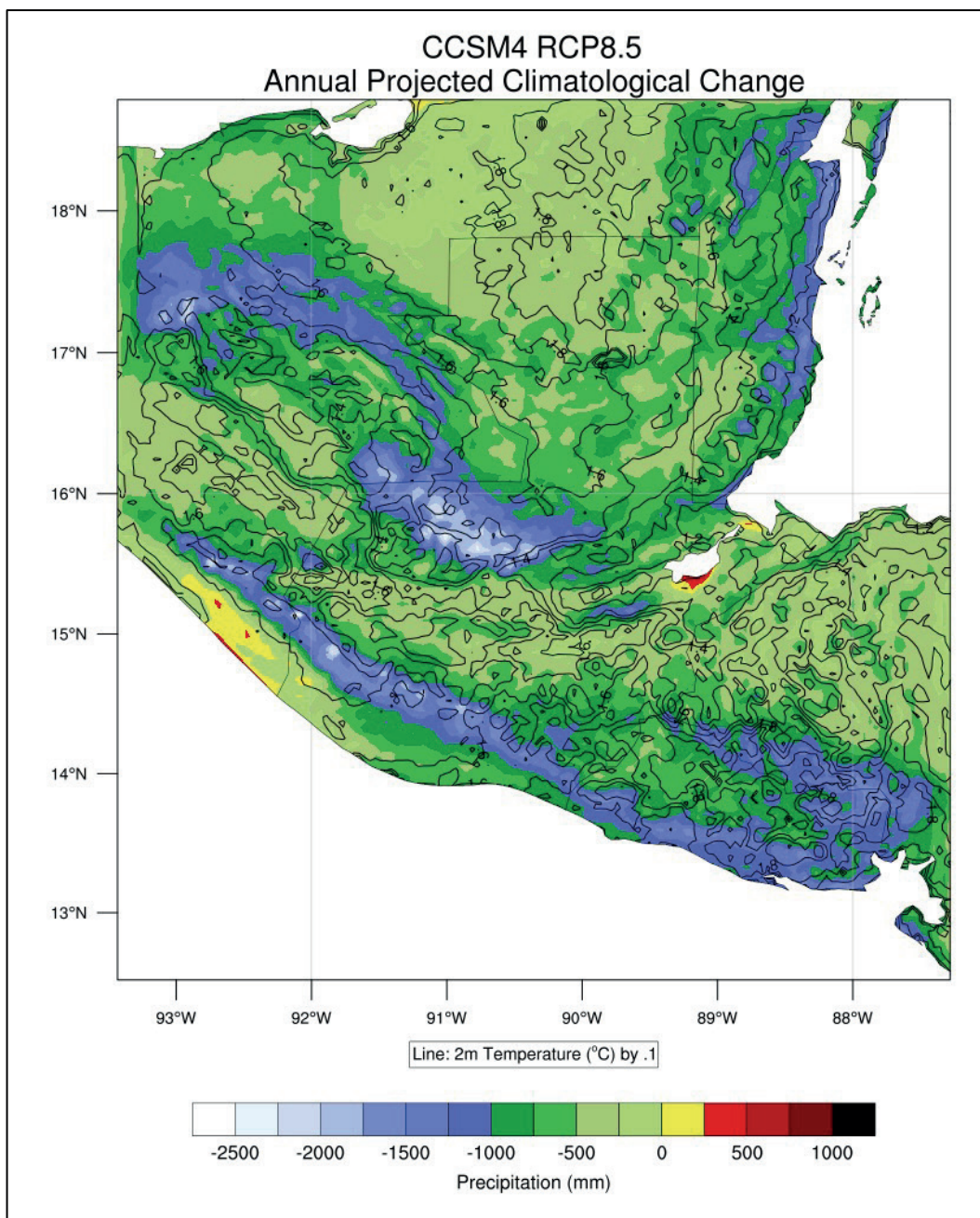


Figura 25. Comportamiento de cambios (diferencia a mediados del siglo) en comparación de los años 2000-2050 en la precipitación (lluvia) acumulada anual en el territorio del municipio de Santa Cruz la Laguna, departamento de Sololá, Guatemala.

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 en el caserío Chuitzanchaj, Santa Cruz la Laguna.

La vulnerabilidad se define como propensión o predisposición a ser afectado negativamente. La vulnerabilidad comprende una variedad de conceptos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación (IPCC, 2021). Esta propensión se analiza en este apartado a nivel comunitario y los medios de vida relevantes bajo la percepción de los miembros de la comunidad.

Chuitzanchaj deriva del idioma K'aqchikel cuyo significado se describe como Chui=sobre, Tzan = punta o cumbre, chaj = pino por lo que su traducción puede interpretarse como “sobre la cumbre de pinos”, es un asentamiento humano con una historia relativamente larga vinculada a la fundación de Santa Cruz La Laguna y su anexo oficial al departamento de Sololá en 1840.

Dentro de los cambios biofísicos que se han dado en el territorio de Chuitzanchaj resalta el cambio en la cobertura forestal, debido a la tala

de árboles para establecer viviendas y cultivos. Así mismo, el cultivo principal es el maíz. En base al conocimiento local se considera que desde el año 2014 se han dado condiciones adecuadas para el cultivo de aguacate y café. Por último, aunque no cuentan con el conocimiento sistematizado se mencionó de manera colectiva que actualmente hace más calor (sensación térmica), comparado con años anteriores.

5.2.1. Medios de vida del caserío Chuitzanchaj

Un medio de vida comprende las posibilidades, activos (recursos materiales o sociales) y actividades necesarias para ganarse la vida como afirma 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.

La población del caserío de Chuitzanchaj se basa principalmente en los medios de vida de la agricultura y la labor de ama de casa (Cuadro 3). Así mismo, los hogares se dedican al cultivo de café, cultivo de banano y una especialidad de algunas mujeres como las comadronas. Se mencionó que la migración de integrantes de las familias, principalmente, hacia los Estados Unidos de América, son importantes por las remesas para varias familias en el caserío lo que fomenta un desarrollo económico.

Cuadro 3. Medios de vida más importantes del caserío Chuitzanchaj.

No.	Medios de vida	Porcentaje de población/hogares que la aplica
1	Ama de casa	100 (hogares)
2	Agricultura	78.35 %
3	Actividad pecuaria (aves)	58.35 % (hogares)
4	Jornaleros	38.35 %
5	Tejedoras	33 %
6	Albañiles	33%
7	Migración (Remesas)	16.7 %

La información presentada en el cuadro 3, es una representación de la percepción de los miembros de la comunidad en dos talleres implementados y la información fue validada con el conocimiento de técnicos y tomadores de decisión que implementan acciones en dicho territorio, los porcentajes fueron construidos considerando que por lo menos un miembro del núcleo familiar dedique su tiempo en la implementación del medio de vida descrito.

La actividad de ama de casa, aunque no es una actividad remunerada actualmente, en esta comunidad se le ha dado un valor de importancia por las acciones que se ejercen en el hogar como la integración y su funcionamiento, la administración de los recursos, mantenimiento y atenciones a los miembros de la familia, entre una diversidad de actividades más.

La agricultura es basada primordialmente en el cultivo de maíz *Zea mays*, aunque algunas familias cultivan frijol, hierba mora (*Solanum americanum* Mill), chipilín (*Crotalaria longirostrata* Hook. & Arn.), aguacate *Persea americana* y café *Coffea arabica*. Como los cultivos de mayor relevancia para esta población. En las viviendas de Chuitzanchaj la producción y manejo de aves de corral es una actividad que se maneja en condiciones confinadas o de libre pastoreo y ayuda al núcleo familiar en el acceso o aprovechamiento de proteínas a través de la producción de huevos y sacrificio del ave para el autoconsumo, además del potencial de comercialización especialmente al ave viva para solventar necesidades dentro de la vivienda como salud, vestimenta, entre otras.

Para el género femenino la tejeduría sigue siendo una labor cultural que consiste en la elaboración

de güipiles y fajas las cuales son construidas a través del telar de cintura o en algunos casos especializados con el telar estacionario, para el primer método, esta actividad tiene un enfoque más artesanal y cuyo producto será utilizado por la persona que lo fabrica, aunque esto no se limita al potencial de comercio del excedente.

Para el género masculino, estos se desempeñan en labores de campo como: el manejo de los cultivos de maíz, aguacate o café, también tienden a brindar su mano de obra en actividades conocidas como jornal en donde tienden a percibir un ingreso económico para sufragar los gastos de su vivienda, esta labor no cuenta con prestaciones, pero sigue siendo una práctica usual en el territorio de Santa Cruz la Laguna.

La albañilería es otra actividad que está tomando importancia en el caserío, esto se debe en parte a la migración de vecinos los cuales invierten a través de remesas en la construcción ampliaciones o construcción de nuevas viviendas, esta actividad bajo la percepción comunitaria ha aportado significativamente al desarrollo económico de la población.

5.2.2. Calendario de eventos naturales y actividades socioeconómicas cíclicas en el caserío de Chuitzanchaj, Santa Cruz la Laguna.

Con el propósito de identificar fenómenos cíclicos como estrés hídrico, amenazas, enfermedades, entre otros eventos naturales o socioeconómicos en el territorio, el cuadro dos resume una serie de actividades y eventos particulares para el territorio del caserío Chuitzanchaj.

Cuadro 4. Calendario estacional para el caserío Chuitzanchaj, Santa Cruz la Laguna.

No.	Evento	Ene	Feb	Mar	Abr	Ma	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	Siembra (mayo) y cosecha de maíz (enero)	■				■							
2	Canícula							■					
3	Fuertes vientos	■									■	■	■
4	Temporada de lluvia					■	■	■	■	■	■		
5	Época no lluviosa	■	■	■	■							■	■
6	Enfermedades y plagas de cultivos							■		■			
7	Enfermedades (aves)	■			■			■					
8	Café					■			■		■	■	
9	Aguacate					■	■		■				

En el cuadro 4 destacan eventos cíclicos como la siembra de maíz que se realiza regularmente en mayo y su cosecha se efectúa en enero del siguiente año. Para la siembra de maíz, los agricultores utilizan sus propias semillas nativas, haciendo selección de las mazorcas más grandes y sanas, no importando el tamaño del grano. Como una actividad cultural, el rastrojo se quema ya que les resulta menos laborioso; además, las personas informaron que los suelos son pedregosos y es muy difícil incorporar los rastros al suelo. Finalmente, mencionaron que a partir del cultivo de maíz aprovechan las hojas y se comercializan localmente.

La época lluviosa ocurre desde mayo hasta octubre, con algunas lluvias en noviembre. Dicha época es interrumpida por la canícula o veranillo; la canícula es un evento de variabilidad climática se presenta regularmente entre julio y agosto en la época lluviosa y tiene una duración de aproximadamente alrededor de un mes, situación que fue respaldada con los registros meteorológicos. Dicho fenómeno, según la percepción de las personas les afecta la salud ya que les genera dolores de cabeza. En cuanto a cultivo de maíz, la canícula afecta su desarrollo fenológico y la producción.

Los fuertes vientos ocurren usualmente durante los meses de octubre y enero, pero, en diciembre

es donde los vientos son más fuertes y afecta los techos de las viviendas y contribuye a situaciones indeseables de salud (enfermedades respiratorias). Algunos eventos inesperados de vientos, afecta el cultivo de maíz, generando acame de plantas.

En algunos años, se ha visto que el cultivo de maíz presenta estrés hídrico y hasta desecamiento, que alcanza hasta el 50 % de las plantas. En septiembre, algunas posturas de maíz se ven afectadas por el gusano elotero (*Helicoverpa zea*), y gallina ciega (*Phyllophaga* spp.). La taltuza (*Geomyidae*) es otra de las plagas que afecta a las plantas de maíz y se presenta en cualquier momento del ciclo del cultivo. Otra de las plagas que afecta el cultivo de maíz son los pericos chocoyos (*Brotogeris jugularis*) y ardillas (*Sciuridae*) que se comen los elotes en los meses de septiembre, octubre y noviembre. En estado de mazorca, se observan afectaciones por causa de ratones (*Mus*); así mismo, al momento de realizar la siembra de maíz, los ratones y aves extraen las semillas de maíz. El gusano cogollero es otra de las plagas que afecta el cultivo de maíz y el control se realiza manualmente, eliminando las larvas cuando son observadas. Para el mes de julio indicaron que las hojas de maíz se tornan amarillas y se mueren, esto, puede ser debido a las condiciones de estrés hídrico.

En cuanto a aves de traspatio (corral), éstas se ven afectadas por las enfermedades: viruela aviar (*Variola avium*) y Newcastle (*Paramyxovirus aviar* tipo 1 (APMV-1)), regularmente, se presenta en el mes de abril. Las aves afectadas presentan tos, estornudos, parálisis, cuello torcido, diarrea y pérdida de apetito, como remedio casero, utilizan el jugo de limón, sin que se evite la muerte de las aves. En el mes de mayo, las aves se enferman por coriza infecciosa (*Avibacterium paragallinarum*), que afecta las vías respiratorias de las aves y provoca inflamación facial.

Durante la estación seca del año, diciembre-abril, la disponibilidad de agua para el caserío se reduce. A partir de febrero hasta mayo, el caudal de los nacimientos/manantiales de agua disminuye. Situación que conduce a una regulación comunitaria del agua a algunas horas para consumo humano o usos domésticos, por lo que cada familia almacena agua en recipientes para utilizarlo durante el día.

En el cultivo de café se reportan plagas como la broca del café (*Hypothenemus hampei*), ácaros (*Oligonychus yothersi*) y la roya (*Hemileia vastatrix*). El cultivo de aguacate tiene la plaga de los ácaros (*Tetranychus urticae*).

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 caserío Chuitzanchaj. Basado en la experiencia de las personas y la memoria histórica colectiva, los hallazgos se discuten en los siguientes párrafos.

Las personas delimitaron las áreas específicas de los impactos de las amenazas meteorológicas o climáticas (Figura 26). Dado a las condiciones particulares de esta localidad su exposición es especial ante las siguientes amenazas.

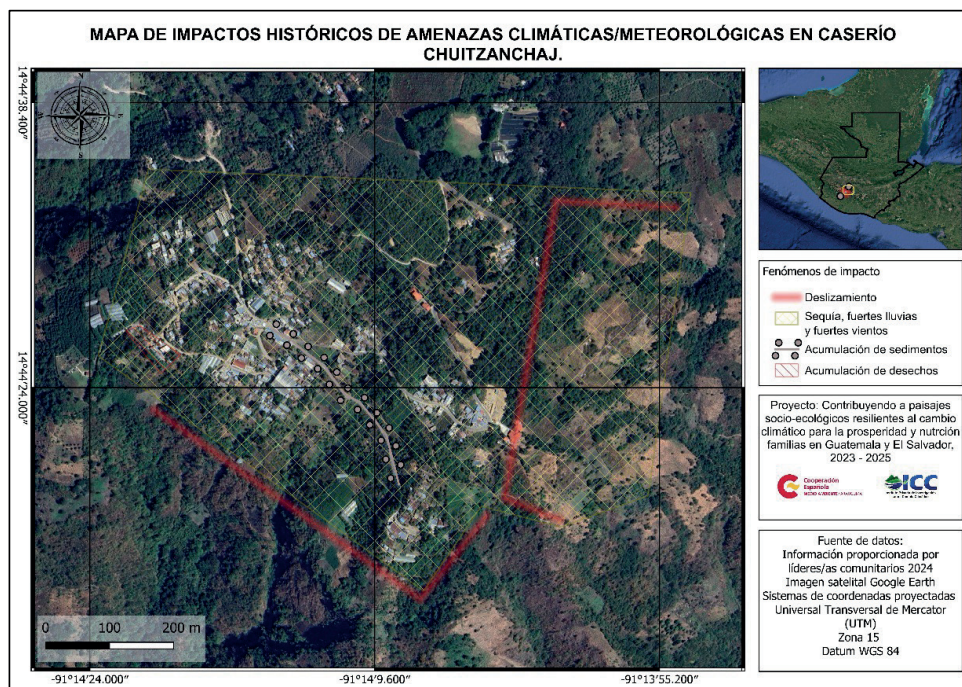


Figura 26. Mapa de impactos históricos de amenazas climáticas/meteorológicas en el caserío Chuitzanchaj, Santa Cruz la Laguna.

De acuerdo con la percepción comunitaria, el territorio del caserío de Chuitzanchaj se ve afectado por amenazas como fuertes lluvias, vientos y sequías los cuales están remarcados en la zona amarilla, esto debido a que los fenómenos, aunque son distintos, todos abarcan al territorio de manera igualitaria como argumentaron los participantes. Los daños provocados por fenómenos como fuertes lluvias tienden a presentarse durante la floración del cultivo de café y aguacate, el fenómeno de vientos tiende a provocar aborto floral especialmente en el cultivo de aguacate. Además, este fenómeno tiende a impactar de manera negativa en las viviendas de construcción frágil, así como en los techos construidos de lámina acanalada.

Los deslaves como fenómenos que puede ser detonados por diversos factores, siendo las lluvias intensas o copiosas uno de ellos, este fenómeno es de relevancia para la población especialmente porque de presentarse, pueden afectar a la libre locomoción, daños en infraestructuras y con ello impactar a las actividades socioeconómicas de la comunidad.

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, 2014).

Las personas con base a su memoria individual con relación a 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 ha realizado la comparación de estos acontecimientos como se observan en el cuadro 5.

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 5. Matriz de vulnerabilidad perceptiva para el caserío Chuitzanchaj.

Medio de vida/ Amenazas	Fuertes vientos	Fuertes lluvias	Sequías	Canícula	Aumento de temperatura
Agricultura	3	2.25	2.17	1	1
Tejedoras	0.5	1.73	0.82	0.09	0
Jornaleros	1.5	1.91	0.92	0.9	1
Actividad pecuaria (aves)	1.4	2.67	0	0.89	1
Albañiles	2.45	0.6	1	1	0.3

En el cuadro 5 se priorizan las actividades que bajo la percepción comunitaria son las actividades más sensibles ante los fenómenos descritos. La agricultura al ser dependiente de la temporada lluviosa se encuentra expuesta a la aceleración o retraso en su inicio, sin embargo, los participantes argumentan que aún los daños por fenómenos como fuertes lluvias, sequías y canícula son importantes aunque no han llegado a provocar daños irreparables, sin embargo, los valores obtenidos son un indicador de la importancia de la preparación a través de la búsqueda de alternativas que aporten a la reducción del riesgo de que estos fenómenos impacten en los sistemas agrícolas que por el momento se practican bajo el método de secano.

Actividades como tejeduría regularmente se practican en áreas cubiertas, sin embargo, tienden a ser susceptibles a la humedad que se genera por las lluvias intensas o copiosas

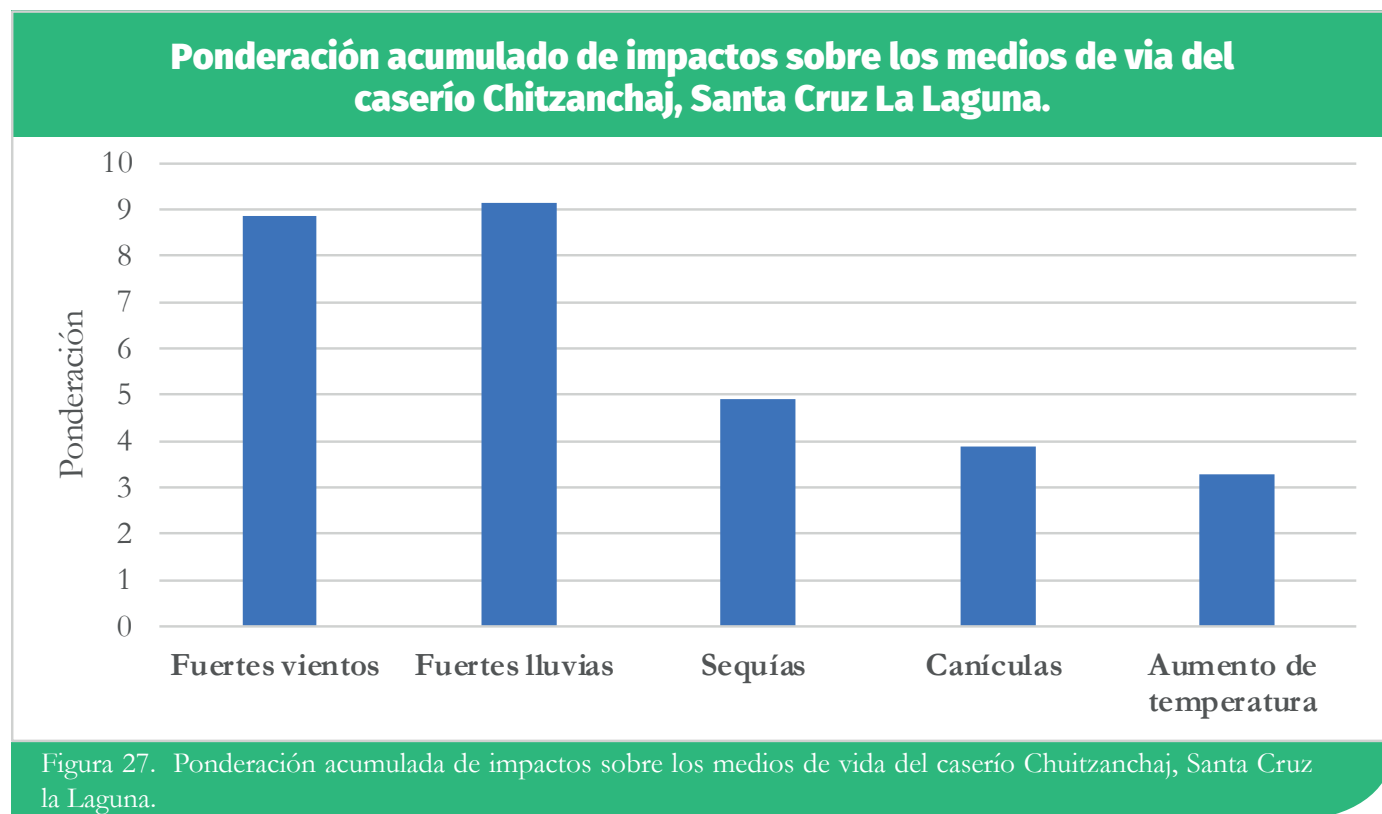
por lo que para quienes lo practican pueden representar pérdidas por el tiempo invertido y los recursos utilizados. La actividad pecuaria con base a la percepción local, esta actividad se encuentra expuesta a fenómenos de fuertes lluvias las cuales han observado están ligadas a la proliferación de enfermedades respiratorias en las aves.

La actividad de jornaleo depende del rubro para el cual se es contratado, por lo que en el sector agrícola puede verse afectado de manera negativa por las condiciones del tiempo, especialmente, en periodos de fuertes vientos que se presenten con el periodo seco lo que eleva la polvareda que tiende a generar problemas en la salud respiratorio. Las fuertes lluvias por su parte pueden limitar actividades como la albañilería y dañar el material utilizado lo cual puede presentar pérdidas económicas.

VI. Discusión de resultados

En la fase de análisis del impacto de amenazas climáticas sobre los medios de vida, los comunitarios consideraron a los vientos típicados como fuertes, seguido de lluvias fuertes como las de mayores

efectos sobre los medios de vida. Seguido por las sequías tanto agrícolas y el periodo de la temporada seca, canícula y aumento de temperatura (Figura 27).



La amenaza por deslizamiento (no climático) en la región donde se encuentra el caserío Chuitzanchaj, en el sistema Mora-Vahrson es clasificada como media a alta (Figura 28). Lo anterior debido a las características del entorno físico, que incluye la pendiente del terreno, la geología de la zona, sismos y el tipo de suelo y por los factores externos,

principalmente las lluvias, donde acumulados de lluvia mensuales superiores a 250 mm probablemente incrementan el riesgo. Como se ha indicado previamente, los valores de lluvia extrema en un mes han sido de 527mm durante la tormenta Agatha en mayo de 2010.

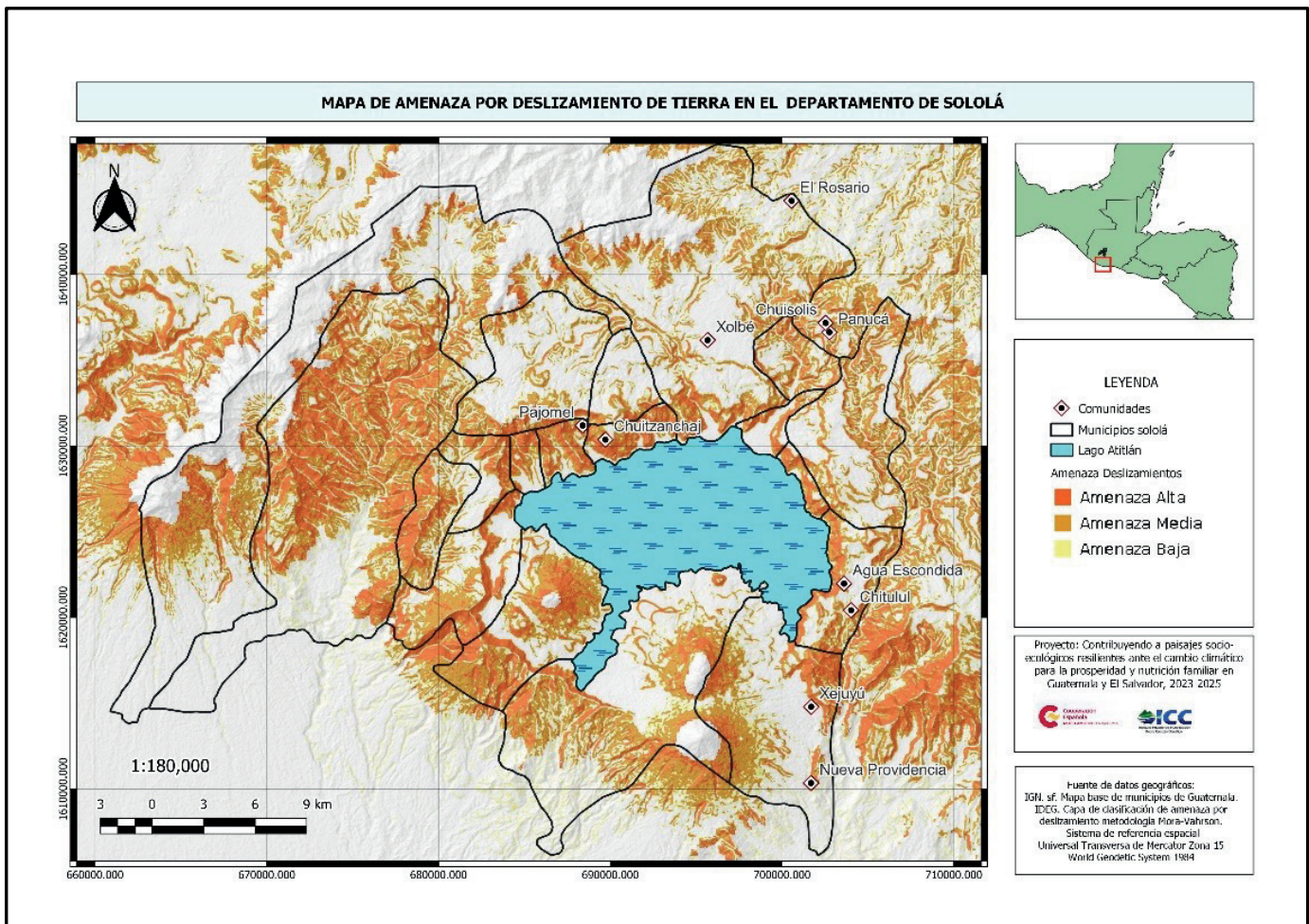


Figura 28. Mapa de amenaza por deslizamiento por el método de Mora-Vahrson para el departamento de Sololá.

6.1. Sequía

Los meses donde la cantidad de lluvia ha sido menor de lo habitual (entre la probabilidad de 25 a 10%), se consideran como meses secos. Por ejemplo, se han observado en el territorio de Sololá meses con muy baja cantidad (acumulado) de lluvia que sólo ocurre solo una vez a cada cuatro años, y en otros casos, una vez cada diez años. Durante la temporada de lluvias, los meses que más veces registraron poca lluvia fueron en mayo y julio con siete y seis ocasiones, respectivamente. Le siguen agosto y octubre con cuatro ocasiones cada uno. Dichos meses con poca lluvia, no logran superar el potencial de evapotranspiración potencial de 114

mm (INSIVUMEH, 2002) para los meses de 30 días y 117.8 mm para los meses con 31 días. De acuerdo con lo anterior, los meses de mayo y julio acumularon más eventos categorizados como muy secos, siendo esta sequía de tipo meteorológica y agrícola.

Las sequías pueden ocurrir al inicio de la estación lluviosa, retrasándose el inicio de la lluvia o con regímenes de lluvia inferiores a los necesarios para que se desarrollen las plantas (Sequía agrícola), como lo ocurrido en el año 2001, donde las lluvias se concentraron en cortos periodos seguidos de semanas sin lluvia, situación que redujo la producción de maíz y frijol de secano. El año 2009

con un comportamiento similar al 2001. Para el año 2014, se presentó una canícula prolongada, iniciando en julio y que se prolongó hasta agosto, durando hasta 45 días sin lluvia.

El atraso del inicio de la estación lluviosa afecta directamente al caserío, debido a que la fuente de agua de uso común es un nacimiento/manantial, y ésta reduce su caudal a finales del mes de abril.

6.2. Vientos:

La ocurrencia de vientos con máxima velocidad según los comunitarios de Chuitzanchaj, inician en octubre y finaliza en enero, resaltaron que en diciembre los vientos son más fuertes, ocasionando daños en los techos de las viviendas y provocando enfermedades respiratorias para las personas.

El análisis de los datos de ocurrencia de vientos con máximas velocidades coincide con la percepción comunitaria sobre los meses en que el viento alcanza las máximas velocidades o más fuertes; sin embargo, el análisis indica que también se registraron vientos fuertes en abril y julio, y las menores velocidades del viento se registraron en mayo a septiembre.

6.3. Temperatura:

La percepción comunitaria destaca un aumento de la temperatura, que concuerda con los registros de la estación INSIVUMEH Santa María El Tablón, que señala que la temperatura media se ha incrementado a partir del año 2009, a razón de 0.064°C por año. Es decir, que desde el 2009 hasta el 2024 se ha incrementado un grado Celsius.

De acuerdo con Niu et al., (2024), el condiciones de incremento de temperatura para el cultivo de maíz, podría provocar una reducción en el rendimiento entre los 32-7 y 40.9 % y el periodo más sensible en el desarrollo vegetativo del maíz es en la etapa de floración y llenado de granos.

Las condiciones de temperatura afectan la producción de aguacate Hass, Salazar (2002), indica que temperaturas inferiores a 15°C con duración de 10 horas al día inducen la floración fuerte en aguacate Hass, temperaturas de 24°C en el día y 19°C durante la noche, con fotoperiodo de 12 horas o una temperatura mínima constante mayor de 20°C no producen inflorescencia en Aguacate Hass (Salazar, 2002). Las condiciones de temperatura mínima estimulan la iniciación floral, mientras que temperaturas mayores a 25°C en el día y 20°C en la noche detiene o revierte el proceso floral (Salazar, 2002).

El incremento de la temperatura afectaría no solo la producción de aguacate, también, puede afectar la producción de café *Coffea arabica* L., debido a que temperaturas sobre los 23°C junto con deficiencia hídrica produce aborto de flores 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 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.

VII. Conclusiones

La temperatura máxima incrementa a partir de noviembre hasta mayo, pero disminuyen cuando comienza la temporada de lluvias y sigue disminuyendo en los meses siguientes. Los días más calurosos (temperatura máxima) se registran entre enero y abril, con temperaturas que van desde 19.7°C hasta los 30.5°C. Las temperaturas máximas absolutas con mayor frecuencia se encuentran entre los 23°C hasta los 24 °C, mientras que las temperaturas superiores a 25°C a 30.4°C son poco comunes y se consideran muy altas para la región, ya que ocurren en menos del 10% de los datos.

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 alcanzan sus niveles más altos entre mayo y septiembre. Durante el período 1993-2020, la temperatura mínima promedio para la región fue de 4.93°C. Las temperaturas (mínimas) con mayor frecuencia se registraron entre 3.07°C y 6.79°C.

Durante el periodo 1994-2023, la temperatura media para el territorio norte del departamento de Sololá mostró un incremento, que se vuelve más significativo a partir de 2009. Dicha tendencia coincide con los modelos predictivos de temperatura para el departamento de Sololá, que muestran una proyección al incremento.

Para la zona norte del departamento de Sololá, el acumulado de lluvia presenta una variabilidad anual

entre el rango de 975 y 1,837 mm. Se observó un incremento de las lluvias cuando ocurre el fenómeno de la Niña (fase fría del ENOS), provocando que para algunos años los acumulados de lluvia superaron el promedio (1993-2023). Por el contrario, cuando se presenta la fase de El Niño (fase cálida), las lluvias disminuyen y los acumulados anuales son menores al promedio, sin embargo, depende mucho de la intensidad del ENOS.

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

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 con mayor frecuencia en el caserío Chuitzanchaj, Santa Cruz La Laguna, alcanzan velocidades entre 0 y 4.8 kilómetros/hora, y las velocidades máximas del viento que se ha registrado en la zona en el período 2021-2023 ha sido entre los 40.0 y 123.9 Km/h.

La producción pecuaria de aves de corral 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

Australian Bureau of Meteorology (BOM). 2024. ENSO Outlook: An alert system for the El Niño–Southern Oscillation. <http://www.bom.gov.au/climate/enso/#tabs=Overview>

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 Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño (CIIFEN) (2017). El Niño 2015-16: evolución, vulnerabilidad e impactos en Latinoamérica, p 1-38

Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (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 termoplumiométrica.

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) (2005).

Evaluación del Alud tipo Lahar que soterró al Cantón de Panabaj y afectación del Cantón de Tzanchag. Municipio de Santa Cruz la Laguna, Sololá Guatemala Informe Técnico. <https://insivumeh.gob.gt/folletos/Alud%20de%20Panabaj%20y%20Tzanchag%20de%20Santiago%20de%20Atitlan.pdf>

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>

Laderach, Peter & Ramirez-Villegas, Julian & Navarro-Racines, Carlos & Zelaya, Carlos & Martinez 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. <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 Nino /La Nina episodes (1950-present). https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php

Niu, S., Yu, L., Li, J., Qu, L., Wang, Z., Li, G., Guo, J., & Lu, D. (2024). Effect of high temperature on maize yield and grain components: A meta-analysis. *Science of The Total Environment*, 952, 175898. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175898>

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>

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-Garcia, 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). PlandeDesarrolloMunicipalyOrdenamiento Territorial Sololá. https://portal.segeplan.gob.gt/segeplan/wp-content/uploads/2022/05/714_PDM_OT_SANTA_CRUZ_LL-.pdf

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>



Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático

www.icc.org.gt

Contacto: pyax@icc.org.gt

Teléfono: +502 7828 - 1048