

Análisis de vulnerabilidad climática de los medios de vida del caserío de Yaxón-Neboyá, Sololá



Análisis de vulnerabilidad climática de los medios de vida del caserío de Yaxón-Neboyá, Sololá

Proyecto:

Implementación de medidas de adaptación a la variabilidad y el cambio climático para contribuir a la seguridad alimentaria y nutricional y la reducción de la desnutrición infantil en comunidades y municipios del Departamento de Sololá, Guatemala -MACC-SAN.

Guatemala, 2022

Autores

M.A. Pablo Yax López

Ing. Agr. Kevin Manolo Noriega Elías

Ing. Agr. Francisco Espinoza Marroquín.

Diseño y diagramación

T.U. Luis Fernando Escobedo Orantes

Cita bibliográfica

Yax López, P., Noriega Elías, K. M., & Espinoza Marroquín, F. (2022). *Análisis de vulnerabilidad climática de los medios de vida del caserío de Yaxón-Neboyá, Sololá*. Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático. Guatemala.

Esta publicación se generó en el marco del proyecto:

"Implementación de medidas de adaptación a la variabilidad y el cambio climático para contribuir a la seguridad alimentaria y nutricional y la reducción de la desnutrición infantil en comunidades y municipios del Departamento de Sololá, Guatemala -MACC-SAN"

El presente documento no necesariamente refleja la posición de la Cooperación Española en Guatemala.



ISBN: 978-9929-8282-6-1

ICC 2022

Todos los derechos reservados.

Índice

I.	Introducción.....	1
II.	Objetivos.....	2
III.	Área de estudio.....	3
IV.	Métodos y procedimientos utilizados.....	4
4.1	Delimitación o alcance territorial.....	4
4.2	Comportamiento histórico de las variables climáticas/meteorológicas.....	4
4.3	Análisis de vulnerabilidad con enfoque participativo.....	5
V.	Análisis de vulnerabilidad climática del municipio de Sololá.....	6
5.1	Variabilidad y cambio climático.....	6
5.1.1	Comportamiento de la precipitación (lluvia).....	6
5.1.2	Balance hídrico 2021.....	10
5.1.3	Inicio y finalización de la época de lluvia.....	11
5.1.4	Comportamiento de los vientos.....	12
5.1.5	Fenómeno de El Niño Oscilación Sur (ENOS).....	13
5.1.6	Días sin lluvias.....	14
5.1.7	La temperatura en el municipio de Sololá.....	15
5.2	Cambios en el clima.....	16
5.3	Cambios proyectados del clima.....	18
5.4	Vulnerabilidad climática de los principales medios de vida.....	22
5.4.1	Medios de vida de Yaxón-Neboyá.....	22
5.4.2	Calendario de eventos naturales y actividades socioeconómicas cíclicas en el caserío de Yaxón-Neboyá.....	23
5.4.3	Identificación de amenazas climáticas/meteorológicas.....	23

5.4.4	Análisis de vulnerabilidad.....	24
5.4.5	Efectos e impactos del cambio climático sobre la agricultura.....	26
5.4.6	Efecto de la escasez de agua en la agricultura.....	27
5.4.7	Efecto de las lluvias fuertes.....	29
5.4.8	Efectos e impactos de la erosión de los suelos sobre la agricultura.....	29
VI.	Conclusiones.....	30
VII.	Referencias bibliográficas.....	31

Índice de figuras

Figura 1. Área de intervención del proyecto MACC-SAN.....	3
Figura 2 Pirámide poblacional del caserío Yaxón-Neboyá, municipio de Sololá.....	3
Figura 3 Marco metodológico para el análisis de vulnerabilidad climática.....	4
Figura 4. Distribución mensual promedio de precipitación (lluvia) acumulada en la estación meteorológica de El Tablón.....	6
Figura 5. Distribución espacial de precipitación (lluvia) acumulada 2020 en el municipio de Sololá.....	7
Figura 6. Distribución mensual precipitación (lluvia) promedio, máximo y mínimo acumulado en la estación meteorológica de Santa María El Tablón, Sololá, durante el periodo 1994-2020.....	8
Figura 7. Anomalía de la precipitación en función al promedio acumulado mensual para el periodo 1994-2020, estación meteorológica de El Tablón.....	9
Figura 8. Comparativo decadal del acumulado promedio mensual de precipitación estación meteorológica de El Tablón.....	9
Figura 9. Frecuencia de ocurrencia de lluvia acumulada anual registrada en estación El Tablón.....	10
Figura 10. Balance hídrico para el municipio de Sololá basado en datos de la estación meteorológica de Barreneché.....	11
Figura 11. Tendencia del inicio de la época lluviosa (IELL) en Guatemala.....	12
Figura 12. Dirección y velocidad de los vientos en el periodo 2020-2021.....	12
Figura 13. Anomalía histórica de la temperatura superficial del mar en la región de El Niño.....	13
Figura 14. Comportamiento de los días acumulados sin lluvia en el municipio de Sololá.....	15
Figura 15. Promedios anuales de temperatura mínima (° Celsius) para el periodo de 1994-2018 registrados por la estación Santa María El Tablón, Sololá.....	15
Figura 16. Promedios anuales de temperatura máxima (° Celsius) para el periodo de 1994-2018 registrados por la estación Santa María El Tablón, Sololá.....	16
Figura 17. Tendencia de precipitación anual en Guatemala.....	16
Figura 18. Tendencia de lluvia extrema en Guatemala.....	17
Figura 19. Tendencia de los promedios anuales de la temperatura mínima en el departamento de Sololá.....	17
Figura 20. Tendencia de los promedios anuales de la temperatura máxima en el departamento de Sololá.....	20

Figura 21. Diferencia de temperatura máxima para el período 2000-2050 en el municipio de Sololá.....	19
Figura 22. Diferencia de temperatura media para el período 2000-2050 en el municipio de Sololá.....	20
Figura 23. Cambio climatológico con relación a la variable precipitación 2000-2050 en Guatemala.....	21
Figura 24. Mapeo de amenazas climáticas/meteorológicas y áreas de impacto histórico en el territorio de Yaxón-Neboyá, Sololá.....	24
Figura 25. Gráfica de precipitación diaria en los meses junio, julio y agosto del año 2015 registrada en estación de INSIVUMEH Santa María El Tablón.....	27
Figura 26. Gráfica del comportamiento de la temperatura y la lluvia diaria registrada en estación meteorológica de INSIVUMEH Santa María El Tablón, durante la canícula ocurrida en junio, julio y agosto del año 2015.....	28

Índice de cuadros

Cuadro 1. Medios de vida más importantes de Yaxón-Neboyá, Sololá.....	22
Cuadro 2. Calendario estacional para el caserío de Yaxón-Neboyá, Sololá.....	23
Cuadro 3. Matriz de vulnerabilidad perceptiva para la comunidad Yaxón-Neboyá.....	25
Cuadro 4. Posibles impactos del cambio climático sobre la zona de vida bosque montano.....	26

I. Introducción

El cambio climático es un fenómeno global que ha tomado mucha relevancia a nivel mundial en los últimos 30 años, especialmente por sus múltiples efectos negativos en los 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 Intergovernmental Panel on Climate Change 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 persistentes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo como afirma IPCC, (2014). Cabe destacar que 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 sólida 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 de Yaxón-Neboyá. Entre los principales hallazgos se pueden mencionar: la tendencia de incremento de la lluvia desde 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.

A través de herramientas participativas se identificaron las zonas expuestas a las siguientes amenazas: vientos fuertes, heladas, sequías y granizos. En cuanto a vulnerabilidad climática de los principales medios de vida en el caserío Yaxón-Neboyá, resalta la agricultura con mayor vulnerabilidad ante las amenazas vientos fuertes, heladas, granizos, sequía y fuertes lluvias. La crianza de animales de traspatio es un medio que presenta nivel medio de vulnerabilidad ante las amenazas fuertes vientos, canícula, heladas y granizo.

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 los cuales 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

- Analizar el comportamiento de las principales variables climáticas/meteorológicas para el periodo 1994-2020.
- Determinar las amenazas climáticas de mayor importancia para la población del territorio y sus principales medios de vida.
- Establecer el grado de vulnerabilidad climática de los medios de vida basado en percepción comunitaria.

III. Área de estudio

El caserío Yaxón- eboyá forma parte de aldea El Tablón del municipio de Sololá, departamento de Sololá. Dicha localidad se estableció como una de las localidades prioritarias y beneficiaria dentro de la intervención del proyecto: **Implementación de medidas de adaptación a la variabilidad y el cambio climático para contribuir a la seguridad alimentaria y nutricional y la reducción de la desnutrición infantil en comunidades y municipios del Departamento de Sololá, Guatemala -MACC-SAN**, financiado por la Agencia Española de Cooperación Internacional en su programa ARAU-CLIMA, cuya intervención se realiza en cinco municipios (figura uno).

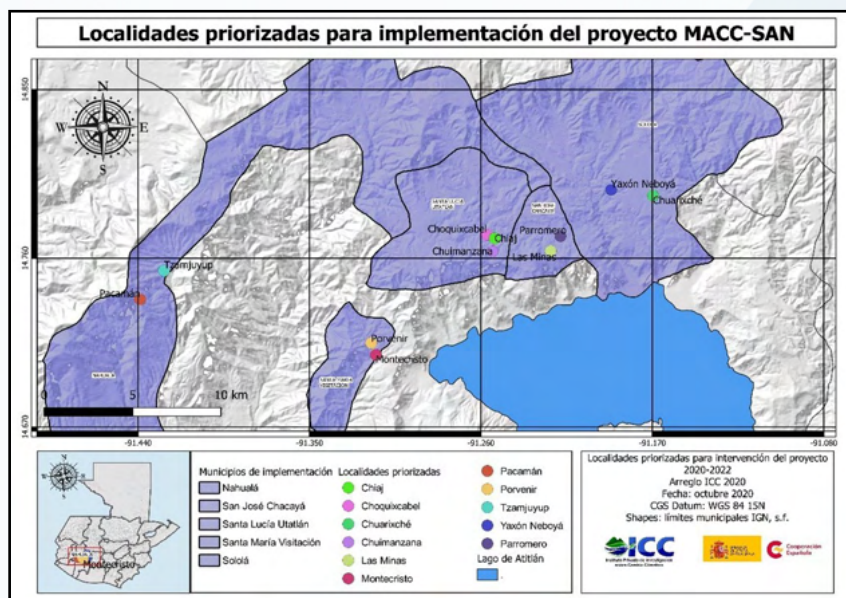


Figura 1. Área de intervención del proyecto MACC-SAN.

El caserío Yaxón-Neboyá se encuentra localizado bajo las coordenadas UTM WGS84 15N 14.798333°, -91.193547°, se ubica geográficamente al norte de la Ciudad de Sololá, su acceso principal es por la carretera RN1 que conduce de la CA1 hacia la ciudad de Sololá. A una distancia de 5.5 kilómetros del parque Centroamérica de Sololá.

El caserío Yaxón-Neboyá cuenta con una población de 927 habitantes (MSPAS, 2018), donde el 48.54% corresponde al género femenino y el 51.45% al género masculino, el grupo etario predominante corresponde a las edades de entre 0 años a 14 años y el de menor predominancia corresponde a los grupos de entre 40 años a 64 años como se detalla en la figura dos.

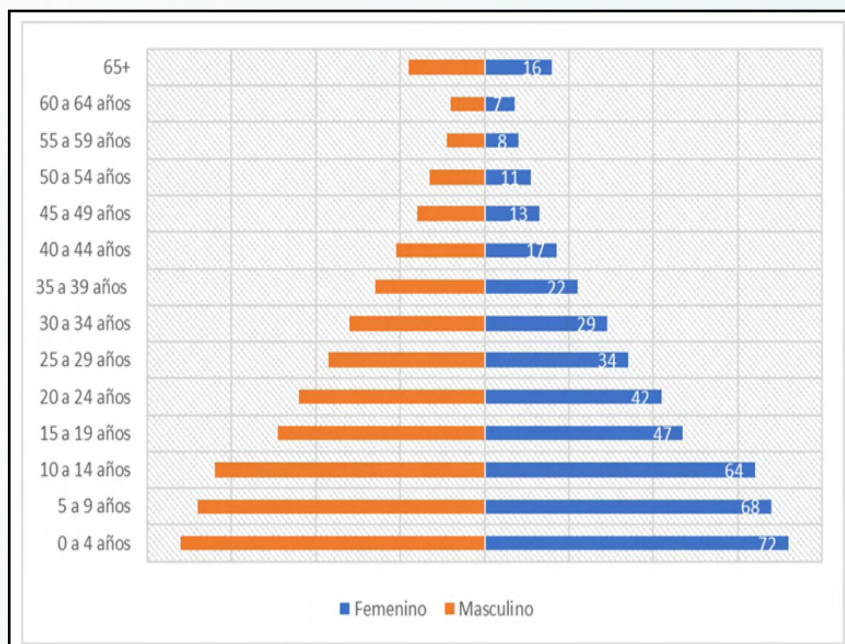


Figura 2 Pirámide poblacional del caserío Yaxón-Neboyá, municipio de Sololá. Fuente: MSPAS (2018)

IV. Métodos y procedimientos utilizados

El procedimiento empleado para el análisis de vulnerabilidad climática para el caserío de Yaxón-Neboyá se resume en la figura tres. Uno de los primeros pasos fue la definición de la escala espacial, y se basó en la delimitación local. Entendiendo a una comunidad como un grupo de personas que se encuentran dentro de un territorio geográfico particular y comparten elementos culturales, económicos, sociales y ambientales en común. La segunda fase fue desarrollada para analizar el comportamiento del clima basándose en información meteorológica/climática disponible para el departamento de Sololá. La tercera fase se basó en metodología participativa para recoger la percepción comunitaria en cuanto a la vulnerabilidad y amenazas climáticas para 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.



Figura 3. Marco metodológico para el análisis de vulnerabilidad climática. Fuente: Basado en Buenfil, (2011).

4.1 Delimitación o alcance territorial

4.1.1 El caserío fue seleccionado en función del listado de comunidades priorizadas en el marco del proyecto: Implementación de medidas de adaptación a la variabilidad y el cambio climático para contribuir a la seguridad alimentaria y nutricional y la reducción de la desnutrición infantil en comunidades y municipios del departamento de Sololá, Guatemala.

4.1.2 La delimitación espacial se basó en el conocimiento de los líderes, quienes reconocen el alcance superficial o límites territoriales de su territorio con las circunvecinas.

4.2 Comportamiento histórico de las variables climáticas/meteorológicas

4.2.1 Se gestionó información climática o meteorológica de estaciones meteorológicas dentro del territorio del departamento de Sololá. Entre las organizaciones

que se contactaron para la gestión de datos climáticos/meteorológicos se encuentran: INSIVUMEH, ICC, AMSCLAE y Vivamos Mejor.

4.2.2 Posteriormente se procedió a la revisión de datos faltantes y errores humanos en la transcripción de los datos. Para algunas variables meteorológicas y años específicos se complementó con datos de plataformas globales digitales satelitales de precipitación y temperatura.

4.2.3 Se ordenaron los datos como acumulados mensuales y acumulados anuales e interanuales, agrupamiento decadal y estacional para el periodo de junio a agosto (canícula) desde los años 1991 hasta el año 2021. Complementándolos con gráficas y mapas.

4.2.4 Para la parte de escenarios climáticos se utilizaron las modelaciones y resultados de simulaciones efectuadas por la Universidad de Nebraska para Guatemala para el 2050 – 2060 de precipitación y temperatura a una resolución espacial de 4 km².

4.3 Análisis de vulnerabilidad con enfoque participativo

4.3.1 Para el análisis de vulnerabilidad climática con enfoque participativo, el primer paso, consistió en la identificación de líderes comunitarios clave compuesto por agricultores, alcalde comunal, representante del Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación -MAGA-, representantes del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social -MSPAS- del municipio y otros actores sociales clave de ambos géneros.

4.3.2 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.

4.3.3 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 las 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.

4.3.4 Para la identificación medios de vida de mayor relevancia dentro de la comunidad, se contó con la valoración de los participantes de manera grupal de las principales actividades o medios de vida que emplean.

4.3.5 En cuanto a eventos o actividades agrícolas cíclicas de relevancia, se utilizó la herramienta calendario estacional, bajo la escala de meses del año para la identificación de los periodos ocurrencia de los fenómenos o el inicio y finalización de actividades relevantes.

4.3.6 Para el mapeo de exposición histórica de amenazas climáticas y no climáticas dentro de la comunidad. Los participantes elaboraron un croquis de la localidad, identificando los principales elementos de la comunidad, como áreas de vivienda, áreas de cultivos, y la identificación de áreas que están expuestas a amenazas o que fueron impactadas por fenómenos en el pasado.

4.3.7 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).

4.3.8 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.

4.3.9 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.

V. Análisis de vulnerabilidad climática del municipio de Sololá

5.1 Variabilidad y cambio climático

5.1.1 Comportamiento de la precipitación (lluvia)

El régimen de la época lluviosa en el departamento de Sololá, figura cuatro, y específicamente en el municipio de Sololá, está marcado para los meses de mayo a octubre, donde el acumulado promedio de lluvias supera los 1,387 milímetros, en un rango de 933 – 1,827 milímetros, datos obtenidos de estaciones meteorológicas de INSIVUMEH, (2021). Catholic Relief Service, (2012) e INSIVUMEH, (2010), afirman que el régimen de precipitación para Centroamérica es bimodal, y marcada con 6 meses de estación seca, diciembre a abril, y seguido por la temporada de lluvias durante mayo-noviembre.

Una reducción de lluvias resalta para el periodo julio-agosto (indicado en el círculo rojo), conocido localmente como canícula o veranillo. De acuerdo con INSIVUMEH, (2018), dicha situación es debido a la inversión de los vientos Alisios y el fortalecimiento del anticiclón del Golfo de México, que posteriormente se debilita y desaparece, y nuevamente las precipitaciones se intensifican y completan la temporada lluviosa.

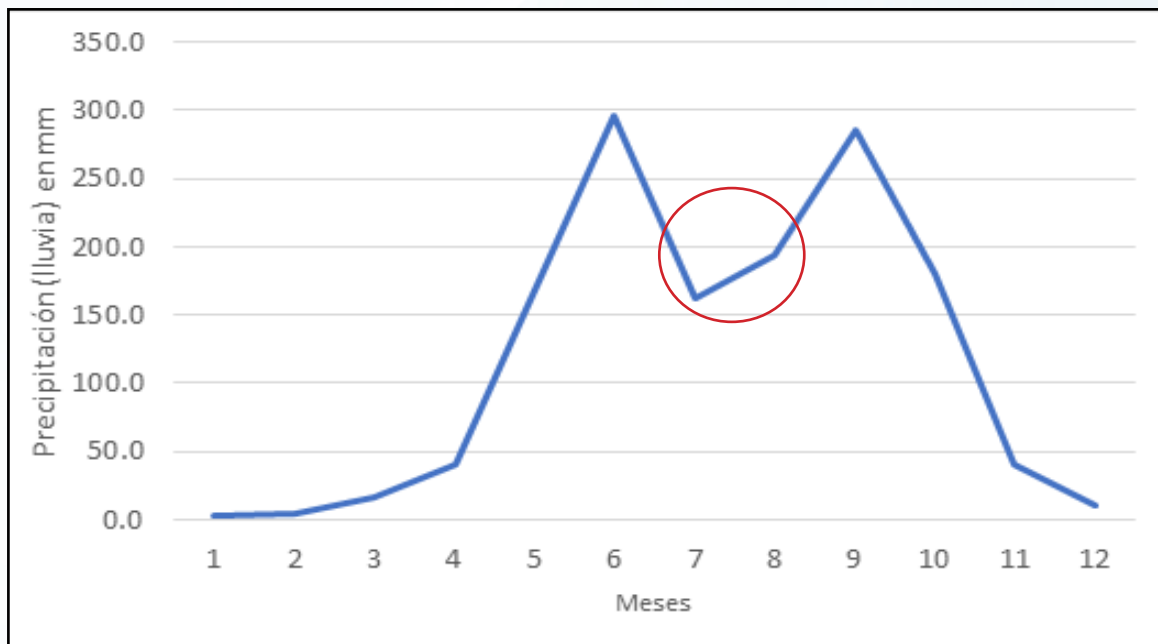


Figura 4. Distribución mensual promedio de precipitación (lluvia) acumulada en la estación meteorológica de Santa María El Tablón. Fuente: INSIVUMEH (2021)

De acuerdo con los registros de la estación meteorológica de Santa María El Tablón para el periodo 1994-2020, los meses de junio (296.2 mm) y septiembre (285.8 mm) son los que presentan los mayores promedios acumulados mensuales de lluvia.

En la figura cinco, se observa la distribución espacial de la precipitación acumulada en el 2021 para el muni-

cipio de Sololá. En la parte central del territorio con un acumulado alrededor de los 1,000 milímetros. Al norte y al sur-oeste con acumulados que superan los 1,100 mm datos obtenidos de estaciones de AMSCLAE, (2021), INSIVUMEH, (2021) e ICC, (2021).

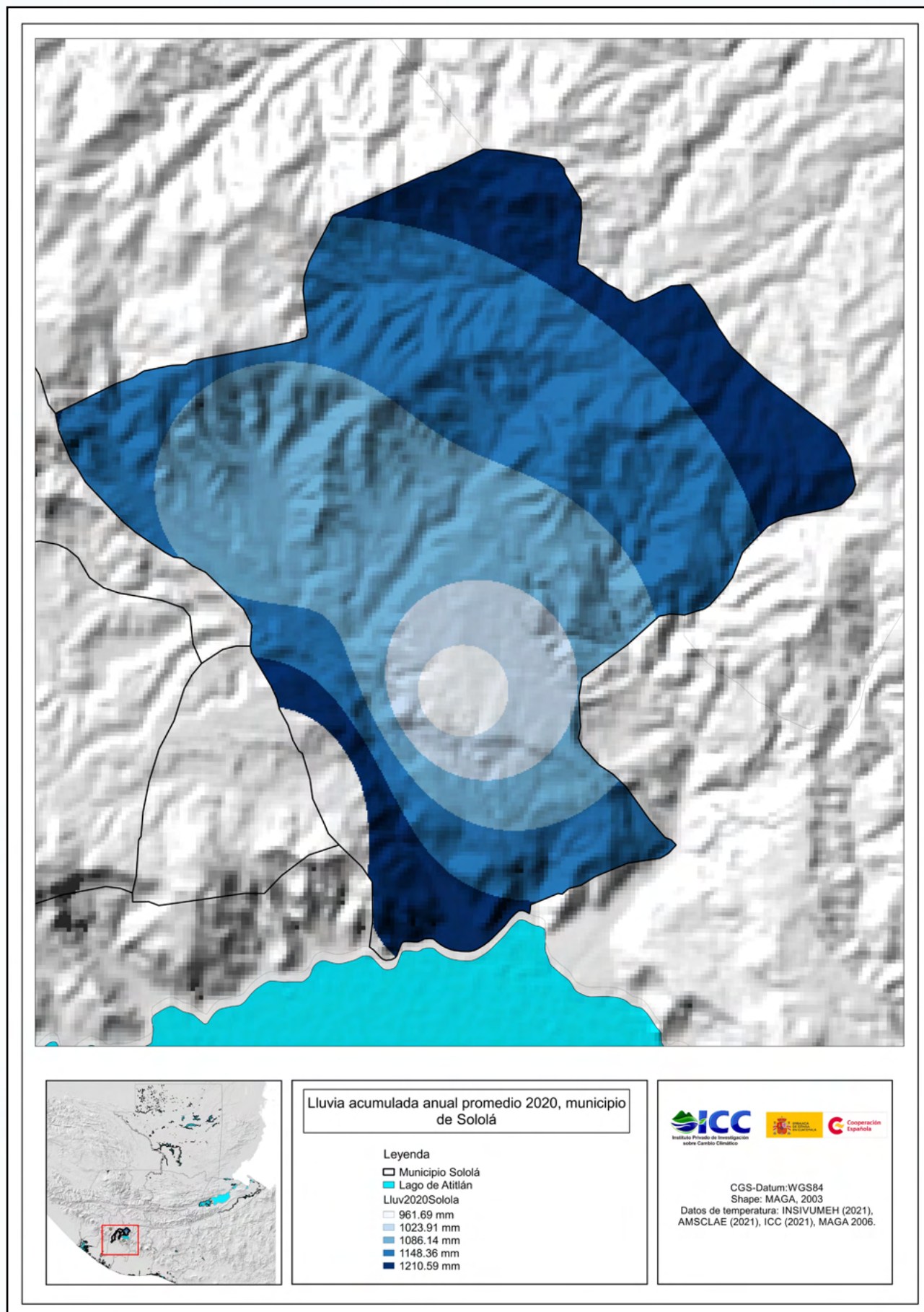


Figura 5. Distribución espacial de precipitación (lluvia) acumulada 2020 en el municipio de Sololá.
 Fuente: INSIVUMEH (2021), AMSCLAE (2021), ICC (2021).

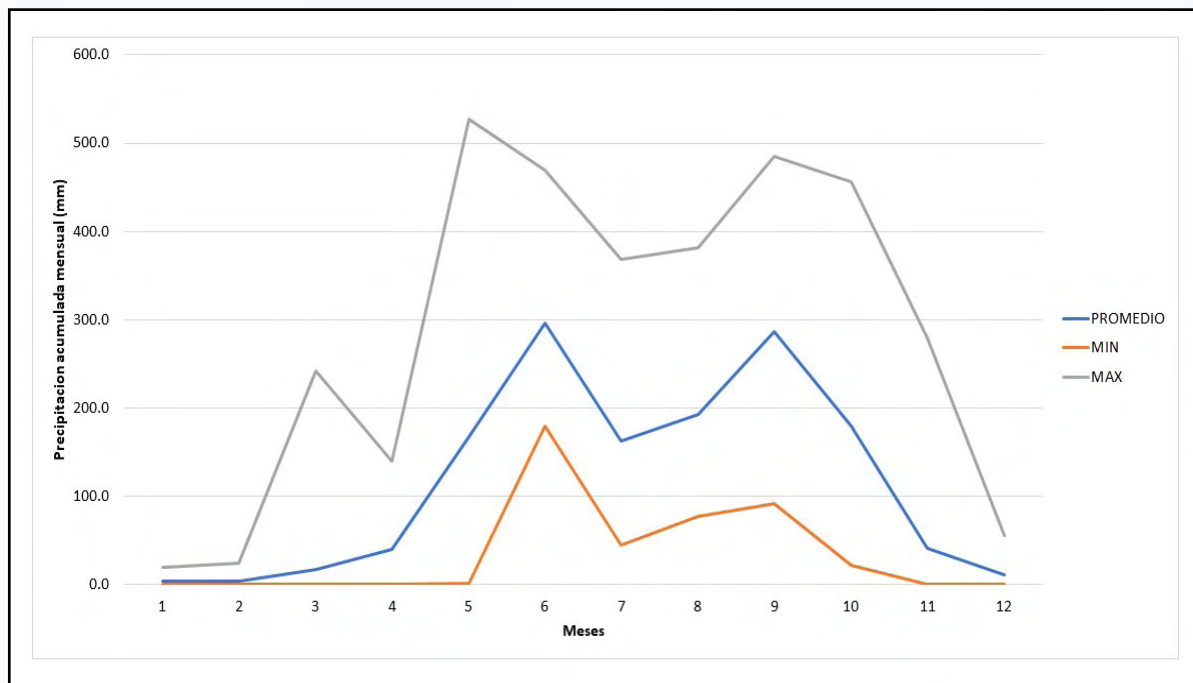


Figura 6. Distribución mensual precipitación (lluvia) promedio, máximo y mínimo acumulado en la estación meteorológica de Santa María El Tablón, Sololá, durante el periodo 1994-2020.
Fuente: INSIVUMEH (2021).

Los peores impactos actuales y esperados del cambio climático están relacionadas con la variabilidad climática como sequías e inundaciones entre otros fenómenos como lo afirma Beathgen (2011). En este sentido la figura seis, nos muestra el comportamiento los máximos acumulados de lluvia (línea gris), destacándose para el mes de mayo con 527 mm acumulados influenciado por la tormenta tropical Agatha en 2010.

Otro dato que resalta el máximo acumulado de 484 mm de lluvia en septiembre de 2010 (figura 6), uno de los mayores acumulados durante los últimos 27 años, INSIVUMEH (2010) reportó que las condiciones meteorológicas del país durante septiembre fueron influenciadas directamente por tres fenómenos tropicales: las tormentas tropicales 11-E; Karl y Matthew. Dichos fenómenos generaron condiciones inestables y lluvias intermitentes. Así mismo, en noviembre 1998 influenciado por las lluvias asociadas con el huracán Mitch, resalta con un acumulado de 274 milímetros, superando 683% del acumulado promedio para los últimos 27 años para dicho mes.

En cuanto a los valores mínimos de lluvia acumulada mensual (figura 6); uno de los meses con menor acumulado fue el mes de mayo de 2015, con 54.3 milímetros de lluvia registrada. Otros valores de acumulado

de lluvia inferiores al 50% del promedio mensual de mayo (periodo 1994-2020), fueron en los años 2011 y 2015.

Para la ventana temporal de la ocurrencia de la canícula en Guatemala, julio de 2014 y agosto de 2002, presentan los menores acumulados de lluvia con 44.9 y 77.5 milímetros, respectivamente. Adicional a dichos meses, destacan julio y agosto de 2015, 2016 y 2018 presentando bajos acumulados de lluvia; situación que coincide con las canículas extendidas que ocurrieron en dichos años para Guatemala según registro de Bardales et al. (2019). Además, se observó una tendencia de persistencia de anomalía positiva debido a la presencia del fenómeno de El Niño Oscilación Sur para el 2014-2015.

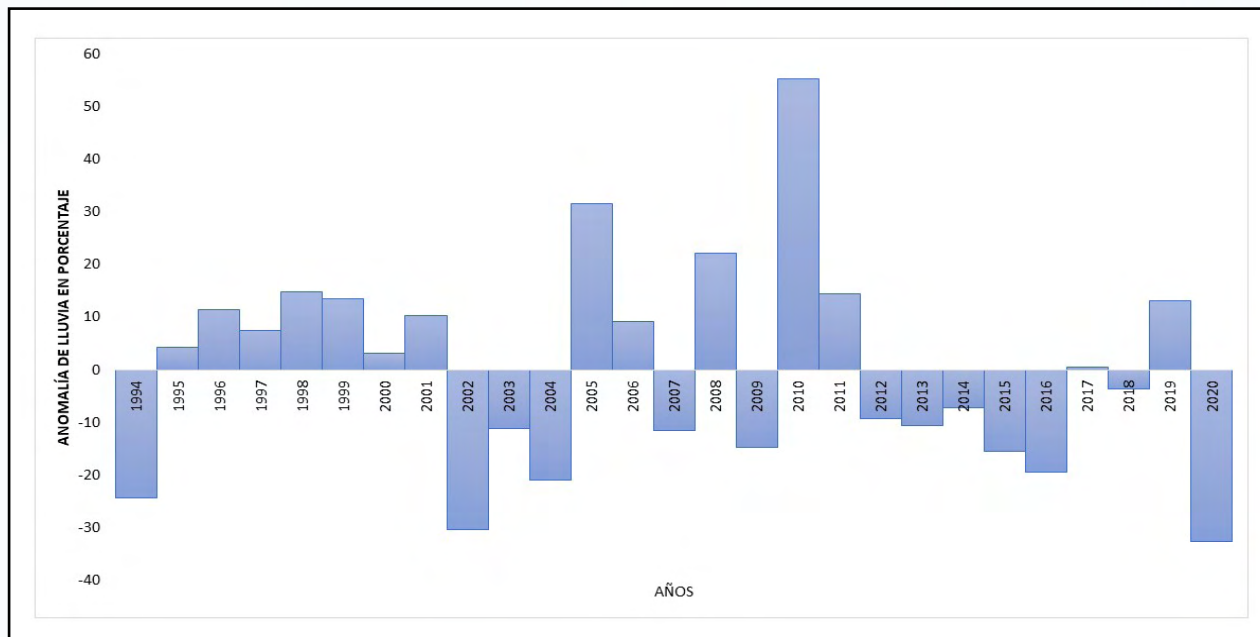


Figura 7. Anomalia de la precipitación en función al promedio acumulado mensual para el periodo 1994-2020, estación meteorológica de Santa María El Tablón.

Fuente: INSIVUMEH (2021)

En la figura siete se pueden observar los años con mayor acumulado de precipitación (anomalía positiva) sobre el 30% del promedio anual acumulado destaca el año de 2005, influenciado por las lluvias detonadas por la tormenta tropical Stan y el año 2010 por la tormenta Agatha y otras tormentas tropicales ocurridas en dicho año. Seguido por otros años como 1998 y 2011 que sobrepasaron el promedio anual acumulado para el periodo de estudio.

Por el otro lado, los años por debajo del promedio acumulado de lluvia anual, destacan los años 2002 y 2020 alejados un 30% del promedio anual 1994-2020. Seguido por los años 1994, 2004 y 2016.

En la búsqueda de algún cambio inter-decadal para el territorio del municipio de Sololá se presenta la figura 8. En ella observamos que la precipitación acumulada anual en el periodo 2001-2010 ha sido la más lluviosa en los primeros meses de la época lluviosa en comparación con las otras dos décadas. Sin embargo, para la segunda parte de la época lluviosa, la década de los 90's ha sido más lluviosa.

Se destaca una reducción del acumulado de lluvia para julio-septiembre para la década de 2011-2020,

muy probablemente influenciada por el periodo con condiciones del fenómeno de El Niño Oscilación Sur (ENOS).

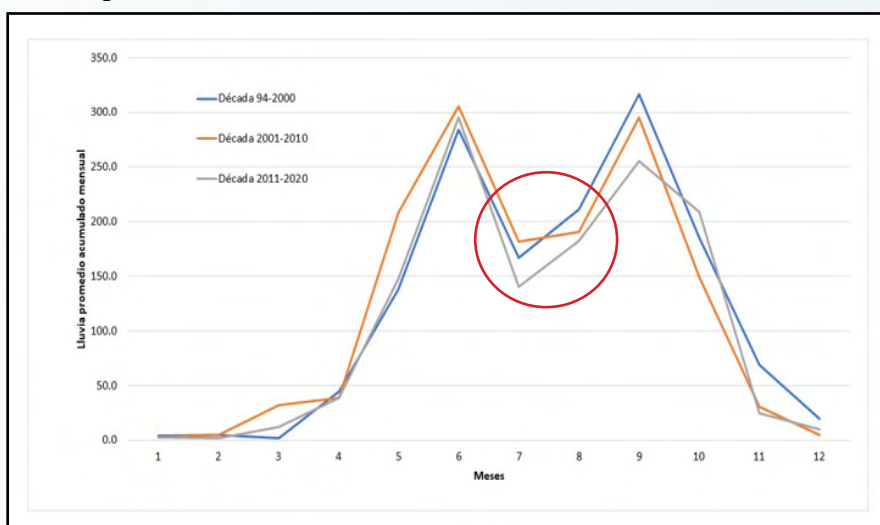


Figura 8. Comparativo decadal del acumulado promedio mensual de precipitación estación meteorológica de Santa María El Tablón.

Fuente: INSIVUMEH (2021)

Moreno y Díaz (2003) hacen referencia al criterio propuesto por García de Pedroza (2003) al igual que al propuesto por Elías y Sentís (1996) que se basa en el rango de probabilidad de ocurrencia de lluvias, que depende de las características climáticas y topográficas particulares de las localidades de estudio. Bajo dichas premisas se puede considerar condiciones de muy baja precipitación, aquellas que se encuentran en

el rango inferior al 10%, condiciones bajas, entre el 10% y 25%, condiciones normales entre el 25% y 75%, condiciones de alta precipitación entre el 75% y 90% y condiciones de muy alta precipitación, cuando la probabilidad es superior al 90% de ocurrencia. Con base a los registros de la estación de INSIVUMEH Santa María El Tablón (Figura 9) y la clasificación citada de ocurrencia de las lluvias; se determinó que la lluvia correspondiente a la clasificación

muy baja precipitación (por debajo del percentil 10) se cuantificó por debajo de 956 milímetros (mm), para la clasificación baja precipitación (percentil 10 - 25) es de un valor entre 956 a 1,054 mm; la clasificación de condiciones “normales” de lluvia (percentil 25 - 75) un acumulado de 1,496 mm y condiciones de muy alta precipitación (percentil 90) sobre 1,613 mm.

La ocurrencia de precipitaciones consideradas como extremas tanto mínimas como máximas son relevan-

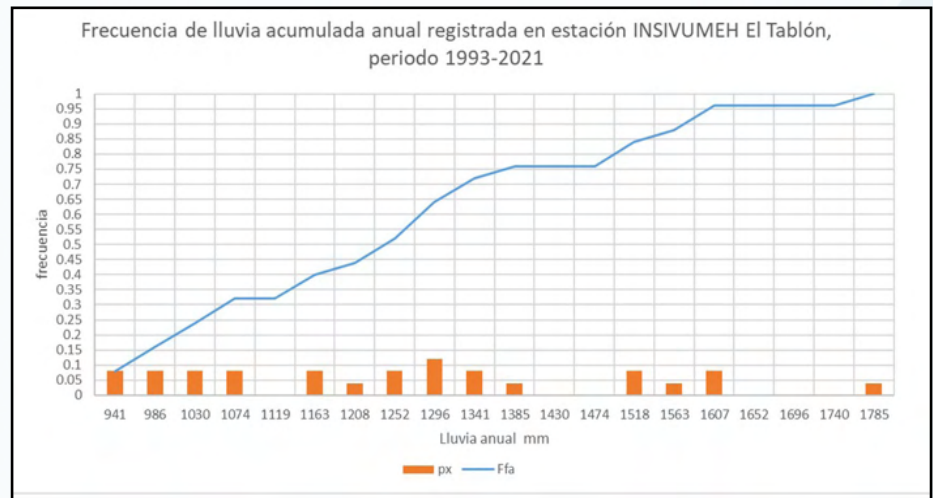


Figura 9. Frecuencia de ocurrencia de lluvia acumulada anual registrada en la estación Santa María El Tablón.
Fuente: INSIVUMEH (2021)

tes por sus impactos sobre los medios de vida. Según registros de lluvia acumulada anual de Estación Santa María El Tablón se encontró que el rango de lluvias acumuladas anual mínima son inferiores a 1,050 mm con 10% de frecuencia, mientras que, valores de lluvia acumulada anual máximas se encuentran sobre los 1,660 mm con 10% de ocurrencia.

5.1.2 Balance hídrico 2021

El balance hídrico generado para el periodo 2020 – 2021 (figura 10), muestra un déficit hídrico al inicio del año 2020 (01 de enero al 09 de mayo de 2020), que coincide claramente con la época seca en Guatemala y el departamento de Sololá. Para el periodo del 20 de junio al 20 de agosto de 2020 se observan varias semanas con déficit hídrico interrumpidas por lluvias (acumulado pentadal presentado en la figura 10), que superan la evapotranspiración en la localidad. Después de la época lluviosa del 2020, se observa una reducción de lluvia a partir del 20 de noviembre, considerada como época no lluviosa, y se extiende hasta el 10 de abril de 2021. Se observan episodios esporádicos de lluvia durante la época no lluviosa, sin embargo, el balance sigue siendo negativo de -548.45 milímetros. En la época lluviosa de 2021, se observa episodios de lluvia en abril que generan un acumulado de 62 milímetros, llamadas a nivel local lluvias del sembrador, pero el balance hídrico fue negativo (-25.47 mm). Comparado con las condiciones de 2020, el mes de abril 2021 fue más lluvioso.

A partir del 09 de julio de 2021 hasta el 17 de agosto se observa una reducción de las lluvias consideradas dentro de la ventana temporal de la canícula, el balance hídrico para mencionado periodo se estimó en -53.35 milímetros. Una reducción de lluvias se observa a partir del 27 de septiembre, donde la evapotranspiración supera el aporte de lluvia, a excepción de las semanas del 27 de octubre al 05 de noviembre.

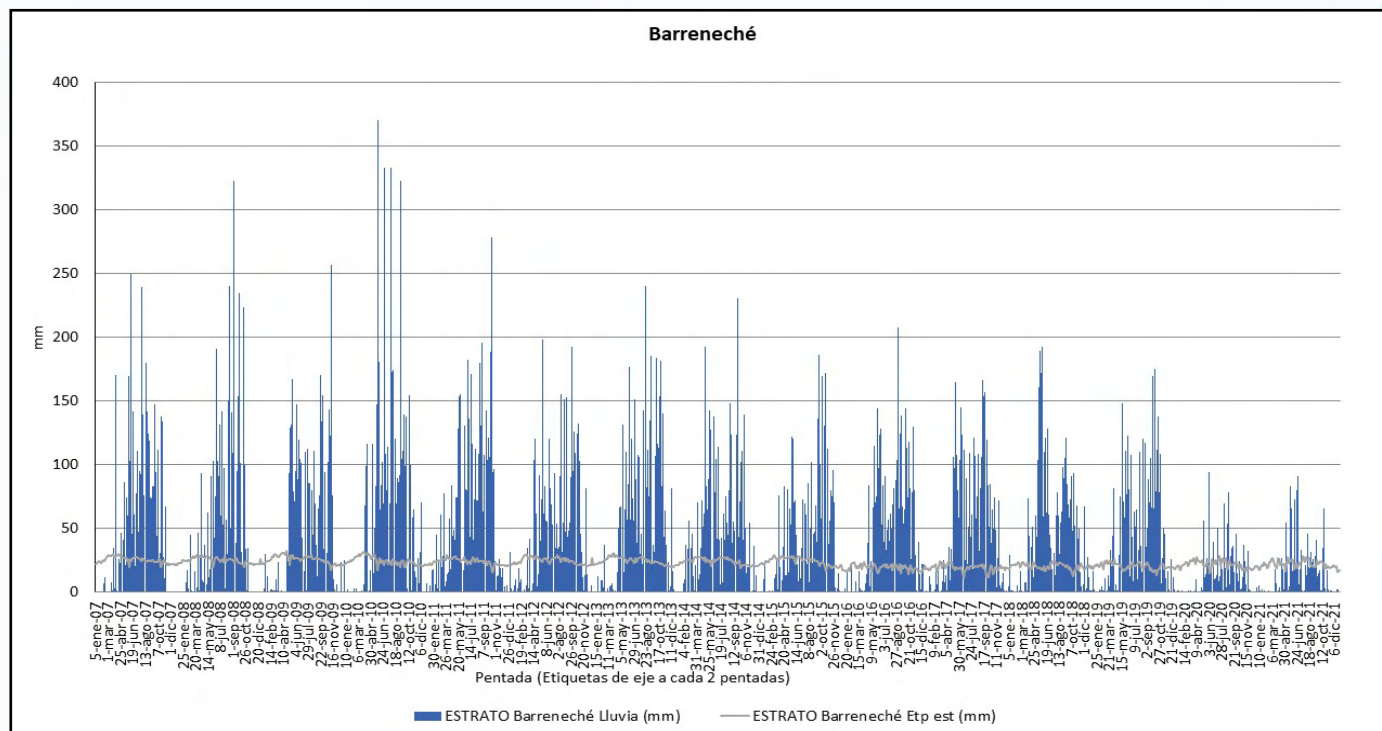


Figura 10. Balance hídrico para el municipio de Sololá basado en datos de la estación meteorológica de Barreneché.
Fuente: AMSCLAE (2022)

5.1.3 Inicio y finalización de la época de lluvia

Un elemento clave para la agricultura guatemalteca, primordialmente para la siembra y el crecimiento de los cultivos, es la condición de humedad en los suelos, que está fuertemente influenciada por el inicio de la época lluviosa. En este sentido, en la zona del departamento de Sololá, de acuerdo con datos de Orrego de León et al. (2021), estadísticamente el periodo de inicio de la época lluviosa no ha sufrido cambios (figura ocho, ver círculo remarcado), es decir, bajo los criterios de dos pentadas consecutivas de lluvia supera la evapotranspiración potencial y el momento donde cambia la pendiente del comportamiento del déficit potencial.

Las estaciones con más datos históricos (1980-2018) empleadas por Orrego de León et al (2021) para la zona donde se ubica el departamento de Sololá, son: Labor Ovalle y Santiago Atitlán. Los registros de precipitación de citadas estaciones meteorológicas revelan que la probabilidad de inicio de la época lluvia se mantiene para el periodo del 18 al 27 de mayo. Lo anterior, no significa que no existan eventos de lluvias durante

los meses de marzo o abril, especialmente las de tipo convectivas, que usualmente son llamadas las lluvias del sembrador en el altiplano occidental de Guatemala. Dichas lluvias se generan a partir de la combinación de la humedad asociada con los frentes fríos y otros factores locales.

En esa línea de las lluvias del sembrador, en los meses de marzo y abril, el promedio mensual para marzo durante el periodo de 1990-2018 fue de 29.8 milímetros y para abril un acumulado de 59.7 milímetros.

Con relación a la finalización de la época lluviosa, la tendencia probabilística es la de mantenerse en su periodo de finalización entre 10 al 24 de octubre para el territorio del altiplano occidental, que incluye a todo el departamento de Sololá.

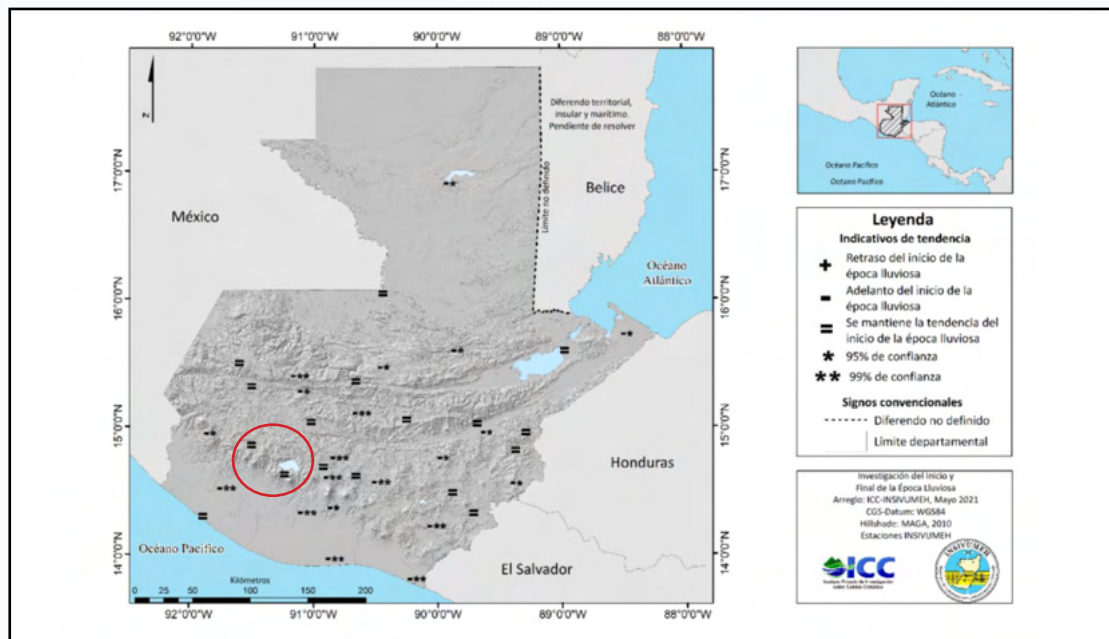


Figura 11. Tendencia del inicio de la época lluviosa (IELL) en Guatemala.
Fuente: Orrego de León et al (2021).

5.1.4 Comportamiento de los vientos

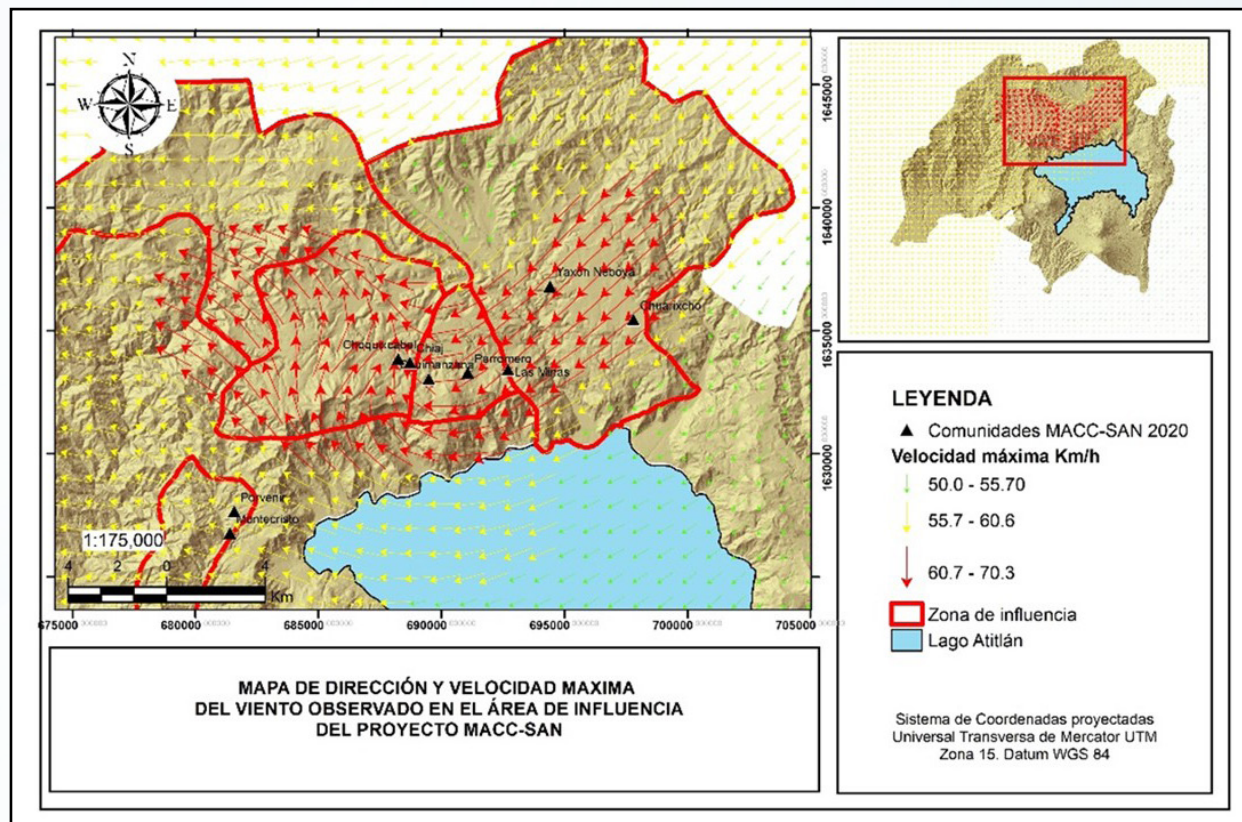


Figura 12. Dirección y velocidad de los vientos en el periodo 2020-2021.

En el análisis realizado sobre los vientos para los municipios de Sololá presentado en la figura 12 (mapa), modelado para la zona de influencia de las comunidades del proyecto MACC-SAN, demuestra que el ingreso de los vientos es del Noreste hacia el Oeste, la velocidad de las ráfagas de viento registradas se encuentran entre los 50km/h y 60km/h. En la escala Beaufort, son vientos fuertes, que causan fracturas de

ramas pequeñas de árboles, pudiendo ocasionar volcamiento de plantas cultivadas de porte alto, daño a follaje y caída flores y frutos en especies frutales. Además, hacen balancear árboles y hacen difícil el caminar.

5.1.5 Fenómeno de El Niño Oscilación Sur (ENOS)

El Niño Oscilación del Sur (ENOS) es un componente de la variabilidad climática que se define como los cambios temporales en la interacción de los factores predominantes del clima. El fenómeno de ENOS cuya fase cálida es denominada como El Niño y la fase fría como La Niña, es una alteración del sistema océano-atmósfera en el Pacífico tropical que tiene consecuencias importantes en el clima alrededor del planeta. Este evento empezó a ser conocido cuando los pescadores peruanos y ecuatorianos identificaron una corriente cálida que comenzaba a manifestarse en la época navideña y la bautizaron de El Niño Jesús. Sin embargo, con el desarrollo científico, se identificó que no solo hay una manifestación de la corriente cálida, sino que hay diversas variables climáticas que están involucradas en este fenómeno; entre ellas se pueden

mencionar algunas como la temperatura del mar, las corrientes marinas, el nivel del mar, los vientos, la presión atmosférica, las lluvias, etc (CIIFEN, 2021).

La mayoría de los estudios e investigaciones de la evolución o monitoreo del fenómeno ENOS se realizan en el océano Pacífico ecuatorial denominadas como las regiones 3 y 4, donde se manifiestan los cambios de los principales parámetros de análisis. Además, con el pasar del tiempo y el desarrollo de mejores herramientas, se llegó a la conclusión que el área entre las regiones 3 y 4 es la que mejor representa la condición de El Niño y La Niña, por lo tanto, se ha creado una nueva región, definida como 3.4 CIIFEN, (s.f.).

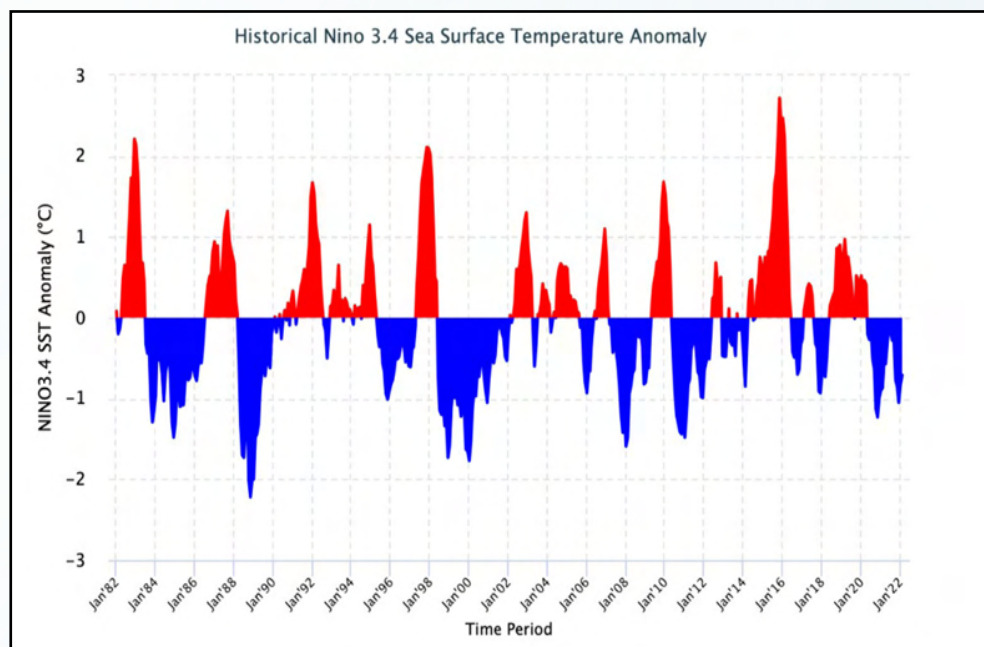


Figura 13. Anomalía histórica de la temperatura superficial del mar en la región de El Niño 3.4.
Fuente: IRI, (2022)

Por medio de la figura 13, se presenta la anomalía de la temperatura superficial de la región 3.4 en el océano Pacífico ecuatorial (Sudamérica). En color rojo se observan los registros de la temperatura superficial del mar (TSM) que superan el promedio de la región 3.4 y son consideradas como anomalías positivas. Los picos resaltados son fases intensas del fenómeno de El Niño, según Bardales et al. (2019), en Guatemala son condiciones secas o de escasez de lluvias. Destacan las fases en los años 1983, 1987, 1997-1998, 2003, 2009-2010 y 2015-2016. De acuerdo con CIIFEN (2017), alcanzó su máxima intensidad y que, debido a su magnitud, fue considerado como uno de los eventos más fuertes de los últimos 50 años, junto a los eventos de los años 1982-83 y 1997-98.

Por el otro lado, la fase de La Niña, en el ciclo del ENOS es el fenómeno opuesto de El Niño y se trata

del enfriamiento a gran escala de las temperaturas de la superficie del océano en la misma región del Pacífico ecuatorial, sumado a una inversión de las condiciones de la atmósfera suprayacente. OMM. (2014), afirma que en muchos lugares, especialmente en los trópicos. La Niña produce las variaciones climáticas opuestas a las de El Niño, es decir más condiciones de humedad o de precipitación.

En la figura 13 se observan fase de La Niña en color azul, donde la temperatura superficial del océano Pacífico ecuatorial está por debajo del promedio de la región 3.4, resaltan varios picos de enfriamiento, especialmente, en 1989, 1999, 2007-2008, y 2010-2011.

5.1.6 Días sin lluvias

Otra variable importante para el medio de vida agrícola y los diferentes ecosistemas vinculados al territorio del municipio de Sololá, son los días sin lluvias. De acuerdo con los registros que se tienen el territorio para el periodo 1994-2020 (figura 14). Para la época de siembra de los principales cultivos, los meses de marzo y abril son clave. Durante el mes de marzo de los años 1998, 2008, 2009 y 2019 no se registraron días con lluvias, los primeros años influenciados por la fase del fenómeno de El Niño; mientras que, para el mes de marzo de los años 2003, 2016 y 2017 se registraron los menores acumulados de días sin lluvia, es decir, se contó con por lo menos con cinco días de lluvia.

En el caso del mes de abril, presenta acumulados de días sin lluvia menores que el mes de marzo, siendo el rango entre 14 y 30 días acumulados. Solamente se registra para 1998 y 2008 meses completos sin lluvia, que coinciden con los eventos más intensos del fenómeno de El Niño.

Para el periodo junio-agosto, el promedio de días sin lluvia se han cuantificado 8.9, 13.2 y 12.8, res-

pectivamente. Dicho periodo es clave en la agricultura, debido a la ocurrencia de la canícula. Las implicaciones de un incremento de días sin lluvia en el territorio repercuten en la producción agrícola, especialmente, para los sistemas agrícolas de subsistencia.

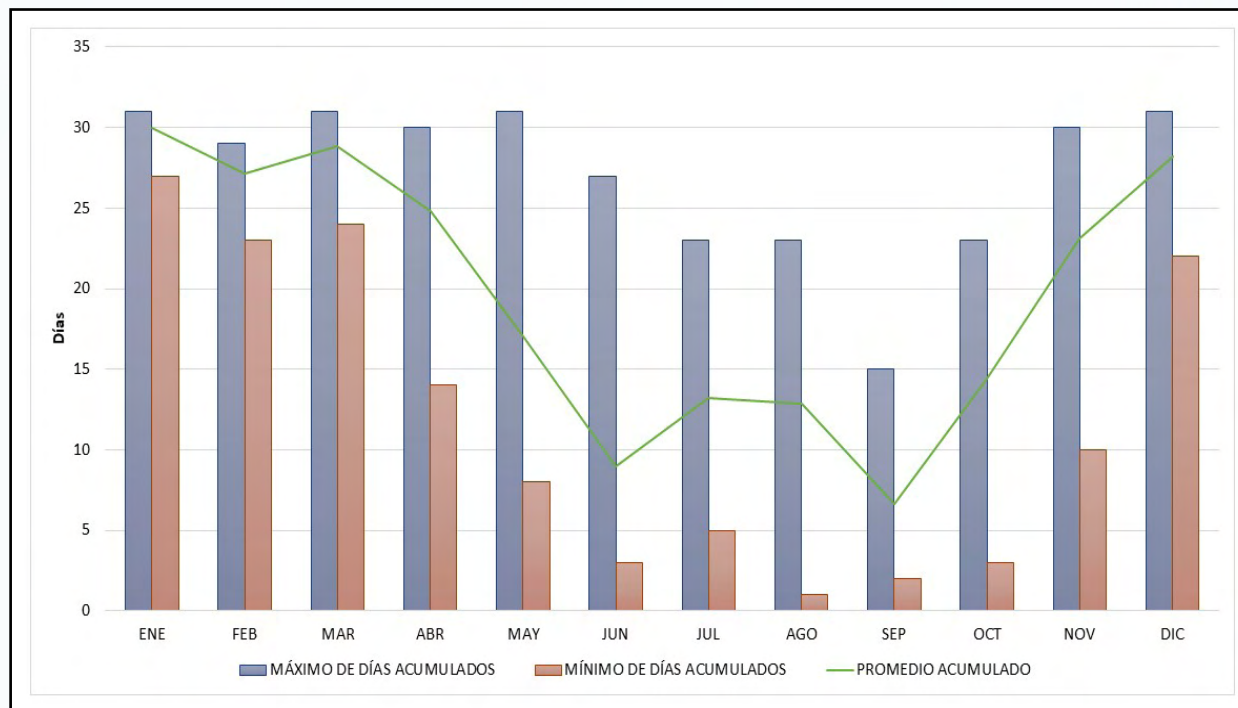


Figura 14. Comportamiento de los días acumulados sin lluvia en el municipio de Sololá.
Fuente: (INSIVUMEH, 2021)

5.1.7 La temperatura en el municipio de Sololá

La temperatura es otra de las variables meteorológicas y/o climáticas que define las características de un territorio. El municipio de Sololá se encuentra ubicado, según INSIVUMEH (s.f), en la región climática del Altiplano Central.

En el caso del municipio de Sololá, se observa (figura 15) una tendencia de incremento de la temperatura

mínima durante el periodo 1994-2018, se estima un incremento de 1.6 grados Celsius. Los registros mensuales de temperatura se encuentran entre el rango de 4 a 12.5 °C para el municipio de Sololá. El periodo de diciembre-abril presentan los valores más bajos en temperatura mínima y los meses de mayo-octubre con los valores más altos.

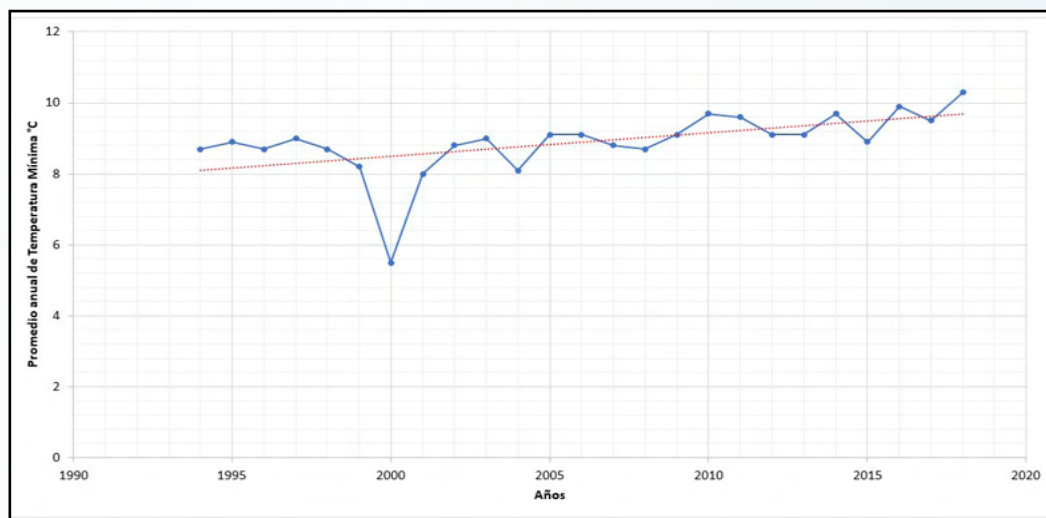


Figura 15. Promedios anuales de temperatura mínima (° Celsius) para el periodo de 1994-2018 registrados por la estación Santa María El Tablón, Sololá.
Fuente: INSIVUMEH (2021)

En cuanto a la temperatura máxima, la figura 16, muestra los promedios anuales para el periodo 1994-2018. Se observa una tendencia de incremento de la

temperatura máxima desde 1994, alrededor de un grado Celsius.

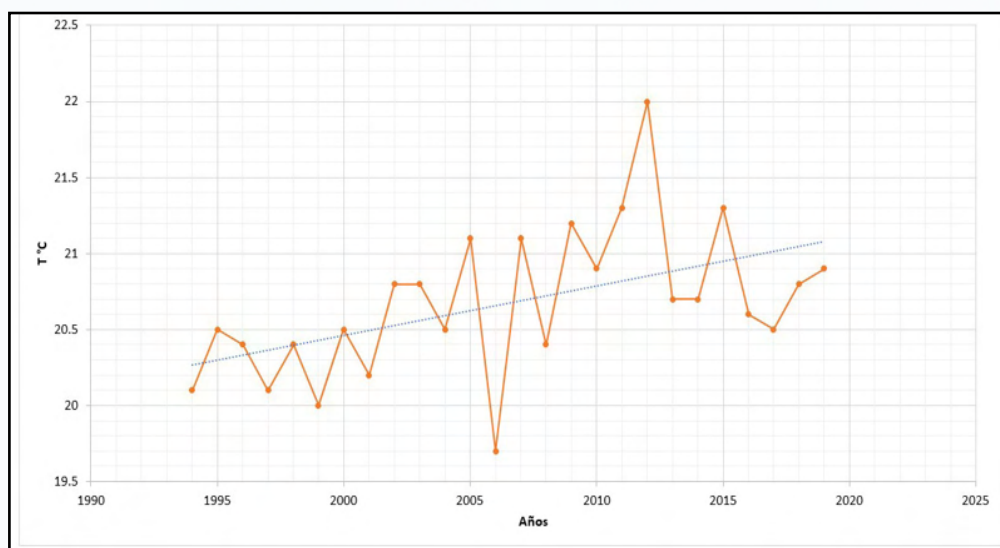


Figura 16. Promedios anuales de temperatura máxima (° Celsius) para el periodo de 1994-2018 registrados por la estación Santa María El Tablón, Sololá
Fuente: INSIVUMEH (2021)

5.2 Cambios en el clima

Debido a los pocos registros históricos de variables climáticas que existen para el territorio de Sololá, se cuentan con datos exclusivamente de temperatura y

precipitación (lluvia). Por lo tanto, esta sección se enfocará en datos de temperatura y precipitación registradas por estaciones cercanas al municipio de Sololá.

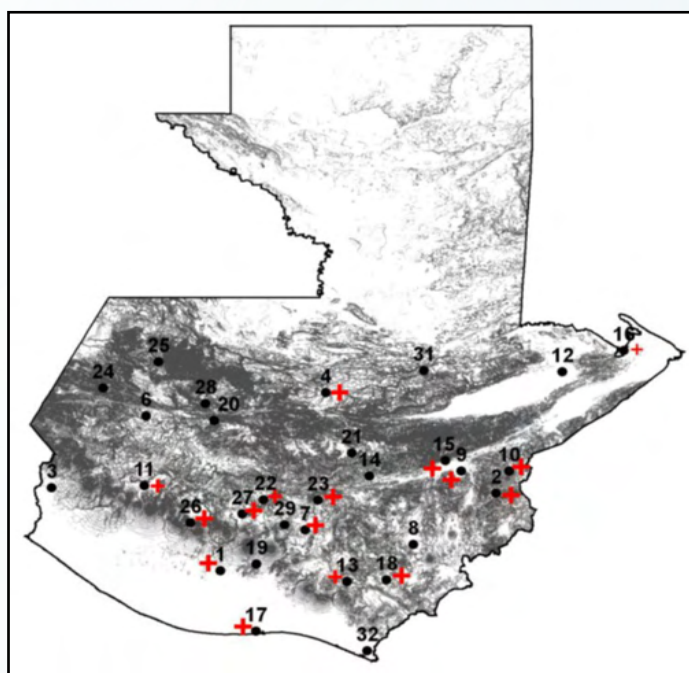


Figura 17. Tendencia de precipitación anual en Guatemala.
Fuente: (Guerra, A.A., 2010)

De acuerdo con Guerra, (2010), los registros de estación meteorológica de Santiago Atitlán, no presenta estadísticamente alguna tendencia de lluvias extremas en el territorio (figura 18), ya sea de incremento o re-

ducción. Otra estación cercana al territorio en estudio, Labor Ovalle en Quetzaltenango, tampoco presenta tendencia alguna en el comportamiento de las lluvias extremas.

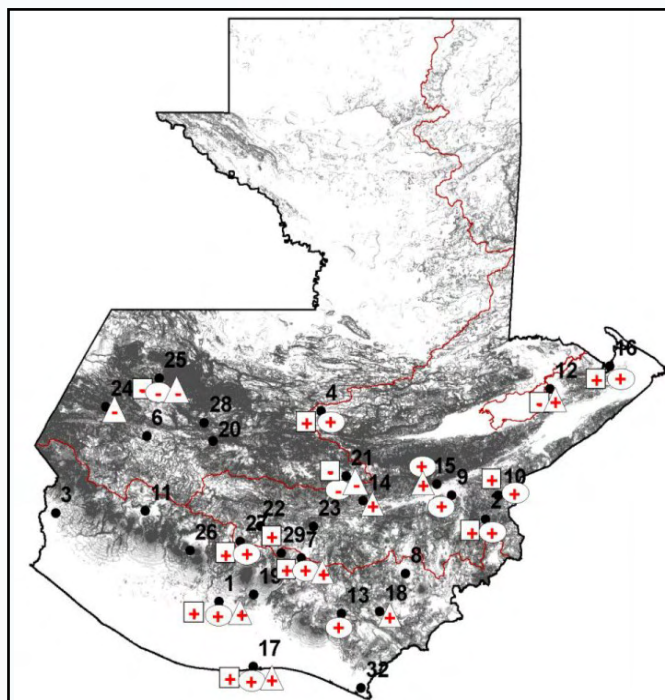


Figura 18. Tendencia de lluvia extrema en Guatemala.
Fuente: Guerra, (2010)

La figura 19, muestra una tendencia de incremento en la temperatura mínima en el departamento de Sololá. El INSIVUMEH (2021) reporta hallazgos similares para la estación de Labor Ovalle para el periodo 1981-2010 y 1991-2020, donde, existe una tendencia estadística de noches calientes (TN90p) y TX90p (días calientes). Otro de los hallazgos fue la tendencia de-

creciente en los días fríos (TX10p). En cuanto a temperaturas máximas, se observa una tendencia al incremento (figura 20). Bardales et al, (2019) señalan que el comportamiento de la temperatura para Guatemala muestra una clara tendencia al incremento en sus valores, es decir un calentamiento.

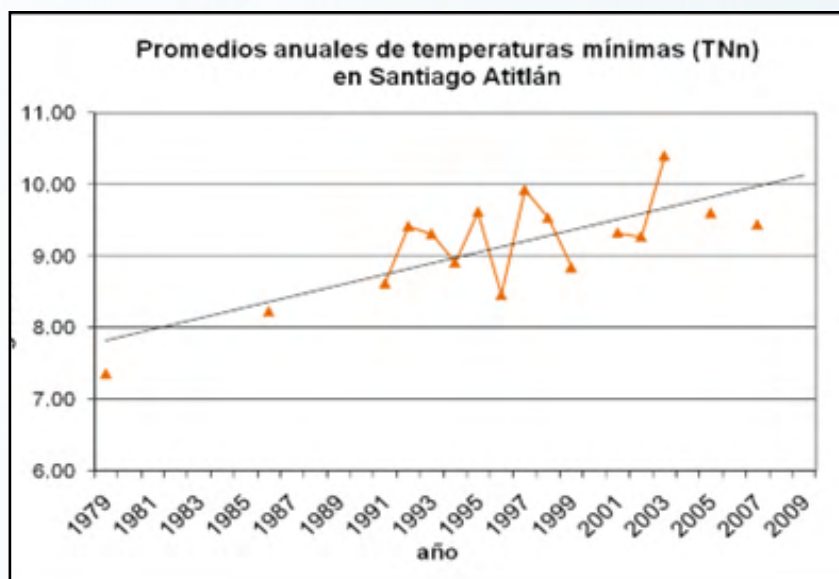


Figura 19. Tendencia de los promedios anuales de la temperatura mínima en el departamento de Sololá.
Fuente: Guerra, A.A. (2013).

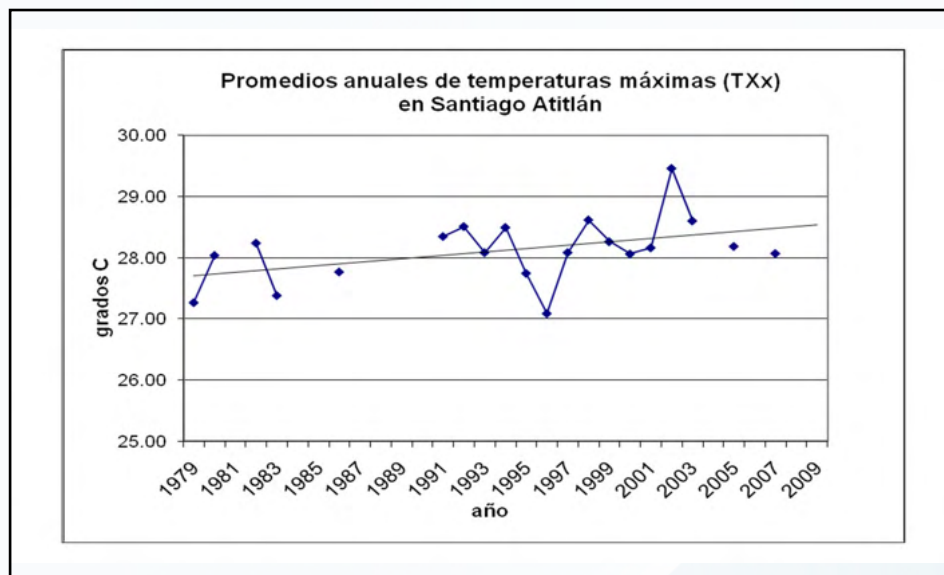


Figura 20. Tendencia de los promedios anuales de la temperatura máxima en el departamento de Sololá.
Fuente: Guerra, A.A. (2013).

5.3 Cambios proyectados del clima

El clima futuro dependerá del calentamiento asegurado a raíz de emisiones antropogénicas (humanas) en el pasado, así como de las emisiones de GEI antropogénicas futuras y la variabilidad natural del clima IPCC, (2014).

Los escenarios climáticos del IPCC se han construido para aportar información para la toma de decisiones en un futuro cercano bajo ciertos supuestos de comportamiento socioeconómico y las emisiones GEI's. De acuerdo con el IPCC (2000), 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. Los escenarios son de utilidad para el análisis del cambio climático, y en particular para la creación de modelos del clima, para la evaluación de los impactos y para las iniciativas de adaptación y de mitigación.

Con los escenarios climáticos (RCP8.5) elaborados para Guatemala se efectuaron simulaciones de temperatura máxima para el año 2050, bajo condiciones de mayor emisión de gases de efecto invernadero (pesimista); donde se observa un incremento entre 1.5 y

1.6 grados Celsius para el territorio del municipio de Sololá en comparación con los registros del año 2000. La simulación muestra mayor probabilidad de incremento de la temperatura en el este y sur del territorio del municipio de Sololá.



Figura 21. Diferencia de temperatura máxima para el período 2000-2050 en el municipio de Sololá.
Fuente: University of Nebraska-Lincoln, (2022).

En cuanto temperatura media y en el escenario de mayores emisiones de CO₂, se espera un incremento entre 1.3 a 1.6 grados Celsius. Dicho incremento se espera para el siglo XXI, el (IPCC, 2021) afirma que el ca-

lentamiento global estará probablemente entre 1.5 a 2° Celsius. Sin embargo, puede ser excedido durante el siglo XXII, aunque se reduzca la producción de gases de efecto invernadero.

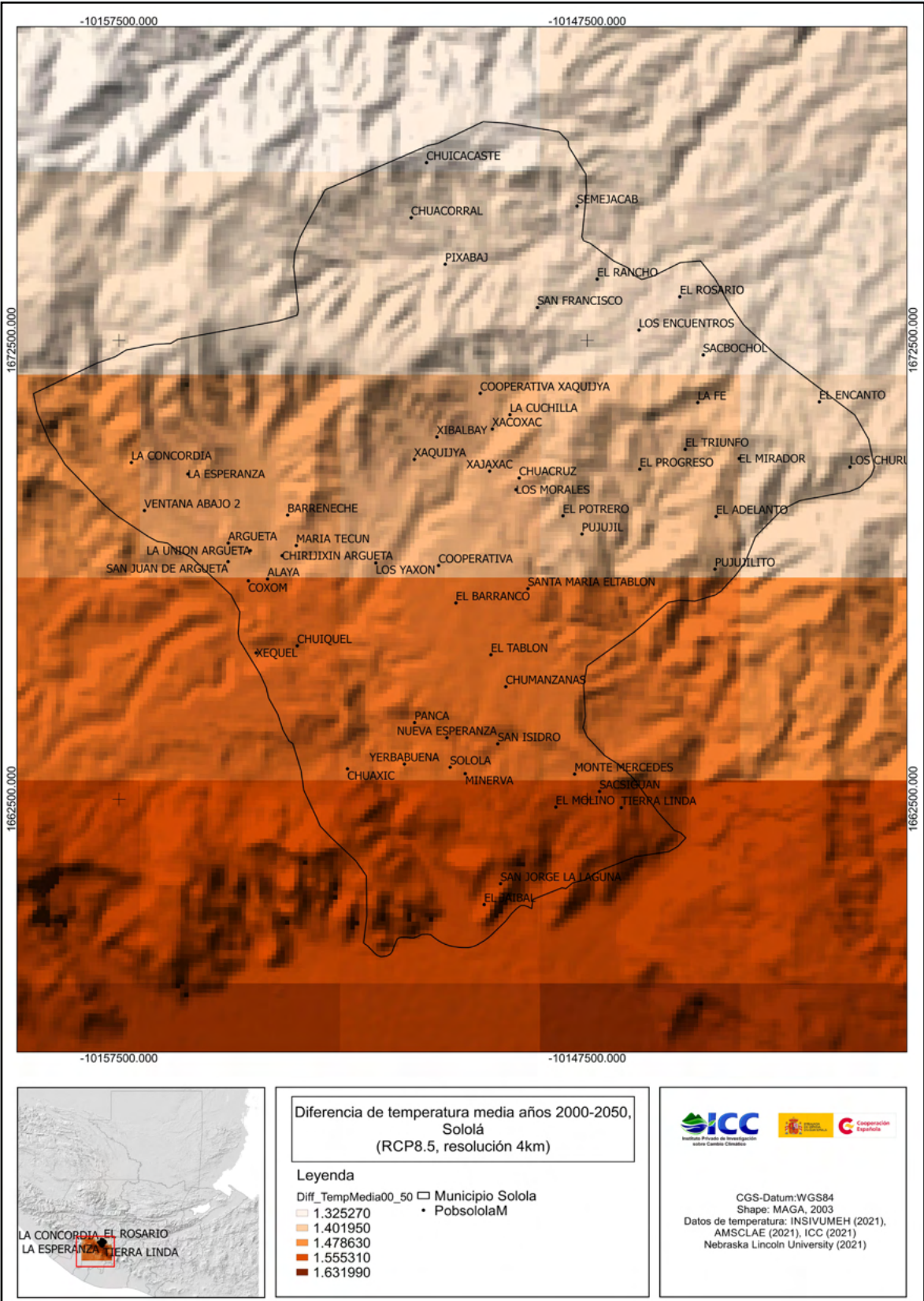


Figura 22. Diferencia de temperatura media para el periodo 2000-2050 en el municipio de Sololá. Fuente: (University of Nebraska-Lincoln, 2022).

Bajo las dos simulaciones de temperatura presentados anteriormente, existen altas probabilidades de incremento de temperatura a mediados del siglo XXI.

En cuanto a la variable de precipitación (lluvia), las simulaciones climáticas para el 2050, sugieren que se mantendrá los acumulados mensuales de mayo en al-

gunas porciones del territorio de Sololá. En otras áreas del mismo territorio se espera una reducción de 40 milímetros. El acumulado anual para el 2050, se proyecta una reducción entre 500 y 1,000 milímetros de lluvia para todo el departamento de Sololá (figura 23).

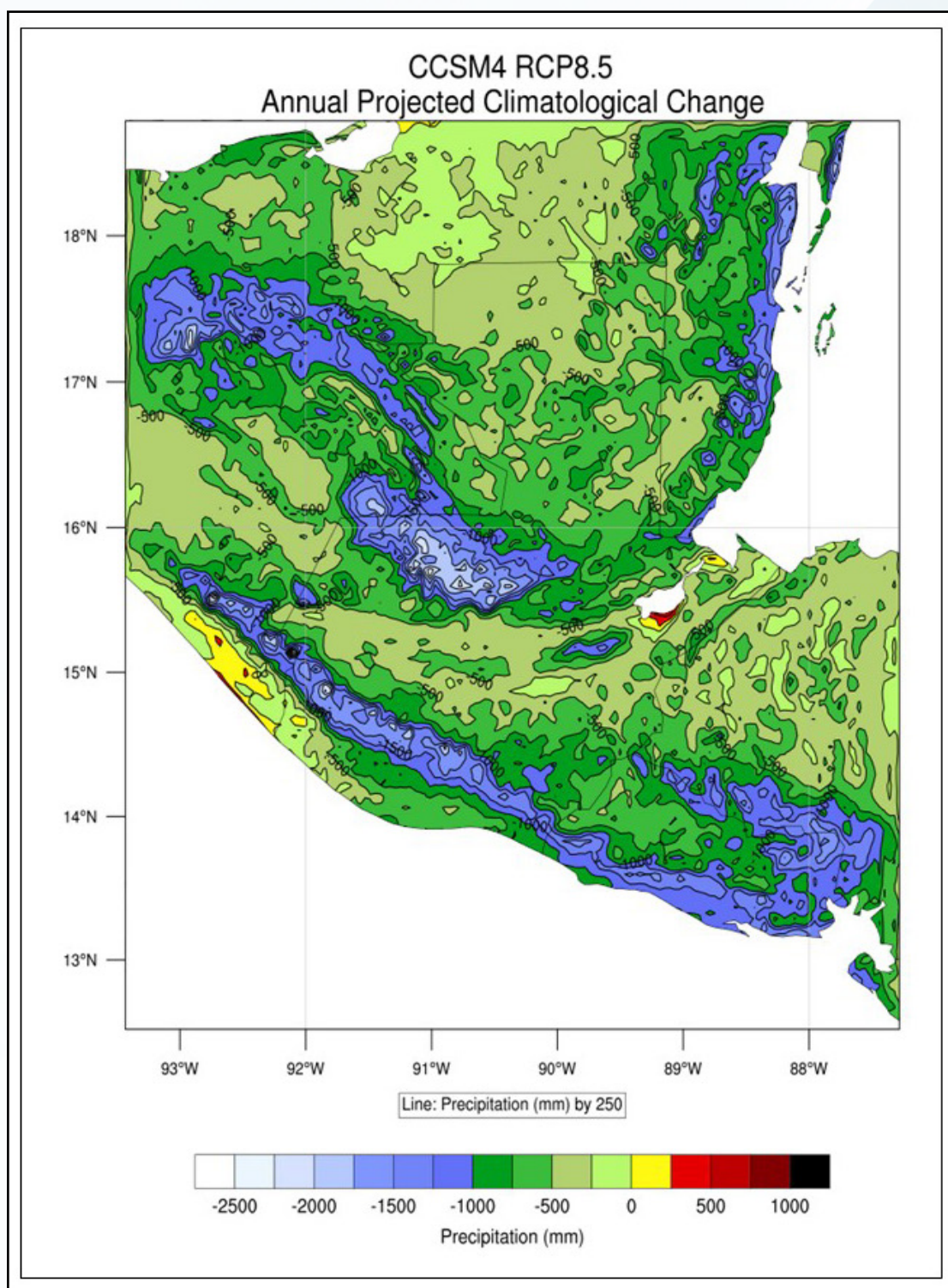


Figura 23. Cambio climatológico con relación a la variable precipitación 2000-2050 en Guatemala.
Fuente: (University of Nebraska-Lincoln, 2022).

5.4 Vulnerabilidad climática de los principales medios de vida

Para el 2021, el ICC realizó una encuesta a una muestra de hogares (26) del caserío de Yaxón-Neboyá, tomados aleatoriamente y los resultados indican que los principales medios de vida son los siguientes: el 34.61% tiene como medio de vida principal la agricultura dependiente de las lluvias (de secano), el 42.30% se dedica a la actividad de jornal (trabajo inestable) y el 19.23 % realiza otras actividades. El uso de huertos es una práctica que para el grupo muestral representa

un 11.53 % el cual requiere de una mayor iniciativa, quienes no cuentan con un sistema productivo dentro del hogar, consideraron que es una práctica importante pero que requiere de asesoría lo cual demuestra interés en su establecimiento; en relación con el uso de la tierra, se cuantificó que el 95.6% de las tierras de los entrevistados son utilizadas para la producción de maíz, especialmente, en asocio.

5.4.1 Medios de vida de Yaxón-Neboyá

Un medio de vida comprende las posibilidades, activos (recursos materiales o sociales) y actividades necesarias para ganarse la vida (DFID, 1999). 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 condi-

ciones topográficas y recursos naturales del entorno. En el caserío en estudio las condiciones son rurales y los medios de vida más importantes se basan en la economía informal, la agricultura y labores artesanales como se visualiza en el cuadro uno.

Cuadro 1. Medios de vida más importantes de Yaxón-Neboyá, Sololá

No.	% de importancia	Medio de vida
1	65	Comerciante
2	60	Tejedores
3	58	Ama de casa
4	57	Agricultura
5	53	Crianza de animales

* Una familia puede poseer diversos medios de vida por lo que el valor presentado no es acumulativo entre los medios de vida.

En el cuadro uno se observa que los medios de vida más relevantes hacen referencia a la actividad de comercio, sin embargo, esta actividad posee una vulnerabilidad relativamente baja al compararse con a la actividad agrícola. La producción de granos básicos (maíz y frijol) es para autoconsumo, principalmente, al igual que la producción de animales en los espacios de vivienda a una escala relativamente pequeña. El medio de vida ama de casa, aunque dicha actividad no genere un ingreso económico cuantificable, conlleva a una serie de acciones para llevar el control de los gastos en la familia, cuidado de los hijos, administración de los recursos del hogar entre otras muchas actividades, por lo que su importancia es reflejada en el cuadro uno.

Los medios de vida identificados hacen referencia a una o más prácticas que se puede realizar a nivel familiar.

5.4.2 Calendario de eventos naturales y actividades socioeconómicas cíclicas en el caserío de Yaxón-Neboyá.

Con el propósito de identificar fenómenos cíclicos como: estrés, amenazas, enfermedades entre otros eventos naturales o socioeconómicas en el territorio.

El cuadro dos, presenta un calendario de eventos particulares para el territorio del caserío de Yaxón-Neboyá.

Cuadro 2. Calendario estacional para el caserío de Yaxón-Neboyá, Sololá.

No	Evento	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	Inicio de lluvias												
2	Final de lluvias												
3	Canícula												
4	Sequía												
5	Fuertes Vientos												
6	Fuertes lluvias												
7	Siembra de Maíz												
8	Cosecha de Maíz												
9	Heladas												
10	Enfermedades (aves)												
11	Plagas (Maíz)												
12	Arveja												

A través del cuadro dos se registra que los eventos como el ingreso y finalización de la temporada lluviosa inicia en el mes de mayo y culmina en el mes de octubre, lo cual es aprovechado en las actividades agrícolas de secano. El fenómeno de la canícula tiene una recurrencia que se registra en los meses de julio a agosto y afecta de manera negativa a los cultivos de hortalizas. Aunado, al incremento de la temperatura, se registra que los meses más cálidos, marzo a abril, que se relacionan, según los comunitarios, con enfer-

medades como coriza la cual incrementa en casos en el mes de marzo. Tras el ingreso de la temporada de lluvias se relaciona la enfermedad de Newcastle, la cual afecta a las aves de corral. La plaga de gallina ciega afecta a las raíces de las hortalizas como en los cultivos de maíz. Los fenómenos como las heladas tienen una recurrencia anual la cual se presenta en los meses de diciembre a enero y su principal impacto negativo son las quemaduras foliares, especialmente, en hortalizas.

5.4.3 Identificación de amenazas y análisis de vulnerabilidad

En este apartado se aborda el conocimiento local sobre amenazas (eventos meteorológicos atípico) y sus impactos en los principales medios de vida en el territorio de este caserío. 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, ver figura 24. Dado a las condiciones particulares de esta localidad su exposición es especial ante las siguientes amenazas.

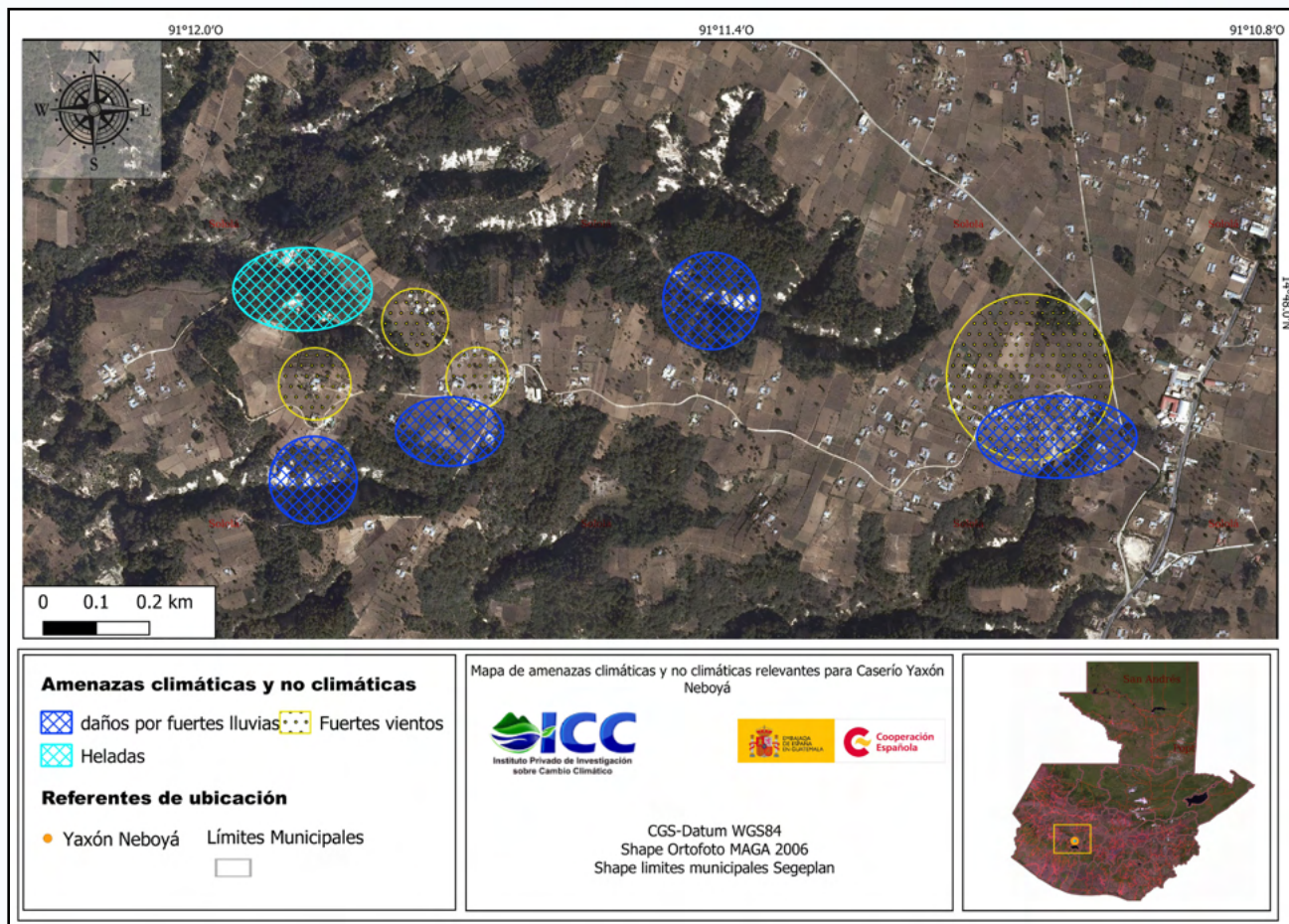


Figura 24. Mapeo de amenazas climáticas/meteorológicas y áreas de impacto histórico en el territorio de Yaxón-Neboyá, Sololá.

Bajo la percepción de los participantes, los eventos meteorológicos atípicos que pueden generar impactos se basan en la presencia de fuertes vientos, heladas, fuertes lluvias y esporádicamente remolinos, de las amenazas geológicas se consideran algunas zonas de deslizamientos detonadas por fuertes lluvias y erosión hídrica de los suelos.

La localidad de Yaxón es visiblemente plana, por lo que se enmarcan zonas en donde se acumulan láminas

de agua, que provocan encharcamiento prolongado lo que afecta a las diversas actividades tanto agrícolas como de locomoción para los transeúntes.

5.4.4 Análisis de vulnerabilidad

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, 2014b mencionado por Carrera & Villagrán, 2019).

Las personas con base a su memoria individual de eventos o sucesos pasados valoraron cada uno de los eventos hidrometeorológicos (amenazas climáticas/meteorológicas) y la susceptibilidad de cada medio de vida de ser afectado por este tipo de fenómenos (cuadro tres).

La valoración de vulnerabilidad se basó en la 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

Desde la percepción comunitaria, la agricultura basada en la producción de granos básicos y hortalizas es muy vulnerable ante eventos de vientos fuertes, sequía, gra-

nizo y heladas. En una escala intermedia de vulnerabilidad, el medio de vida agrícola es susceptible a las fuertes lluvias, al aumento de la temperatura y la canícula, según el calendario estacional (cuadro dos). Las plantas de maíz se encontrarían en etapa fenológica de florecencia y polinización. El ICTA, (s.f.) indica que la combinación de altas temperaturas y la deficiencia hídrica reducen la producción de maíz en comparación con la ocurrencia de los fenómenos por separado. De acuerdo con lo manifestado en los talleres, dichos fenómenos generan pérdidas en las cosechas y consecuentemente afecta sus ingresos económicos, la producción agrícola y la seguridad alimentaria y nutricional de varios hogares de la comunidad.

Cuadro 3. Matriz de vulnerabilidad perceptiva para la comunidad Yaxón-Neboyá

Medios de vida/ amenazas	Fuertes Lluvias	Fuertes Vientos	Sequía	Canícula	Heladas	Aumento de temperatura	Granizo
Comerciantes	1.75	1.29	0.69	0.75	0.4	0.75	2.29
Tejido/Bordadores	1.71	1.53	1.06	0.63	1.31	1	2.18
Ama de Casa	1.63	1.69	1.87	0.69	1.86	1.31	1.71
Agricultura	2.47	2.82	2.88	2.38	2.56	2.19	2.75
Crianza de animales	1.71	2.13	2.13	1.69	1.75	1.88	2.47
Jornalero	2.18	1.94	1.5	1.2	1.53	1.69	1.71
Albañiles	2.29	2.06	0.73	1	1	1.13	1.63

Como se observa en el cuadro tres en orden de importancia, las actividades como el comercio, la tejeduría y actividades como ama de casa, son medios que son afectados por eventos hidrometeorológicos. Sin embargo, dicho efecto es relativamente bajo que no presenta implicaciones negativas para su logro.

Por su parte la agricultura de secano se presenta como una actividad susceptible a los fenómenos descritos en el cuadro tres. Desde los fuertes vientos, sequía, heladas y granizo. Los efectos de dichos fenómenos van desde el daño mecánico al área foliar, aumento de evapotranspiración quemaduras foliares o daño me-

cánico al área foliar como perforaciones, se registra susceptibilidad a fenómenos como fuertes lluvias y canícula y aumento de temperatura, sin embargo, dichos acontecimientos generan un daño que según los agricultores puede tolerarse en la producción. Aunque existen medidas para reducir el daño de los fenómenos descritos, la agricultura de infra y subsistencia no genera los ingresos adecuados para cubrir el coste de suplir de riego en canícula, o protección de los cultivos para reducir la erosión del suelo. Cabe destacar que la agricultura no es el medio de vida principal, ya que a nivel familiar se entremezclan diversos medios de vida para el sostenimiento de los miembros.

5.4.5 Efectos e impactos del cambio climático sobre la agricultura

El cambio climático aumenta la vulnerabilidad y la preocupación sobre la adaptación de un millón de agricultores de subsistencia en Centroamérica que dependen del maíz y frijol para su supervivencia (CIAT et al. 2012)

El IARNA-URL, (2018) realizó una nueva clasificación basada en el sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge, modificando la categoría de las zonas de vida, quedando el departamento de Sololá dentro de la zona de vida Bosque húmedo montano bajo tropical (bh-MBT), con precipitaciones anuales entre 901 a 2000 mm y 1450.5 mm en promedio, con una

relación evapotranspiración potencial / precipitación de 0.67.

Dentro de los efectos del cambio climático y sus impactos para el altiplano guatemalteco, se estima a través de los escenarios A2 y B1, que las zonas de vida ubicadas en dicho territorio son las más vulnerables a cambios y que la tendencia a mediano plazo será una modificación en el tipo de zona a su inmediato inferior, como sucede con el bosque muy húmedo montano el cual tenderá a formar parte del bosque húmedo premontano.

Cuadro 4. Posibles impactos del cambio climático sobre la zona de vida bosque montano.

Zonas de vida formación típica en Guatemala		Bosque montano (arriba de 1800 mnsn) en provincias de humedad muy húmedo y pluvial (pp>2ETP)
Factor de cambio climático (actuarán de forma aditiva)	Especies/ecosistemas indicadores	Selvas de montaña bosques nuboso, mixtos o de coníferas de montaña
	Temperatura -Medias -Extremas -Variabilidad interanual -Estacionalidad	Aumento de temperaturas medias, máximas (factor crítico), estacionalidad y variabilidad interanual
	Precipitaciones -Medias -Extremas -Variabilidad interanual -Estacionalidad -Días de lluvia	Alta variabilidad interanual y estacional (intensificación del ciclo hidrológico) estación seca bien definida. Estación lluviosa, aumento drástico de la intensidad diaria de lluvia
	Eventos extremos -Sequías -Tormentas -Huracanes -Incendios -Inundaciones	Sequías, aumento en altitud de nubes, incendios y tormentas
	Ecofisiología -Concentración de CO ₂ atmosféricos -Concentración de CO ₂ en sistemas hídricos (pH) -Otros	Aumento de concentración de CO ₂ atmosférico de respiración (estrés y de biotemperatura
Efectos previsibles (los más probables para los años 2050 - 2100)		Reducción significativa o colapso de esta zona de vida y ecosistemas conformantes, especialmente la asociación atmosférica de bosque nuboso. - Reducción crítica o extinción del ecosistema representativo, por habitar en partes de montaña -Extinción masiva de especies endémicas y selectivas de condiciones climáticas -Cambios críticos en la estructura y composición florística y severa reformulación específica del ecosistema. -Cambios drásticos en la fenología. -Especies invasoras sobre todo de ecosistemas de bosques mixtos de coníferas. -Tendencia al aumento de altitud de la zona basal -Disminución de nubosidad, de entradas de lluvia y de humedad relativa. Aumento de salidas de agua (evapotranspiración) y de temperatura. Es decir, cambios drásticos del balance hídrico en un ecosistema dependiente de las condiciones climáticas actuales. -Las tasas de cambio serán mayores que la capacidad de adaptación de las especies y comunidades, especialmente al déficit hídrico estacional. -Aumento de incendios, plagas y enfermedades. -Disminución crítica de la capacidad de captación y regulación hidrológica de los ecosistemas conformantes. -Aumento de disponibilidad de nutrientes en el suelo

Fuente: IARNA-URL, (2011)

El cambio climático, un fenómeno que se ha acelerado a un ritmo alarmante, hace evidente, la necesidad de ejercer esfuerzos para la implementación de medidas de adaptación. A través de los resultados de modelos y simulaciones climáticas para Guatemala y Centroamérica, se prevé que los rendimientos en la producción de maíz disminuirán entre el 10 a 50% con un rendimiento de hasta 1.5t/ha. Bajo el escenario B2, los departamentos del altiplano occidental guatemalteco podrían tener los mayores rendimientos hacia finales del siglo siendo estos los departamentos Totonicapán, Quetzaltenango, El Quiché, Sololá, Chimaltenango, Huehuetenango, Sacatepéquez y San Marcos quienes podrían experimentar incrementos de rendimientos mayores a 1,7 t/ha. Pero en otros departamentos guatemaltecos, como Izabal, El Petén y Suchitepéquez, podrían disminuir en más de 25% (CEPAL et al, 2013).

Bajo el escenario A2, siendo este el más pesimista, Guatemala tendría los mayores rendimientos, beneficiándose aquellos que actualmente registran

las temperaturas más bajas siendo los departamentos de Guatemala, Quetzaltenango, El Quiché, Chimaltenango, Totonicapán y Sololá quienes podrían experimentar aumentos, mientras que Izabal, Suchitepéquez, El Petén, Chiquimula y Escuintla presentarían reducciones mayores a 50%. (CEPAL et al, 2013)

De acuerdo con Ordaz et al. (2010) citado en Choriego, (2018), el efecto de la temperatura y la precipitación en el rendimiento de maíz para El Salvador (para

el 2100), tiene una razón cuadrática negativa con respecto a el rendimiento de maíz. Es decir, la temperatura y precipitación aumentan la producción de maíz, siempre que estas variables se encuentren en equilibrio, sin embargo, al aumentar cualquiera de las variables, el rendimiento comienza a disminuir. En el caso de la temperatura promedio anual, bajo este escenario se identificó que el máximo rendimiento de maíz se alcanza con una temperatura de 24 °C.

5.4.6 Efecto de la escasez de agua en la agricultura

El estrés hídrico afecta negativamente procesos fisiológicos como el crecimiento celular, la síntesis de proteínas, el cierre estomático, la asimilación de dióxido

de carbono (CO₂), la respiración, entre otros como señala Azcón y Talón, (2008) citado en Ahumada et al, (2014).

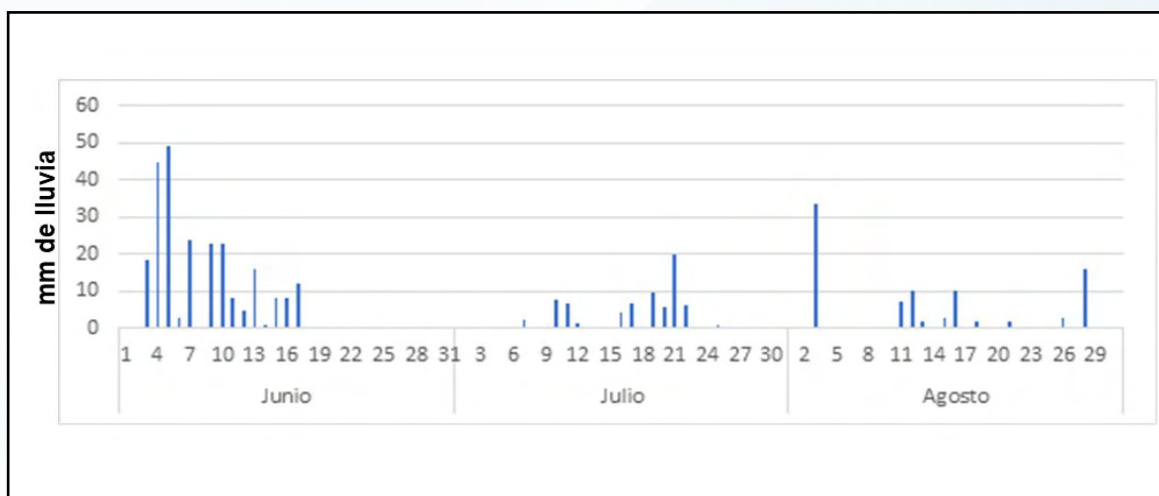


Figura 25. Gráfica de precipitación diaria en los meses junio, julio y agosto del año 2015 registrada en estación de INSIVUMEH Santa María El Tablón.

Fuente: Elaborado con datos de INSIVUMEH (2022)

Como referente al comportamiento de las lluvias durante la ocurrencia de la canícula, se analizó la ocurrencia durante junio, julio y agosto del año 2015 (ver figura 25), ésta registró 12 días consecutivos sin lluvia desde el 18 al 29 de junio, interrumpida por una lluvia de medio milímetro el 30 de junio, posteriormente 6 días consecutivos sin lluvia, entre el 01 al 06 de julio y otro periodo de 8 días (26 de julio al 02 de agosto), como impacto derivado de la disminución de la lluvia y la prolongación de los días sin lluvia, se observó que la temperatura media se incrementa en relación a los días sin lluvia y se reduce al regresar la lluvia.

La reducción de la lluvia, aunado al incremento de la temperatura media pueden generar estrés hídrico y tér-

mico en especies susceptibles como hortalizas, también las altas temperaturas inciden en el incremento en la tasa reproductiva e incremento de poblaciones de insectos plagas de plantas cultivadas, como el caso de los trips de las flores *Frankliniella occidentalis* que reduce la duración del ciclo biológico de 37.9 días con temperatura de 15°C a 18.5 días con temperatura de 25°C (McDonald, et al. 1998). En el caso de gusano cogollero del maíz *Spodoptera frugiperda* que reduce el tiempo desde huevo a adulto en 71.44 días, bajo temperaturas de 18°C a 29.29 días y con temperaturas promedio de 26°C (Du Plessis, H. et al. 2020).

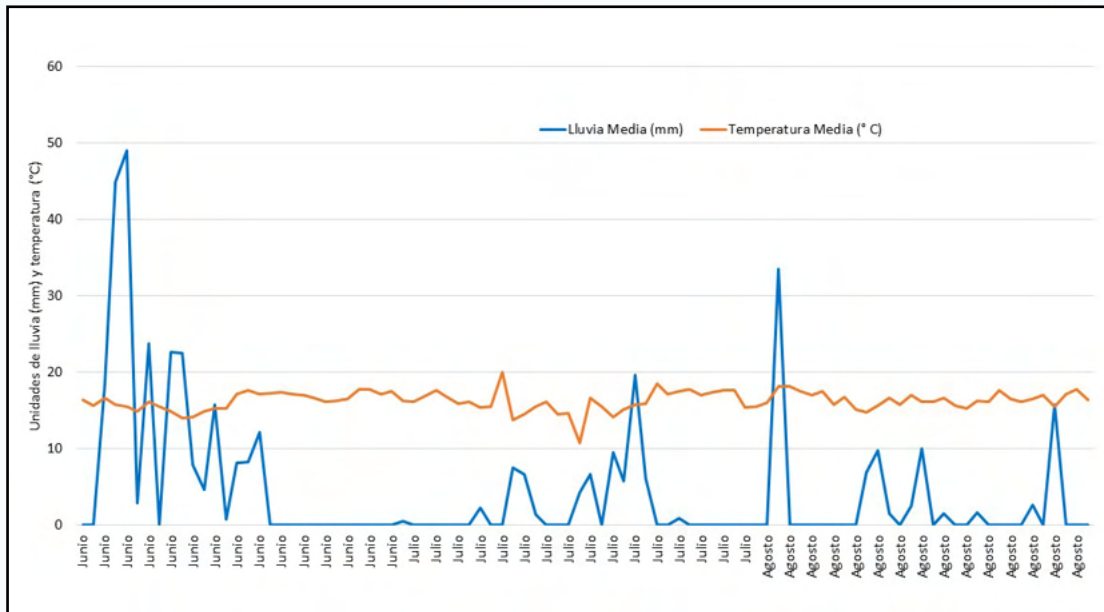


Figura 26. Gráfica del comportamiento de la temperatura y la lluvia diaria registrada en estación meteorológica de INSIVUMEH Santa María El Tablón, durante la canícula ocurrida en junio, julio y agosto del año 2015.
Fuente: INSIVUMEH, (2022)

Durante la fase de canícula de 2015, las variables temperatura y precipitación para el territorio del departamento de Sololá se comportaron tal como se observa en la figura 26. La temperatura media durante esta fase que comprende los meses de junio a julio fue de 16.3° C. La temperatura máxima se identifica en el mes de agosto con una media de 22.7°C. Para la variable precipitación esta muestra una tendencia a la reducción a finales de junio y principios de julio. Luego se observó algunos episodios de lluvia, sin embargo, una reducción de lluvias mensuales se mantiene para los meses de julio y agosto.

Las proyecciones señalan que la temperatura media y máxima diarias tendrán un aumento en la variación de aproximadamente entre el 1.5°C a 4°C y la precipitación disminuirá entre un 10% a 30% para el 2100 a nivel centroamericano, según afirma Choriego, (2018). Por lo que se estima que, a causa de los efectos usuales del fenómeno de El Niño, la temperatura aumentará y así mismo en la producción agrícola en zonas templadas/frías, mientras, que influirá en la disminución del rendimiento del maíz entre un 10 a 50% para las zonas cálidas, además, la precipitación se reducirá entre 70mm y 120mm.

El requerimiento hídrico mínimo del maíz varía según la fase fenotípica, por ejemplo, en la fase vegetativa se requiere de 300 mm, floración 200 mm, reproductiva 200 mm, con un total por ciclo de 700mm ICTA,

(2002). En términos generales, el maíz posee una fase crítica en donde la demanda de agua se incrementa y esta ocurre en la fase de pre y post floración. Donde la mínima cantidad de agua provoca una pérdida o bajo rendimiento entre el 25% a 50% debido al estrés que provoca en la planta durante o entre los 7 días antes de la floración y 15 días después. En el transcurso de esta etapa la reducción del rendimiento es mayor, llegando hasta 2 o 3 veces más que en otra etapa o fase de crecimiento del maíz.

La necesidad hídrica en todas las fases repercute significativamente a las plantas, particularmente: 1) al inicio del ciclo del cultivo, puede eliminar o reducir la población de plántulas, 2) la floración, 3) fase de llenado de grano, disminuyendo la cantidad de granos hasta un 45% (ICTA, 2002).

La temperatura es crítica para el crecimiento y el rendimiento de los cultivos a través de los mecanismos. Las altas temperaturas dañan directamente las enzimas, los tejidos y los órganos reproductivos y podría provocar daños en la floración y estrés oxidativo. Las altas temperaturas también podrían conducir a la intensificación del estrés hídrico a través del aumento de la demanda de agua atmosférica y la disminución del contenido de agua del suelo, lo que daría como resultado el cierre gradual de los estomas, la reducción de la absorción de CO₂ y la mejora del crecimiento de las raíces a expensas de la biomasa aérea (Leng, 2019).

5.4.7 Efecto de las lluvias fuertes

Los deslizamientos son un fenómeno geológico que puede ser detonado cuando la lluvia es abundante, o cuando es intensa (llueve una gran cantidad de agua en corto tiempo), o bien cuando se presenta una combinación de ambas (como ocurre en un ciclón tropical), se puede infiltrar una importante cantidad de agua en el suelo hasta llegar a los estratos que alojan el agua subterránea (cuya frontera superior se llama nivel freático). La entrada de agua al subsuelo en la ladera puede llegar a un punto en que ésta última se desestabiliza, esto se sucede porque el agua que se infiltra “empuja” a las partículas del suelo de modo que éste reduce su resistencia (incluso bajo su peso) (CENAPRED, 2014). Sin embargo, existe otros factores biofísicos particulares que aportan para un deslizamiento.

Durante los últimos años, el riesgo de aumento de las lluvias e inundaciones detonadas por lluvias intensas ha incrementado en frecuencia, generando daños a la agricultura e infraestructura, existen vinculaciones a la gestión del suelo. La intensificación de la producción agrícola aumenta la vulnerabilidad a medida que se toma recursos naturales fértiles o expandiendo la frontera agrícola en áreas boscosas provocando la deforestación, degradación de los suelos, mitigación y aumento de las emisiones de gases efecto invernadero. (CIAT; CIMMYT; CRS, 2012), siendo alterados para la pérdida del suelo en terrenos en pendientes fuertes.

5.4.8 Efectos e impactos de la erosión de los suelos sobre la agricultura

Uno de los detonantes de la degradación de los suelos es la erosión en sus diversas formas. La erosión de suelos es un problema ambiental muy serio que está afectando a la mayoría de los países de América Latina (FAO, 1993). La erosión hídrica se entiende como un proceso de desprendimiento, transporte de partículas, que por medio del escurrimiento superficial se van perdiendo, en donde generalmente las actividades agrícolas han dado lugar a la aceleración, modificación de la disponibilidad de suelo y la captación de nutrientes, elementos básicos para la agricultura (IFPRI, 2009).

En 2009, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales reportó una pérdida de 149 millones de toneladas métricas de suelo fértil, a consecuencia de la erosión

hídrica, mencionando que la zona alta de la vertiente del Pacífico son los más erosionados, a causa de la actividad agrícola. En el territorio del altiplano, específicamente para Nahualá, la pérdida de suelo fue estimada a razón de 147.74 (Reyes, 2011). Noriega (2019), identificó la reducción en la disponibilidad del fósforo en el suelo hasta cantidades muy bajas o indetectables, cuya ausencia tiene efecto sobre el rendimiento del maíz al ser un macronutriente junto con el nitrógeno y potasio indispensables en la producción agrícola.

Los efectos derivados de la de la erosión del suelo son: 1) Pérdida de los horizontes fértiles del suelo, lixiviación de materia orgánica y nutrientes, alteración en las propiedades físicas y químicas del suelo, modificación de la infiltración y retención de la humedad y consecuentemente poco anclaje de las plantas de maíz, incrementando la susceptibilidad a vientos y reducción de la productividad de especies cultivadas; 2) Formación de cárcavas y pérdidas de área de cultivo; 3) Mayor costo de producción, a causa del incremento de labranza y fertilización, generando la disminución de ingresos a los productores de maíz (Contreras, et al., 2005).

VI. Conclusiones

El régimen de lluvias para el territorio de Sololá está marcado para el periodo de mayo a octubre. Sin embargo, se observa una reducción de lluvias para los meses de julio – agosto, conocido como canícula o veranillo. Los meses con mayores acumulados mensuales son junio y septiembre, con 296.2 y 285.8 milímetros, respectivamente.

En el periodo 1994-2020, el mes de mayo de los años 2015 y 2011 presentó los menores acumulados de lluvia mientras que los mayores acumulados se registraron en mayo y septiembre del año 2010, asociados con eventos ciclónicos y otros fenómenos regionales, y el mes de noviembre del año 1998, influenciado por el paso del huracán Mitch.

Existe una tendencia significativa de incremento de la cantidad de lluvia para el territorio de Sololá, observable a partir de 1979.

En cuanto al inicio de la época lluviosa, probabilísticamente, no se observan cambios y se mantiene para el periodo del 18 al 27 de mayo. Tampoco se observan cambios en periodo de finalización, manteniéndose entre el 10 al 24 de octubre.

Los registros de temperatura mínima confirman una tendencia de incremento de 1.6° Celsius. Para el caso de la temperatura máxima, se observa una tendencia de incremento de un grado Celsius.

Los escenarios y simulaciones climáticas para el año 2050 indican que la temperatura se incrementará en el entre 1.5 a 1.6° Celsius para el territorio de Sololá.

Las amenazas climáticas de mayor importancia para la población se identifican como vientos fuertes, heladas, granizo y sequía. Las amenazas que ocupan una segunda posición en cuanto a importancia se identifican como aumento de temperatura, canícula y lluvias intensas y prolongadas.

Los medios de vida considerados de mayor importancia en base a la percepción local es el comercio informal, la tejeduría y la agricultura, siendo la última la más vulnerable ante eventos climáticos o meteorológicos.

La agricultura de la comunidad de Yaxón-Neboyá es muy vulnerable ante los fenómenos de vientos fuertes que provocan daño mecánico; heladas que generan daño foliar por muerte celular, granizo por daño mecánico y sequía por el desabastecimiento de agua necesaria para cubrir las necesidades hídricas de cultivos, especialmente las de alto requerimiento de agua.

La vulnerabilidad de la agricultura ante los fenómenos como incremento de temperatura, canícula y fuertes lluvias son considerados con un nivel medio al provocar daños o efectos menores.

VII. Referencias bibliográficas

- Ahumada Cervantes, R., Velasquez Angulo, G., Flores Tavizó, E., & Romero González, J. (2014). *Impactos potenciales del cambio climático en la producción de maíz. Investigación y Ciencia, Universidad Autónoma de Aguascalientes, México*, 48 – 53. <https://www.redalyc.org/pdf/674/67431579007.pdf>
- AMSCLAE. (2021). *Red de estaciones meteorológicas*. <https://www.amsclae.gob.gt/clima/>
- Bardales, W., Castañon, C., & Herrera, J. (2019). *Clima de Guatemala tendencias observadas e índices de cambio climático. Sistema Guatemalteco de Ciencias del Cambio Climático*. <https://sgccc.org.gt/wp-content/uploads/2019/07/1RepCCGuaCap2.pdf>
- Beathgen, Walter;. (2011). *Gestión de Riesgos Climáticos y Desarrollo*. https://www.iai.int/admin/site/sites/default/files/uploads/Baethgen_Salud_IAI_IRI_Uruguay_2011.pdf
- Camas, R., Turrent, A., Cortes, J., Livera, M., González, A., Sánchez, B., . . . Cadena, P. (2012). *Erosión del suelo, escurrimiento y pérdida de nitrógeno y fósforo en laderas bajo diferentes sistemas de manejo en Chiapas, México. Ciencias Agrícolas Vol. 3*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, 231 - 243.
- Catholic Relief Service. (2012). *Resumen del estudio Tortillas en el comal: Los sistemas de maíz y frijol en Centroamérica y el cambio climático. Catholic Relief Services. Recuperado el 2022, de Catholic Relief Services. (2012). Resumen del estudio Tortillas en el comal: Los sistemas de maíz y frijol* <https://www.crs.org/sites/default/files/tools-research/resumen-del-reporte-tortillas-en-el-comal.pdf>
- CENAPRED. (2014). *El clima en la inestabilidad de las laderas. Centro Nacional de Prevención de Desastres, México*. <https://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/archivos/185-ELCLIMAENLAINESTABILIDAD-DELADERAS.PDF>
- CEPAL, SICA, & SECAC. (2013). *Impactos Potenciales del Cambio Climático sobre los granos Básicos en Centroamérica. México*. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/27171>
- CIAT; CIMMYT; CRS. (2012). *Tortillas en el comal. Catholic Relief Service*. <https://www.crs.org/sites/default/files/tools-research/resumen-del-reporte-tortillas-en-el-comal.pdf>
- CIIFEN. (2017). 2015-2016 Evolución, vulnerabilidad e impactos en Latinoamérica. *Construyendo resiliencia climática para el desarrollo sostenible*. http://181.198.20.220/documents/?limit=100&offset=0&title__icontains=El%20Ni%C3%B1o%202015-2016:%20evoluci%C3%B3n,%20vulnerabilidad%20e%20impactos%20en%20La
- CIIFEN. (s.f.). *Construyendo resiliencia climática para el desarrollo sostenible*. <https://ciifen.org/el-nino-oscilacion-del-sur/>
- Contreras, J., Volke, V., Oropeza, J., Rodríguez, C., Martinez, T., & Martínez, Á. (2005). *Reducción del rendimiento del maíz por la erosión del suelo en Yanhuatlán, Oaxaca, México. Terra Latinoamericana, Chapingo, México*. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57311101012.pdf>

- DFID. (1999). *Hojas orientativas sobre los medios de vida sostenibles*. <https://www.ennonline.net/dfidsustainableliving>
- Du Plessis, Hannalene, Marie-Louise Schlemmer, and Johnnie Van den Berg. 2020. *The Effect of Temperature on the Development of Spodoptera frugiperda (Lepidoptera: Noctuidae)*. *Insects* 11, no. 4: 228. <https://doi.org/10.3390/insects11040228>
- FAO. (1993). *Erosion de suelos en America Latina*. <https://www.fao.org/3/t2351s/T2351S06.htm>
- Flores, H., de la Mora, C., Ruíz, J., & Chávez, Á. (2013). *Efectos de la cobertura de suelo en tres cultivos sobre la erosión hídrica*. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 19 - 25.
- Guerra, A.A. (2010). *Climate-related disaster risk in mountain areas: The Guatemalan highlands at the start of the 21st Century*. Tesis doctoral, Oxford University. <https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2016/12/Climate-related-disaster-risk-in-mountain-areas.pdf>
- Guerra, A.A. (2013). *Influencia de la variabilidad y cambio climático sobre la agricultura en Guatemala*. Tesis doctoral, Oxford University. Influencia de la variabilidad y cambio climático sobre la agricultura en Guatemala [Doctoral]. Congreso Nacional del Café, Guatemala.
- ICTA. (2002). *El cultivo del maíz en Guatemala, una guía para su manejo agronómico*. Guatemala.
- IDEAM, BID, & FONADE. (2013). *Efectos del cambio climático en el rendimiento de tres cultivos mediante el uso del Modelo AquaCrop*. Argentina. http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Informe+Final_+Efectos+del+CC+en+el+rendimiento+de+cultivos+agr%C3%ADcolas.pdf/77713cce-eef6-4eb9-9ad6-02985c72b76b
- IFPRI. (2009). *Cambio climático: El impacto en la Agricultura y los costos de adaptación*. Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias, Washington D.C. https://www.biopasos.com/biblioteca/Costo%20adaptacion_IFPRI.pdf
- INSIVUMEH. (2010). *Análisis del mes de septiembre 2010*. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/climaticos/climatico_m_01102010.pdf
- INSIVUMEH. (2018). *Variabilidad y Cambio Climático en Guatemala*. Instituto Nacional de Sismología Vulcanología e Hidrología. https://insivumeh.gob.gt/wp-content/uploads/2021/02/Variabilidad_y_cambio_climatico.pdf
- INSIVUMEH. (2021). *Base de datos estaciones meteorológicas de la red de estaciones de INSIVUMEH*. <https://insivumeh.gob.gt/>
- IPCC. (2000). *Informe especial del IPCC: Escenarios de emisiones*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. <https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-sp.pdf>
- IPCC. (2014). *Summary for Policymakers*. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_summary-for-policymakers.pdf

IPCC. (2021). *Summary for Policymakers (Sixth Assessment Report; Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Intergovernmental Panel on Climate Change*. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf

IRI. (2022). *International Research Institute for Climate and Society*. <https://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/forecasts/enso/current/>

Marín Choriego, A. R. (2018). *Impacto del Cambio climático en el rendimiento del cultivo de Maíz (Zea mays) en El Salvador*. Zamorano, 43. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/5f157ccb-bc4f-4865-a3ba-c5222e0250e0/content>

McDonald, J.; Bale, J.; Walters, K. (1998) *Efect of temperature on development of the western flower Trips Frankliniella occidentales (Thysanoptera: Thripidae)*. *Eur. J. Entomol.* 95:301-306. 1998. <http://www.eje.cz/pdfs/eje/1998/02/14.pdf>

Noriega, K. (2019). *Evaluación del impacto de la tecnología agrícola en conservación de suelos para la adaptación al cambio climático, aldea tzamjuyup, nahualá, sololá. Trabajo de graduación, Universidad de San Carlos de Guatemala, EPS, Mazatenango*. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/12286/1/TRABAJO%20DE%20GRADUACION%20--%20KEVIN%20NORIEGA.pdf>

OMM. (2014). *El Niño / Oscilación del Sur. Organización Meteorológica Mundial*. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=7889

Orrego de León, E. A., Hernández Quevedo, M. P., & Gómez Jordán, R. (30 de junio de 2021). *Variabilidad del inicio, final y duración de la época lluviosa en Guatemala y su tendencia*. *Yu'am*, 5(1). <https://www.revis-tayuam.com/variabilidad-del-inicio-final-y-duracion-de-la-epoca-lluviosa-en-guatemala-y-su-tendencia/>

Reyes, I. (2011). *Diagnóstico general de los recursos naturales renovables, determinación de la erosión hídrica y servicios prestados en la aldea tzamjuyup, nahualá, sololá. Trabajo de graduación, Universidad de San Carlos de Guatemala*. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/6865/1/Luis%20Enrique%20Reyes%20Garc%C3%ADa.pdf>

University of Nebraska-Lincoln. (2022). *University of Nebraska-Lincoln. Recuperado el 2022, de Regional Climate Change Data Portal: <http://rccdp.unl.edu/portal/>*

Con apoyo de:



Instituto Privado de Investigación
sobre Cambio Climático



Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático

www.icc.org.gt

Contacto: pyax@icc.org.gt

Teléfono: +502 7828-1048