

ANÁLISIS DE RIESGO CLIMÁTICO

y recomendaciones para desarrollar un Plan Local de Adaptación al Cambio Climático (PLACC)

Aplicación al sector agropecuario y de seguridad alimentaria

Municipio de San Agustín Acasaguastlán, departamento de El Progreso, Guatemala



ANÁLISIS DE RIESGO CLIMÁTICO Y RECOMENDACIONES PARA DESARROLLAR UN PLAN LOCAL DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO (PLACC)

Aplicación al sector agropecuario y de seguridad alimentaria

Municipio de San Agustín Acasaguastlán,
departamento de El Progreso, Guatemala



Supported by:



Ministry of Foreign Affairs of the Netherlands



Norwegian Ministry of Climate and Environment



Government Offices of Sweden
Ministry for Foreign Affairs



UK Government

based on a decision of the German Bundestag

CATIE no asume la responsabilidad por las opiniones y afirmaciones expresadas por los autores en las páginas de este documento. Las ideas de los autores no reflejan necesariamente el punto de vista de la institución. Se autoriza la reproducción parcial total de la información contenida en este documento siempre cuando se cite fuente.

© Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CATIE, 2022

363.738.74

A472 Alvarado Irías, Enrique Ernesto.

Análisis de riesgo climático y recomendaciones para desarrollar un Plan Local de Adaptación al Cambio Climático (PLACC): Municipio de San Agustín Acasaguastlán, departamento de El Progreso, Guatemala / Efraín Leguía, Gracia María Lanza Castillo, Rudy Cabrera – 1ª ed. – Turrialba, Costa Rica : CATIE, 2022. 180 p. : il. – (Serie técnica. Informe técnico / CATIE ; no. 446)

ISBN 978-9977-57-781-4

1. Accidentes atmosféricos 2. Adaptación al cambio climático
3. Gobernanza 4. Mitigación al cambio climático 5. Guatemala
I. CATIE VI. Título VII. Serie

Cita sugerida:

Alvarado Irías, E.; Leguía, E.; Lanza Castillo, G.; Cabrera, R. 2022. Análisis de riesgo climático y recomendaciones para desarrollar un Plan Local de Adaptación al Cambio Climático (PLACC): Municipio de San Agustín Acasaguastlán, departamento de El progreso, Guatemala (en línea). Turrialba, Costa Rica, CATIE. 186 p. (Serie técnica. Informe técnico / CATIE, no. 446). Disponible en: <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/11991>

El presente documento contiene el “Análisis de riesgo climático y recomendaciones para desarrollar un Plan Local de Adaptación al Cambio Climático (PLACC)” con énfasis en el sector agropecuario y de seguridad alimentaria del municipio de San Agustín Acasaguastlán, departamento de El Progreso, Guatemala, el cual forma parte de los productos de la asistencia técnica para la República de Guatemala: “Systemic evaluation of vulnerability to the effects of climate change on the expanded Dry Corridor of Guatemala”, que fue financiada por el Climate Technology Centre and Network (CTCN) e implementada por el CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza), bajo la coordinación del Departamento de Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala (MARN).

República de Guatemala, 2021

Créditos

Diseño y diagramación

Tecnología de Información y Comunicación, CATIE

Coordinación y supervisión técnica del MARN

Jennifer Zamora, M.Sc.

Departamento de Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático

Mario Mejía, M.Sc.

Departamento de Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático

Coordinación técnica del CATIE

Gracia Lanza, Ph.D.

Especialista en Economía Agrícola y Ambiental

Elaboración técnica

Enrique Alvarado, Ph.D.

Especialista en Economía y Financiamiento Climático

Efraín Leguía, M.Sc.

Especialista en Modelamiento Climático

Gracia Lanza, Ph.D.

Especialista en Economía Ambiental

Rudy Cabrera, M.Sc.

Especialista en Adaptación y Metodologías Participativas

Equipo de Campo

Ing. Elvis Hernández

Ing. Tatiana Estrada

Edición técnica y de estilo

Lorena Estrada, Ph.D.

Enrique Alvarado, Ph.D.

Contenido

| | |
|--|-----|
| Acrónimos y siglas | 10 |
| 1. Introducción..... | 12 |
| 1.1 Antecedentes..... | 14 |
| 1.2 Objetivos | 16 |
| 2. Marco conceptual clave | 18 |
| 3. Área de intervención | 31 |
| 4. Resumen metodológico..... | 38 |
| 4.1 Estructura general..... | 38 |
| 4.2 Definición del alcance..... | 39 |
| 4.3 Mapeo de actores..... | 43 |
| 4.4 Información biofísica y socioeconómica | 45 |
| 4.5 Análisis de riesgo climático..... | 48 |
| 4.6 Recomendaciones para el PLACC | 68 |
| 5. Mapeo de actores..... | 73 |
| 6. Análisis de riesgo climático..... | 79 |
| 6.1 Condiciones climáticas actuales del municipio de San Agustín Acasaguastlán..... | 79 |
| 6.2 Condiciones climáticas futuras del municipio de San Agustín Acasaguastlán..... | 83 |
| 6.3 Resumen de la cadena de impactos | 86 |
| 6.4 Análisis del peligro..... | 87 |
| 6.5 Análisis de la exposición..... | 102 |
| 6.6 Análisis de la vulnerabilidad..... | 105 |
| 6.7 Índice de riesgo climático..... | 140 |
| 7. Recomendaciones del Plan Local de Adaptación al Cambio Climático (PLACC)..... | 148 |
| 7.1 Generalidades..... | 148 |
| 7.2 Gestión de la información..... | 150 |
| 7.3 Medidas de adaptación propuestas por los actores de San Agustín Acasaguastlán | 153 |
| 8. Conclusiones | 162 |
| 9. Referencias..... | 175 |

Lista de cuadros

| | | |
|------------|--|-----|
| Cuadro 1. | Tipo de caminos en el municipio de San Agustín Acasaguastlán..... | 34 |
| Cuadro 2. | Matriz para datos futuros | 83 |
| Cuadro 3. | Estadísticas de la precipitación actual y futura para el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala..... | 84 |
| Cuadro 4. | Clasificación del índice de aridez..... | 91 |
| Cuadro 5. | Cambios en meses secos (situación actual y futura) para el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala..... | 94 |
| Cuadro 6. | Variables de interés usadas para construir el índice de peligro para el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala..... | 96 |
| Cuadro 7. | Índice de peligro promedio en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala..... | 100 |
| Cuadro 8. | Cantidad de centros poblados en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala, según categoría de amenaza de sequía..... | 103 |
| Cuadro 9. | Parámetros demandados por el modelo mecanístico usado para el análisis..... | 107 |
| Cuadro 10. | Parámetros climáticos y requerimientos de 9 especies | 111 |
| Cuadro 11. | Cambios en la adecuación de 9 especies (climatología futura-climatología actual)..... | 116 |
| Cuadro 12. | Cálculo del índice de sensibilidad con base en el promedio de adecuación, según escenario para el territorio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala..... | 129 |
| Cuadro 13. | Indicadores para medir los cinco capitales de medios de vida sostenibles | 134 |
| Cuadro 14. | Descriptivos de los cinco capitales de medios de vida sostenibles en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala | 138 |
| Cuadro 15. | Cálculo del componente de vulnerabilidad, según escenario para San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala..... | 139 |
| Cuadro 16. | Resumen de las condiciones de riesgo climático para San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala..... | 140 |
| Cuadro 17. | Comunidades de los talleres sobre adaptación en el municipio de San Agustín Acasaguastlán..... | 152 |
| Cuadro 18. | Medidas de adaptación priorizadas por los actores clave del municipio de San Agustín Acasaguastlán | 155 |

Lista de figuras

| | | |
|------------|---|----|
| Figura 1. | Ubicación del municipio de San Agustín Acasaguastlán dentro del corredor seco de Guatemala..... | 32 |
| Figura 2. | Pirámide poblacional del municipio de San Agustín Acasaguastlán..... | 33 |
| Figura 3. | Bosques y usos de la tierra del municipio de San Agustín Acasaguastlán al 2012..... | 35 |
| Figura 4. | Distribución de usos de la tierra en el municipio de San Agustín Acasaguastlán al 2012..... | 36 |
| Figura 5. | Etapas metodológicas del estudio | 38 |
| Figura 6. | Actividades para la gestión y actualización de información biofísica y socioeconómica clave | 45 |
| Figura 7. | Componentes de vulnerabilidad al cambio climático (AR4) y riesgo climático (AR5) | 49 |
| Figura 8. | Componentes del análisis de riesgo climático (AR5)..... | 50 |
| Figura 9. | Pasos y componentes del análisis de riesgo climático (AR5) | 52 |
| Figura 10. | Pasos y actividades para la gestión de información primaria a través de encuestas..... | 54 |
| Figura 11. | Pasos para el desarrollo de los talleres | 57 |
| Figura 12. | Estructura de una cadena de impacto de acuerdo con el AR5 del IPCC | 60 |
| Figura 13. | Pasos para identificar necesidades y opciones de adaptación..... | 70 |
| Figura 14. | Mapeo de actores por sector en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala..... | 74 |
| Figura 15. | Resumen del orden de importancia institucional en el corredor seco..... | 77 |
| Figura 16. | Mapa de distribución de la precipitación total y temperatura promedio en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala (climatología 1960-1990)..... | 80 |
| Figura 17. | Mapa de distribución espacial por meses de la precipitación y la temperatura en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, según climatología 1960-1990..... | 80 |
| Figura 18. | Variabilidad mensual de la precipitación mensual en San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala, según climatología 1960-1990 | 81 |
| Figura 19. | Variabilidad mensual de la temperatura promedio en San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala, según climatología 1960-1990 | 82 |
| Figura 20. | Cambios proyectados en las precipitaciones totales y la temperatura promedio en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala, según RCP y horizonte temporal | 85 |
| Figura 21. | Cadena de impactos del análisis de riesgo climático | 86 |

| | | |
|------------|--|-----|
| Figura 22. | Número de meses secos en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala (climatología 1960-1990)..... | 92 |
| Figura 23. | Índice de aridez y evapotranspiración potencial en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala (climatología 1960-1990)..... | 93 |
| Figura 24. | Número de meses secos según escenarios futuros..... | 95 |
| Figura 25. | Cambios en el índice de aridez, entre la línea base y los escenarios futuros para San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala..... | 97 |
| Figura 26. | Índice de peligro climático en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala, según climatología actual (1960-1990)..... | 101 |
| Figura 27. | Amenaza de sequía en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala (línea base y escenarios futuros)..... | 104 |
| Figura 28. | Representación en dos (A) y tres dimensiones (B) del modelo mecanístico usado en este análisis..... | 106 |
| Figura 29. | Adaptación de la ley de mínimos de Liebig al contexto de adecuación espacial..... | 109 |
| Figura 30. | Adecuación climática de 9 especies en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala (climatología actual)..... | 112 |
| Figura 31. | Idoneidad climática para 9 especies en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala (climatología actual)..... | 114 |
| Figura 32. | Índice de sensibilidad según climatología actual, con base en la adecuación de 9 especies a las condiciones climáticas del municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala..... | 115 |
| Figura 33. | Cambios en la idoneidad climática del frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala (climatología actual)..... | 118 |
| Figura 34. | Cambios en la idoneidad climática del maíz (<i>Zea mays</i>) en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala (climatología actual)..... | 119 |
| Figura 35. | Cambios en la idoneidad climática del café (<i>Coffea arabica</i>) en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala (climatología actual)..... | 120 |
| Figura 36. | Cambios en la idoneidad climática del cacao (<i>Theobroma cacao</i>) en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala (climatología actual)..... | 121 |
| Figura 37. | Cambios en la idoneidad climática de la <i>Brachiaria</i> en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala (climatología actual)..... | 122 |

| | | |
|------------|--|-----|
| Figura 38. | Cambios en la idoneidad climática de <i>Paspalum</i> en el municipio de San Agustín Acasaguastlán (climatología actual)..... | 123 |
| Figura 39. | Cambios en la idoneidad climática del pino (<i>Pinus</i> spp.) en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala (climatología actual)..... | 124 |
| Figura 40. | Cambios en la idoneidad climática del pino ocote (<i>Pinus oocarpa</i>) en el municipio de San Agustín Acasaguastlán (climatología actual)..... | 125 |
| Figura 41. | Cambios en la idoneidad climática del tomate (<i>Lycopersicum esculentum</i>) en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala (climatología actual)..... | 126 |
| Figura 42. | Índice de sensibilidad según climatología futura, con base en la adecuación de 9 especies a las condiciones climáticas del municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala..... | 128 |
| Figura 43. | Distribución de personas encuestadas por tipo de género..... | 130 |
| Figura 44. | Distribución de edad de las mujeres y hombres por comunidad del municipio de San Agustín Acasaguastlán..... | 131 |
| Figura 45. | Nivel educativo del total de entrevistados en el municipio de San Agustín Acasaguastlán..... | 132 |
| Figura 46. | Nivel educativo por género en las aldeas del municipio de San Agustín Acasaguastlán..... | 133 |
| Figura 47. | Capacidad adaptativa del municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala, según el marco de conceptual de medios de vida sostenibles..... | 137 |
| Figura 48. | Mapa de riesgo climático para el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala, según climatología actual (1960-1990)..... | 142 |
| Figura 49. | Mapa de riesgo climático para el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala (Escenario RCP 2.6 2050)..... | 143 |
| Figura 50. | Mapa de riesgo climático para el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala (Escenario RCP 2.6 2080)..... | 144 |
| Figura 51. | Mapa de riesgo climático para el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala (Escenario RCP 8.5 2050)..... | 145 |
| Figura 52. | Mapa de riesgo climático para el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala (Escenario RCP 8.5 2080)..... | 146 |

Acrónimos y siglas¹

| | |
|-----------|--|
| AR4 | Cuarto informe de Evaluación del IPCC: Cambio Climático (AR4, por sus siglas en inglés) |
| AR5 | Quinto informe de Evaluación del IPCC: Cambio Climático (AR5, por sus siglas en inglés) |
| BID | Banco Interamericano de Desarrollo |
| CATIE | Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza |
| CAZALAC | Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y El Caribe |
| CCAFS | Programa de Desafío sobre el Cambio Climático, la Agricultura y la Seguridad Alimentaria (CCAFS, por sus siglas en inglés) |
| CIAT | Centro Internacional de Agricultura Tropical |
| CTCN | Centro y Red de Tecnología para el Clima (CTCN, por sus siglas en inglés) |
| GEI | Gases de Efecto Invernadero |
| IDEG | Infraestructura de Datos Espaciales de Guatemala |
| IPCC | Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático |
| INSIVUMEH | Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala |
| LAC | América Latina y el Caribe (LAC, por sus siglas en inglés) |
| MAGA | Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala |
| MARN | Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala |
| NDC | Contribución Nacionalmente Determinada (NDC, por sus siglas en inglés) |
| PHI | Programa Hidrológico Internacional |
| PLACC | Plan Local de Adaptación al Cambio Climático |
| RCP | Caminos Representativos de Concentración (RCP, por sus siglas en inglés) Representative Concentration Pathway (RCP) |
| UNEP | Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (por sus siglas en inglés) |
| UNESCO | Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura |

¹ Los acrónimos y siglas están escritos con base en: RAE (Real Academia Española). (2012). Ortografía básica de la lengua española. Barcelona, Editorial Planeta, S.A.



1

Introducción



Introducción

El “Análisis de riesgo climático y recomendaciones para desarrollar un Plan Local de Adaptación al Cambio Climático (PLACC)” con énfasis en el sector agropecuario y de seguridad alimentaria del municipio de San Agustín Acasaguastlán, departamento de El Progreso, Guatemala, forma parte de la asistencia técnica: “Systemic evaluation of vulnerability to the effects of climate change on the expanded Dry Corridor of Guatemala”, la cual fue financiada por el Centro y Red de Tecnología para el Clima (CTCN) e implementada por el CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza), bajo la coordinación del Departamento de Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala (MARN), durante el año 2021.

El propósito general del estudio fue desarrollar el índice de riesgo climático del municipio de San Agustín Acasaguastlán, utilizando datos de la climatología actual y dos escenarios de RCP (2.6 y 8.5) para los años 2050 y 2080, así como brindar recomendaciones generales sobre las medidas de adaptación que pueden ser implementadas para el sector agropecuario en el área de interés para contrarrestar los efectos negativos del cambio climático en los medios de vida de la población local.

Cabe mencionar que la metodología usada para el análisis se basó en el Quinto Informe de Evaluación del IPCC: Cambio climático (AR5), por lo cual incluye los componentes de peligro, exposición y vulnerabilidad (este último como una función de sensibilidad y capacidad adaptativa), los cuales –en su conjunto– permitieron estimar el índice de riesgo climático para el municipio de San Agustín Acasaguastlán.

De esta forma, el documento se encuentra integrado por nueve secciones principales. La primera expone la introducción, con los principales antecedentes y objetivos del estudio. La segunda sección muestra un marco conceptual clave sobre cambio climático y el análisis de riesgo, con el propósito de que el lector pueda estar informado sobre los principales términos técnicos y científicos que se abordan en el documento.

Seguidamente, en la tercera sección se presenta el resumen metodológico utilizado para realizar el estudio. Concretamente, se explican las principales diferencias entre la metodología del Cuarto y Quinto Informe de Evaluación del IPCC (AR4 y AR5, respectivamente), donde pasa de ser un “Análisis de vulnerabilidad” a un “Análisis de riesgo climático”. Además, se incluye una síntesis de los pasos realizados para obtener información primaria (talleres, entrevistas semiestructuradas y encuestas en formato cuestionario) e información secundaria necesaria para determinar los componentes del análisis de riesgo.

Por su parte, la cuarta sección del documento muestra información clave sobre el área de intervención y se destaca la ubicación y principales aspectos biofísicos y/o socioeconómicos. Posteriormente, en la quinta sección se expone el mapeo de actores clave para la realización del análisis de riesgo.

Luego, en la sexta sección se explica la estimación, estandarización y agrupación de los componentes necesarios para definir el riesgo climático del municipio (peligro, exposición, vulnerabilidad [sensibilidad y capacidad adaptativa]). Mientras, en la séptima sección se brindan las principales recomendaciones para elaborar un Plan Local de Adaptación al Cambio Climático (PLACC), que consiste en las medidas de adaptación propuestas y priorizadas por los actores clave del municipio. Finalmente, se exponen las principales conclusiones del estudio (octava sección), la sección bibliográfica (novena sección) y anexos del documento.

1.1 Antecedentes

A nivel general, los países de la región centroamericana contribuyen de manera marginal a las emisiones globales de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y por ende, al cambio climático. No obstante, las alteraciones en el comportamiento de los patrones de temperatura y precipitación están impactando fuertemente la región, a través de eventos climáticos extremos cada vez más intensos y frecuentes, lo que afecta severamente la economía local, seguridad alimentaria y nutricional, así como los medios de vida de la población más vulnerable. Sumado a esto, los ecosistemas regionales y los servicios que proveen también se encuentran expuestos al efecto negativo del cambio climático, lo que incrementa la vulnerabilidad de la población (Hannah *et al.* 2017).

Ahora bien, al comparar los cambios en los promedios de la temperatura media anual del período de 1971-2000 con el de 2001-2014, en Guatemala se observa una tendencia al incremento de la temperatura. Al mismo tiempo, las proyecciones climáticas presentan consistentemente una reducción de la precipitación, tanto en la época seca como en la lluviosa.

Por otra parte, la variabilidad y los eventos climáticos extremos han tenido impactos negativos sobre las actividades agropecuarias, disponibilidad del agua y degradación del suelo. Igualmente, estos fenómenos tienen impactos severos en la producción de la agricultura de secano y en la seguridad alimentaria de la población, siendo dichos impactos más críticos en áreas como el corredor seco, donde se pronostica una disminución de los acumulados de lluvia de hasta 50%. De esta forma y con el fin de enfrentar la situación expuesta, el Estado ha conformado un marco normativo y político sólido en materia de cambio climático y está implementando diversas iniciativas para reducir la vulnerabilidad de sus sistemas socioecológicos.

Asimismo, durante el año 2020 el Gobierno de Guatemala se encontraba en el proceso de actualización de su Contribución Nacionalmente Determinada (NDC), con el propósito de aumentar la ambición de sus compromisos a nivel de adaptación y mitigación del cambio climático. En dicha actualización ha destacado el sector agrícola como elemento clave para alcanzar las metas propuestas no solo porque es un sector altamente vulnerable al cambio climático, sino porque contribuye a las emisiones de GEI, tema de alta prioridad en la NDC 2015 y otros instrumentos de política.

En este sentido, es necesario apoyar el proceso de actualización de la NDC y otros marcos de planificación a través de estudios técnicos y científicos que faciliten la toma de decisiones. Por lo tanto, se decidió elaborar un análisis de riesgo climático en el corredor seco de Guatemala, generar recomendaciones de adaptación para el área priorizada y la nueva versión de la NDC, y preparar dos ideas de proyecto para apoyar la gestión de financiamiento climático.

Concretamente, el presente estudio de riesgo climático forma parte de los elaborados en cinco municipios que se priorizaron en el corredor seco de Guatemala. Estos son: Rabinal, San Miguel Chicaj y Salamá, en el departamento de Baja Verapaz, y Morazán y San Agustín Acasaguastlán, en el departamento de El Progreso. Para dichas áreas se prepararon recomendaciones de adaptación específicas a su contexto, cultura y realidad actual. Es necesario mencionar que para la realización del análisis de riesgo se utilizaron los lineamientos de los siguientes documentos: a) Quinto Informe de Evaluación del IPCC (AR5), b) Libro de vulnerabilidad y la agenda de riesgo de la GIZ, c) Guía para el análisis detallado de riesgo climático del CAF y d) Guía para la elaboración de planes locales de adaptación al cambio climático de España.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Elaborar un análisis de riesgo climático en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, departamento de El Progreso, Guatemala, utilizando datos de climatología actual, dos escenarios de RCP (2.6 y 8.5) y dos ventanas promedio de análisis (2050 y 2080), para identificar –de forma participativa– opciones de adaptación que puedan ser implementadas para el sector agrícola y pecuario más representativo del área de interés, con el fin de contrarrestar los efectos negativos del cambio climático en la seguridad alimentaria y los medios de vida de la población local.

1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar y analizar el peligro climático para el municipio de San Agustín Acasaguastlán, departamento de El Progreso, Guatemala, con base en indicadores definidos de acuerdo con sus patrones climáticos y características del área.
- Analizar la exposición al cambio climático de los medios de vida locales del municipio de San Agustín Acasaguastlán, departamento de El Progreso, Guatemala.
- Definir la vulnerabilidad del municipio con base en su sensibilidad y capacidad adaptativa.
- Brindar recomendaciones e insumos clave sobre opciones de adaptación que puedan implementarse en el área de estudio, las cuales serán la base de un Plan Local de Adaptación al Cambio Climático (PLACC).



2

Marco Conceptual Clave



Marco conceptual clave

Debido a la complejidad del estudio, la presente sección muestra un marco conceptual clave sobre cambio climático y análisis de riesgo, lo que permitirá al lector estar en contexto sobre los principales términos técnicos y científicos que se abordan en el documento.

Adaptación al cambio climático

Es el proceso de ajuste al clima real o proyectado y sus efectos. En los sistemas humanos, la adaptación trata de moderar los daños o aprovechar las oportunidades beneficiosas. En algunos sistemas naturales, la intervención humana puede facilitar el ajuste al clima proyectado y sus efectos (IPCC 2014).



Amenaza natural

Se refiere a fenómenos de origen natural que suponen una amenaza a la población o a la propiedad, los cuales podrían causar daños, pérdidas económicas, lesiones y pérdida de vidas. Generalmente, en la región de América Latina y el Caribe (LAC, por sus siglas en inglés) sobresalen las amenazas geofísicas, incluidos los terremotos, deslizamientos de tierra, erupciones volcánicas y tsunamis, así como las amenazas relacionadas con el clima, incluidos los incendios, huracanes, las inundaciones pluviales, fluviales y costeras, las olas de calor y las sequías (BID 2019). Concretamente, en el contexto de cambio climático, hace referencia a la amenaza potencial de que ocurran eventos vinculados con el clima que puedan tener un impacto físico, social, económico y ambiental en una zona determinada por un cierto período. Cada amenaza se caracteriza por su localización, frecuencia e intensidad (Cardona *et al.* 2012).



Cambio climático

Es la variación del estado del clima, identificable (e.g. mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio o la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos, generalmente decenios o períodos 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 el uso del suelo (IPCC 2014). Por su parte, la CMNUCC (1992), en su artículo 1, define el cambio climático como “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”.



Capacidad adaptativa

Es la capacidad de los sistemas, las instituciones, los humanos y otros organismos para adaptarse ante posibles daños, aprovechar las oportunidades o afrontar las consecuencias (IPCC 2014). Este es un factor determinante del riesgo climático.

Clima

El clima, en un sentido restringido, se define como el estado promedio del tiempo y más rigurosamente, como una descripción estadística del tiempo atmosférico en términos de los valores medios y la variabilidad de las magnitudes correspondientes durante períodos que pueden abarcar desde meses hasta millares o millones de años. El período de promedio habitual es de 30 años, según la definición de la Organización Meteorológica Mundial. Las magnitudes son casi siempre variables de superficie (e.g. temperatura, precipitación o viento) (IPCC 2014).



Escenario climático

Es la representación plausible y, en ocasiones simplificada, del clima futuro basada en un conjunto de relaciones climatológicas internamente coherente, definido explícitamente para investigar las posibles consecuencias del cambio climático antropógeno y que puede introducirse como datos entrantes en los modelos de impacto. Las proyecciones climáticas suelen utilizarse como punto de partida para definir escenarios climáticos, aunque estos requieren habitualmente información adicional, por ejemplo, sobre el clima actual observado (IPCC 2014).

Escenario de emisiones

Es la representación plausible de la evolución futura de las emisiones de sustancias que podrían ser radiativamente activas (e.g. gases de efecto invernadero, aerosoles), basada en un conjunto coherente de supuestos sobre las fuerzas que las impulsan (p. ej. el desarrollo demográfico y socioeconómico, y la evolución tecnológica), así como las principales relaciones entre ellos. Los escenarios de concentraciones, obtenidos a partir de los escenarios de emisión, se introducen en un modelo climático para obtener proyecciones climáticas (Nakićenović y Swart 2000).

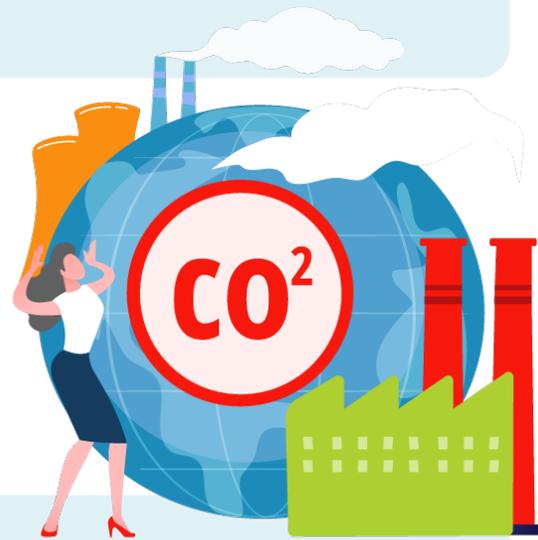


Exposición

Es la presencia de personas, sus medios de vida, especies y ecosistemas, servicios y recursos ambientales, infraestructura o activos económicos, sociales o culturales en lugares que podrían verse afectados negativamente (IPCC 2014). Específicamente, se refiere a la coincidencia espacial y temporal de personas y/o activos (tanto físicos como ambientales) con las amenazas naturales, lo que genera la posibilidad de que existan daños (BID 2019). Este es un factor determinante del riesgo climático.

Medios de vida

Son los recursos utilizados y actividades realizadas para vivir. Generalmente, se determinan por los activos a los que tienen acceso las personas. Estos activos se pueden clasificar como humanos, sociales, naturales, físicos o financieros (IPCC 2014).



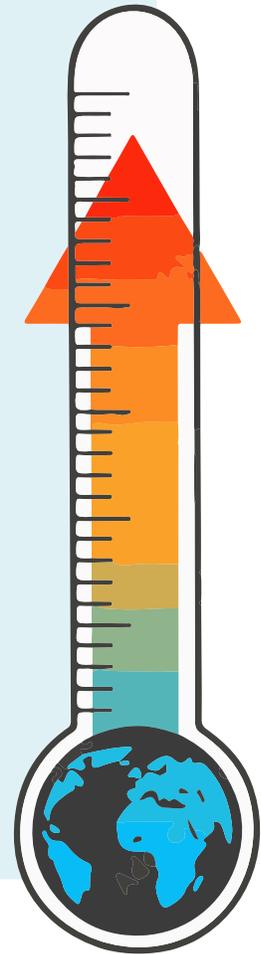
Mitigación del cambio climático

Es la intervención humana encaminada a reducir las fuentes o potenciar los sumideros de gases de efecto invernadero (IPCC 2014).

Modelo climático

Es la representación numérica del sistema climático basada en las propiedades físicas, químicas y biológicas de sus componentes, en sus interacciones y sus procesos de retroalimentación, y que recoge todas o algunas de sus propiedades conocidas. El sistema climático se puede representar mediante modelos de diverso grado de complejidad. En otras palabras, para cada componente o conjunto de componentes es posible identificar un espectro o jerarquía de modelos que difieren en aspectos tales como el número de dimensiones espaciales, el grado en que aparecen representados explícitamente los procesos físicos, químicos o biológicos o el grado de utilización de parametrizaciones empíricas.

Los modelos de circulación general atmosférica-océano (MCGAO) acoplados proporcionan la más completa representación del sistema climático actualmente disponible. Se está evolucionando hacia modelos más complejos que incorporan química y biología interactiva (IPCC 2014). Los modelos climáticos se usan como herramienta de investigación para estudiar y simular el clima y con fines operativos, en particular predicciones climáticas mensuales, estacionales e interanuales (IPCC 2014).



Necesidades de adaptación

Son las circunstancias que exigen medidas para garantizar la seguridad de las poblaciones y la seguridad de los activos en respuesta a los impactos climáticos (IPCC 2014).

Opciones de adaptación

Son un conjunto de estrategias y medidas disponibles y adecuadas para hacer frente a las necesidades de adaptación. Incluyen una amplia gama de medidas que se pueden clasificar como estructurales, institucionales o sociales (IPCC 2014).



Peligro

Es el acaecimiento potencial de una tendencia o suceso físico de origen natural o humano, o un impacto físico que puede causar pérdidas de vidas, lesiones u otros efectos negativos sobre la salud, así como daños y pérdidas en propiedades, infraestructuras, medios de subsistencia, prestaciones de servicios y recursos ambientales. En el presente informe, el término peligro se refiere generalmente a tendencias o sucesos físicos relacionados con el clima o sus impactos físicos (IPCC 2014). Este es un factor determinante del riesgo climático.



Resiliencia

Es la capacidad de un sistema socioecológico de afrontar una perturbación o suceso peligroso y responder o reorganizarse de modo que mantenga su función esencial, su identidad y su estructura, y conservar al mismo tiempo la capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación (Axelsson y Nilsson 2013).

Riesgo

Es el potencial de consecuencias en que algo de valor humano (incluidos los propios humanos) está en peligro con un desenlace incierto. A menudo el riesgo se representa como la probabilidad de acaecimiento de sucesos o tendencias peligrosos multiplicada por las consecuencias en caso de que ocurran tales sucesos. Los riesgos resultan de la interacción de la vulnerabilidad, la exposición y el peligro. Concretamente, el término riesgo se utiliza principalmente en referencia a los riesgos de impactos del cambio climático (IPCC 2014).

Sensibilidad

Es el grado en que un sistema o especie resulta afectado, positiva o negativamente, por la variabilidad o el cambio climáticos. Los efectos pueden ser directos (e.g. una variación del rendimiento de los cultivos en respuesta a una variación de la temperatura media, los intervalos de temperatura de la variabilidad de la temperatura) o indirectos (e.g. los daños causados por un aumento de la frecuencia de las inundaciones costeras como consecuencia de una elevación del nivel del mar). Este es un factor determinante de la vulnerabilidad (IPCC 2014).



Trayectorias de concentración representativas (RCP²)

Son los escenarios que abarcan series temporales de emisiones y concentraciones de la gama completa de gases de efecto invernadero y aerosoles, gases químicamente activos, así como el uso del suelo y la cubierta terrestre (Moss *et al.* 2010). La palabra representativa significa que cada trayectoria de representación ofrece uno de los muchos posibles escenarios que conducirían a las características específicas de forzamiento radiativo. La palabra trayectoria hace hincapié en que únicamente son de interés los niveles de concentración a largo plazo. No obstante, también indica el camino seguido a lo largo del tiempo para llegar al resultado en cuestión (Moss *et al.* 2010).

De acuerdo con el BID (2019), las trayectorias de concentración representativas generalmente hacen referencia a la parte de la trayectoria de concentración hasta el año 2100, para las cuales los modelos de evaluación integrados han producido los correspondientes escenarios de emisión. Las trayectorias de concentración ampliadas describen ampliaciones de las trayectorias de concentración representativas entre 2100 y 2500 calculadas utilizando normas sencillas generadas a partir de las consultas con las partes interesadas y no representan escenarios plenamente coherentes. En este sentido, el IPCC ha seleccionado de la literatura publicada las siguientes cuatro trayectorias de concentración representativas elaboradas a partir de modelos de evaluación integrados como base para las predicciones y proyecciones climáticas.

2 RCP: Representative Concentration Pathways.

RCP 2.6

Trayectoria en la que el forzamiento radiativo alcanza el valor máximo a aproximadamente 3 W m^{-2} antes de 2100 y posteriormente disminuye (la correspondiente trayectoria de concentración ampliada en el supuesto de que sean constantes las emisiones después de 2100).

RCP 4.5 y RCP 6.0

Dos trayectorias de estabilización intermedias en las cuales el forzamiento radiativo se estabiliza a aproximadamente $4,5 \text{ W m}^{-2}$ y 6 W m^{-2} después de 2100 (la correspondiente trayectoria de concentración ampliada en el supuesto de que sean constantes las concentraciones después de 2150).

RCP8.5

Trayectoria alta para la cual el forzamiento radiativo alcanza valores superiores a $8,5 \text{ W m}^{-2}$ en 2100 y sigue aumentando durante un lapso (la correspondiente trayectoria de concentración ampliada en el supuesto de que sean constantes las emisiones después de 2100 y sean constantes las concentraciones después de 2250).



Vulnerabilidad

Es la 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 (Kelly y Adger 2000, O'Brien *et al.* 2007). En otras palabras, se refiere a cuán susceptible de ser perjudicada o dañada es una entidad. En el caso de activos, sistemas y personas, son sus características intrínsecas, internas, individuales y combinadas lo que –por naturaleza– los hace proclives o –por el contrario– resistentes a sufrir un daño.

Otra dimensión que caracteriza la vulnerabilidad que puede ser útil considerar se refiere a la capacidad de recuperación de un sistema, activo o personas/comunidad luego de sufrir un desastre. Asimismo, a más largo plazo, la capacidad de aprender de lo ocurrido (es decir, capacidad adaptativa) puede ser extremadamente beneficiosa (BID 2019). Concretamente, la vulnerabilidad se obtiene de la interacción de las variables de sensibilidad y capacidad adaptativa. Además, la vulnerabilidad es otro factor determinante del riesgo climático.



Zona crítica

Es la zona geográfica caracterizada por gran vulnerabilidad y exposición al cambio climático (IPCC 2014).



3

Área de
Intervención



Área de intervención

El área de estudio corresponde al municipio de San Agustín Acasaguastlán, el cual se encuentra ubicado en la parte centro-oriental de la República de Guatemala. El centro urbano del municipio se localiza en el meridiano $14^{\circ} 56' 42''$ de latitud norte y $89^{\circ} 58' 11''$ de longitud oeste. Posee una extensión territorial de 358 km² y una variación altitudinal desde los 260 m s.n.m. hasta los 2960 m s.n.m. La menor altura se localiza al pie del río Motagua y la mayor en el parteaguas de la Sierra de las Minas.

El municipio limita al norte con el municipio de Panzós (Alta Verapaz), al sur con los municipios de Guastatoya y El Jícaro (El Progreso), al este con el municipio de San Cristóbal Acasaguastlán (El Progreso) y al oeste con Morazán (El Progreso). La cabecera municipal se encuentra a 92 km de la ciudad capital y a 19 km de la cabecera departamental. El municipio se ubica dentro de la zona denominada “corredor seco” a lo largo del río Motagua, dominado por la Sierra de las Minas (Consejo Municipal de Desarrollo y SEGEPLAN/DPT 2011).

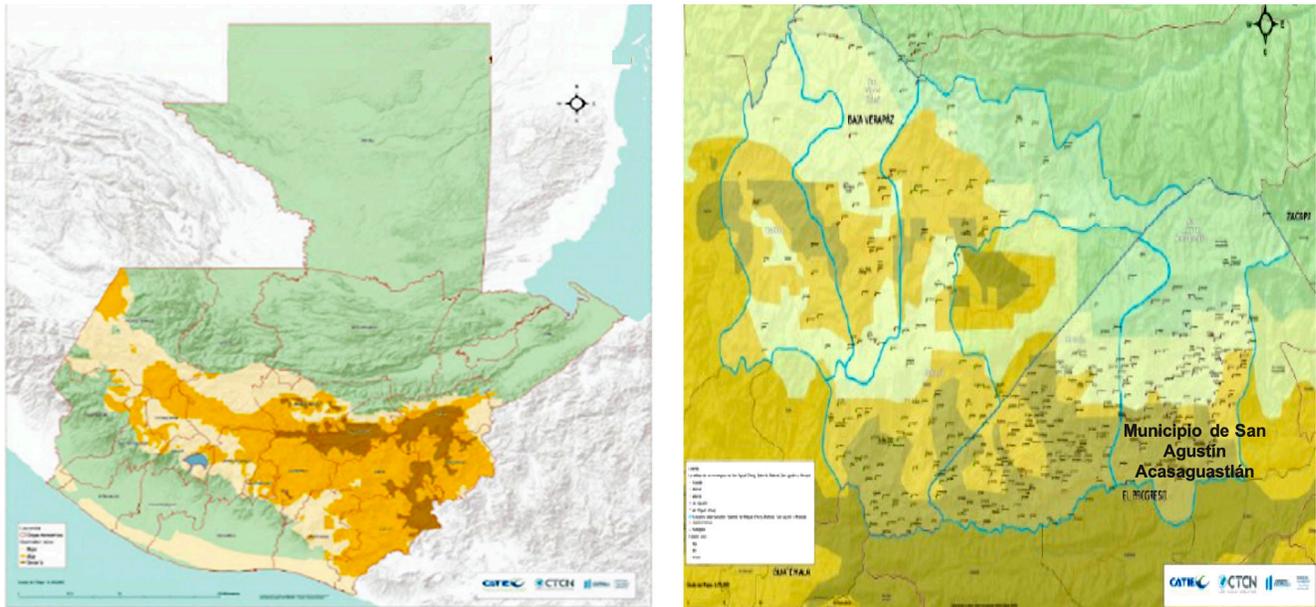


Figura 1. Ubicación del municipio de San Agustín Acasaguastlán dentro del corredor seco de Guatemala

Fuente: Elaboración propia

Para acceder al municipio de San Agustín Acasaguastlán, la principal vía es a través de la carretera CA-9 Norte que proviene de la ciudad capital hacia el océano Atlántico. Al llegar al kilómetro 88 de dicha ruta, se debe desviar al norte por la ruta departamental PRO-03 distante 4 kilómetros hasta llegar al casco urbano. La segunda vía de acceso para ingresar a la cabecera municipal es en el kilómetro 96 a través de la ruta CR-PRO-07 que conduce a la aldea Magdalena.

Esta zona ha sido constantemente afectada por eventos extremos. Además, cabe resaltar el déficit hídrico y períodos extensos sin lluvias. Debido a esto, los agricultores se ven en la necesidad de organizarse para identificar y producir vegetales que generen ingresos adicionales, además de cultivar maíz y frijol para asegurar su seguridad alimentaria familiar.

Según SEGEPLAN/IDEG (2018), el municipio está dividido política y administrativamente en un pueblo, 19 aldeas, 52 caseríos, 24 fincas, un parcelamiento, 12 parajes y un pueblo con 7 barrios.

De acuerdo con el censo nacional de población y vivienda (INE 2018), la población total del municipio de San Agustín Acasaguastlán es de 45 765 habitantes, los cuales se encuentran agrupados en 10 581 hogares. Además, del total de la población, 50,27% son mujeres, mientras que 25,41% de los hogares tiene una mujer como jefa de hogar. Asimismo, la densidad poblacional del municipio es de 127,8/km².

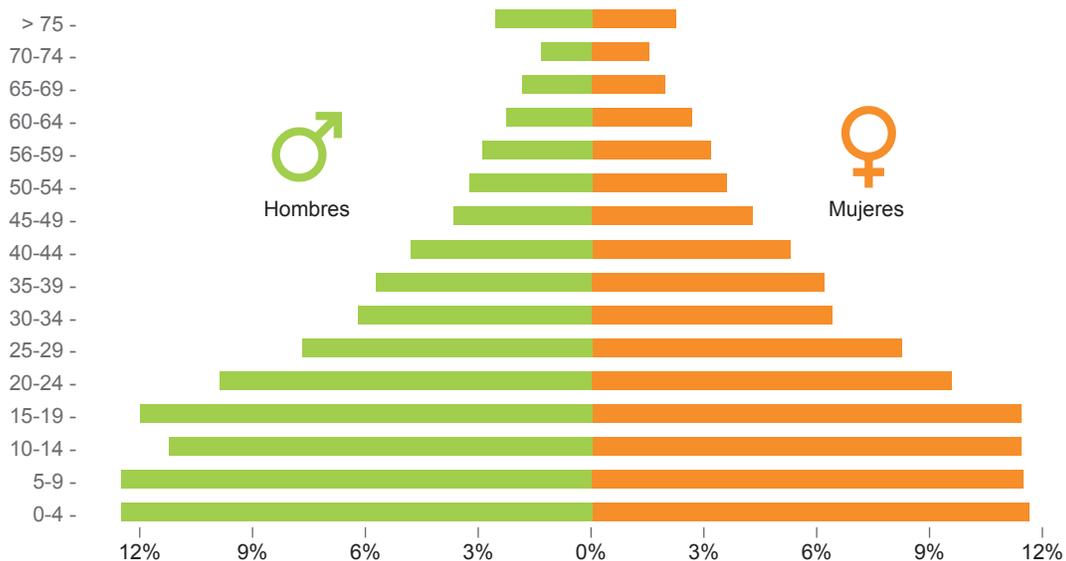


Figura 2. Pirámide poblacional del municipio de San Agustín Acasaguastlán

Fuente: INE (2018)

El grupo cultural más numeroso es el de los ladinos (98,5%), mientras que los Mayas son un grupo minoritario (1,2%) en la zona. El 61,3% de la población vive en zonas rurales. En cuanto a las viviendas, el municipio de San Agustín Acasaguastlán cuenta con 12 670 viviendas particulares ocupadas por 4,33 personas en promedio. El cuadro 1 muestra los tipos de clasificación de la infraestructura vial.

Cuadro 1. Tipo de caminos en el municipio de San Agustín Acasaguastlán

| Descripción | Distancia (km) |
|-----------------|----------------|
| No clasificados | 55,56 |
| No pavimentado | 415,8 |
| Pavimentado | 43,22 |
| Total | 514,58 |

Fuente: SEGEPLAN/DPT (2011)

En relación con la distribución de la cobertura y usos del suelo, destaca que 58% del territorio del municipio está ocupado por vegetación arbustiva baja (guamil-matorral), seguido por bosques (19%), cultivo de café (8%), agricultura anual (6%), pastizales (4%) y otros (5%).

Como se puede observar, más de la mitad del municipio se encuentra sin cobertura o con poca vegetación (guamiles o matorrales). Por lo tanto, esta área debe ser clave para desarrollar programas de reforestación y sumideros de carbono o –incluso– para promover la agricultura sostenible. Son terrenos que deben recuperarse para garantizar servicios ambientales.

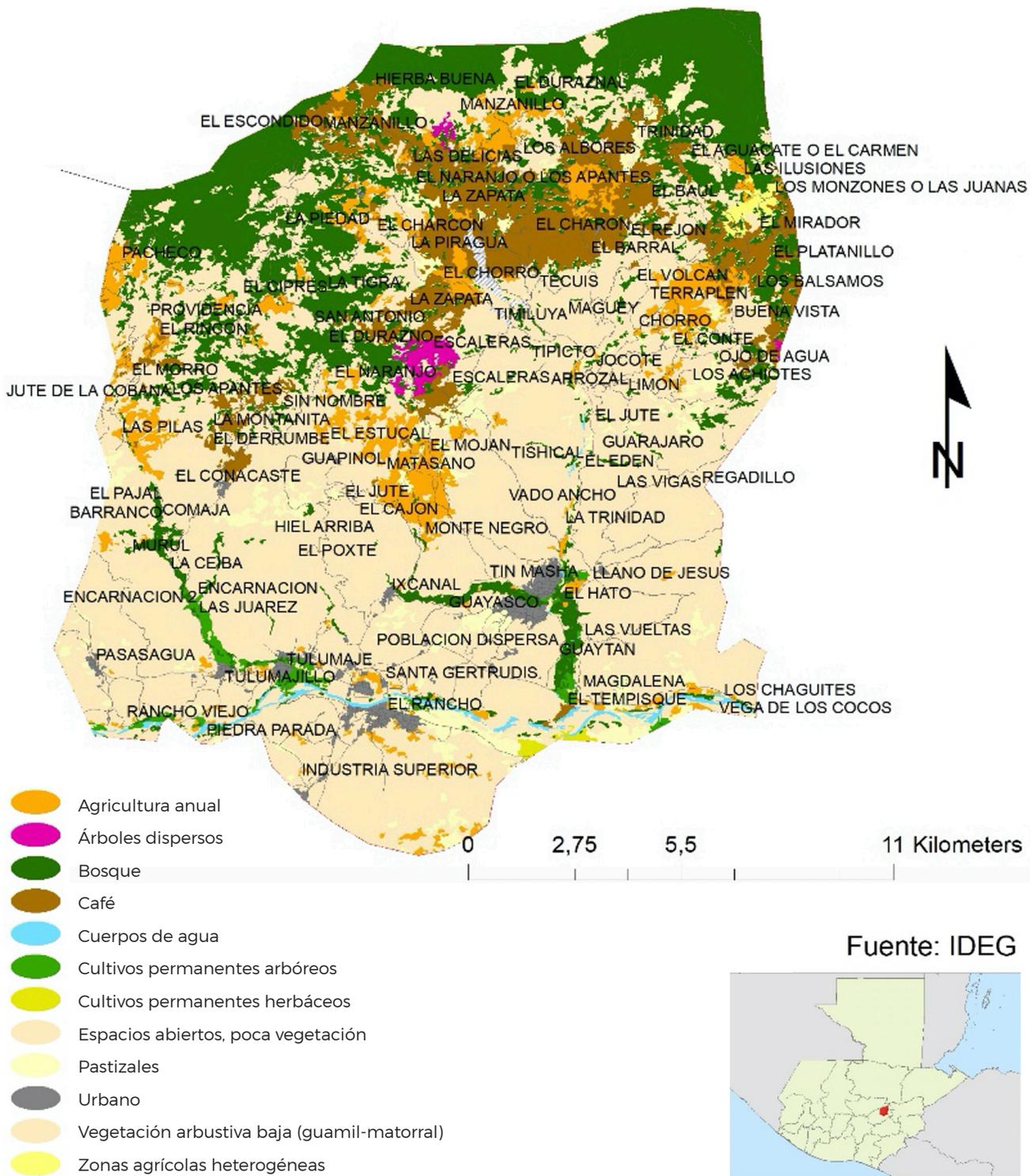


Figura 3. Bosques y usos de la tierra del municipio de San Agustín Acasaguastlán al 2012
Fuente: SEGEPLAN/IDEG (2018)

Por otra parte, un quinto del municipio corresponde a bosques, sobre todo en el norte, ya que es parte de la Sierra de las Minas. En este caso, es necesario implementar los documentos estratégicos de conservación existentes en la actualidad (planes de manejo, ambientales y de desarrollo territorial, entre otros).

Entre tanto, en la zona centro-norte se evidencia mayor presencia de café y agricultura anual, porque es un área que posee mejores condiciones climáticas que el sur del municipio. Esos terrenos dedicados al café deben analizarse para conocer si existen otros problemas, como enfermedades y plagas. Además, es necesario identificar el tipo de sombra y cultivos de asocio en sistemas agroforestales con árboles maderables o frutales, de tal forma que se pueda mejorar la productividad de los sistemas para favorecer la seguridad alimentaria, participación en mercados especiales y obtener mejores ingresos. En la zona con cultivos anuales deben promoverse buenas prácticas agrícolas, así como medidas de adaptación aplicadas a la agricultura. Dichos aspectos son clave al momento de realizar estrategias y planes locales de adaptación al cambio climático y desarrollo territorial.

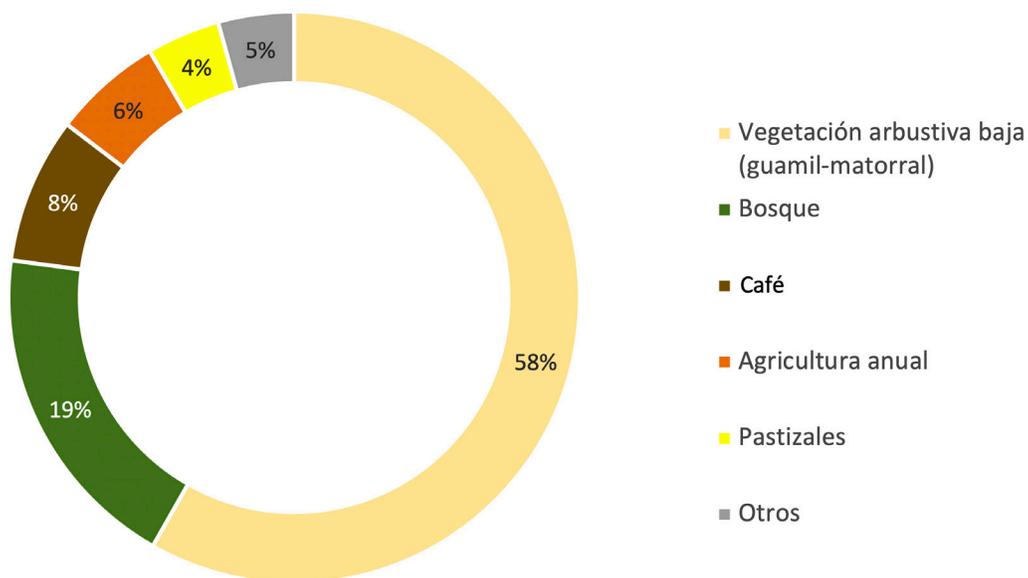


Figura 4. Distribución de usos de la tierra en el municipio de San Agustín Acasaguastlán al 2012

Fuente: SEGEPLAN/IDEG (2018)



4

Resumen Metodológico



4

Resumen metodológico

4.1 Estructura general

En la presente sección se expone el resumen metodológico que fue utilizado para realizar el análisis de riesgo climático en el área de interés. Incluye las etapas preliminares y/o subsecuentes para preparar los indicadores o realizar un seguimiento a los resultados. Sin embargo, no se profundiza en cada etapa, ya que no es el propósito del documento. Pero sí se presentan los lineamientos mínimos clave para organizar y desarrollar este tipo de estudios con información primaria y secundaria a nivel local, regional y nacional. Específicamente, se presentan las etapas y principales actividades propuestas e implementadas que fueron necesarias para alcanzar los objetivos establecidos en el presente análisis (Figura 5).



Figura 5. Etapas metodológicas del estudio

Fuente: Elaboración propia

4.2 Definición del alcance

A nivel general, el alcance del presente estudio incluyó las siguientes actividades:

4.2.1 Conformar un comité asesor y/o de apoyo

Así como se desarrolló en el estudio, en cualquier intervención vinculada con este tema es recomendable conformar un comité que apoye científica, técnica y logísticamente las actividades del análisis de riesgo climático. En este sentido, los actores que constituyen el comité fueron de índole muy estratégico y estaban relacionados –de forma directa o indirecta– con los objetivos de la intervención. Concretamente, los actores apoyaron delimitar, de forma específica y de acuerdo con el propósito de la intervención, el área de análisis, facilitar información secundaria clave, promover la interacción con actores locales y brindar recomendaciones que facilitaran el proceso, entre otras acciones. Cabe mencionar que las atribuciones del comité siempre deben ser precisas y consensuadas desde el inicio de la intervención para evitar sobrecargar las instituciones y generar falsas expectativas entre los miembros.

4.2.2 Definir el área de intervención

Según la literatura vinculada con la vulnerabilidad y riesgo al cambio climático, las áreas seleccionadas deben ser relativamente homogéneas en sus condiciones ambientales, medios de vida y aspectos socioeconómicos, ya que esto promoverá una mayor precisión de los escenarios climáticos y otras proyecciones relacionadas con la exposición y sensibilidad de los sistemas analizados. Esto –a su vez– facilita la definición de zonas bioclimáticas, grandes paisajes y paisajes específicos, aspectos que fueron tomados en cuenta al momento de realizar la delimitación final de las áreas de la presente intervención.

Sumado a lo anterior, el comité asesor y los investigadores definieron los parámetros para construir una matriz multicriterio, con variables técnicas y científicas que facilitaron la decisión sobre los límites físicos del área de estudio (e.g. amenazas: sequía; uso del suelo: agricultura y ganadería; índice seguridad alimentaria e índice de pobreza, entre otros). Cabe mencionar que es clave verificar que no existan estudios similares en el área de intervención y procurar que sean metodológicamente homogéneos, porque eso permitirá a las instituciones pertinentes desarrollar estrategias y políticas con lineamientos más precisos.

De esta actividad se obtuvieron los mapas del área de intervención final del estudio, lo que facilitó la identificación de las unidades territoriales que participarían en el proceso (municipios, aldeas, comunidades, caseríos), entre otras características sociodemográficas o biofísicas clave, como el uso del suelo.

4.2.3 Caracterizar los medios de vida locales

La identificación y caracterización de los medios de vida locales implicó el diseño y construcción de las variables que servirían como indicadores directos o proxy del capital humano, social, natural, financiero, físico y cultural. Dichas variables permitieron definir la capacidad adaptativa de la región objeto de estudio. Este proceso se realizó a través de...

- a. **Gestión de información secundaria:** Proveniente de actores clave, como el comité asesor, instituciones regionales y locales de la región. Básicamente, la información incluyó caracterizaciones biofísicas y socioeconómicas, censos, planes, diagnósticos y otros documentos que fueron considerados relevantes por su calidad y pertinencia. De estos fue posible obtener indicadores directos o proxy.

b. Gestión de información primaria: Se obtuvo de actores fidedignos que se encuentran vinculados con el tema y objetivos de interés. Este proceso de gestión se realizó por medio del uso de los siguientes métodos y herramientas:

- **Giras de reconocimiento:** Se planificaron y realizaron giras de reconocimiento por el área de interés, ya que era fundamental tener una primera aproximación a los medios de vida de la población local, sus problemas, impactos negativos del cambio climático y las características biofísicas y socioeconómicas del territorio.
- **Entrevistas semiestructuradas:** Se diseñaron e implementaron entrevistas semiestructuradas para los actores clave pre-identificados en las giras de reconocimiento, esto con el propósito de validar y actualizar información socioeconómica y biofísica, predefinir áreas con mayores peligros y amenazas por el cambio climático, obtener datos técnicos y económicos de los sistemas productivos, mayor información de la población, distribución del uso del suelo e impactos, entre otros aspectos relacionados con los medios de vida. Entre dichos actores se encontraban los que integran las oficinas de ambiente, desarrollo y planificación de las municipalidades, comités de desarrollo municipal, comités de desarrollo comunitario, grupos de productores agrícolas y pecuarios, y líderes comunitarios, entre otros.

- **Encuestas tipo cuestionario:** Posterior a tener mayor contexto sobre el área de estudio, en especial de aspectos de interés, como la agricultura, ganadería y seguridad alimentaria, se procedió a preparar una encuesta tipo cuestionario para obtener información confiable a nivel estadístico sobre los medios de vida de la población, entre otros aspectos. La ventaja de obtener información primaria y representativa es que los indicadores generados serán más actualizados y directos. El detalle de la implementación de las encuestas se expondrá en la subsección de análisis de riesgo climático, ya que la encuesta también fue utilizada para obtener datos sobre impactos y opciones de adaptación, entre otra información de interés.
- **Talleres institucionales y comunitarios:** El presente estudio posee la característica de ser sumamente participativo, por lo cual se diseñaron los lineamientos para convocar actores de instituciones locales y regionales vinculadas con el tema de interés, así como miembros de las comunidades más afectadas por los efectos negativos del cambio climático, las cuales fueron priorizadas de acuerdo con los sectores objeto de estudio (agricultura, ganadería y seguridad alimentaria) y la matriz multicriterio definida en la actividad anterior. En los talleres se gestionó y validó información de los medios de vida (indicadores de capital humano, social, natural, financiero, físico y cultural), pero también información relacionada directamente con los componentes del riesgo climático y opciones de adaptación. Por lo tanto, una mayor explicación metodológica será expuesta en la sección de riesgo.

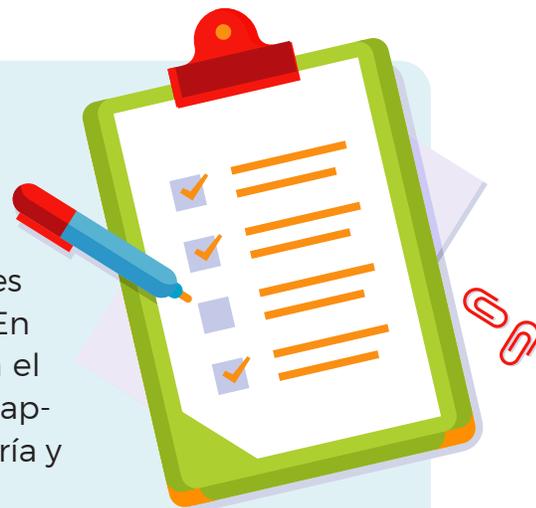
4.3 Mapeo de actores

El mapeo de actores es una técnica que permite identificar a los actores claves del área de interés, sobre todo para analizar su nivel de participación, importancia o influencia en un tema, proyecto o estudio específico. En este caso, el propósito del mapeo estuvo vinculado con el tema de riesgo climático en los sectores de agricultura, ganadería y seguridad alimentaria dentro del municipio priorizado.

En este sentido, el mapeo se gestionó desde el inicio del estudio, a través de la revisión de información secundaria y primaria gestionada en la etapa anterior, la cual se fue validando y enriqueciendo conforme avanzaban las actividades planificadas, ya que la información obtenida permitía estar en mayor contexto con cada actor, planificar talleres, encuestas y definir intervenciones a futuro con los actores pertinentes en el área de intervención. Se debe mencionar que existen diversas metodologías de mapeo, pero queda a discreción de los investigadores utilizar la que más se adapte a la situación local y permita cumplir los objetivos del estudio. No obstante, se recomienda que el mapeo incluya los siguientes lineamientos generales:

1. Delimitar el objetivo del mapeo

Es necesario tener presente que el mapeo es un medio para un fin que debe ser claro. En este caso, era identificar los actores clave en el tema de riesgo climático, vulnerabilidad y adaptación en el marco de la agricultura, ganadería y seguridad alimentaria.



2. Identificar de forma preliminar a los actores

Inicialmente, con base en información secundaria, se realizó una identificación preliminar. Sin embargo, con la información primaria producto de las giras de reconocimiento y entrevistas semiestructuradas se identificaron –de forma más precisa– personas e instituciones con interés, poder o capacidad de influir en el tema de riesgo climático y opciones de adaptación.

3. Priorizar los actores

Con base en su nivel de participación, estos se priorizaron como directos o indirectos, incluso, agrupados por nivel de influencia.

4. Caracterizar los actores

Dicha actividad se llevó a cabo a través de la revisión de documentos, entrevistas y hasta observación.

5. Análisis de los actores

En la medida de lo posible, se organizó la información por tipo de actor (gobierno central, local, sector privado, ONG, sociedad civil, cooperación y academia, entre otros), incluso por nivel de influencia (alta, media o baja). Además, se estableció si son actores directos o indirectos.

4.4 Información biofísica y socioeconómica

Previo a definir los componentes del riesgo climático, fue necesario gestionar y actualizar la información biofísica y socioeconómica del área de interés, ya que esto permite a los investigadores tener un contexto general de la región y su situación en relación con los objetivos del estudio. Igualmente, esa etapa facilitó el diseño e implementación de una estrategia de intervención y gestión de los vacíos de información que son clave para definir el riesgo climático. Concretamente, dicha información facilitó la pre-identificación de indicadores de medios de vida, efectos negativos del cambio climático y situación general de los sistemas agro-socio-ecológicos. Es así que se procedió a la gestión de información secundaria, para lo cual se acudió a los gobiernos municipales, organizaciones locales de desarrollo, plataformas regionales y organismos gubernamentales y no gubernamentales que pudieran facilitar documentos con datos biofísicos y socioeconómicos de interés.



Figura 6. Actividades para la gestión y actualización de información biofísica y socioeconómica clave

Fuente: Elaboración propia

Seguidamente, se gestionó la información primaria necesaria para actualizar datos clave sobre los asentamientos humanos, sistemas productivos, medios de vida, efectos negativos del clima y cualquier otra información relevante para estimar los componentes del riesgo climático. Dicha información se obtuvo de las giras de reconocimiento, entrevistas con actores clave, grupos focales, encuestas a la población y talleres institucionales y comunitarios³.

En este sentido, la información biofísica más relevante que se gestionó fue la siguiente:

-
- Geología

 - Fisiografía y geomorfología

 - Situación bioclimática →
 - Clima
 - Zonas de vida
 - Ecosistemas

 - Hidrografía y recursos hídricos →
 - Hidrografía
 - Usos y conflictos del agua

 - Suelos

 - Capacidad de uso de la tierra

 - Uso de la tierra

 - Recursos forestales

 - Áreas protegidas

 - Flora y fauna

 - Especies de flora amenazadas, endémicas o en peligro de extinción e indicadoras

 - Especies de fauna amenazadas, endémicas o en peligro de extinción

 - Servicios ecosistémicos

 - Amenazas e impactos climáticos

³ Más información sobre los talleres y encuestas se presenta en la siguiente sección.

Por otra parte, a continuación se expone la información socioeconómica más relevante que se recolectó y actualizó:

-
- Demografía

 - Educación

 - Indicadores socioeconómicos

 - Economía del área rural y medios de vida

 - Seguridad alimentaria

 - Tenencia de la tierra

 - Sistemas de producción agropecuaria 
 - Sistema agrícola
 - Sistema pecuario
 - Sistema agroforestal
 - Sistema forestal

 - Infraestructura vial, productiva y social del municipio

 - Sistema de extensión agrícola rural 
 - Estado situacional del sistema de extensión agrícola rural
 - Modelo actual de extensión agrícola rural

 - Modelo de gobernanza municipal y rural

 - Sistema de extensión agrícola rural

4.5 Análisis de riesgo climático

A nivel general, como ya se expuso, el presente análisis de riesgo climático se basó en un enfoque participativo que incluyó información primaria de actores centrales, regionales y población local. Además, se utilizó técnicas estadísticas con información secundaria que –en su conjunto– permitieron desarrollar un modelamiento climático robusto, porque la información de contexto que brindaron los actores involucrados facilitó generar indicadores con mayor precisión, así como identificar y priorizar conjuntamente opciones de adaptación específicas contra los efectos negativos del cambio climático existentes en el territorio. En este sentido, el análisis se basó en el uso de las siguientes metodologías:

- Quinto Informe de Evaluación del IPCC (AR5)
- Libro de vulnerabilidad y la agenda de riesgo de la GIZ
- Guía para el análisis detallado de riesgo climático del CAF
- Guía para la elaboración de planes locales de adaptación al cambio climático

4.5.1 Diferencia entre las metodologías del AR4 y AR5

Antes de continuar con la presente sección, es necesario establecer que la metodología expuesta en el Cuarto Informe de Evaluación del IPCC (AR4) se enfoca en estimar la vulnerabilidad al cambio climático como indicador final de un territorio determinado. No obstante, en el Quinto Informe de Evaluación del IPCC (AR5) existió una evolución metodológica, ya que en la actualidad el nuevo enfoque busca determinar el riesgo climático de un territorio como índice final de su situación frente a los efectos negativos que representan los cambios en los patrones del clima. Es importante resaltar que se incluye el componente de peligro y ahora la vulnerabilidad es parte de los componentes que definen el riesgo climático.

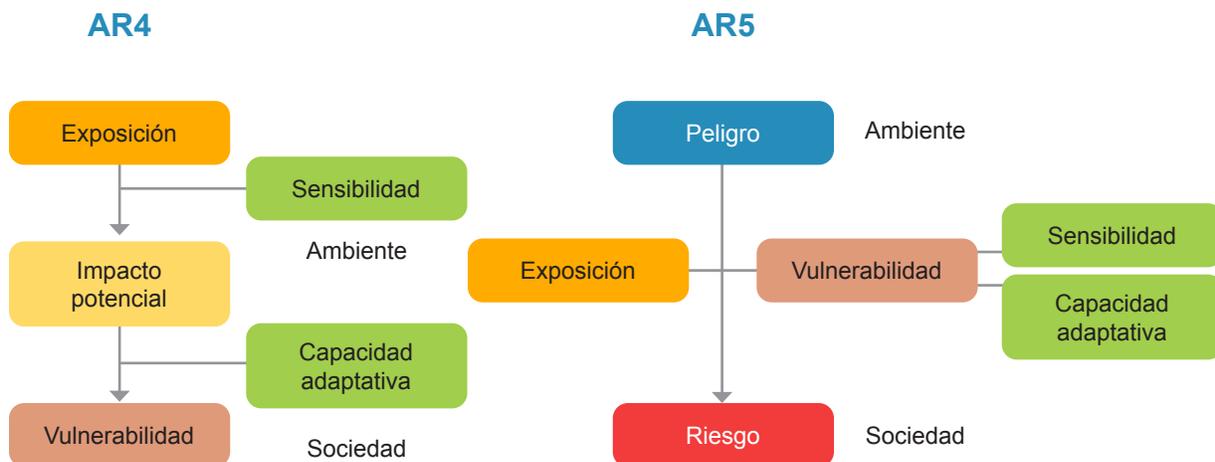


Figura 7. Componentes de vulnerabilidad al cambio climático (AR4) y riesgo climático (AR5)⁴

Fuente: Elaboración propia con base en GIZ y EURAC (2017)

Sumado a lo expuesto, es clave señalar que existe una gran variedad de definiciones y enfoques sobre la vulnerabilidad; de los cuales, Cardona *et al.* (2012) realizaron una amplia recopilación. Concretamente, lo que se aprecia en la literatura es una evolución del concepto que inicialmente incluía la exposición como un elemento de la vulnerabilidad a otro que tiende a visualizar la vulnerabilidad como una construcción social y no dependiente de la exposición. Esta última visión es compatible con el uso del término vulnerabilidad como se emplea actualmente, ya que se considera que la vulnerabilidad se encuentra definida en función de la sensibilidad a determinada amenaza climática y la capacidad adaptativa.

⁴ GIZ and EURAC 2017: Risk Supplement to the Vulnerability Sourcebook. Guidance on how to apply the Vulnerability Sourcebook's approach with the new IPCC AR5 concept of climate risk. Bonn: GIZ.

Además, el planteamiento del Quinto Informe de Evaluación del IPCC (AR5) se aproxima a la concepción tradicional del riesgo, que entiende que dicho término valora tanto la probabilidad de un suceso (concepto que es análogo al periodo de retorno de la amenaza) como la intensidad del suceso, que establece la magnitud de las consecuencias de dicho suceso (concepto que viene determinado, fundamentalmente, por la combinación de los componentes de exposición y vulnerabilidad, aunque depende también de la amenaza).

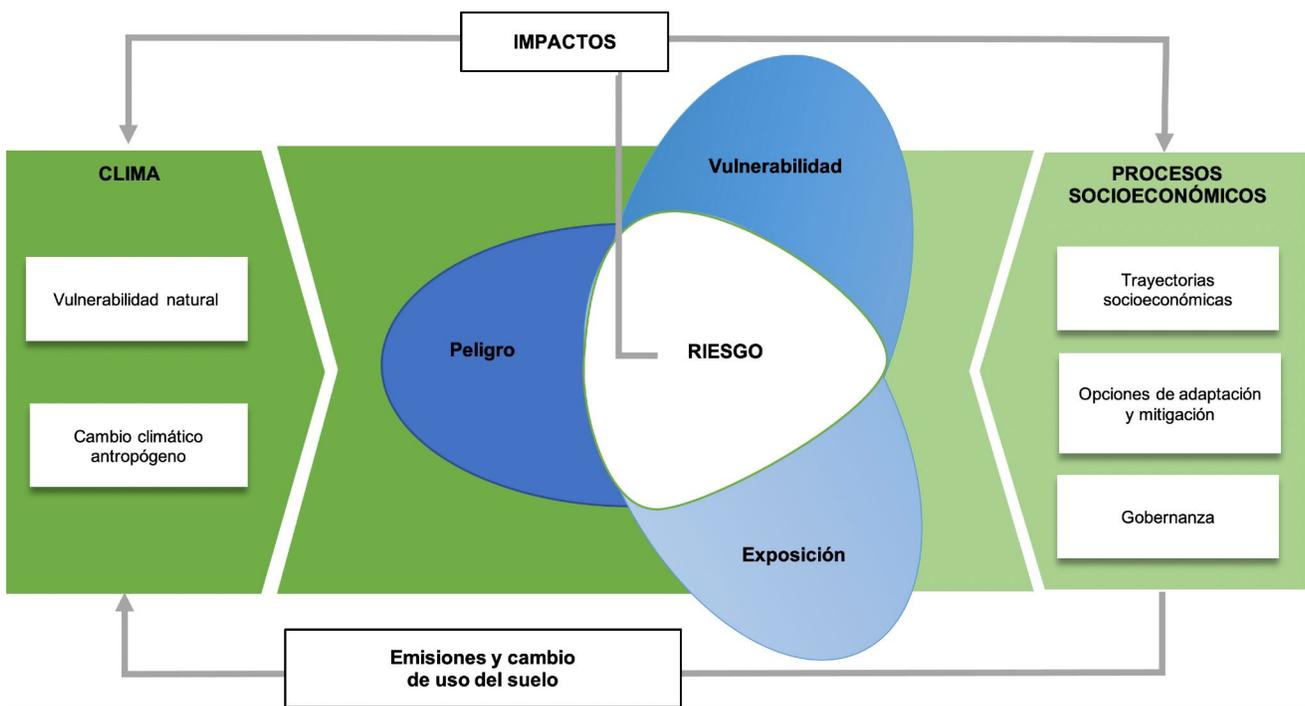


Figura 8. Componentes del análisis de riesgo climático (AR5)

Fuente: Elaboración propia con base en IPCC (2014)

Este nuevo marco metodológico propuesto por el IPCC ha sido ampliamente analizado en la literatura actual, donde se coincide en asignar al concepto de riesgo un papel central y una visión probabilística. Es decir, en todos ellos se afronta el cálculo del riesgo considerando no solo la magnitud de los posibles impactos y efectos del cambio climático sobre los sistemas, sino que también se considera que el clima se está viendo alterado y por tanto, igualmente la frecuencia de los eventos climáticos y los valores medios, entre otros. Por consiguiente, es necesario considerar su previsible evolución en los próximos años para poder evaluar el riesgo real al que harán frente los proyectos.

Asimismo, en todos los marcos metodológicos planteados se considera el potencial efecto de la adaptación y cómo la implementación de medidas adaptativas puede contribuir a controlar y reducir los riesgos asociados con el clima.

4.5.2 Metodología del AR5

Como se ha establecido, en el Quinto Informe de Evaluación del IPCC (AR5) el concepto de riesgo adquiere un papel protagónico al momento de evaluar los retos asociados con el cambio climático y también al definir una respuesta que permita estar preparado para estos. De esa forma, en la metodología de análisis propuesta en el presente documento, el concepto de riesgo climático integra los componentes de peligro, exposición y vulnerabilidad. En el mismo informe, el IPCC destaca también que el concepto de vulnerabilidad está caracterizado por los componentes de sensibilidad y capacidad adaptativa.

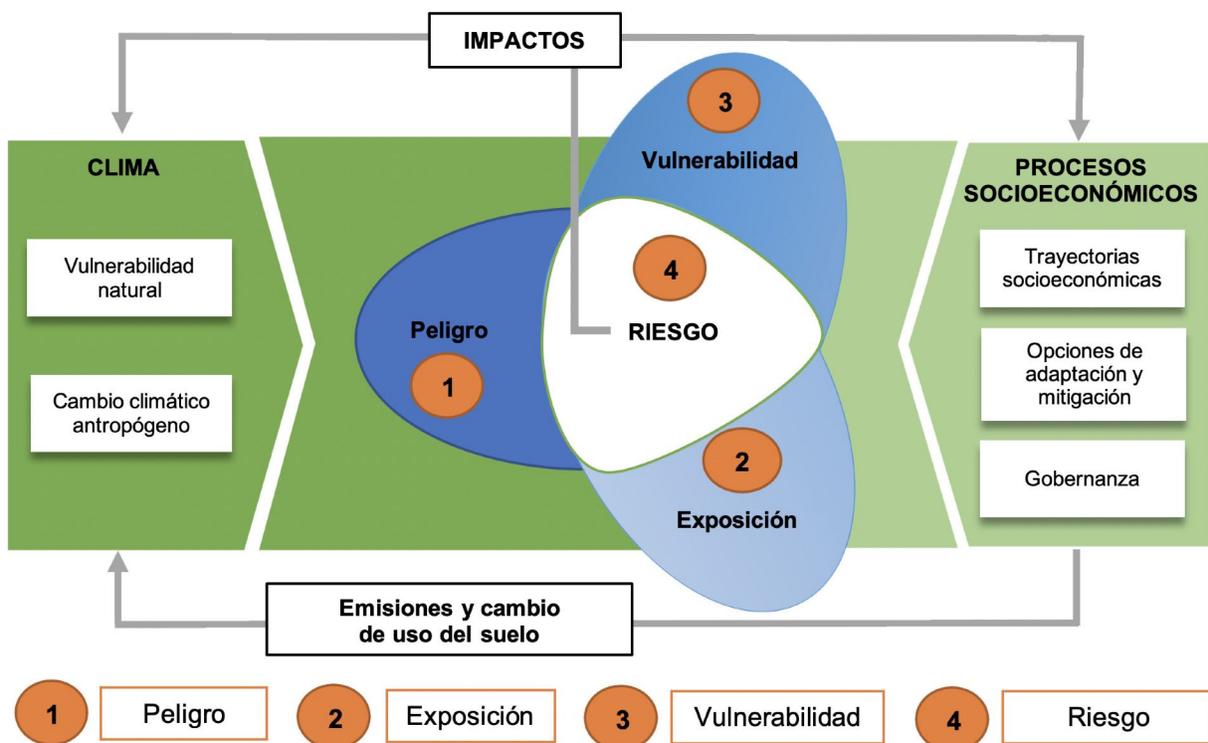


Figura 9. Pasos y componentes del análisis de riesgo climático (AR5)

Fuente: Elaboración propia con base en IPCC (2014)

En este sentido, a continuación se expone la etapa preliminar y cada uno de los componentes del análisis de riesgo (IPCC 2014), así como los indicadores utilizados como proxys para hacer el cálculo del riesgo climático en el área de interés. No obstante, es necesario establecer que el detalle de las estimaciones y análisis se encuentran en la sección de resultados del análisis de riesgo climático, ya que se desea que el lector pueda conocer con mayor profundidad los cálculos, uso de información e interpretación de datos.

4.5.2.1 Etapa preliminar: gestión de información primaria y cadena de impactos

En secciones anteriores se mencionó que fue necesario utilizar técnicas y herramientas para la gestión de información primaria, sobre todo para las etapas de definición de alcance, mapeo de actores y actualización de información biofísica y socioeconómica. Sin embargo, en la presente etapa se presentan los principales pasos y actividades para su uso, porque son parte clave para el análisis de riesgo climático.

Encuesta tipo cuestionario

El diseño e implementación de la encuesta tipo cuestionario permitió recolectar y actualizar información sobre factores socioeconómicos, medios de vida (capitales), eficiencia técnica de los sistemas productivos, percepción del cambio climático, eventos extremos y riesgo, así como medidas de adaptación al cambio climático y sus posibles determinantes. A continuación se resumen los principales pasos que fueron necesarios para la presente sección:





Figura 10. Pasos y actividades para la gestión de información primaria a través de encuestas

Fuente: Elaboración propia (2021)

De los pasos y actividades, es necesario resaltar que la encuesta se implementó en las áreas o comunidades vinculadas de forma directa con los objetivos del presente estudio. En otras palabras, la población meta corresponde a los habitantes de las comunidades que se encontraban en las zonas críticas del corredor seco de Guatemala y se dedicaban a la agricultura y ganadería, además de tener problemas de seguridad alimentaria. Dicha área se delimitó con una matriz multicriterio y uso de Sistemas de Información Geográfica (GIS). Posteriormente, se gestionaron los datos poblacionales a través de un muestreo aleatorio simple. De esta forma, el nivel de confianza utilizado fue de 95%, el porcentaje del error 5% y el nivel de variabilidad se estimó como una variable binaria:


$$n_0 = \frac{Z^2 \sigma^2}{e^2}$$

Donde:

n_0 : es el tamaño de la muestra

Z: es el valor del nivel de confianza

e: es el error

σ^2 : es la varianza de la población en relación con la variable de interés, que en este caso es binaria (en riesgo climático= 0,5 o sin riesgo climático= 0,5). Concretamente, σ^2 corresponde a $p(1-p)$, donde p es la probabilidad de estar en riesgo climático (0,5) de acuerdo con lo establecido en la matriz multicriterio mencionada.

Talleres institucionales y comunitarios

Con el fin de complementar la información cualitativa y cuantitativa de los sistemas de producción agrícolas, pecuarios y de los medios de vida orientados a la seguridad alimentaria de la población rural, además de identificar los principales impactos del cambio climático y su interrelación con los componentes del índice de riesgo, se desarrollaron talleres de consulta institucional y comunitaria. Esto significa que los talleres involucraron actores de instituciones locales con influencia en el tema (MARN, MAGA, SESAN, ONG y proyectos, entre otros) y actores comunitarios con conocimiento sobre la problemática relacionada con el cambio climático. No obstante, debido a la crisis sanitaria causada por el COVID-19, ciertos talleres solo incluyeron un tipo de actor.

Los ejes temáticos de los talleres fueron la identificación de impactos, sensibilidad al cambio climático, capacidad adaptativa y opciones locales de adaptación al cambio climático definidos durante el proceso del estudio. Asimismo, para la realización de los talleres se concertó con las oficinas municipales de gestión ambiental, instituciones gubernamentales y no gubernamentales, y las autoridades locales comunitarias del municipio de interés.

A continuación se muestra la secuencia lógica de los pasos que fueron necesarios para implementar los talleres de forma exitosa:



Figura 11. Pasos para el desarrollo de los talleres

Fuente: Elaboración propia (2021)

En general, en lo que respecta al riesgo climático, es necesario destacar que el contenido del taller tuvo que responder a las siguientes interrogantes:

- ¿A qué se refiere el cambio climático y la variabilidad climática?
- ¿Cuáles son las principales amenazas climáticas de su comunidad y municipio?
- ¿Cuáles son los principales medios de vida de su comunidad y municipio (resaltando la agricultura y ganadería)?
- ¿Qué tan expuestos están los medios de vida a las amenazas climáticas?
- ¿Qué tan sensibles son los sistemas productivos y en general, los medios de vida a las amenazas climáticas?
- ¿Cuál es el nivel de capacidad adaptativa de los sistemas?
- ¿Qué lecciones aprendidas han existido en la comunidad en función del riesgo a amenazas climáticas?
- ¿Qué son las necesidades y opciones de adaptación al cambio climático?⁵
- ¿Cuáles serían las principales opciones de adaptación para la zona?

⁵ Las dos últimas preguntas se desglosan en la etapa de recomendaciones para elaborar un Plan Local de Adaptación al Cambio Climático (PLACC) en el municipio.

Ahora bien, dentro de los talleres resalta la definición de la cadena de impacto, la cual es clave para un correcto análisis de riesgo climático, ya que permite identificar las relaciones causa-efecto en todos los componentes del índice de riesgo (peligro, exposición y vulnerabilidad: sensibilidad y capacidad adaptativa). Por ejemplo, un evento o señal climática como la poca precipitación por largos períodos conduce a impactos directos como la sequía, que –a su vez– causa impactos intermedios que contribuyen al riesgo.

En concreto, de acuerdo con GIZ (2018) y el IPCC (2014), una cadena de impacto debe incluir los siguientes pasos:

Paso 1. Identificar los impactos y los riesgos climáticos

¿Cuáles son los principales impactos y riesgos climáticos que afectan al sistema de interés?

Paso 2. Determinar los peligros y los impactos intermedios

¿Qué peligros o tendencias climáticas y sus impactos físicos representan un riesgo para el sistema de interés?

¿Qué impactos intermedios vinculan el peligro y el riesgo?

Paso 3. Determinar la vulnerabilidad

¿Qué atributos del sistema contribuyen al riesgo?

Paso 4. Determinar la exposición

¿Qué factores determinan la exposición?

Paso 5. Lluvia de ideas para identificar medidas de adaptación

¿Qué medidas podrían ayudar a disminuir la vulnerabilidad y la exposición en el sistema de interés?

Por otra parte, es recomendable exponer los resultados de forma gráfica para comprender la interrelación de los componentes, factores dentro de los componentes e impactos, lo cual ayudará a definir indicadores para el análisis de riesgo y definir opciones o medidas de adaptación.

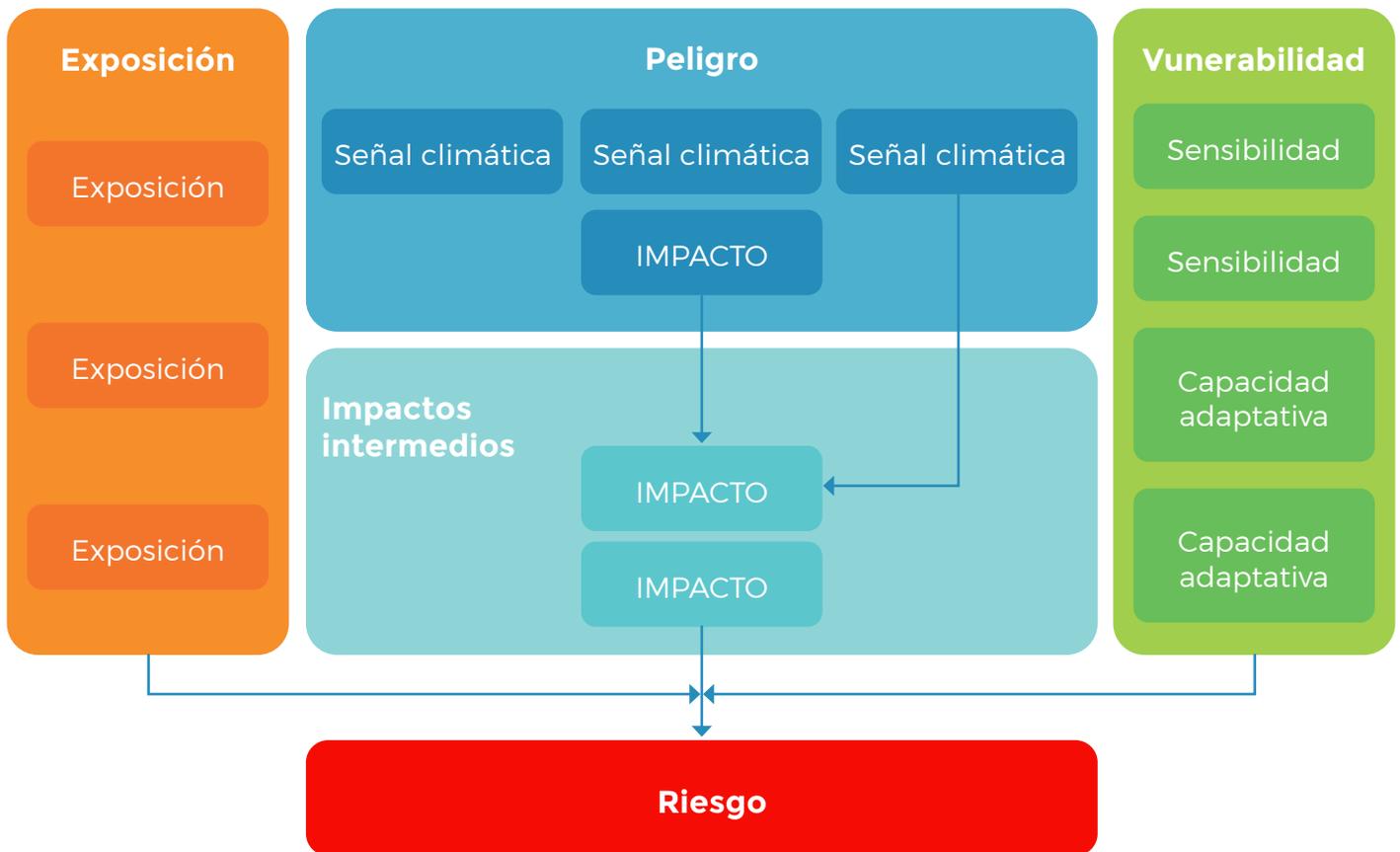


Figura 12. Estructura de una cadena de impacto de acuerdo con el AR5 del IPCC

Fuente: Elaboración con base en el IPCC (2014) y GIZ (2018)

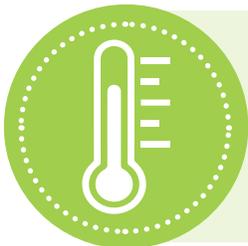
4.5.2.2 Peligro

Un peligro en el contexto climático puede ser considerado como un suceso potencial o tendencia física de origen natural o humano, o un impacto físico que puede causar pérdidas de vidas, lesiones u otros efectos negativos sobre la salud, así como daños y pérdidas en propiedades, infraestructuras, medios de subsistencia, prestaciones de servicios, ecosistemas y recursos ambientales. En este sentido, en el marco del presente estudio se identificaron, estimaron y analizaron los principales parámetros climáticos e indicadores vinculados con este componente del riesgo⁶:



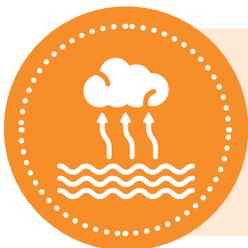
Precipitación mensual y total

Se obtuvo de WorldClim 1.4 (2021).
Los escenarios futuros se definieron con base en los RCP 2.6 y 8.5.



Temperatura promedio mensual y anual

Se obtuvo de WorldClim 1.4 (2021).
Los escenarios futuros se definieron con base en los RCP 2.6 y 8.5.



Evapotranspiración potencial

Se obtuvo a través de la siguiente fórmula (Holdrige 1959, 1967)

⁶ Mayor detalle de las fórmulas y cálculos se encuentran en la sección referente a la estimación del riesgo climático

$$ETP_t = K \cdot T_{bio}$$

Donde:

ETP_t : evapotranspiración potencial en el periodo t

T_{bio} : es el valor de la biotemperatura (Lugo *et al.* 1999)

K: es una constante que toma los siguientes valores:

K= 5 para meses de 31 días

K= 4,84 para meses de 30 días

K= 4,52 para meses de 28 días

- **Índice de aridez (precipitación/evapotranspiración)**

Se obtiene a través de la siguiente fórmula:

$$IA = \frac{P_t}{ET_t}$$

Donde:

IA: es el índice de aridez en el periodo t

P: es la precipitación en el periodo t

ET: es la evapotranspiración potencial en el periodo t

En este caso, para calcular la ET se utilizó la ecuación presentada por Droogers y Allen (2002):

$$ET_t = 0.0013 \cdot 0.408RA \cdot (T_{avg} + 17.0) \cdot (TD - 0.0123P)^{0.76}$$

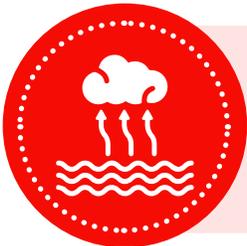
Donde:

RA: es la radiación extraterrestre expresada en MJ m-2d-1

Tavg: es la temperatura promedio

TD es el rango de temperatura, que es la diferencia entre temperatura máxima y temperatura mínima

0.408: es una constante que se usa para convertir la radiación a evapotranspiración equivalente en milímetros (mm)



Número de meses secos

Un mes seco es aquel en el que la precipitación es menor a 50% de la evapotranspiración en un área determinada.

$$P_t < \frac{ETP_t}{2} = \text{Mes seco}$$

Donde:

P_t : es la precipitación (mm) periodo t

ETP_t : es la evapotranspiración potencial en el periodo t

4.5.2.3 Exposición

El presente componente se estimó al proyectar cómo una amenaza climática afecta a la población del área de interés y sus medios de vida. Por lo tanto, en el estudio se utilizó el mapa de amenaza a sequía en contraste con la ubicación de las familias de las aldeas que se encuentran dentro del corredor seco del municipio de interés. Dicha información se obtuvo de la implementación de encuestas a hogares o –en su defecto– de entrevistas, censos u otra información sociodemográfica disponible en la región.

Ahora bien, el mapa de amenaza por sequía se desarrolló combinando el mapa de precipitación anual total y el mapa de índice de aridez (MAGA 2002).

4.5.2.4 Vulnerabilidad

El concepto de vulnerabilidad se refiere a la propensión o predisposición de un sistema dado a verse afectado por una amenaza y depende de la sensibilidad o susceptibilidad al daño y de la capacidad para hacerle frente y adaptarse. Es decir, la vulnerabilidad se estimó en función de la sensibilidad y capacidad adaptativa:

$$Vulnerabilidad = f(sensibilidad, capacidad adaptativa)$$

Sensibilidad

Es necesario tener claro que la sensibilidad se refiere al grado en que el(los) sistema(s) de interés se ve(n) afectado(s) de forma positiva o negativa por la variabilidad de los patrones climáticos. Por lo tanto, los principales pasos para establecer la sensibilidad, dados los objetivos del presente estudio, fueron:

- Seleccionar los principales sistemas productivos del área de interés, a través de la revisión de información socioeconómica y productiva, entrevistas a actores clave y expertos, desarrollo de talleres comunitarios e implementación de encuestas a hogares.
- Realizar el cálculo de un índice de adecuación con base en los requerimientos climáticos (temperatura y precipitación) de las especies de cada sistema productivo identificado anteriormente. Esto se realizó a través del uso de un *software* especializado en el tema, en este caso EcoCrop. El programa brindó los rangos climáticos adecuados para cada especie y los óptimos para su mejor desempeño.

- Agregar los resultados de cada especie para construir el índice de sensibilidad. Para esto se utilizó el concepto de factor limitante basado en la ley de mínimos de Liebig (Hackett y Vanclay 1998, Jovanovic y Booth 2002), el cual se expone en la sección de resultados.

Capacidad adaptativa

La capacidad adaptativa se refiere a la capacidad de los sistemas para adaptarse a los daños potenciales del cambio climático, aprovechar oportunidades o responder a sus consecuencias. De esta forma, los principales pasos para establecer la sensibilidad, dados los objetivos del presente estudio, fueron:

- Definir los indicadores de los medios de vida del área de interés. Básicamente, fue necesario establecer los indicadores por cada uno de los capitales del enfoque de medios de vida: humano, social, financiero, físico, natural y cultural. Para esto se tuvo que revisar información científica, socioeconómica y productiva, realizar entrevistas a actores clave y expertos, desarrollar talleres comunitarios e implementar encuestas a hogares.
- Posterior a identificar y estimar los indicadores primarios por cada capital, estos se estandarizaron para definir un indicador compuesto por capital. Posteriormente, estos capitales se agruparon para establecer una escala entre 0 y 1, que representa la capacidad adaptativa.

4.5.2.5 Riesgo

El término riesgo se utiliza principalmente en referencia a los riesgos de impactos del cambio climático. Además, como se ha mencionado, el riesgo se refiere al potencial de consecuencias en que algo de valor está en peligro con un desenlace incierto, reconociendo la diversidad de valores. A menudo el riesgo se representa como la probabilidad de acaecimiento de tendencias o sucesos peligrosos multiplicada por los impactos, en caso de que ocurran tales sucesos o tendencias (IPCC 2014).

En concreto, el riesgo climático resulta de la interacción del peligro, la exposición y la vulnerabilidad.

$$\text{Riesgo climático} = f(\text{peligro, exposición, vulnerabilidad})$$

4.6 Recomendaciones para el PLACC

Después de definir el nivel de riesgo, fue necesario identificar y priorizar las acciones, medidas u opciones más urgentes y viables para contrarrestar los efectos negativos del cambio climático que fueron identificados. En cualquier intervención, dichas opciones deben ser lo más precisas posibles (componentes, equipos o atributos específicos que sean críticos para la resiliencia climática) y siempre que sea posible, se definirán parámetros de referencia cuantificables (estándares, umbrales de eficiencia) que permitan su monitoreo y supervisión en el tiempo.

Concretamente, las opciones resultarán un insumo para la posterior elaboración de un **Plan Local de Adaptación al Cambio Climático (PLACC)** en el municipio, el cual será un documento de gestión local que facilitará la toma de decisiones, el monitoreo y la evaluación de las opciones propuestas. Cabe mencionar que el PLACC debe estar en lineamiento con el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC).

Ahora bien, el primer paso para abordar el análisis de selección de opciones o medidas fue su identificación y recopilación, para posteriormente caracterizarlas y así seleccionar e implementar las más adecuadas de forma efectiva y evitar la “mala-adaptación”. En este sentido, cabe destacar algunos aspectos que no siempre son evidentes:

- Muchas de las opciones o medidas de adaptación pueden estar previstas desde un primer momento en el proyecto y no haber sido identificadas como tales. Este puede ser el caso de acciones, inversiones o procedimientos destinados a garantizar la operación del proyecto ante situaciones imprevistas, fallos de algunos equipos, etc.
- No necesariamente todas las opciones o medidas se identifican en esta etapa final. En el análisis de riesgo y vulnerabilidad que –como se ha indicado– considera la capacidad adaptativa es posible que se identifiquen algunas medidas ya previstas, potenciales, etc.
- Se recomienda, asimismo, evidenciar en el análisis aquellos casos en los que la acción más razonable sea no adoptar medidas de adaptación específicas, sino simplemente aceptar algunos daños o pérdidas, o –alternativamente– asegurar contra tales daños o pérdidas. Este puede ser el caso de ciertos activos con una vida útil corta.

Todas las medidas propuestas fueron dimensionadas (preliminarmente) y al momento de elaborar los planes de adaptación, se acompañarán de su costo y beneficio esperado (criterio de caracterización de medidas ampliamente utilizado para la selección de la infraestructura más adecuada), incluyendo –cuando corresponda– los costos sociales o institucionales asociados (cambios de comportamiento, impacto en grupos particulares de personas, impacto ambiental, etc). Siempre que se pueda y sea apropiado, se presentarán en términos monetarios y en la medida de lo posible, los resultados deben mostrarse de modo que los riesgos no mitigados (antes que cualquier adaptación adicional) se puedan comparar con los riesgos mitigados (después de las acciones de adaptación). Para esto se deben emplear plazos razonables e indicadores financieros adecuados a las características del proyecto [relación costo-beneficio (RBC)] siempre que sea posible.

En este nivel, es necesario establecer que la presente metodología se enfocó en el proceso de identificación y priorización preliminar de las necesidades y opciones de adaptación. Posteriormente, en otra intervención, se deben realizar los análisis de viabilidad, así como establecer componentes, presupuestos, estrategias de implementación y monitoreo.

Además, cabe destacar que el proceso de identificación y priorización se realizó a través de talleres comunitarios e institucionales, para que fuera lo más participativo posible y apegado a la realidad y conocimiento local. El nivel de participación y compromiso de los actores locales fue de suma importancia para facilitar la propuesta de futuros perfiles de proyecto enfocados a los medios de vida asociados con la agricultura, ganadería y seguridad alimentaria. En este sentido, en los talleres se identificaron –en forma conjunta y participativa– las necesidades de adaptación, medidas/opciones de adaptación y en lo posible, el proceso de integración de las opciones de adaptación a la planificación local.

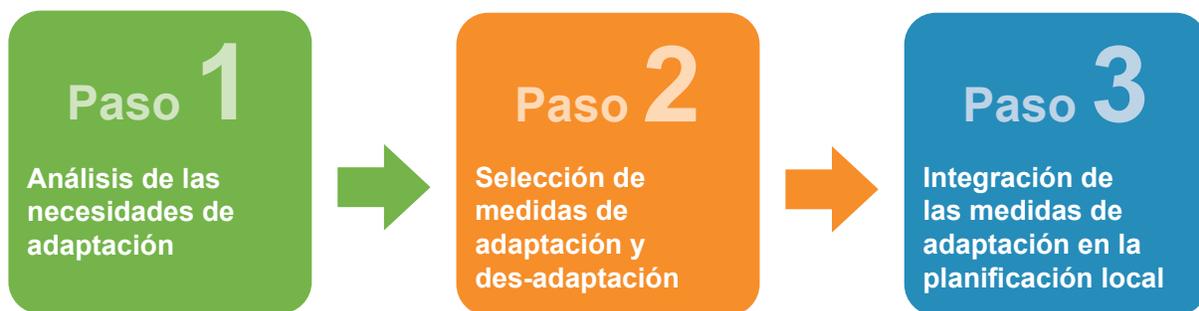


Figura 13. Pasos para identificar necesidades y opciones de adaptación

Fuente: Elaboración propia con base en IPCC 2014, GIZ y EURAC (2017)

Sumado a lo expuesto, se presenta el detalle de las preguntas utilizadas en cada paso mencionado:

1
PASO

Análisis de las necesidades de adaptación

| | | | | | | | | |
|--|-----------------------------------|--|--|--|--------------------------------------|--|---------------------------------|---|
| Sistema de interés: Agricultura, ganadería y seguridad alimentaria | Principal amenaza climática | Factores de sensibilidad climática | ¿Qué zonas y actores pueden ser más afectados y por qué? | Impactos biofísicos (en producción o infraestructura) | Impactos sociales y económicos | Capacidades actuales de adaptación (Recursos, conocimientos, tecnologías, organización, acciones en curso) | Nivel de riesgo climático | Nivel de vulnerabilidad climática |
|--|-----------------------------------|--|--|--|--------------------------------------|--|---------------------------------|---|

2
PASO

Selección de las medidas de adaptación

| | | | | | | | | | |
|--|-----------------------------------|---------------------------------|---|---|--|--|-------|-------------|-----------------------|
| Sistema de interés: Agricultura, ganadería y seguridad alimentaria | Principal amenaza climática | Nivel de riesgo climático | Nivel de vulnerabilidad climática | Opciones de medidas de adaptación | ¿Qué actores deben involucrarse? ¿Cuál es su rol? | Criterios para la priorización de las medidas | | | Calificación final |
| | | | | | | Factibilidad | Costo | Efectividad | |

3
PASO

Integración de las medidas de adaptación en la planificación local

| | | | | | |
|--|---------------------------------------|-----------------------------------|----------------|---|---|
| Sistema de interés: Agricultura, ganadería y seguridad alimentaria | Medida de adaptación priorizada | Cómo se implementará la medida | ¿En qué plazo? | ¿En cuál proceso de planificación local? | ¿Quiénes serían los beneficiarios? ¿Cuáles son sus roles? |
|--|---------------------------------------|-----------------------------------|----------------|---|---|

5

Mapeo de Actores



Mapeo de actores

El mapeo de actores tuvo como propósito principal identificar organizaciones y líderes locales clave para la gestión de información primaria y secundaria del municipio, la definición de los componentes del riesgo climático y la identificación de opciones o medidas de adaptación al cambio climático orientadas a los sectores de agricultura, ganadería y seguridad alimentaria, las cuales servirían para diseñar perfiles de proyectos y brindar insumos para un futuro Plan Local de Adaptación al Cambio Climático (PLACC).

Concretamente, el enfoque del mapeo se basó en la identificación de actores por sector: **a) Estado:** incluyendo organizaciones del gobierno central y local; **b) Academia y cooperación internacional:** tomando en cuenta las universidades, organizaciones no gubernamentales y la cooperación internacional; **c) Sector privado:** banca, empresas agropecuarias y comercio, entre otras y **d) Sociedad civil:** organizaciones comunitarias, comités y asociaciones locales, entre otros relacionados con el tema de interés.

En relación con la presencia de organizaciones del poder ejecutivo y judicial en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, se encuentran:

- Organismo Judicial por medio del Juzgado de Paz
- Ministerio de Gobernación por medio de la Policía Nacional Civil
- Ministerio de Educación a través de la Supervisión Educativa
- Registro Nacional de Personas (RENAP)
- Registro de Ciudadanos del Tribunal Supremo Electoral
- Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, con Centros y Puestos de Salud

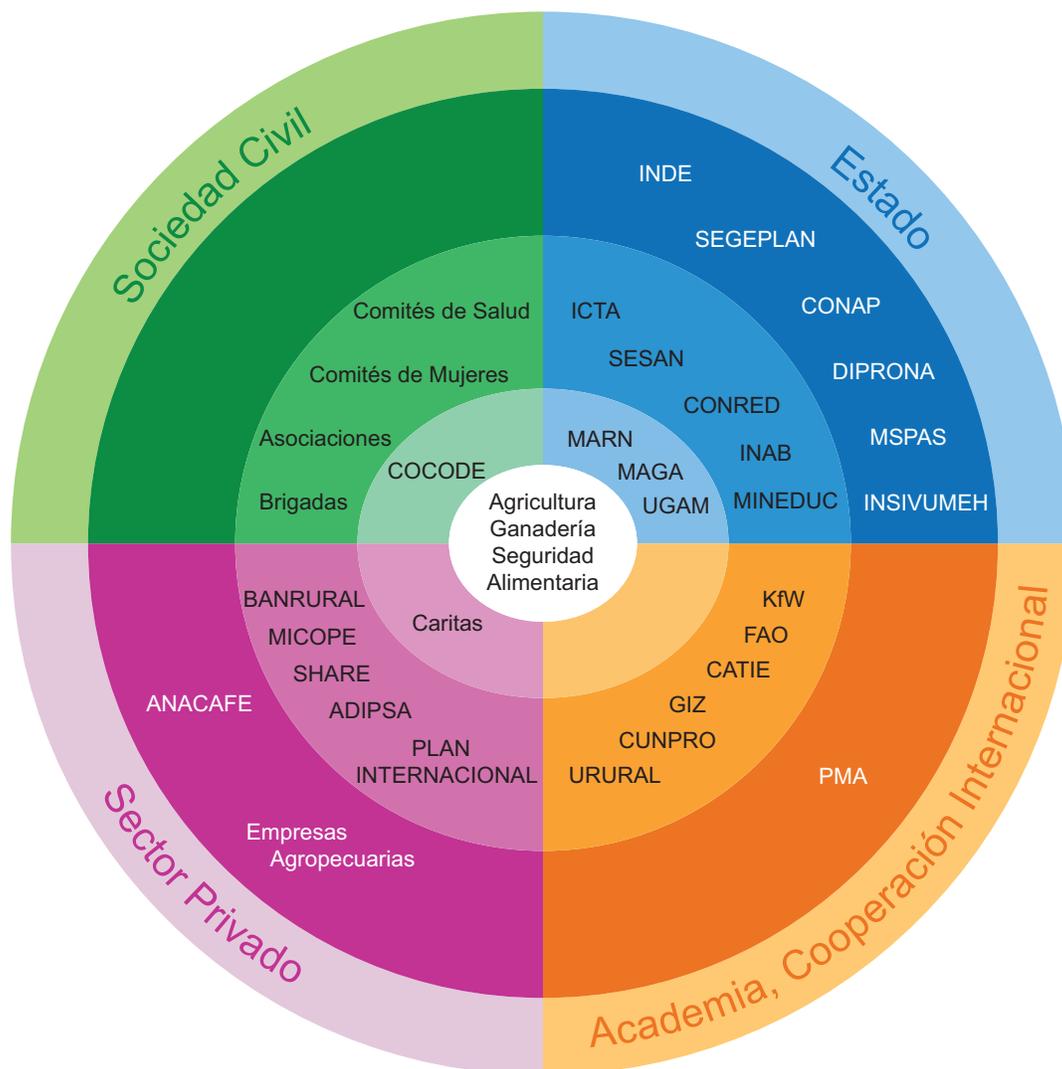


Figura 14. Mapeo de actores por sector en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso

Fuente: Elaboración propia

Además, es atendido también por organizaciones como el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, la Secretaría de Seguridad Alimentaria y Nutricional, el Ministerio de Agricultura, el Fondo Nacional para la Paz, el Instituto Nacional de Bosques, el Consejo Nacional de Áreas Protegidas, la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, y el Consejo Departamental de Desarrollo Urbano y Rural.

Actualmente, el municipio cuenta con el apoyo temporal y la presencia de programas de ayuda social, tal es el caso del Programa Mundial de Alimentos (PMA), el cual apoya a las familias que sufren las consecuencias del cambio climático y se ubican en el corredor seco.

En cuanto a Organizaciones No Gubernamentales, recibe ayuda de la Fundación Defensores de la Naturaleza, cuya área de intervención dentro del municipio se limita a la Reserva de la Biosfera Sierra de las Minas con cuatro guarda-recursos, un técnico agroforestal y un técnico en café con oficina en la sede de ADIPSA, apoyados por las oficinas de la Reserva Biosfera Sierra de las Minas, ubicadas en el municipio de Purulhá, Baja Verapaz y la del distrito Motagua, localizada en Zacapa. KFW tiene un técnico específico en el municipio para el seguimiento de sus intervenciones. Asimismo, en el período del 2014 al 2018 GIZ tuvo presencia a través de la empresa consultora GOPA.

Por otro lado, la municipalidad es la institución llamada a generar el desarrollo del municipio, dentro de los principios de una administración eficiente, responsable y transparente. El gobierno municipal está encabezado por el concejo municipal, el cual está integrado por el alcalde, dos síndicos y cinco concejales. Además, es responsable de impulsar el desarrollo del municipio. Dentro de sus fines corresponde orientar los recursos que recibe de carácter constitucional, en forma equitativa, racional y justa, en programas de salud, educación, vivienda e infraestructura, para brindar un mejor nivel de vida y desarrollo a los habitantes del lugar. En la estructura organizativa está establecida la Secretaría, Tesorería, Dirección de Planificación Municipal, Oficina Municipal de la Mujer y la del Adulto Mayor.

La municipalidad cuenta con una estructura interna de carácter administrativo, técnico y operativo que permite el funcionamiento adecuado de los principales servicios municipales. El área técnica corresponde a la Dirección Municipal de Planificación (DMP), la cual tiene a su cargo la Planificación del Desarrollo Municipal y la interlocución directa con los COCODES de primer nivel, así como la pre-inversión anual.

Además, existen también las Alcaldías Auxiliares, los Comités Comunitarios de Desarrollo (COCODE), el Comité Municipal del Desarrollo (COMUDE), las asociaciones culturales y las comisiones de trabajo. Los alcaldes auxiliares son elegidos por las comunidades de acuerdo con sus principios y tradiciones, y se reúnen con el alcalde municipal el primer domingo de cada mes. Mientras, los Comités Comunitarios de Desarrollo y el Comité Municipal de Desarrollo organizan y facilitan la participación de las comunidades, para lo cual priorizan necesidades y problemas.

Ahora bien, posterior a la etapa de identificación de actores clave en el área de intervención, se procedió a realizar un análisis de la posición de la organización con respecto al objetivo del mapeo, su grado de interés en el área de intervención y su nivel de influencia e interacciones con otras organizaciones o instituciones.

Para esto se valoraron aspectos como intervención local, actividades desarrolladas, cobertura espacial y temática, a través de una escala de Likert (una escala de calificación que se utiliza para cuestionar a una persona sobre su nivel de acuerdo o desacuerdo con una declaración o aspectos) que –en este caso– utilizó valores desde totalmente en desacuerdo (0) hasta totalmente de acuerdo (5). Los resultados obtenidos permitieron establecer la importancia y posicionamiento de determinada institución en un nivel alto, medio o bajo de incidencia en el corredor seco del territorio municipal.

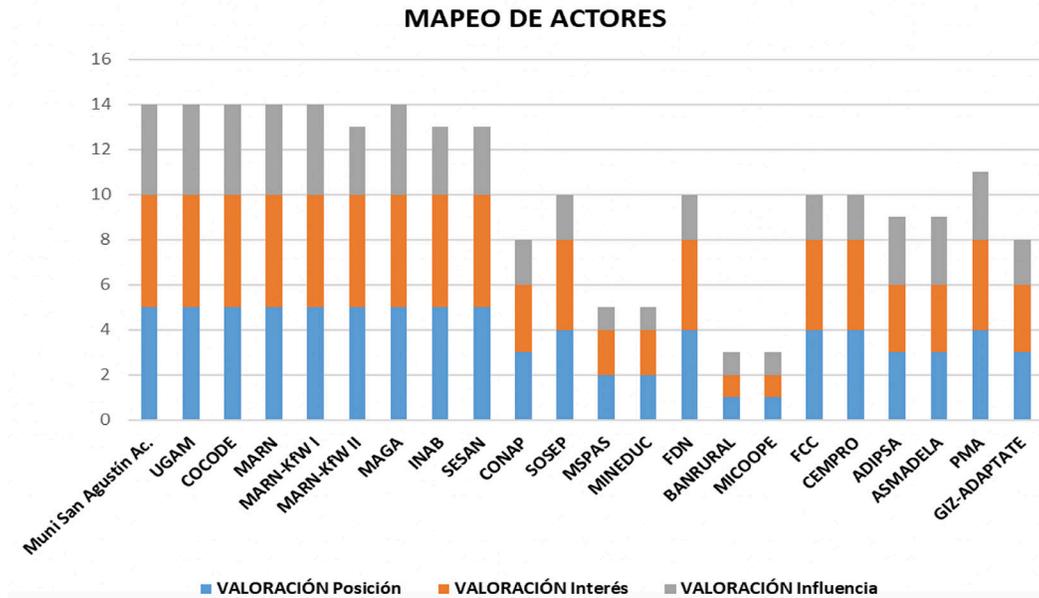


Figura 15. Resumen del orden de importancia institucional en el corredor seco del municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso

Fuente: Elaboración propia

Básicamente, después de evaluar la posición, interés e influencia de los actores, fue posible determinar que la percepción local es que las instituciones que sobresalen con mayor importancia para el municipio, con relación al tema de cambio climático, son la municipalidad, UGAM, COCODE, MARN, proyecto MARN-KfW y MAGA. Mientras, en segunda instancia, resaltan SESAN, INAB y PMA. Por lo tanto, son los actores que deberían tenerse en cuenta al momento de desarrollar proyectos, planes y estrategias vinculadas con el tema de riesgo climático e implementación de opciones/medidas de adaptación en el área.



6

Análisis de Riesgo Climático



Análisis de riesgo climático

6.1 Condiciones climáticas actuales del municipio de San Agustín Acasaguastlán

Al analizar la distribución de la precipitación total anual en el municipio (Figura 16), los tonos de azul más fuertes (hacia el noreste del municipio) indican mayor precipitación, mientras que los tonos más suaves (hacia el centro y sur) indican menor precipitación. Concretamente, la precipitación se encuentra en un rango que abarca desde un mínimo de 641 mm hasta un máximo de 2416 mm y una media de 1398 mm para el periodo 1960 a 1990. La temperatura anual promedio para el territorio del municipio es de 21,7 °C, con una máxima de 26,7 °C en el norte y centro del municipio, y mínimas que pueden llegar a 10,4 °C.

El comportamiento mensual de las precipitaciones, al igual que la temperatura promedio, se puede ver en el mapa de la Figura 17. En este es posible apreciar el inicio de la época lluviosa, mientras que su variación mensual se muestra en la Figura 18. Las precipitaciones siguen un comportamiento bimodal. Entre diciembre y marzo se observa una época seca marcada por muy pocas precipitaciones. En abril hay algo de precipitaciones, pero es mayo el mes que marca el inicio de la época de lluvias, las cuales alcanzan su máximo histórico en junio, con precipitaciones cercanas a los 250 mm (con extremos que superan los 320 mm) en por lo menos 50% del municipio de San Agustín Acasaguastlán. Junio es un mes que se caracteriza por su alta variabilidad en términos de precipitación, disminuye entre julio y agosto, y repunta en septiembre. Entre octubre y noviembre, las precipitaciones van disminuyendo sosteniblemente hasta llegar a estar por debajo de los 25 mm de precipitación mensual.

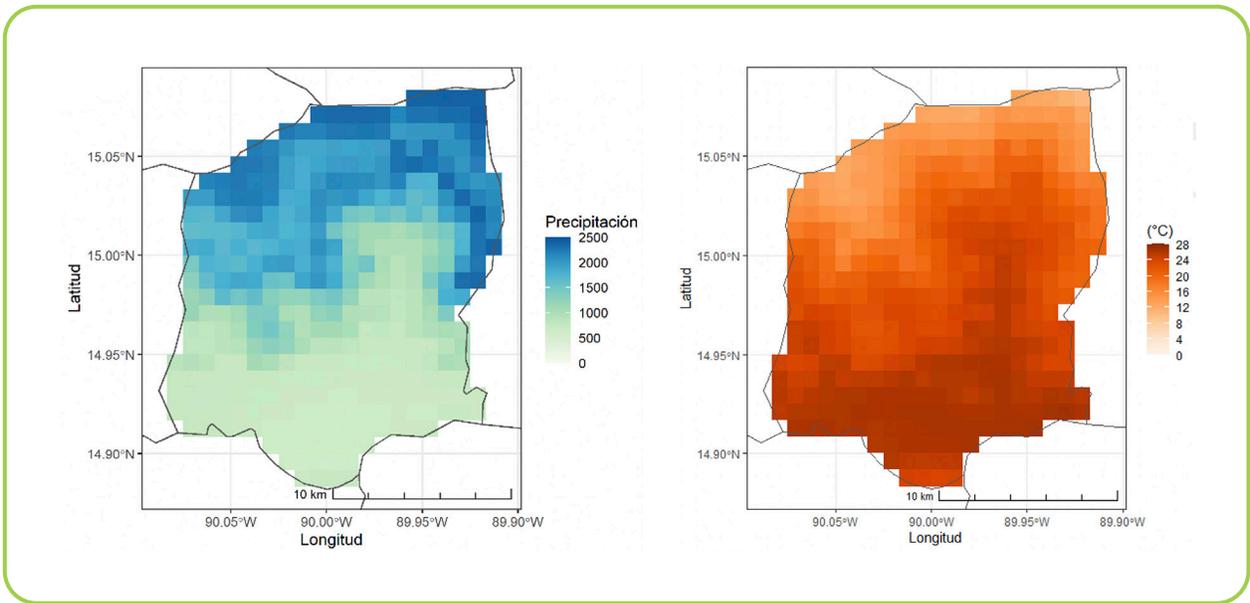


Figura 16. Mapa de distribución de la precipitación total y temperatura promedio en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala (climatología 1960-1990)

Fuente: Elaboración propia (2021), con base en datos de WorldClim 1.4 (2021)

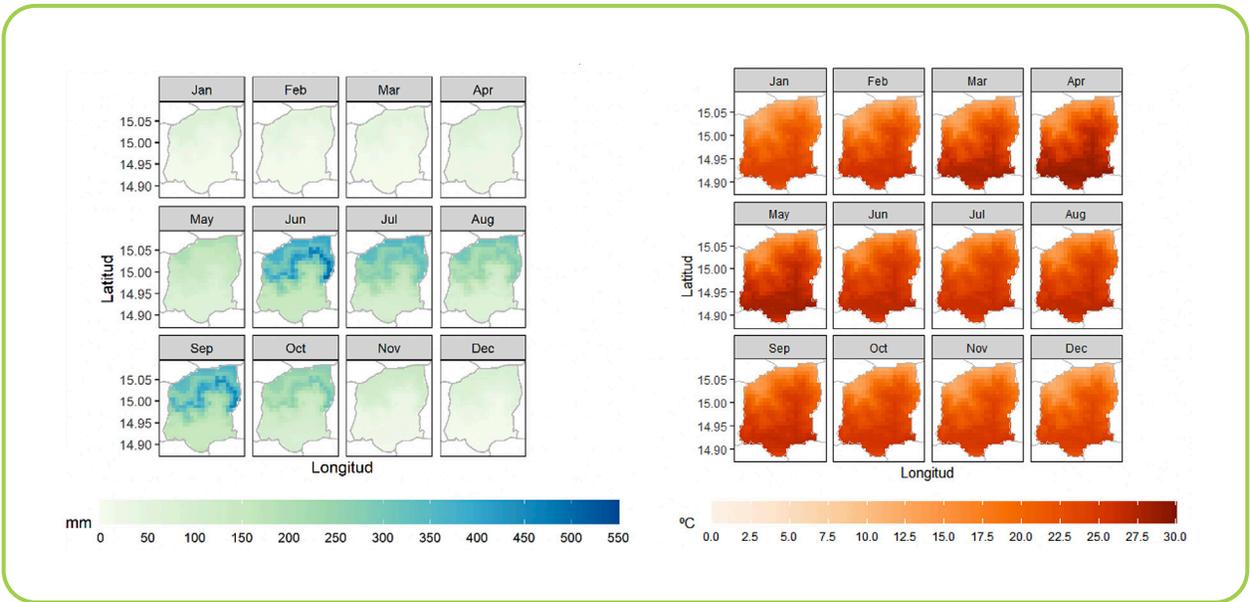


Figura 17. Mapa de distribución espacial por meses de la precipitación y la temperatura en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, según climatología 1960-1990

Fuente: Elaboración propia (2021) con datos de WorldClim 1.4 (2021)

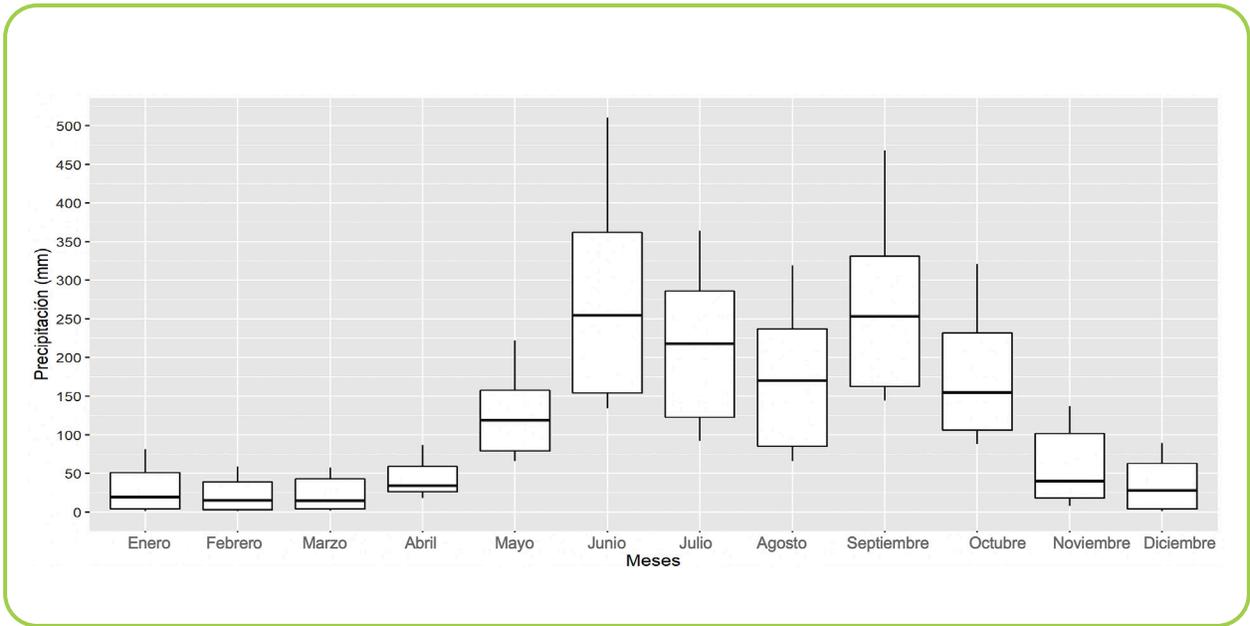


Figura 18. Variabilidad mensual de la precipitación mensual en San Agustín

Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala, según climatología 1960-1990

Fuente: Elaboración propia (2021) con datos de WorldClim 1.4 (2021)

La temperatura media muestra un incremento sostenible entre enero y abril. Los datos históricos evidencian un descenso sostenible mes a mes a partir de mayo hasta diciembre. Nótese la dispersión de los datos de temperatura, así como los valores extremos (Figura 19).

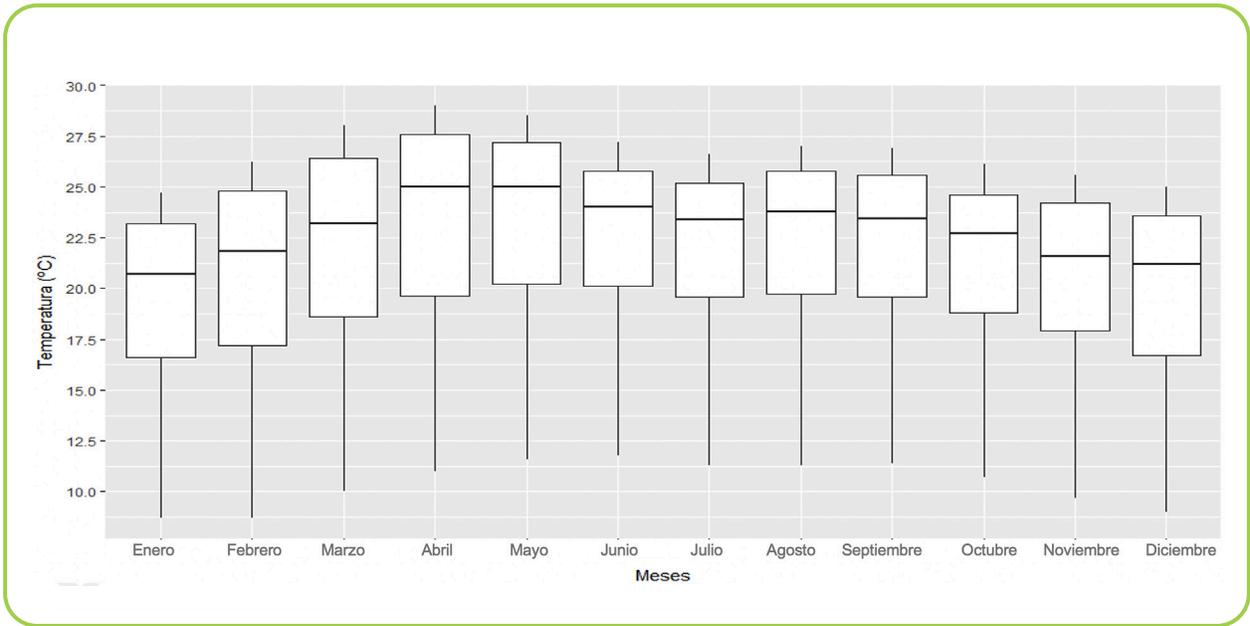


Figura 19. Variabilidad mensual de la temperatura promedio en San Agustín Acasaguastlán,

El Progreso, Guatemala, según climatología 1960-1990

Fuente: Elaboración propia (2021) con datos de WorldClim 1.4 (2021)

6.2 Condiciones climáticas futuras del municipio de San Agustín Acasaguastlán

El análisis del cambio de las condiciones en los patrones de precipitación y temperatura a futuro se hizo con base en los siguientes conjuntos de datos (Cuadro 2).

Cuadro 2. Matriz para datos futuros

| RCP \ Horizonte | 2050 (promedio 2040-2069) | 2080 (promedio 2070-2099) |
|-----------------|---------------------------|---------------------------|
| 2.6 | RCP2.6_50 | RCP2.6_80 |
| 8.5 | RCP8.5_50 | RCP8.5_80 |

Fuente: Elaboración propia (2021)

A continuación se presenta la variación en las condiciones futuras para el municipio de San Agustín Acasaguastlán. Al comparar el escenario base contra el RCP 2.6 hacia mediados y finales de siglo, se observan anomalías en la precipitación total anual, que van desde -3,3 mm hasta -8,4 mm (al 2050 y 2080, respectivamente). Por otro lado, el escenario RCP 8.5 muestra anomalías de cerca de los -108,3 mm en promedio hacia mediados de siglo. Mientras, para el 2080, estas podrían significar reducciones de hasta -229 mm con respecto al escenario base (Cuadro 3).

Cuadro 3. Estadísticas de la precipitación actual y futura para el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso Guatemala

| Escenario | Promedio | Q33 | Q50 | Q66 | Mínimo | Máximo |
|---------------------------|----------|--------|---------|---------|--------|---------|
| Precipitación (mm) | | | | | | |
| Línea base | 1398,58 | 870,82 | 1329,50 | 1820,82 | 641,00 | 2416,00 |
| RCP26_50 | 1395,31 | 868,41 | 1322,50 | 1817,82 | 643,00 | 2408,00 |
| RCP26_80 | 1390,17 | 864,41 | 1318,50 | 1814,46 | 640,00 | 2395,00 |
| RCP85_50 | 1290,25 | 798,41 | 1219,50 | 1685,10 | 591,00 | 2234,00 |
| RCP85_80 | 1169,44 | 719,41 | 1100,50 | 1531,28 | 535,00 | 2032,00 |
| Temperatura (°C) | | | | | | |
| Línea base | 21,7 | 20,4 | 23,0 | 24,4 | 10,4 | 26,7 |
| RCP26_50 | 23,4 | 22,1 | 24,7 | 26,1 | 12,1 | 28,4 |
| RCP26_80 | 23,2 | 22,0 | 24,6 | 25,9 | 12,0 | 28,3 |
| RCP85_50 | 24,4 | 23,2 | 25,7 | 27,1 | 13,2 | 29,4 |
| RCP85_80 | 26,0 | 24,8 | 27,4 | 28,7 | 14,8 | 31,1 |

Fuente: Elaboración propia (2021)

La distribución de las precipitaciones totales para el municipio de San Agustín Acasaguastlán muestra un comportamiento bimodal. Tanto para el horizonte 2050 como para el de 2080, el RCP 8.5 muestra una marcada reducción y concentración de la cantidad de precipitaciones totales en este municipio.

En cuanto a la temperatura, todos los escenarios presentan incrementos en los valores de temperatura promedio con respecto a la línea base. Estas anomalías podrían ser del orden de 1,7 °C y 1,6 °C (RCP 2.6 al 2050 y 2080), hasta los 4,4 °C (RCP 8.5 al 2080). Este es otro ejemplo que evidencia que habría lugares en los que la temperatura fácilmente pasará el umbral de 1,5 °C por encima del promedio histórico (Cuadro 3). La distribución de la temperatura promedio para el escenario base y los escenarios futuros en el municipio de San Agustín Acasaguastlán muestra una asimetría hacia la derecha (hacia los máximos). Es notorio el incremento de la temperatura hacia finales de siglo, especialmente bajo el escenario RCP 8.5.

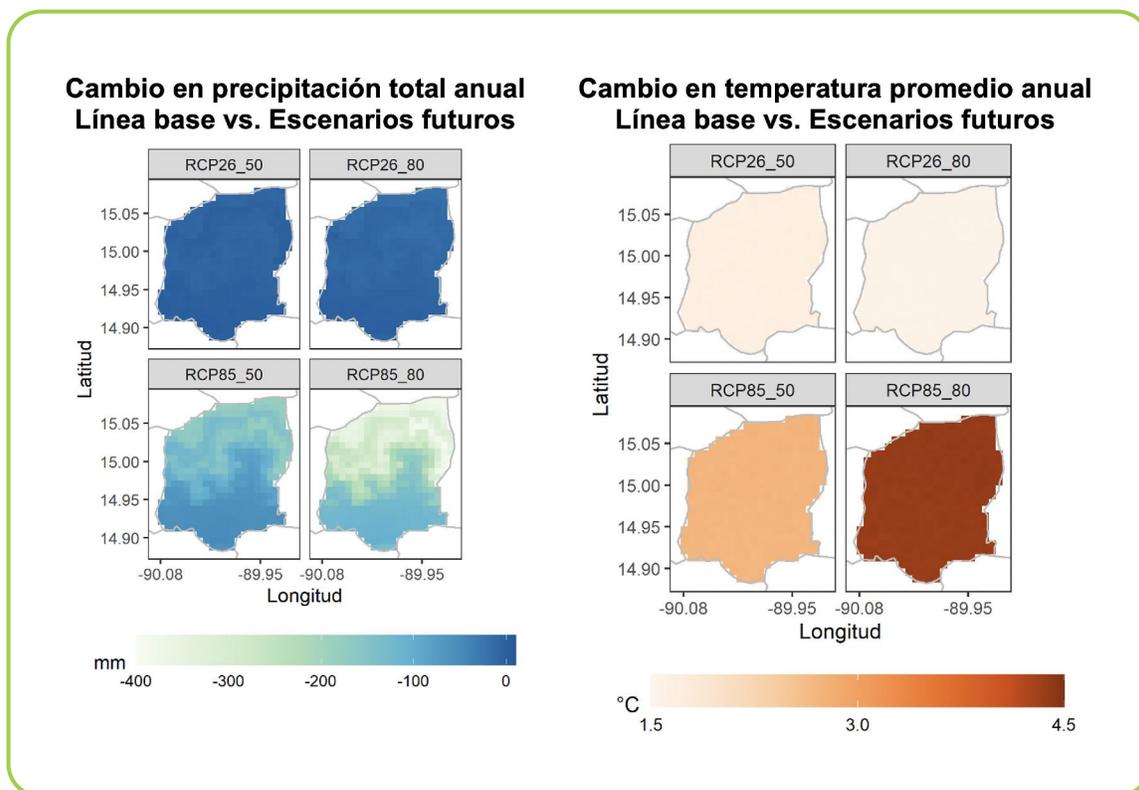


Figura 20. Cambios proyectados en las precipitaciones totales y la temperatura promedio en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala, según RCP y horizonte temporal

Fuente: Elaboración propia (2021)

6.3 Resumen de la cadena de impactos

Dentro de los principales resultados de los talleres institucionales y comunitarios se encuentra la definición de la cadena de impactos, ya que –en forma muy precisa– permitió conocer los componentes del análisis de riesgo, sus factores y los impactos generados. Esta información fue clave para establecer los indicadores de cada componente y las opciones o medidas de adaptación que servirían como recomendación para el Plan Local de Adaptación al Cambio Climático (PLACC) del municipio.



Figura 21. Cadena de impactos del análisis de riesgo climático⁷

Fuente: Elaboración propia (2021)

⁷ La cadena de impactos es similar en toda la zona de intervención del estudio, ya que es muy homogénea en sus patrones climáticos, factores socioeconómicos y aspectos de interés (agricultura, ganadería y seguridad alimentaria).

6.4 Análisis del peligro

En el presente informe, el término peligro se refiere generalmente a sucesos o tendencias físicas relacionadas con el clima o los impactos físicos de este (IPCC 2014). Por lo tanto, se analizó el comportamiento actual de la precipitación (mensual y anual), así como la temperatura (promedio mensual y anual) en el municipio de San Agustín Acasaguastlán. A partir de estos factores se desarrollaron los indicadores de número de meses secos y evapotranspiración potencial. Con este último y la precipitación se desarrolló el cálculo de índice de aridez.

Finalmente, se consideraron la precipitación y la temperatura media, así como el índice de aridez, número de meses secos y evapotranspiración potencial, dentro de un modelo de superposición ponderada (*weighted overlay*) para construir un índice de peligro (Arango López 2019, Esri 2016) e identificar las zonas a las que se les debe prestar atención en el marco del análisis de riesgo.

6.4.1 Evapotranspiración, índice de meses secos e índice de aridez

La Guía Metodológica para la Elaboración del Mapa de Zonas Áridas, Semiáridas y Subhúmedas Secas de América Latina y el Caribe (Cazalac y PHI/Unesco 2006) define un mes seco como aquel en el que la precipitación es menor a 50% de la evapotranspiración en un área determinada, es decir:

$$\text{Si } P_t < \frac{ETP_t}{2} \rightarrow \text{Mes seco}$$

Donde:

P_t es la precipitación (mm) periodo t

ETP_t es la evapotranspiración potencial en el periodo t

La ETP_t se calcula de la siguiente manera (Holdrige 1959, 1967):

$$ETP_t = K \cdot T_{bio}$$

Donde:

ETP_t es la evapotranspiración potencial en el periodo t

T_{bio} es el valor de la biotemperatura (Lugo *et al.* 1999)

K es una constante que toma los siguientes valores:

$K= 5$ para meses de 31 días

$K= 4,84$ para meses de 30 días

$K= 4,52$ para meses de 28 días

Finalmente:

$$\text{Número de meses secos} = \sum_{t=1}^{12} MS$$

Por otra parte, la aridez⁸ es una condición climática relativamente estable, que contribuye a determinar qué tipo de ecosistemas pueden establecerse en una zona geográfica y cuán viables son las actividades productivas, como la agricultura.

$$IA = \frac{P_t}{ET_t}$$

Donde:

IA es el índice de aridez en el periodo t

P es la precipitación en el periodo t

ET es la evapotranspiración potencial en el periodo t

8 Estimación de Amenazas Inducidas por Fenómenos Hidrometeorológicos en la República de Guatemala (MAGA 2002).

Para calcular la ET se utilizó la ecuación presentada por Droogers y Allen (2002)⁹:

$$ET_t = 0.0013 \cdot 0.408RA \cdot (T_{avg} + 17.0) \cdot (TD - 0.0123P)^{0.76}$$

Donde:

RA = Radiación extraterrestre expresada en $\text{MJ m}^{-2}\text{d}^{-1}$

T_{avg} = Temperatura promedio

TD = Rango de temperatura, que es la diferencia entre temperatura máxima y temperatura mínima

0.408 = Es una constante que se usa para convertir la radiación a evapotranspiración equivalente en mm

Los resultados obtenidos con el cálculo del índice de aridez se clasificaron según los criterios propuestos por Hassan y Dregne (1997), utilizados en el Atlas Mundial de Desertificación (UNEP 1997, Cazalac y PHI/Unesco 2006)⁹plainCitation":(UNEP 1997; Cazalac and PHI/Unesco 2006 (Cuadro 4).

⁹ El cálculo de la evapotranspiración potencial se llevó a cabo en Python, usando la rutina creada por Jefferson Valencia Gómez de la Alianza Bioersity - CIAT (j.valencia@cgiar.org), basado en la ecuación modificada de Hargreaves (Droogers y Allen, 2002). También se recibieron comentarios y ajustes por parte de Carlos Navarro de la Alianza Bioersity - CIAT (c.e.navarro@cgiar.org).

Cuadro 4. Clasificación del índice de aridez

| Zonas | Pt/ET | Índice |
|----------------------|--------------|--------|
| Hiperáridas | <0.05 | 1 |
| Áridas | 0.05 a <0.22 | 2 |
| Semiáridas | 0.2 a <0.5 | 3 |
| Subhúmedas - secas | 0.5 a <0.65 | 4 |
| Subhúmedas - húmedas | 0.65 a 1 | 5 |
| Húmedas | >1 | 6 |

Fuente: Elaboración propia (2021) con base en Hassan y Dregne (1997), utilizados en el Atlas Mundial de Desertificación (UNEP 1997, Cazalac y PHI/Unesco 2005).

En la Figura 22 se puede ver el detalle espacial del número de meses secos en San Agustín Acasaguastlán, donde se observa que –a excepción de la zona norte del municipio– el resto de este tendría como mínimo 6 meses considerados como secos. Asimismo, el índice de aridez es consecuente con el indicador de meses secos. Cabe resaltar que la zona al noreste sería considerada como húmeda. Pero, en el resto del municipio la aridez es cada vez mayor (Figura 24). Para una mejor interpretación y visualización del régimen hídrico se asumió la escala propuesta por Pons *et al.* (2018).

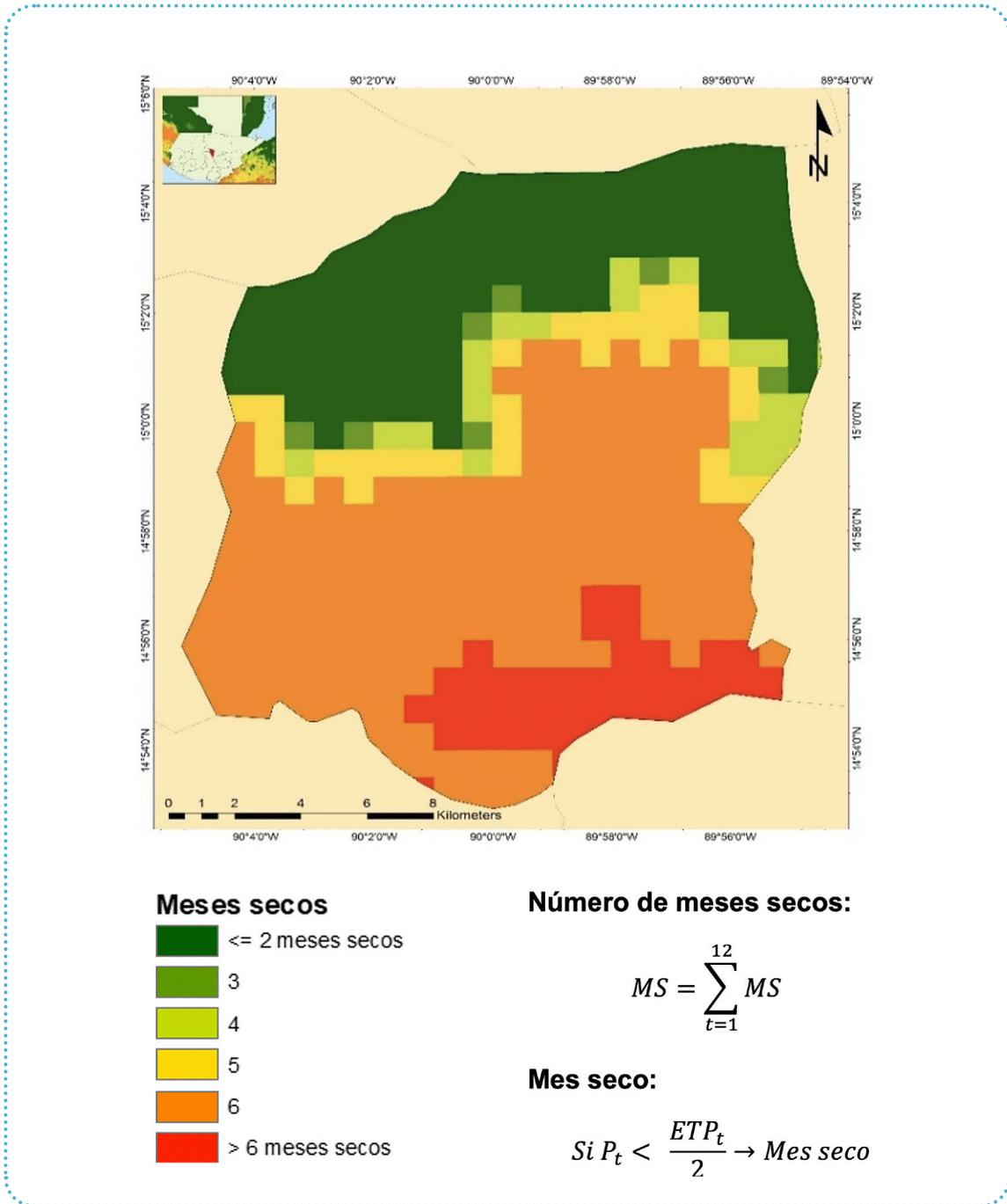


Figura 22. Número de meses secos en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala (climatología 1960-1990)

Fuente: Elaboración propia (2021), con base en datos de WorldClim 1.4 (2021)

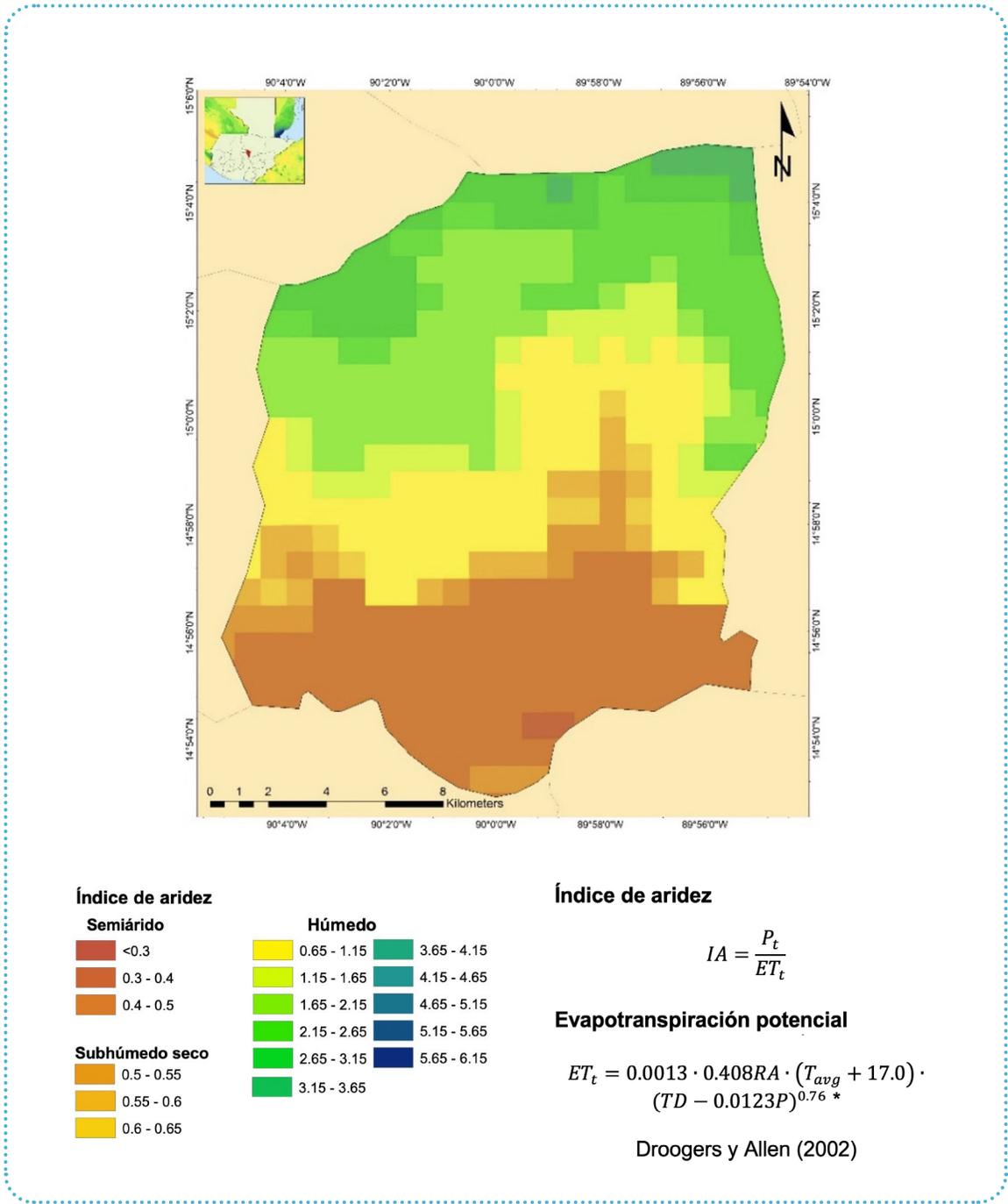


Figura 23. Índice de aridez y evapotranspiración potencial en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala (climatología 1960-1990)

Fuente: Elaboración propia (2021), con base en datos de WorldClim 1.4 (2021)

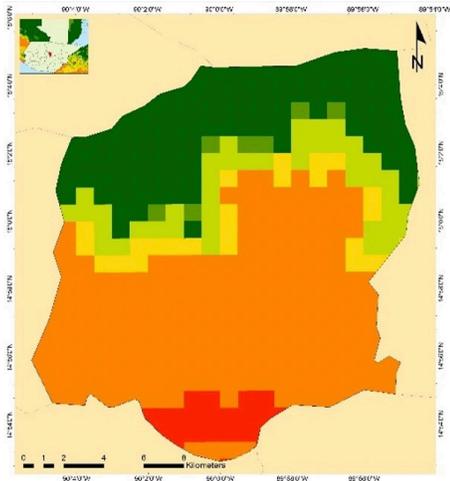
En cuanto al número de meses secos durante un año, el escenario base muestra que en el territorio del municipio de San Agustín Acasaguastlán se pueden encontrar zonas que no presentan meses secos y otras en donde se observan condiciones de meses secos por un periodo de hasta 7 meses. Conforme se pasa de un escenario favorable hacia uno catastrófico, se esperaría que el número de meses secos en el municipio aumente y llegue a presentar zonas donde se podrían llegar a alcanzar 9 meses secos en un año (RCP 8.5 en ambos horizontes temporales).

El RCP 2.6 también implicaría un aumento en el número de meses secos, alcanzando 8 meses secos como máximo en ambos periodos. En el Cuadro 5 y la Figura 24 se puede apreciar cómo el número de meses secos va cambiando con el escenario, siendo el escenario RCP 8.5 2080 donde se pueden apreciar mayores cambios en el número de meses secos y llega a mostrar zonas en las que pudieran presentarse condiciones de meses secos hasta por 9 meses durante el año.

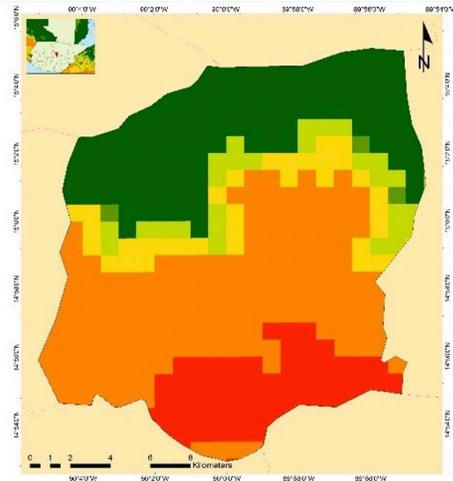
Cuadro 5. Cambios en meses secos (situación actual y futura) para el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala

| Escenario | Mínimo | Máximo |
|-----------------------|--------|--------|
| Número de meses secos | | |
| Línea base | 0 | 7 |
| RCP2.6 2050 | 0 | 8 |
| RCP2.6 2080 | 0 | 8 |
| RCP8.5 2050 | 0 | 9 |
| RCP8.5 2080 | 0 | 9 |

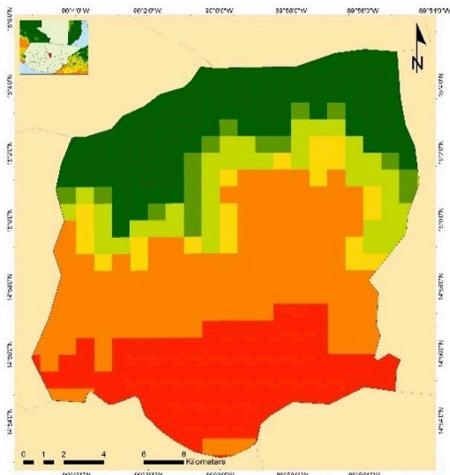
Fuente: Elaboración propia (2021)



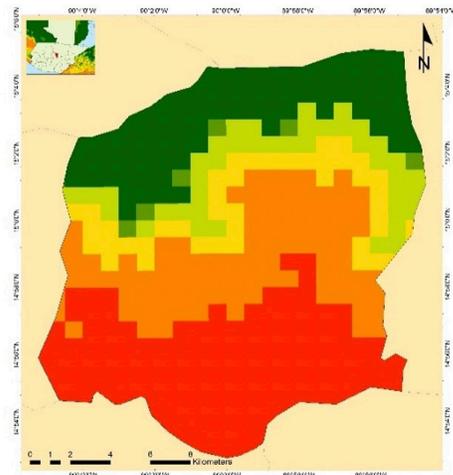
Número de meses secos en el municipio de San Agustín Acasaguastlán (Escenario RCP 2.6 2050)



Número de meses secos en el municipio de San Agustín Acasaguastlán (Escenario RCP 2.6 2080)



Número de meses secos en el municipio de San Agustín Acasaguastlán (Escenario RCP 8.5 2050)



Número de meses secos en el municipio de San Agustín Acasaguastlán (Escenario RCP 8.5 2080)



Figura 24. Número de meses secos según escenarios futuros
Fuente: Elaboración propia (2021), con base en datos de CCAFS-Climate (2014)

El índice de aridez para el municipio de San Agustín Acasaguastlán muestra cómo las condiciones de aridez se van haciendo más evidentes conforme se avanza hacia escenarios climáticos más extremos, como el RCP 8.5 hacia el 2080. Más que una expansión que incrementa el índice de aridez, lo que los escenarios evidencian es que la intensidad de la aridez será mayor (Figura 25).

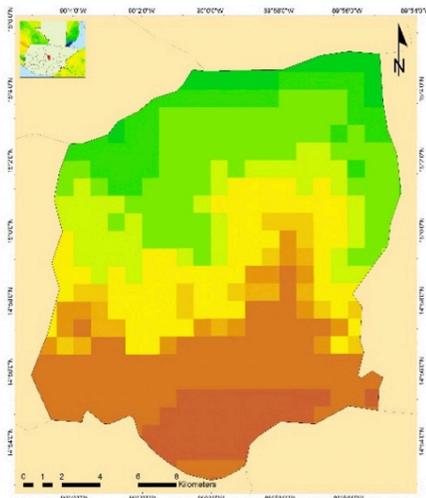
6.4.2 Estimación del índice de peligro

Para construir el índice de peligro climático se exploraron diversas metodologías, entre ellas el análisis de conglomerados, análisis multicriterio y componentes principales. Finalmente, se aplicó el método de superposición ponderada (weighted overlay), el cual consiste en identificar zonas de interés con base en la asignación de pesos o importancia de variables explicativas en un ejercicio de adecuación o selección de sitios óptimos (Arango López 2019, Esri 2016). A continuación se describen los pasos que se siguieron para implementar el modelo de superposición ponderada (Cuadro 6).

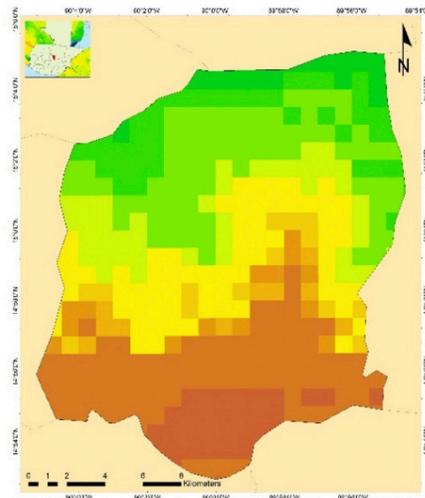
Cuadro 6. Variables de interés usadas para construir el índice de peligro para el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala

| Variable | Unidad | Tipo |
|------------------------------|--------|----------|
| Precipitación total anual | mm | Continua |
| Temperatura media anual | °C | Continua |
| Número de meses secos | | Discreta |
| Índice de aridez | | Discreta |
| Evapotranspiración potencial | mm | Continua |

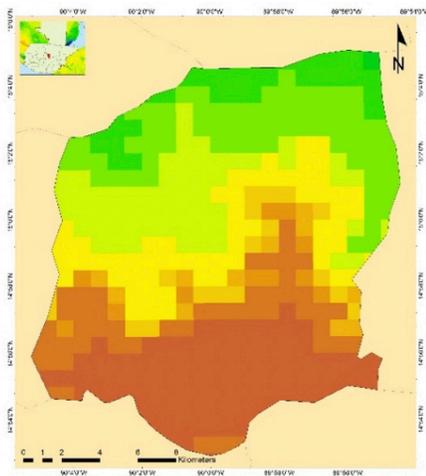
Fuente: Elaboración propia (2021)



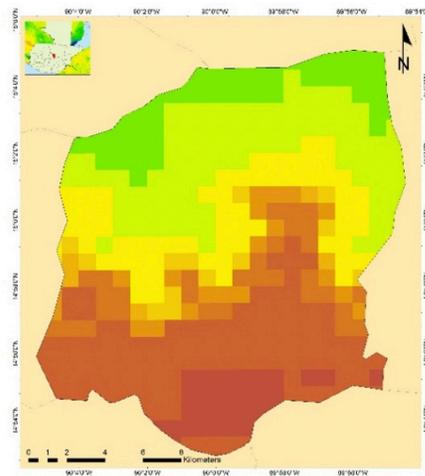
Índice de aridez en el municipio de San Agustín Acasaguastlán (Escenario RCP 2.6 2050)



Índice de aridez en el municipio de San Agustín Acasaguastlán (Escenario RCP 2.6 2080)



Índice de aridez en el municipio de San Agustín Acasaguastlán (Escenario RCP 8.5 2050)



Índice de aridez en el municipio de San Agustín Acasaguastlán (Escenario RCP 8.5 2080)

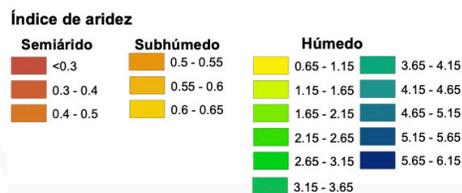


Figura 25. Cambios en el índice de aridez, entre la línea base y los escenarios futuros para San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala

Fuente: Elaboración propia (2021) con base en datos de CCAFS-Climates (2014)

Debido a que el interés es comparar el efecto del cambio climático sobre las variables y saber cómo esto incide en el índice de peligro, se calcularon las anomalías entre las condiciones futuras (según RCP y horizonte), así como las condiciones actuales de cada variable. El resultado de las anomalías puede ser positivo (>0), negativo (<0) o neutro ($=0$). Conforme las anomalías se alejan del cero en cualquier dirección, implica una mayor diferencia entre el escenario futuro y la línea base. Finalmente, se consideró el valor absoluto de la anomalía.

Valor absoluto (escenario futuro - línea base)

Estas anomalías fueron estandarizadas entre 0 y 1, usando el método de máximo y mínimo:

$$x' = a + \frac{(x - \min(x))(b - a)}{\max(x) - \min(x)}$$

Donde:

x' = valor estandarizado

b y a son los valores máximos y mínimos definidos por el investigador

$\max(x)$ y $\min(x)$ son el valor máximo y mínimo, respectivamente, de cada resultado del modelo para cada especie y horizonte temporal

Con las variables estandarizadas se construyó el modelo de superposición ponderada de la siguiente manera:

$$0.3*Prec+0.3*Tavg+0.1*MS+0.1*IA+0.2*ETO$$

Donde:

Prec es la precipitación total anual

Tavg es la temperatura anual promedio

MS es el número de meses secos

IA es el índice de aridez

ETO es la evapotranspiración potencial

La asignación de pesos se basó en información de literatura y consultas con expertos del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH), considerando la importancia de la variable y que el resultado se asemeje a los límites de demarcado por el corredor seco mesoamericano. Para efectos prácticos, el análisis tomó en cuenta una superficie que se extiende desde el sur de México y abarca la parte norte de Sudamérica. Luego, se hicieron los cortes para el municipio de San Agustín Acasaguastlán.

En síntesis, el índice de peligro para el municipio de San Agustín Acasaguastlán se construyó sometiendo a un análisis de superposición ponderada los valores estandarizados de los escenarios futuros, así como la línea base de las variables: precipitación total anual, temperatura media anual, número de meses secos, índice de aridez y evapotranspiración potencial.

El valor promedio del índice de peligro para el RCP 2.6 –tanto para el periodo 2050 como para el 2080, así como el RCP 8.5 hacia mediados de siglo– son muy similares y sería considerado como alto. Por otro lado, el escenario con el RCP 8.5 hacia finales de siglo es apenas mayor a la línea base (Cuadro 7). El detalle espacial con los resultados estandarizados y clasificados se muestra en la Figura 26.

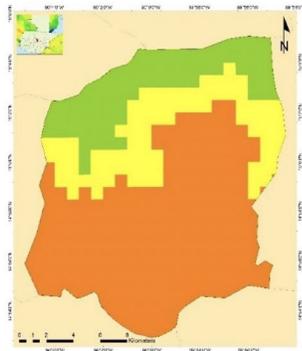
Cuadro 7. Índice de peligro promedio en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala

| Escenario | MIN | MAX | RANGE | MEAN | STD |
|---------------------|------|------|-------|------|------|
| Actual | 0.30 | 0.72 | 0.42 | 0.57 | 0.12 |
| RCP 2.6 2050 | 0.32 | 0.77 | 0.45 | 0.61 | 0.12 |
| RCP 2.6 2080 | 0.32 | 0.77 | 0.45 | 0.62 | 0.13 |
| RCP 8.5 2050 | 0.32 | 0.78 | 0.47 | 0.62 | 0.13 |
| RCP 8.5 2080 | 0.29 | 0.73 | 0.44 | 0.58 | 0.12 |

Fuente: Elaboración propia (2021)

En el escenario base se pueden apreciar tres categorías en el índice de peligro. El noreste muestra condiciones de bajo peligro climático y conforme se desplaza hacia el suroeste, pasa de condiciones de peligro medio hasta llegar a una zona en la que el índice de peligro es alto y abarcaría entre 75% y 80% del municipio.

En los escenarios RCP 2.6 al 2050 y 2080, así como en el escenario RCP 8.5 al 2050, las zonas de bajo peligro en el norte van cediendo hacia zonas de peligro medio. Mientras, lo que antes en el escenario de línea base estaba dentro de la categoría de peligro medio en el centro del municipio va siendo reemplazado por zonas con condiciones de alto peligro. Curiosamente, las condiciones de peligro aparentemente mejorarían en el escenario RCP 8.5 hacia el 2080 (Figura 26).

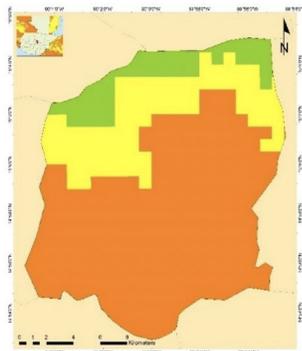


- Muy bajo
- Bajo
- Medio
- Alto
- Muy alto

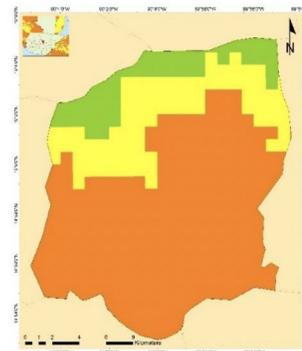
Índice de peligro climático construido a través de superposición ponderada, mediante la combinación de la precipitación total anual, temperatura anual promedio, número de meses secos, índice de aridez y evapotranspiración, a través de la siguiente expresión:

$$0.3 * \text{Prec} + 0.3 * \text{Tavg} + 0.1 * \text{MS} + 0.1 * \text{IA} + 0.2 * \text{ETO}$$

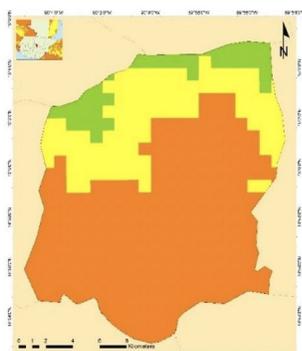
Índice de peligro climático para el municipio de San Agustín Acasaguastlán (climatología actual)



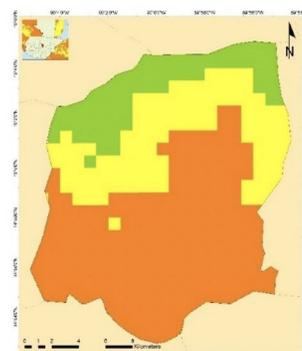
Índice de peligro climático para el municipio de San Agustín Acasaguastlán (Escenario RCP 2.6 - 2050)



Índice de peligro climático para el municipio de San Agustín Acasaguastlán (Escenario RCP 2.6 - 2080)



Índice de peligro climático para el municipio de San Agustín Acasaguastlán (Escenario RCP 8.5 - 2050)



Índice de peligro climático para el municipio de San Agustín Acasaguastlán (Escenario RCP 8.5 - 2080)

Figura 26. Índice de peligro climático en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala, según climatología actual (1960-1990)

6.5 Análisis de la exposición

Como ya se mencionó, el IPCC (2014) define la exposición como «la presencia de personas; medios de subsistencia; especies o ecosistemas; funciones, servicios y recursos ambientales; infraestructura; o activos económicos, sociales o culturales en lugares y entornos que podrían verse afectados negativamente». Considerando esta definición, el componente de exposición se determinó al identificar el principal problema por eventos climáticos de la zona, es decir, la amenaza de sequía, el cual se contrastó con la ubicación de las familias del municipio.

Concretamente, existe documentación oficial sobre eventos climáticos extremos que se encuentra disponible para su consulta en la página web Infraestructura de Datos Espaciales de Guatemala (SEGEPLAN/IDEG 2018), la cual muestra que el principal evento climático en la zona son las sequías. Datos de este portal toman una muestra de 40 lugares poblados; de los cuales, 82,5% de los centros poblados de San Agustín Acasaguastlán se ubica en la categoría de peligro de sequía muy alta y extremadamente alta.

Con base en esos datos, se decidió tomar como indicador de índice de exposición el mapa de amenazas por sequía. Para esto se usó la metodología propuesta por MAGA (2002) y con la ubicación de los centros poblados (130 en total) se pudo determinar el valor de la exposición a amenazas por sequía para cada lugar poblado.

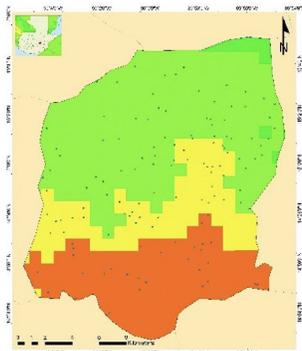
Bajo las condiciones actuales (climatología 1960-1990), aproximadamente 50% de los lugares poblados estaría ubicado en zonas que se consideran de amenaza alta a muy alta para sequía. Conforme se avanza en los escenarios, se puede apreciar que los lugares ubicados en zonas consideradas en categorías medio-baja se mantienen, pero las zonas de amenaza alta empiezan a alcanzar a más centros poblados que –en el escenario base– estaban dentro de la categoría de amenaza media. Con el RCP 8.5, la categoría de amenaza extremadamente alta de sequía alcanzaría a 16 centros poblados (Cuadro 8).

Cuadro 8. Cantidad de centros poblados en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala, según categoría de amenaza de sequía

| Categoría | Actual | RCP 2.6 2050 | RCP 2.6 2080 | RCP 8.5 2050 | RCP 8.5 2080 |
|----------------------------|--------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Extremadamente alta | - | - | - | - | 16 |
| Muy alta | 30 | 26 | 30 | 32 | 22 |
| Alta | 36 | 7 | 3 | 11 | 14 |
| Media | 41 | 33 | 34 | 27 | 24 |
| Medio baja | 23 | 42 | 41 | 42 | 46 |
| Baja | 130 | 22 | 22 | 18 | 8 |
| Muy baja | - | - | - | - | - |

Fuente: Elaboración propia (2021), con datos de lugares poblados (SEGEPLAN/IDEG 2018)

En la Figura 27 se puede observar el comportamiento espacial del índice de amenaza por sequía en los cinco horizontes temporales analizados.



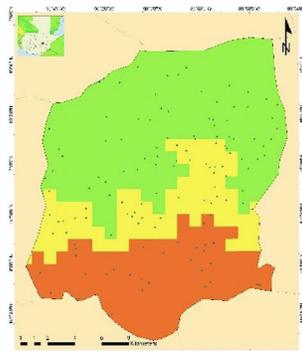
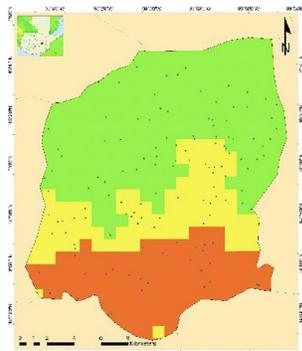
Amenaza de sequía

- Extremadamente alta
- Muy alta
- Alta
- Media
- Media baja
- Baja
- Muy baja

Este mapa fue generado bajo la metodología propuesta por MAGA (2002) (W. Bardales, comunicación personal, 15 de octubre de 2021).

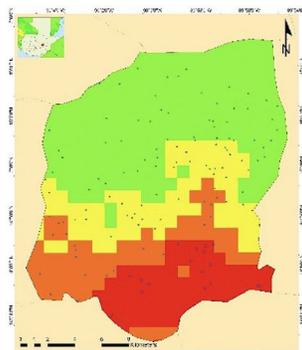
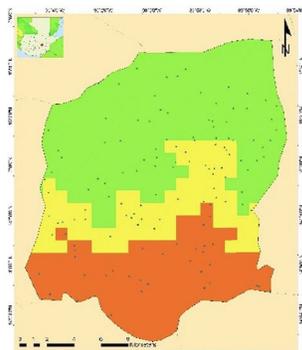
Los insumos de precipitación e índice de aridez se generaron a partir de los datos de WorldClim 1.4 y CCAFS-Climate.

Amenaza de sequía para el municipio de San Agustín Acasaguastlán (climatología actual)



Amenaza de sequía para el municipio de San Agustín Acasaguastlán (Escenario RCP 2.6 - 2050)

Amenaza de sequía para el municipio de San Agustín Acasaguastlán (Escenario RCP 2.6 - 2080)



Amenaza de sequía para el municipio de San Agustín Acasaguastlán (Escenario RCP 2.6 - 2050)

Amenaza de sequía para el municipio de San Agustín Acasaguastlán (Escenario RCP 8.5 - 2080)

Figura 27. Amenaza de sequía en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala (línea base y escenarios futuros)

Fuente: Elaboración propia (2021), con base en datos de WorldClim 1.4 (2021)

6.6 Análisis de la vulnerabilidad

El tercer componente del análisis de riesgo lo constituye el análisis de vulnerabilidad. Hasta el AR4, el enfoque de análisis del impacto del cambio climático sobre los sistemas socioeconómicos giraba en torno a la aproximación de la vulnerabilidad (IPCC 2007). No obstante, con el “Informe especial sobre la gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático” (Informe SEREX) (Field et al. 2012) y el Quinto informe de evaluación (AR5), el análisis de vulnerabilidad pasó a constituir un componente del análisis de riesgo climático. En este sentido, a continuación se expone cómo se integra el presente componente:

«En cuanto a la propensión o 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 afrontamiento y adaptación» (IPCC 2014).

«La vulnerabilidad está definida por la sensibilidad de los sistemas y la capacidad adaptativa de estos» (IPCC 2014).

6.6.1 Análisis de la sensibilidad

La sensibilidad está determinada por aquellos factores que afectan directamente las consecuencias de peligro. Además, puede incluir atributos ecológicos o físicos de un sistema (p. ej. tipo de tierra en campos agrícolas, capacidad de retención de agua para control de inundación, material de construcción de casas), así como atributos sociales, económicos y culturales (p. ej. estructura etaria y estructura de ingresos). Asimismo, la capacidad adaptativa se refiere a la habilidad de sociedades y comunidades para prepararse y responder a impactos climáticos presentes y futuros (Hagenlocher et al. 2018).

El marco conceptual del análisis de sensibilidad se fundamenta en el trabajo original de Hijmans et al. (2005), que desarrollaron el modelo EcoCrop, el cual fue retomado por Ramírez-Villegas, Jarvis y Läderach (2013), usando el paquete R. EcoCrop, que construye un índice de adecuación con base en los requerimientos climáticos de la especie. Para esto el modelo utiliza dos tipos de rangos, que están definidos por un par de parámetros de cada variable (temperatura y precipitación).

El primer rango es aquel definido por la temperatura mínima y máxima, así como la precipitación mínima y máxima en la que se puede encontrar la especie (rango absoluto). Es decir, más allá de esos límites, las condiciones no son adecuadas para el desarrollo del cultivo o la especie. El segundo se refiere a los rangos óptimos, tanto para temperatura como para precipitación, requeridos por la especie para que pueda alcanzar su mejor rendimiento. La Figura 30 muestra la interacción entre los parámetros de precipitación y temperatura para los rangos absolutos y óptimos.

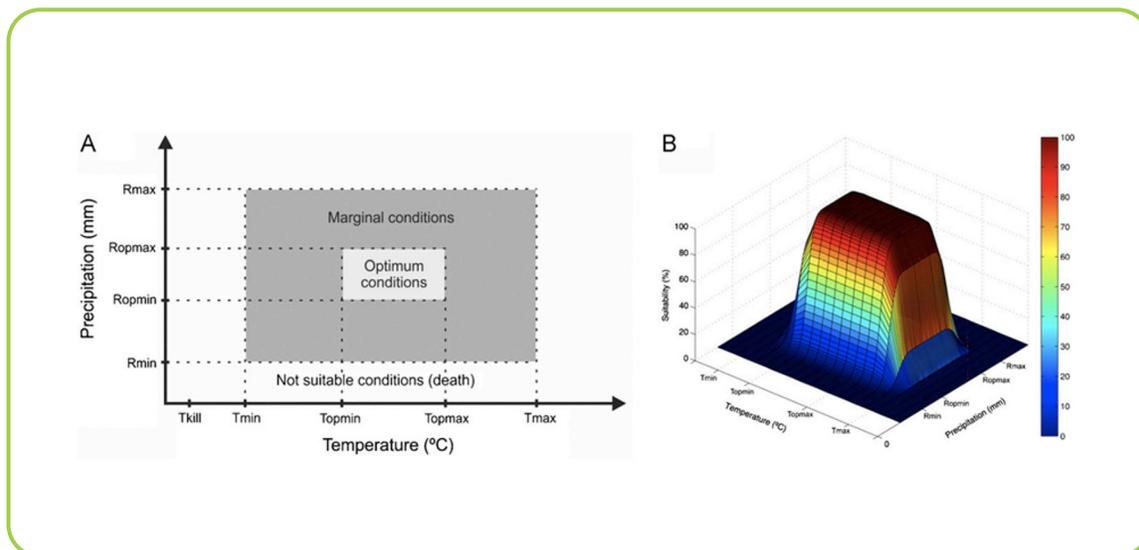


Figura 28. Representación en dos (A) y tres dimensiones (B) del modelo mecanístico usado en este análisis

Fuente: Tomado de Ramírez-Villegas, Jarvis y Läderach (2013)

Expertos de la zona fueron consultados para seleccionar los sistemas productivos, además de la base de datos del sitio oficial Infraestructura de Datos Espaciales de Guatemala (SEGEPLAN/ IDEG 2018) (Cuadro 9).

Cuadro 9. Parámetros demandados por el modelo mecanístico usado para el análisis

| Parámetro | Descripción |
|---------------|---|
| Gmin | Duración mínima de la temporada de crecimiento |
| Gmax | Duración máxima de la temporada de crecimiento |
| Tkmp | Temperatura (°C) por debajo de la cual la especie no puede sobrevivir |
| Tmin | Límite inferior del rango absoluto de temperatura (°C) |
| Topmin | Límite inferior del rango óptimo de temperatura (°C) |
| Topmax | Límite superior del rango óptimo de temperatura (°C) |
| Tmax | Límite superior del rango absoluto de temperatura (°C) |
| Rmin | Límite inferior de precipitación (mm) del rango absoluto |
| Ropmin | Límite inferior de precipitación (mm) del rango óptimo |
| Ropmax | Límite superior de precipitación (mm) del rango óptimo |
| Rmax | Límite inferior de precipitación (mm) del rango absoluto |

Fuente: Elaboración propia (2021) con base en IDEG (s. f.) y consultas con expertos

Con base en la información suministrada por personal técnico experto en la zona, se definieron los siguientes sistemas productivos:

- Sistemas de granos básicos [maíz (*Zea mays*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*)]
- Sistemas con café (*Coffea arabica*) y cacao (*Theobroma cacao*)
- Sistemas pastoriles (*Brachiaria* spp. y *Paspalum* spp.)
- Sistemas con especies forestales [pino (*Pinus* sp.) y pino ocote (*Pinus oocarpa*)]
- Adicionalmente, se consideró una especie de patio

Estos resultados se estandarizaron según la fórmula:

$$x' = a + \frac{(x - \min(x))(b - a)}{\max(x) - \min(x)}$$

Donde:

x' = valor estandarizado

b y a son los valores máximos y mínimos definidos por el investigador

$\max(x)$ y $\min(x)$ son el valor máximo y mínimo, respectivamente, de cada resultado del modelo para cada especie y horizonte temporal

Finalmente, para construir el índice de sensibilidad se tomó en consideración el concepto de factor limitante basado en la ley de mínimos de Liebig (Hackett y Vanclay 1998, Jovanovic y Booth 2002) (Figura 24). Es decir:

$$IS = 1 - (\min(\text{maiz}, \text{frijol}, \text{cafe}, \text{cacao}, \text{pasto 1}, \text{pasto 2}, \text{forestal 1}, \text{forestal 2}, \text{huerto}))$$

Donde IS es el índice de sensibilidad y está en función al valor mínimo de la serie de 9 especies para cada horizonte de tiempo.

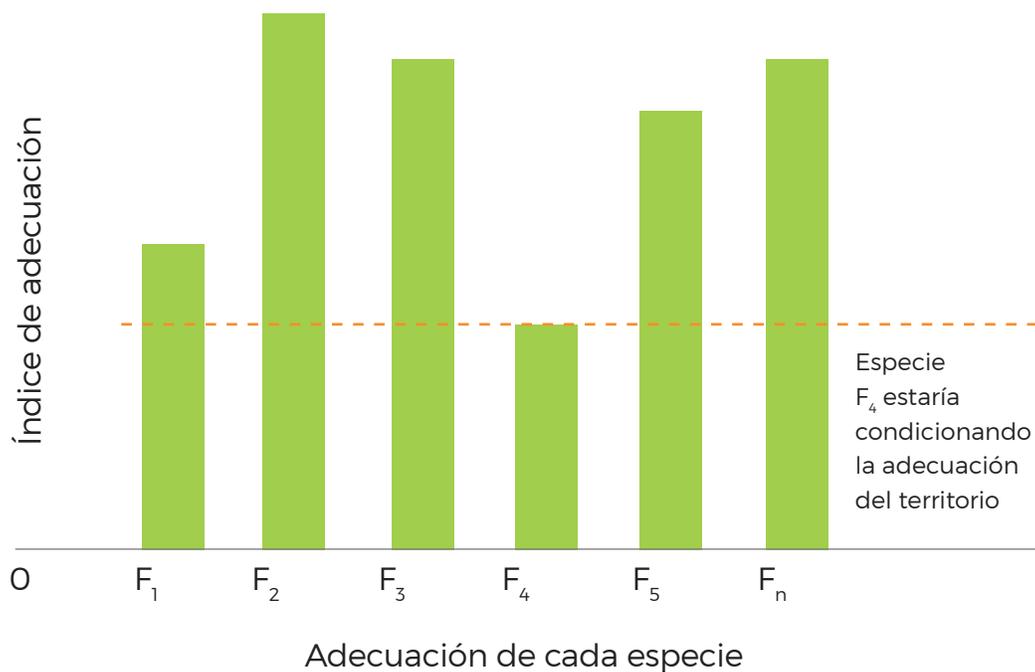


Figura 29. Adaptación de la ley de mínimos de Liebig al contexto de adecuación espacial

Fuente: Elaboración propia (2021) basado en Hackett y Vanclay (1998) y Jovanovic y Booth (2002)

La identificación de sistemas productivos se realizó a través del análisis de sistemas de usos del suelo, utilizando para esto la base de datos del sitio oficial Infraestructura de Datos Espaciales de Guatemala (SEGEPLAN/IDEG 2018), además de las visitas a los municipios por parte del personal de campo del proyecto.

La agricultura es el principal medio de vida en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, dominado por pequeños productores (cuya propiedad es inferior a 1 manzana [mz]) y de medianos productores. Los principales cultivos son el maíz y el frijol, así como la crianza de ganado vacuno y aves menores como parte del sistema pecuario. En el huerto se pueden encontrar:

- Cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*)
- Cultivo de repollo (*Brassica oleracea* var. *capitata*), coliflor (*Brassica oleracea* var. *botrytis*), zanahoria (*Daucus carota*) y arveja (*Pisum sativum*)
- Cultivo de pepino (*Cucumis sativus*), chile pimiento (*Capsicum annum*), melón (*Cucumis melo*) y sandía (*Citrullus lanatus*)
- Ejote francés (*Phaseolus vulgaris*)
- Camote (*Ipomoea batatas*)

El ganado es alimentado con pastos naturales y algunas *Brachiaria* spp.

Por otra parte, en los arreglos con especies forestales fue posible encontrar las siguientes combinaciones:

- Sistema silvopastoril [pino ocote (*Pinus oocarpa*), pasto estrella (*Cynodon dactylon*) y ganado bovino de la raza Jersey]
- Huertos familiares o de traspatio [camote ICTA dorado, mango de pashte, hortalizas, plantas medicinales y limón (*Citrus limon*) o banano (*Musa paradisiaca*)]

6.6.1.1 Adecuación de los componentes productivos y sensibilidad actual

a. Requerimientos climáticos de los cultivos y sensibilidad actual

La información sobre requerimientos climáticos de las especies se extrajo del módulo de modelaje del programa DIVA-GIS (Hijmans et al. 2004). Con base en los requerimientos de cada especie, se crearon los modelos de nicho climático con un rango de cero (0) a cien (100), donde 100 indica que la zona ofrece condiciones climáticas favorables para el desarrollo de la especie (Cuadro 10).

Cuadro 10. Parámetros climáticos y requerimientos de 9 especies

| Cultivo | GMIN | GMAX | TKMP | TMIN | TOPMIN | TOPMAX | TMAX | RMIN | ROPMIN | ROPMAX | RMAX |
|--------------------------|------|------|------|------|--------|--------|------|------|--------|--------|------|
| | Días | | °C | | | | | mm | | | |
| Frijol | 60 | 100 | 4 | 13,6 | 17,5 | 23,1 | 25,6 | 400 | 500 | 710 | 1000 |
| Maíz | 65 | 365 | 0 | 10 | 18 | 33 | 47 | 400 | 600 | 1200 | 1800 |
| Café | 210 | 330 | 0 | 10 | 14 | 28 | 34 | 750 | 1400 | 2300 | 4200 |
| Cacao | 180 | 365 | 0,5 | 10 | 21 | 32 | 38 | 900 | 1200 | 3000 | 7600 |
| Pino¹⁰ | 150 | 300 | -1 | 10 | 16 | 30 | 34 | 700 | 1000 | 1700 | 3000 |
| Pino¹¹ | 270 | 365 | -2 | 9 | 18 | 26 | 32 | 1000 | 1100 | 1500 | 1600 |
| <i>Brachiaria</i> | 90 | 150 | 0 | 9 | 17 | 26 | 32 | 440 | 500 | 800 | 900 |
| <i>Paspalum</i> | 150 | 270 | 0 | 5 | 18 | 30 | 36 | 750 | 900 | 2100 | 2500 |
| Tomate | 70 | 150 | 0 | 7 | 20 | 27 | 35 | 400 | 600 | 1300 | 1800 |

Fuente: Elaboración propia (2021) con base en datos DIVA-FAO (Hijmans et al. 2004)

¹⁰ *Pinus oocarpa*

¹¹ *Pinus hartwegii* Lindl.

A continuación se muestran los resultados del índice de adecuación de las 9 especies consideradas como importantes para los sistemas productivos en el municipio de San Agustín Acasaguastlán (Figura 30). Para efectos de visualización, el índice de idoneidad se reclasificó con la siguiente escala:

- <50 se consideró como inapropiado (color blanco).
- 50 a 75 se consideró áreas marginales para el desarrollo de las especies (color verde suave).
- 75 a 90 se consideró como áreas aptas (color verde).
- >90 se consideró como áreas óptimas (color verde oliva).

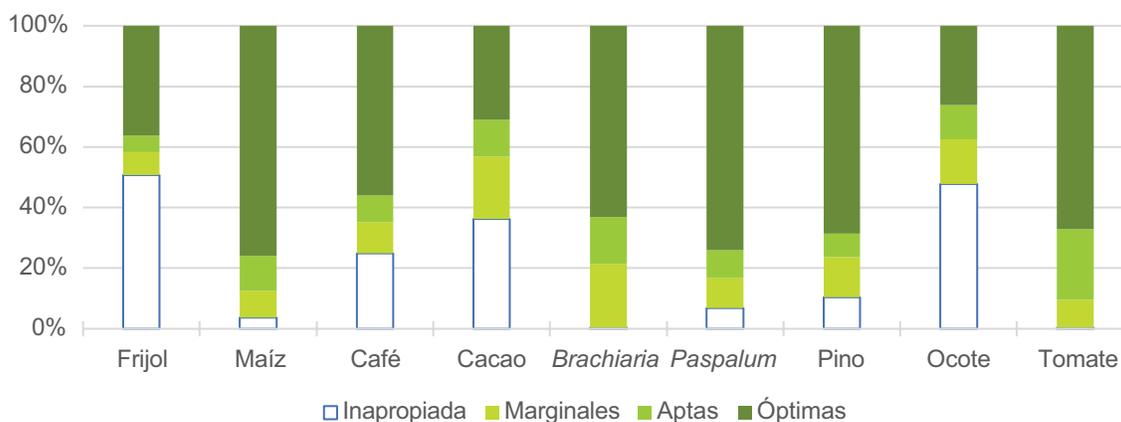


Figura 30. Adecuación climática de 9 especies en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala (climatología actual)

Fuente: Elaboración propia (2021), con base en datos de CCAFS Climate (2014)

El territorio de San Agustín Acasaguastlán muestra condiciones climáticas favorables para el desarrollo del maíz, tomate y pastos. Sin embargo, la climatología del municipio es un factor limitante para el desarrollo del café, el cacao y especialmente, el frijol. El mapa de la Figura 31 muestra el índice de adecuación de las 9 especies consideradas en el análisis de sensibilidad climática.

Para combinar los mapas individuales de adecuación en un solo ráster se adecuó la ley de mínimos de Liebig, asumiendo que el índice de adecuación del territorio está determinado por el valor mínimo de adecuación de las especies.

El índice de adecuación, elaborado con la combinación de la adecuación de 9 especies a través de la ley de mínimos de Liebig o factor limitante y que usa datos climáticos actuales, muestra que en la zona sur del territorio las condiciones son favorables para los cultivos. Asimismo, sectores hacia el centro y norte del municipio pueden limitar el desarrollo de algunas de las especies consideradas en este componente (Figura 32).

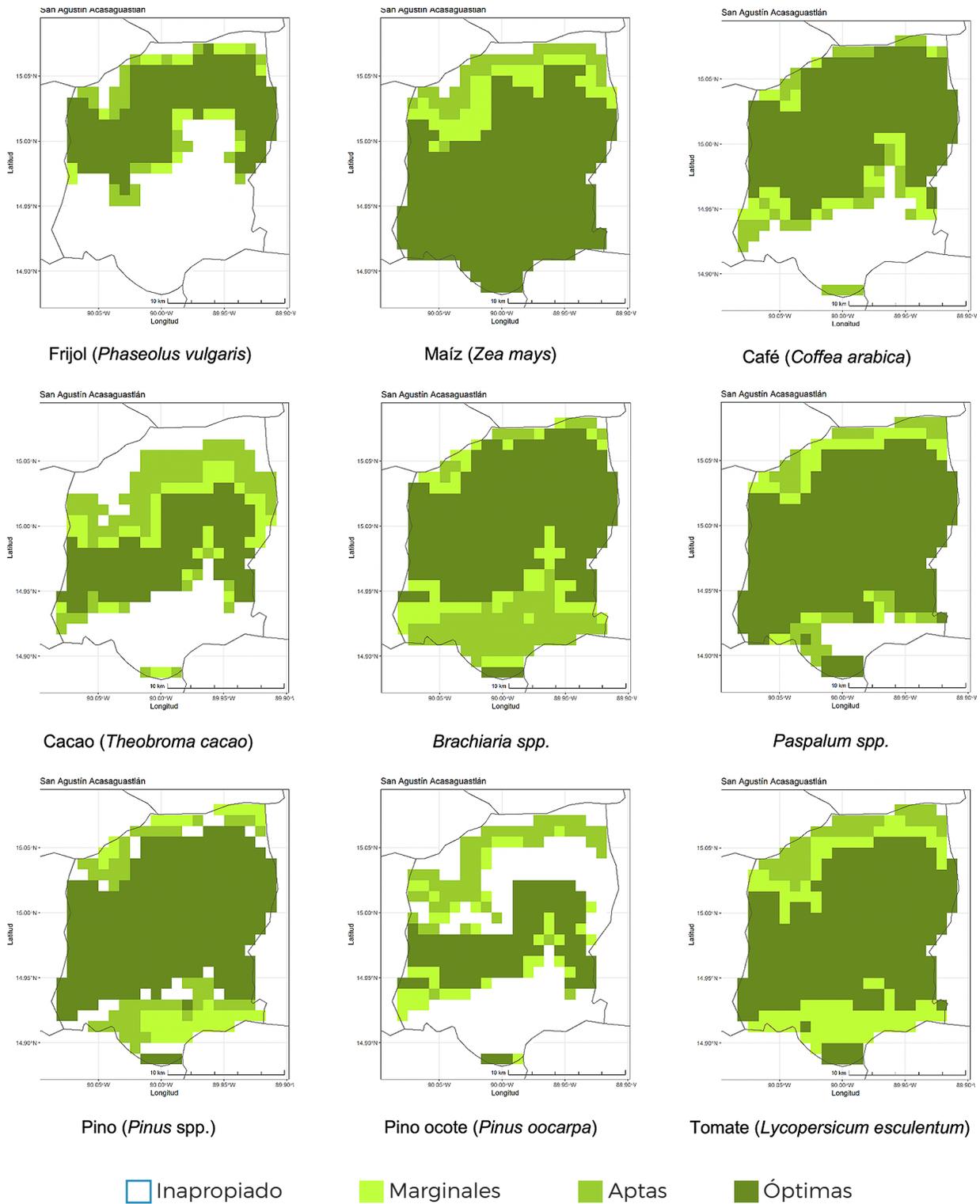


Figura 31. Idoneidad climática para 9 especies en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala (climatología actual)

Fuente: Elaboración propia (2021)

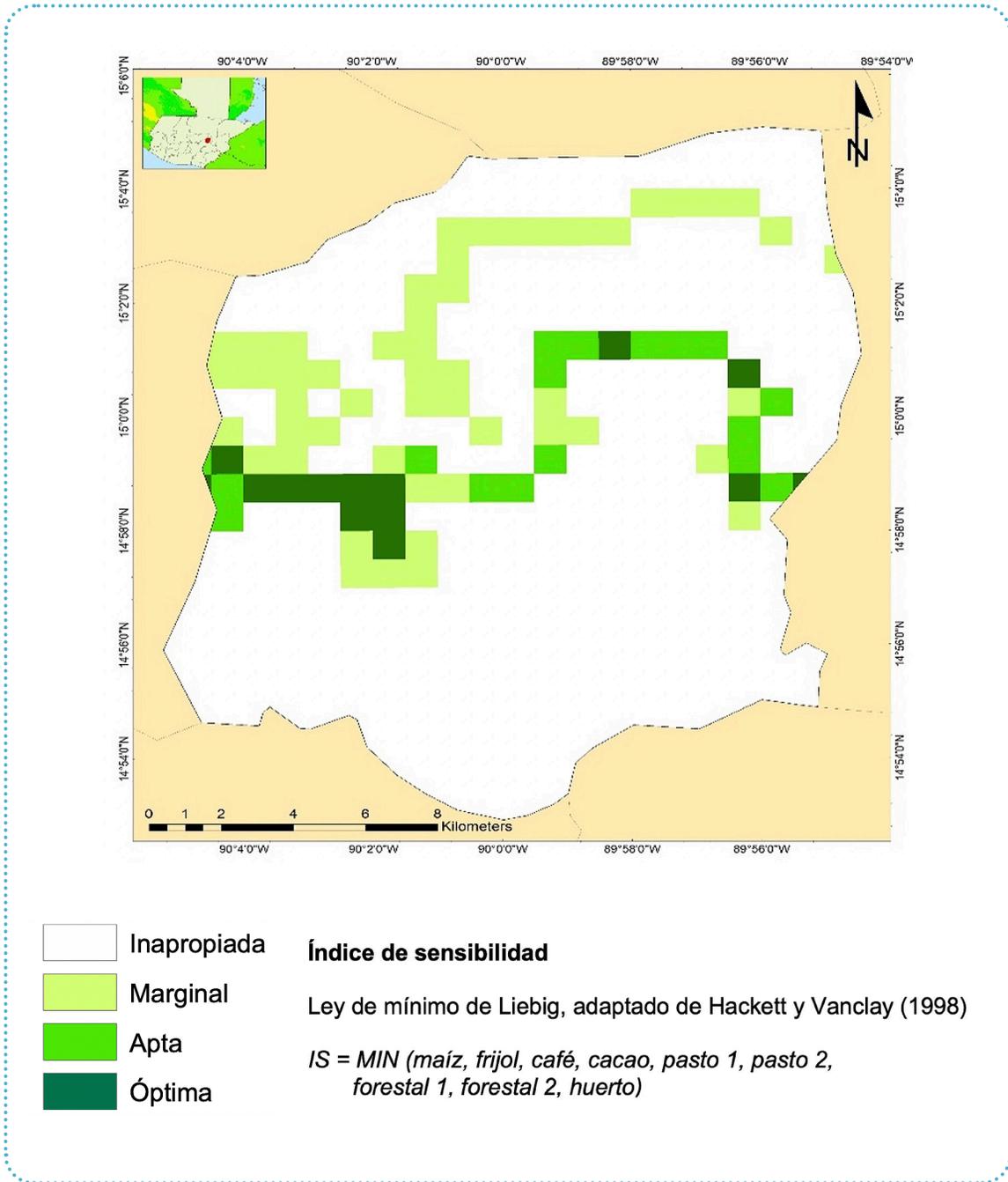


Figura 32. Índice de sensibilidad según climatología actual, con base en la adecuación de 9 especies a las condiciones climáticas del municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala

Fuente: Elaboración propia (2021) con base en datos de WorldClim 1.4 (2021)

6.6.1.2 Adecuación de los componentes productivos y sensibilidad futura

a. Requerimientos climáticos de los cultivos y sensibilidad actual

A continuación se muestran los cambios en la adecuación de los principales cultivos según escenario (Cuadro 11).

Cuadro 11. Cambios en la adecuación de 9 especies (climatología futura-climatología actual)

| Etiquetas de fila | 2050 | | | 2080 | | |
|-------------------|-----------------|-----------------|-----------|-----------------|-----------------|-----------|
| | Mayor idoneidad | Menor idoneidad | No cambio | Mayor idoneidad | Menor idoneidad | No cambio |
| Hectáreas | | | | | | |
| Frijol | | | | | | |
| RCP 2.6 | 82,33 | 5845,76 | 25 194,39 | 0,00 | 5598,75 | 25 523,73 |
| RCP 8.5 | 2223,03 | 7080,78 | 21 818,67 | 2470,04 | 10 044,82 | 18 607,62 |
| Maíz | | | | | | |
| RCP 2.6 | 0,00 | 0,00 | 31 122,48 | 0,00 | 0,00 | 31 122,48 |
| RCP 8.5 | 0,00 | 0,00 | 31 122,48 | 1811,36 | 2305,37 | 27 005,75 |
| Café | | | | | | |
| RCP 2.6 | 247,00 | 11 197,51 | 19 677,97 | 247,00 | 11 362,17 | 19 513,30 |
| RCP 8.5 | 1152,68 | 12 432,52 | 17 537,27 | 1152,68 | 13 914,55 | 16 055,25 |
| Cacao | | | | | | |
| RCP 2.6 | 164,67 | 8151,13 | 22 806,68 | 0,00 | 8151,13 | 22 971,35 |
| RCP 8.5 | 2223,03 | 9056,81 | 19 842,64 | 8480,46 | 10 456,49 | 12 185,52 |
| Brachiaria | | | | | | |
| RCP 2.6 | 0,00 | 7574,78 | 23 547,70 | 0,00 | 6916,11 | 24 206,37 |
| RCP 8.5 | 0,00 | 12 267,86 | 18 854,62 | 823,35 | 17207,93 | 13 091,20 |
| Paspalum | | | | | | |
| RCP 2.6 | 0,00 | 9962,49 | 21 159,99 | 0,00 | 9962,49 | 21 159,99 |
| RCP 8.5 | 0,00 | 11 444,51 | 19 677,97 | 329,34 | 13 091,20 | 17 701,94 |

| Etiquetas de fila | 2050 | | | 2080 | | |
|-------------------|-----------------|-----------------|-----------|-----------------|-----------------|-----------|
| | Mayor idoneidad | Menor idoneidad | No cambio | Mayor idoneidad | Menor idoneidad | No cambio |
| Hectáreas | | | | | | |
| Pino | | | | | | |
| RCP 2.6 | 82,33 | 11 609,18 | 19 430,97 | 0,00 | 11 691,51 | 19 430,97 |
| RCP 8.5 | 2470,04 | 13 255,87 | 15 396,57 | 2799,38 | 14 326,22 | 13 996,88 |
| Ocote | | | | | | |
| RCP 2.6 | 2799,38 | 13 008,87 | 15 314,24 | 2799,38 | 12 926,53 | 15 396,57 |
| RCP 8.5 | 4363,73 | 13 338,21 | 13 420,54 | 7657,12 | 13 338,21 | 10 127,16 |
| Tomate | | | | | | |
| RCP 2.6 | 0,00 | 10 044,82 | 21 077,66 | 0,00 | 9797,82 | 21 324,66 |
| RCP 8.5 | 0,00 | 11 773,85 | 19 348,63 | 2058,37 | 14 243,89 | 14 820,23 |

Fuente: Elaboración propia (2021), con datos CCAFS-Climate (2014)

El detalle espacial de la variación del índice de idoneidad para las 9 especies consideradas se puede apreciar en los mapas de la Figura 33 a la Figura 41. El color rojo muestra cambios negativos, es decir, zonas en las cuales el índice de adecuación se verá perjudicado. Mientras, el color verde señala las zonas en las que el cambio climático favorecerá el desarrollo de la especie. Además, el color gris evidencia que no hay cambios.

Las condiciones climáticas futuras en el municipio de San Agustín Acasaguastlán no afectarán el índice de adecuación para el maíz. Por el contrario, es posible observar zonas en las que se espera que las nuevas condiciones de precipitación y temperatura incrementen las áreas en las cuales esta especie podría desarrollarse. Para el caso del frijol, se espera que algunas zonas pierdan idoneidad, especialmente con el RCP 8.5.

Con excepción del RCP 8.5 hacia el año 2080, el maíz y la *Brachiaria* spp. son las más estables entre las 9 especies descritas. Esto daría señales sobre cuáles son los requerimientos de especies en el marco de un programa de mejoramiento de cultivos frente al cambio climático. Las condiciones climáticas futuras en el municipio de San Agustín Acasaguastlán ofrecerían condiciones favorables para el desarrollo del pino ocote.

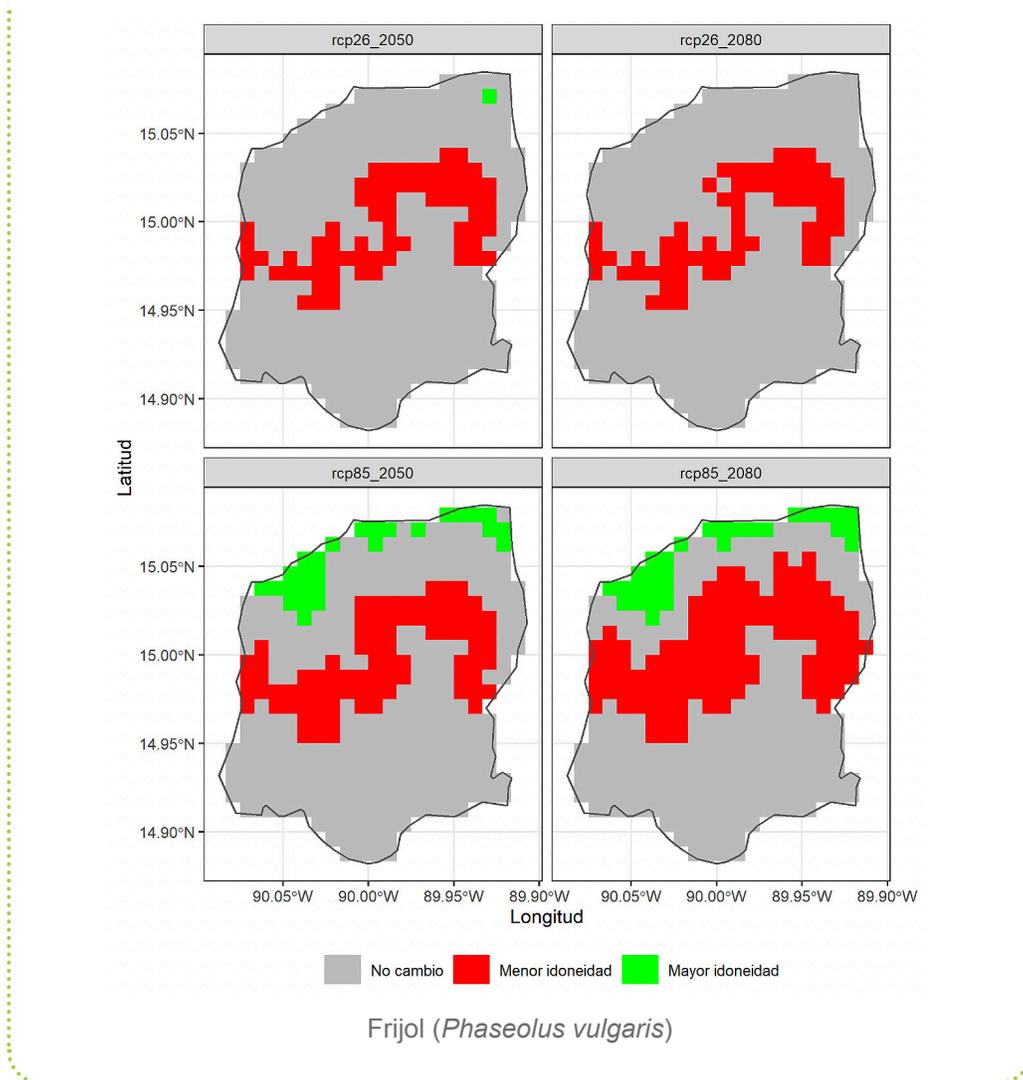


Figura 33. Cambios en la idoneidad climática del frijol (*Phaseolus vulgaris*) en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala (climatología actual)

Fuente: Elaboración propia (2021)

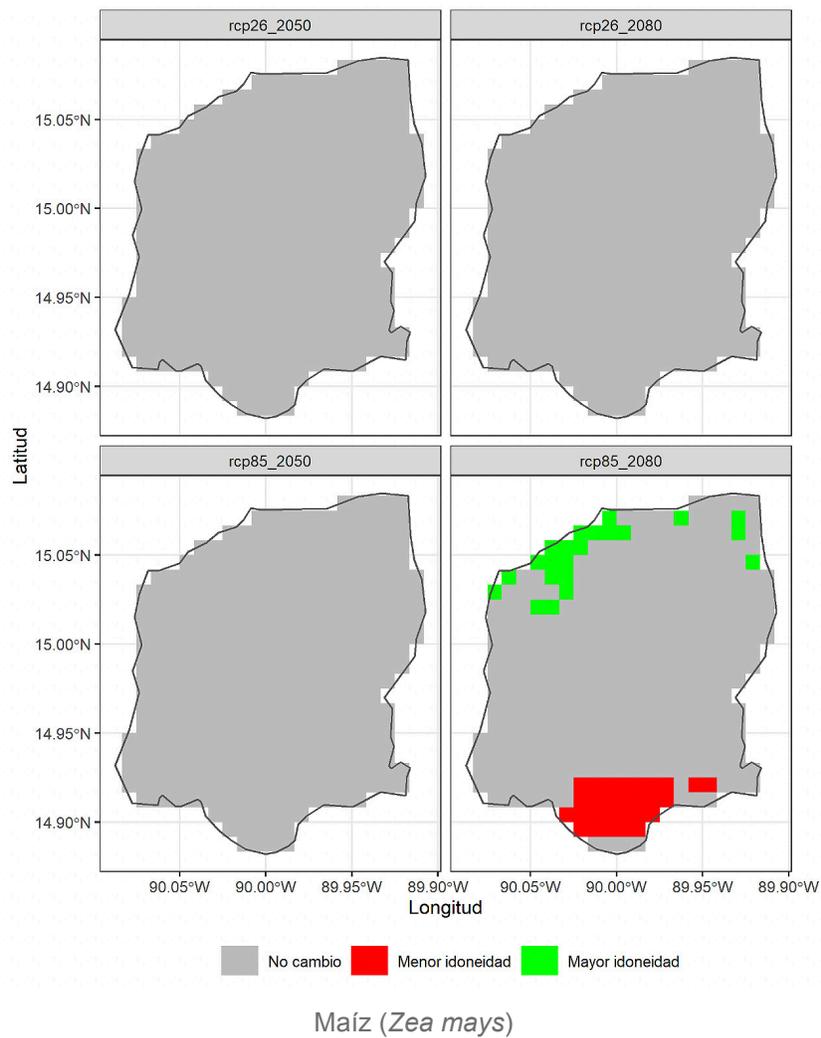


Figura 34. Cambios en la idoneidad climática del maíz (*Zea mays*) en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala (climatología actual)

Fuente: Elaboración propia (2021)

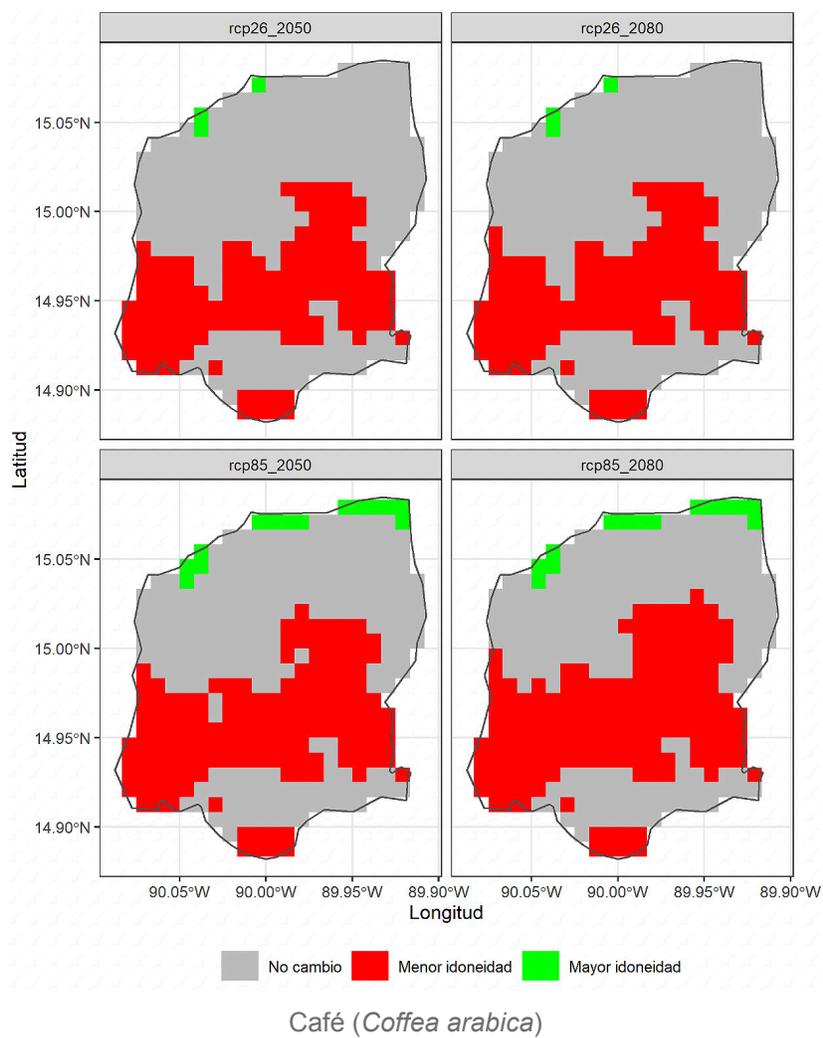
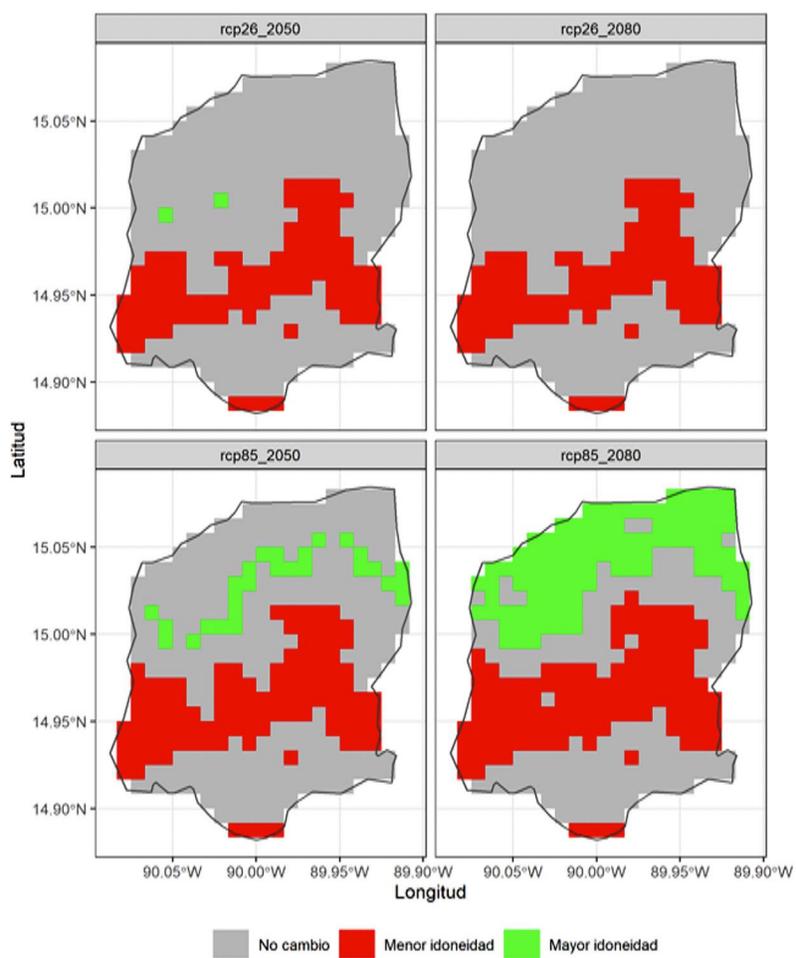


Figura 35. Cambios en la idoneidad climática del café (*Coffea arabica*) en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala (climatología actual)

Fuente: Elaboración propia (2021)



Cacao (*Theobroma cacao*)

Figura 36. Cambios en la idoneidad climática del cacao (*Theobroma cacao*) en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala (climatología actual)

Fuente: Elaboración propia (2021)

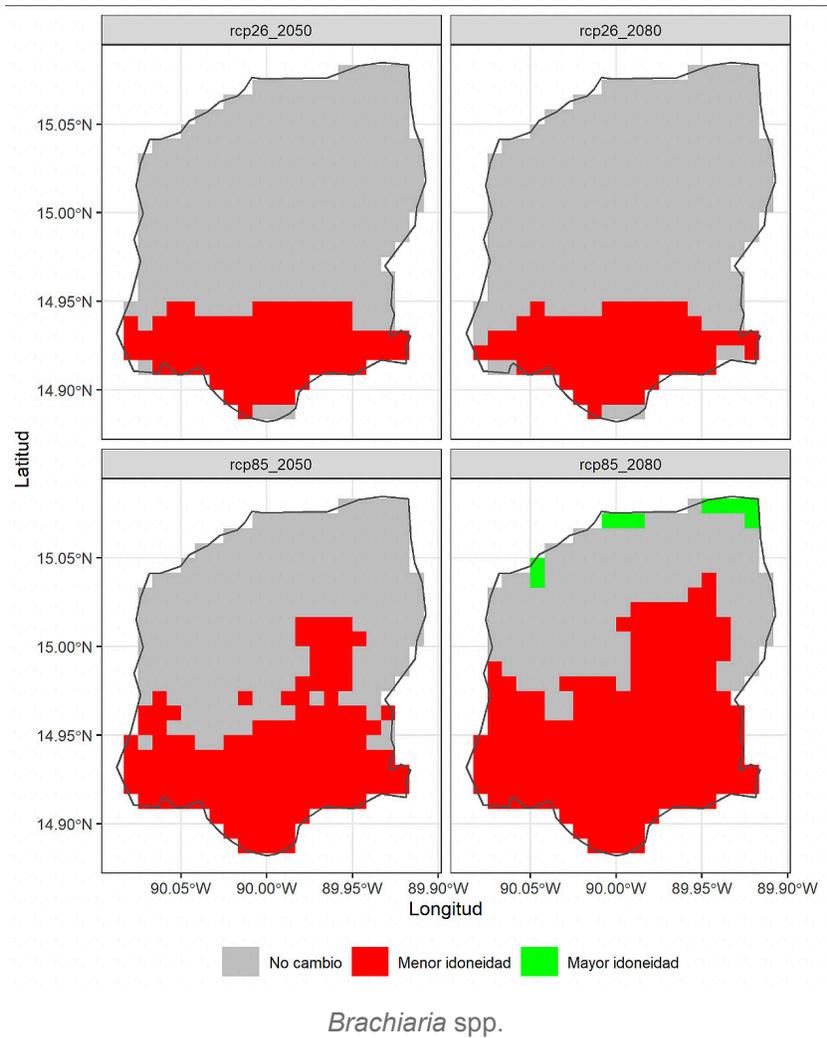


Figura 37. Cambios en la idoneidad climática de la *Brachiaria* en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala (climatología actual)

Fuente: Elaboración propia (2021)

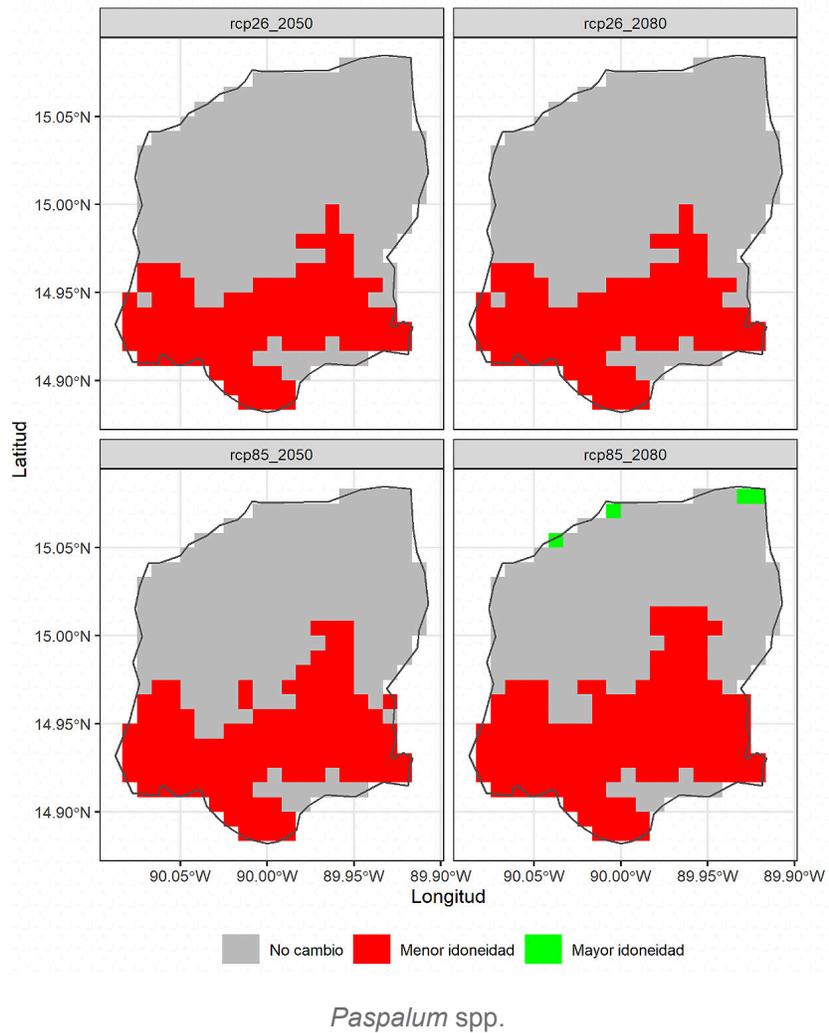
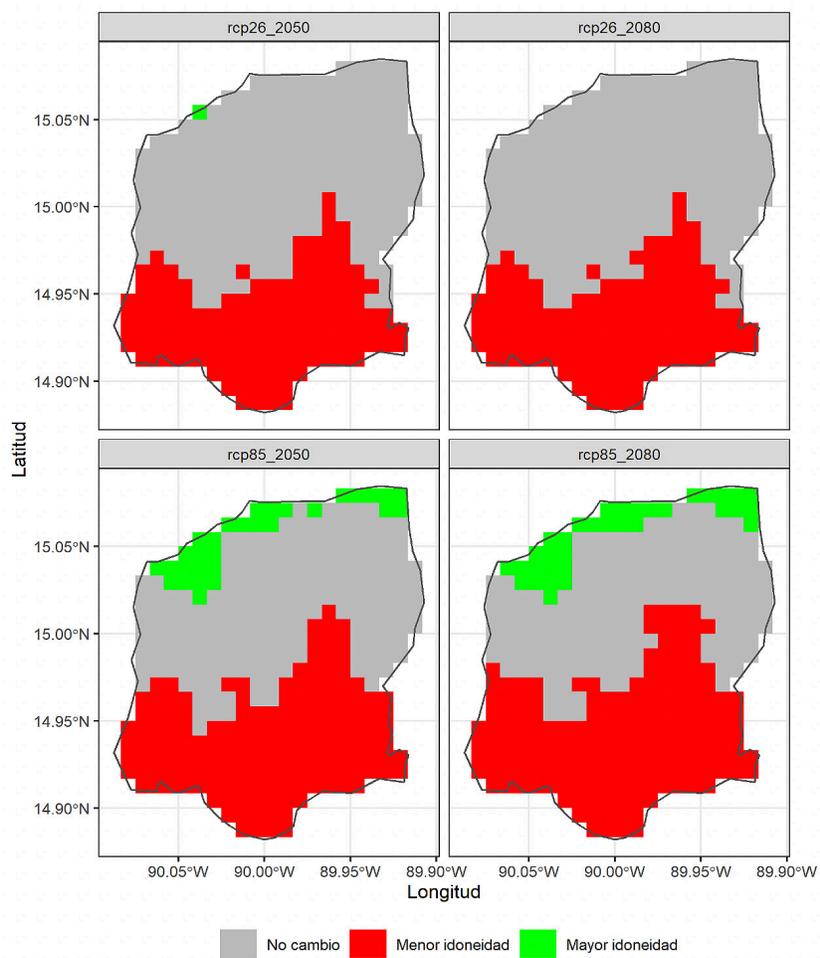


Figura 38. Cambios en la idoneidad climática de *Paspalum* en el municipio de San Agustín Acasaguastlán (climatología actual)

Fuente: Elaboración propia (2021)



Pino (*Pinus spp.*)

Figura 39. Cambios en la idoneidad climática del pino (*Pinus spp.*) en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala (climatología actual)

Fuente: Elaboración propia (2021)

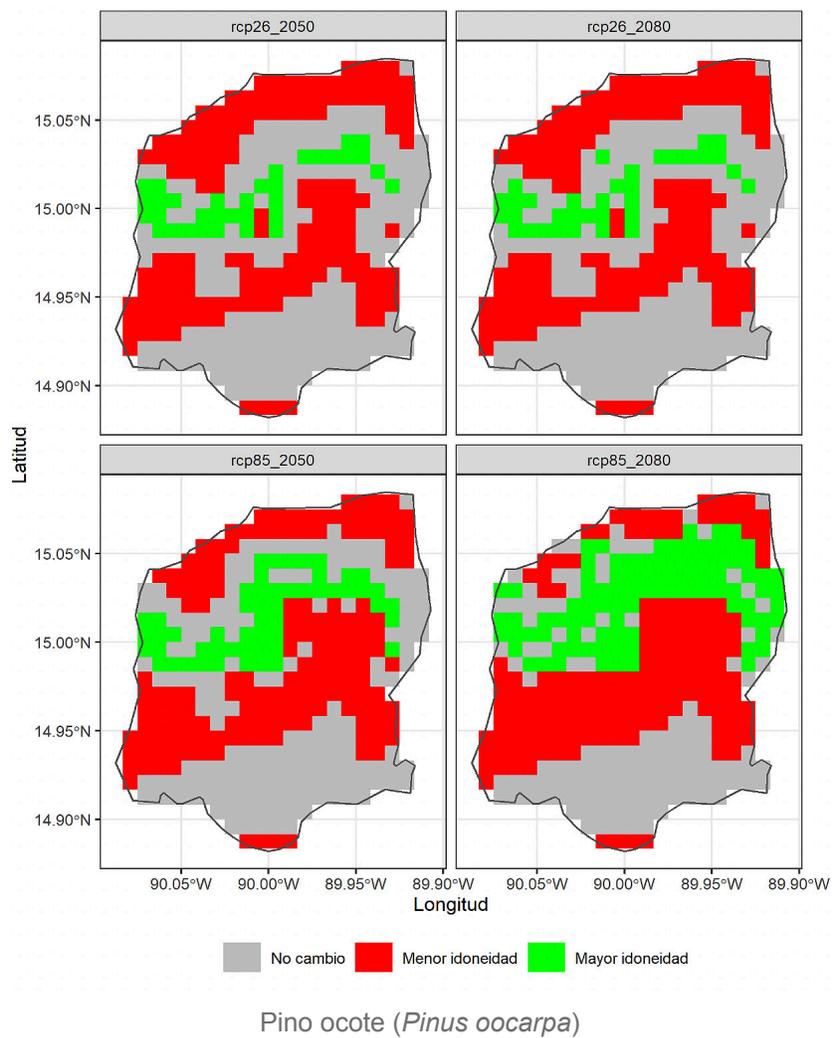


Figura 40. Cambios en la idoneidad climática del pino ocote (*Pinus oocarpa*) en el municipio de San Agustín Acasaguastlán (climatología actual)

Fuente: Elaboración propia (2021)

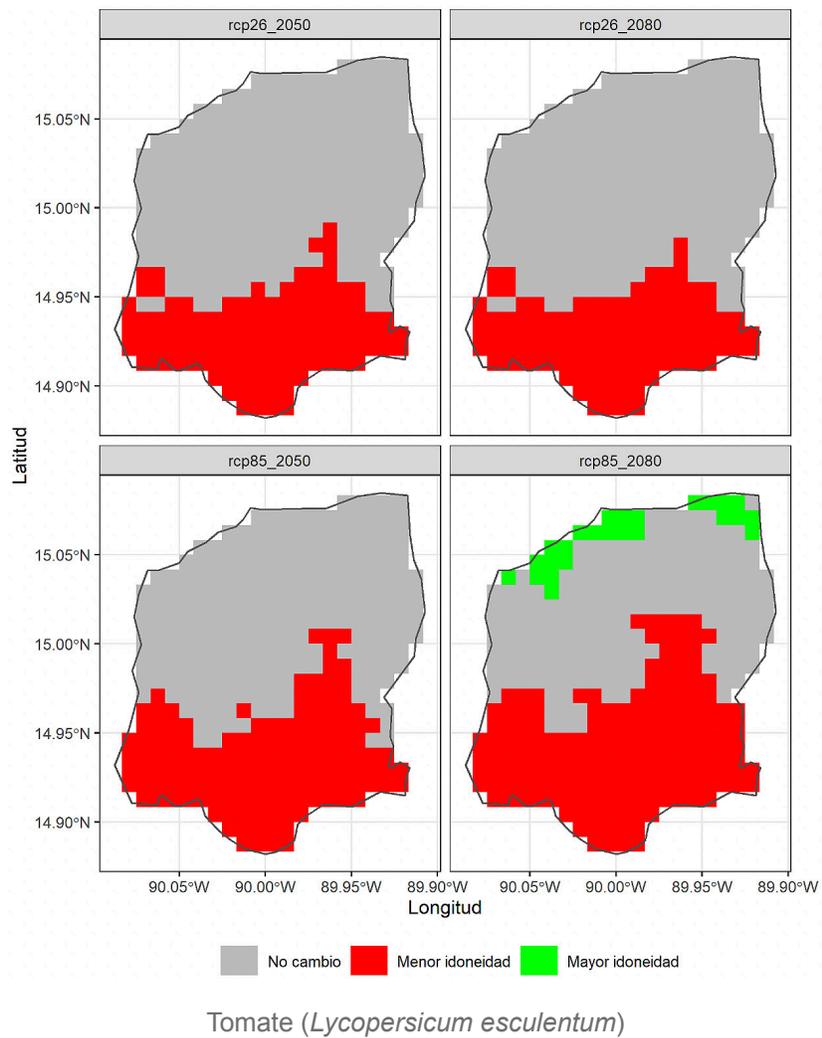


Figura 41. Cambios en la idoneidad climática del tomate (*Lycopersicum esculentum*) en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala (climatología actual)

Fuente: Elaboración propia (2021)

El análisis de sensibilidad permite identificar cuán impactados podrían llegar a ser los sistemas socioeconómicos en los sitios de interés. Dado que la agricultura (incluyendo la ganadería) es el sistema productivo más importante en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, se procedió a seleccionar especies representativas de los sistemas productivos, entre ellos el frijol y el maíz como representativos de los granos básicos y la seguridad alimentaria, el café y el cacao por ser los componentes más importantes para los sistemas agroforestales en la región, así como ambas especies de pinos, que aportan el componente forestal. Mientras, el tomate representa a las especies de patio.

El modelo mecanístico usado para analizar la sensibilidad de los cultivos, especies forestales, así como las pasturas frente a los cambios en los patrones de precipitación y temperatura futura se fundamenta en los trabajos realizados por Hijmans et al. (2010) y Ramírez-Villegas et al. (2013). Las ecuaciones se consiguieron del repositorio de CCAFS-Climate (2014) y se llevaron a cabo con el paquete R.

El cambio climático impactará de manera diferenciada a las especies consideradas en este informe del componente de sensibilidad. En cuanto a la seguridad alimentaria, los productores que se dedican a la siembra del frijol de manera exclusiva serán los que tendrán mayores problemas debido a que el municipio de San Agustín Acasaguastlán no ofrecería condiciones adecuadas para dicho cultivo. Ocurre lo contrario para el maíz, donde el cambio climático parecería no alterar el índice de adecuación para esta especie (Figura 37).

El maíz es el cultivo que mejor comportamiento tendrá de cara a las nuevas condiciones climáticas en el municipio de San Agustín Acasaguastlán. Un comportamiento opuesto sucedería para el caso del café, donde se verá una disminución sustancialmente considerable de la idoneidad en ambos RCP y en los dos horizontes. El cacao se vería favorecido por las nuevas condiciones climáticas, especialmente en el RCP 8.5.

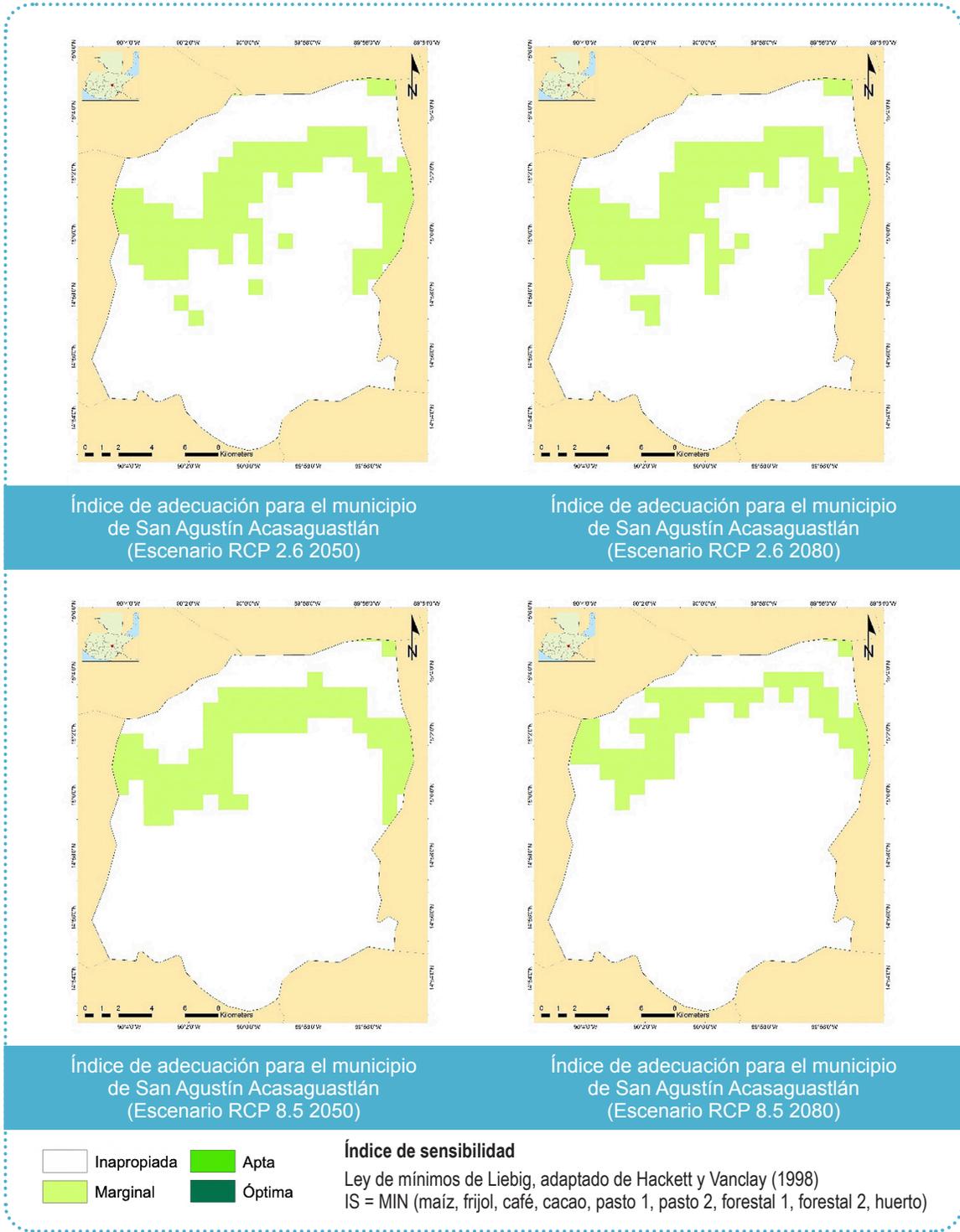


Figura 42. Índice de sensibilidad según climatología futura, con base en la adecuación de 9 especies a las condiciones climáticas del municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala

Fuente: Elaboración propia (2021), con base en datos de CCAFS-Climate (2014)

Con la herramienta zonal statistics de Arcmap se calculó el valor promedio de adecuación para el municipio de San Agustín Acasaguastlán, tanto para el escenario base como para los escenarios futuros (Cuadro 12).

Cuadro 12. Cálculo del índice de sensibilidad con base en el promedio de adecuación, según escenario para el territorio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala

| Escenario | Adecuación promedio (Des. Estándar) | Índice de sensibilidad |
|---------------------|-------------------------------------|------------------------|
| Actual | 0.22 (0.28) | 0.78 |
| RCP 2.6 2050 | 0.32 (0.24) | 0.68 |
| RCP 2.6 2080 | 0.32 (0.25) | 0.68 |
| RCP 8.5 2050 | 0.23 (0.23) | 0.77 |
| RCP 8.5 2080 | 0.18 (0.22) | 0.82 |

* Índice de sensibilidad = 1 - Adecuación promedio, donde Adecuación promedio es el ráster resultado de aplicar la ley de mínimos de Liebig

Fuente: Elaboración propia (2021)

6.6.2 Análisis de la capacidad adaptativa

La capacidad adaptativa dentro del municipio se estimó usando el enfoque de medios de vida sostenibles (DFID 2001), mediante el cual se identifica un portafolio de activos o recursos físicos, humanos, sociales, financieros y naturales con los que cuentan los hogares (o las comunidades), que interactúan entre sí para hacer frente a choques externos (en este caso, el cambio climático).

En relación con lo expuesto, es necesario mencionar que en el municipio de San Agustín Acasaguastlán el proceso de recolección de información primaria sobre medios de vida se realizó a través de encuestas tipo cuestionario y se basó en un muestreo al azar simple, por lo que aleatoriamente se consideró la participación de 155 personas, siendo 43% mujeres y 57% hombres (Figura 43), las cuales se encuentran distribuidas en 15 aldeas ubicadas dentro del corredor seco de Guatemala.

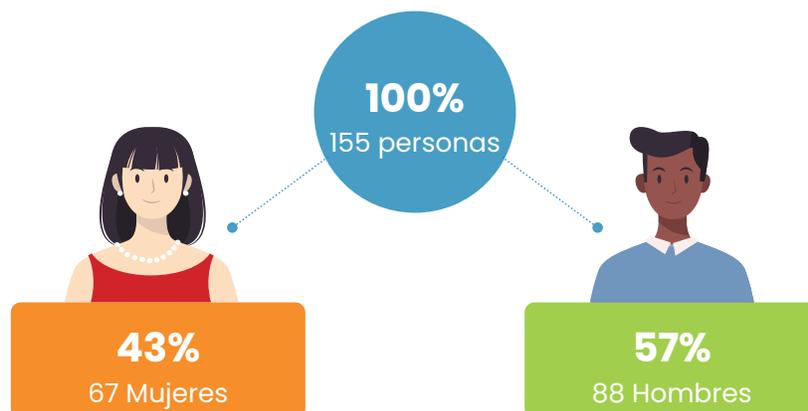
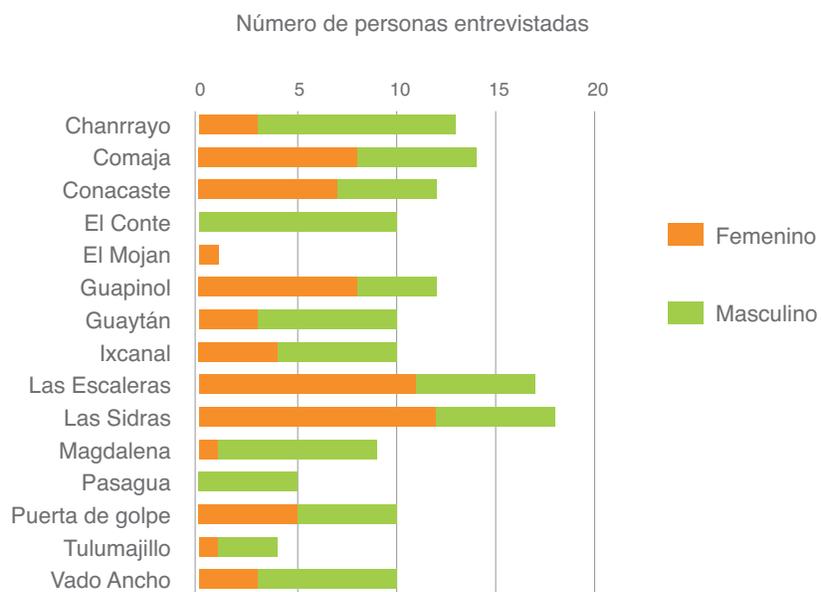


Figura 43. Distribución de personas encuestadas por género

Fuente: Elaboración propia (2021)

En el municipio, la edad promedio de los entrevistados es de 48 años. 41 años es la edad promedio de las mujeres y 53 años la de los hombres, diferencia que es estadísticamente significativa.

Por otra parte, al analizar el nivel educativo de las personas encuestadas en el municipio, fue posible inferir que 16% de ellas no poseen ningún tipo de educación, mientras que el 74% restante expresó haber cursado mayormente educación a nivel de primaria.

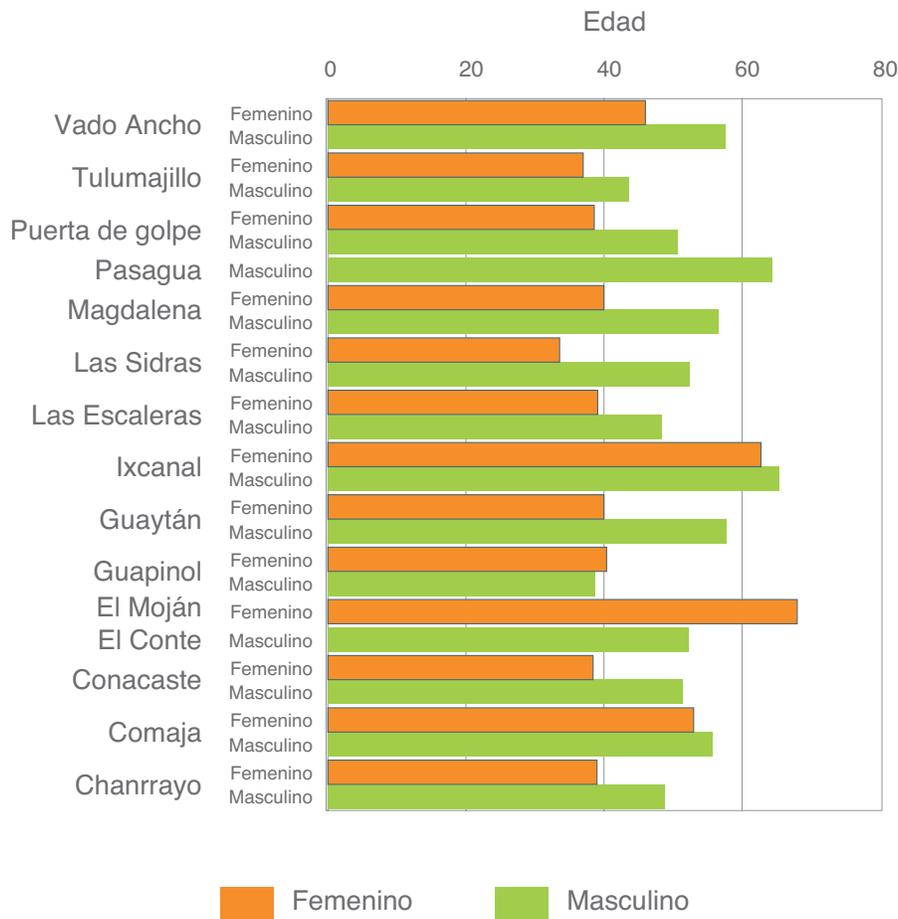


Figura 44. Distribución de edad de las mujeres y hombres por comunidad del municipio de San Agustín Acasaguastlán

Fuente: Elaboración propia (2021)

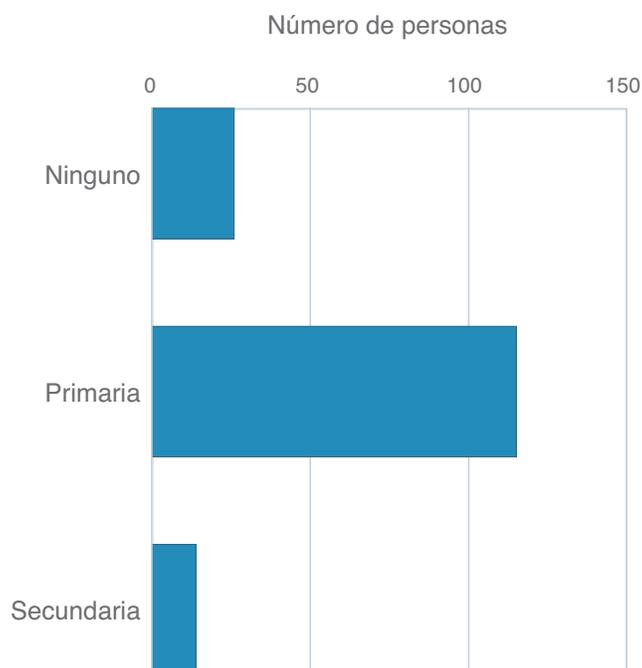


Figura 45. Nivel educativo del total de entrevistados en el municipio de San Agustín Acasaguastlán

Fuente: Elaboración propia (2021)

Ahora bien, al estudiar el nivel educativo por tipo de género en las aldeas del municipio de San Agustín Acasaguastlán, se puede inferir que en la aldea de Magdalena la mayor parte de la población no posee ningún grado de escolaridad. No obstante, cabe resaltar que la población del género masculino es la que tiene mayor presencia a nivel educativo primario.

En el caso de la aldea de Tulumajillo y Comaja, se observa que existe equidad de género al momento de participar en el nivel educativo secundario. En todas las aldeas sobresale que de los encuestados ninguno cuenta con una preparación técnica. Por lo tanto, al planificar políticas locales y estrategias vinculadas con la mejora del nivel educativo de los pobladores y su desarrollo en general, se recomienda promover mayores incentivos u oportunidades para obtener una preparación técnica y/o universitaria que optimice las condiciones de vida de los habitantes de las aldeas dentro del corredor seco.

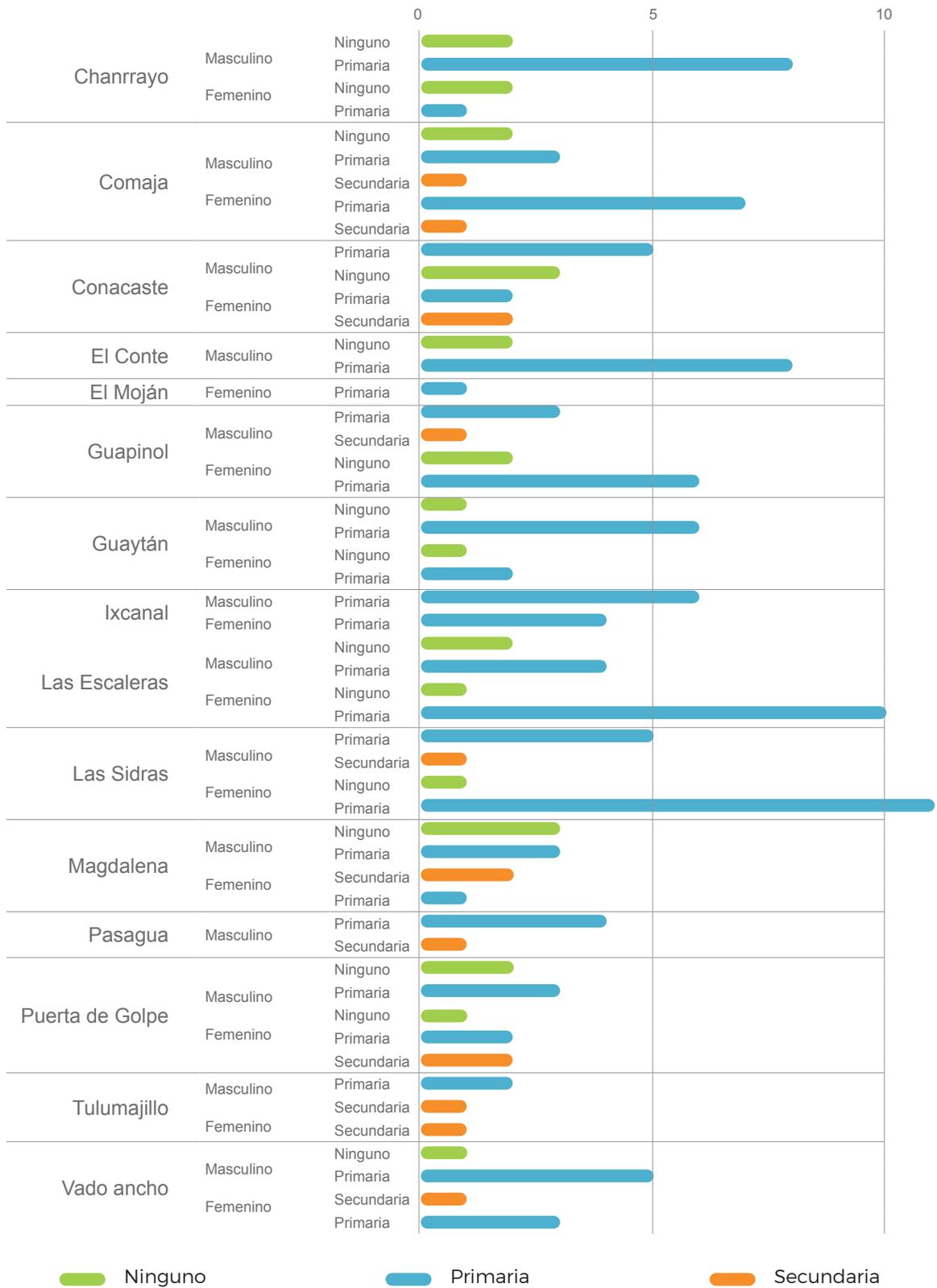


Figura 46. Nivel educativo por género en las aldeas del municipio de San Agustín Acasaguastlán

Fuente: Elaboración propia (2021)

A continuación se describen los pasos metodológicos específicos para la construcción del indicador de capacidad adaptativa.

1 Paso 1. Selección de indicadores

Los indicadores de capacidad adaptativa fueron extraídos de la encuesta aplicada a nivel de hogar en el marco del proyecto Análisis de Vulnerabilidad al Cambio Climático en el Corredor Seco de Guatemala (CATIE 2021). Para esto fue necesario hacer una revisión de las preguntas de la encuesta y posteriormente, se clasificaron dichas preguntas dentro del contexto de los cinco capitales de medios de vida sostenibles (Cuadro 13).

Cuadro 13. Indicadores para medir los cinco capitales de medios de vida sostenibles

| Capital | Pregunta de la encuesta | Tipo de variable | ¿Cómo se construyó? |
|---------|------------------------------------|-----------------------|--|
| Humano | Educación del entrevistado | Cualitativa | Directo de la encuesta |
| | Años de experiencia en agricultura | Cuantitativa | Directo de la encuesta |
| | Años de experiencia en ganadería | Cuantitativa | Directo de la encuesta |
| | Número de personas en la finca | Cuantitativa discreta | Directo de la encuesta |
| | Salud de la población | Cuantitativa discreta | Facetas de hogares afectados por el COVID-19 |
| | Relación Cap. productiva/Cap. CC | | Se divide el número total de capacitaciones y visitas técnicas sobre temas productivos entre las capacitaciones y visitas técnicas que abordan específicamente el cambio climático |

| Capital | Pregunta de la encuesta | Tipo de variable | ¿Cómo se construyó? |
|-------------------|--|-----------------------|--|
| Financiero | Ingresos totales de actividades agrícolas | Cuantitativa continua | Suma de ingresos de actividades agrícolas |
| | Ingresos de otras actividades | Cuantitativa continua | Suma de ingresos derivados de otras fuentes |
| | Acceso a remesas | Dicotómica | Sí o No |
| | Diversificación de ingresos | Cuantitativa discreta | Se contabiliza cuántos cultivos y sistemas agropecuarios maneja el productor |
| | Fuentes de ingresos para hacer mejoras a la finca | Cualitativa ordinal | |
| | ¿Existe acceso al crédito para productores? | Dicotómica | Sí o No |
| Natural | Área total de la finca | Continua | Directo de la encuesta |
| | Área de bosque | Continua | Directo de la encuesta |
| | Acceso a fuentes de agua | Categoría | Se contabiliza el número de fuentes de agua, incluyendo cosecha de agua y agua potable |
| | Tipo de suelo | Categoría | Directo de la encuesta |
| | Área de barbecho | Cuantitativa continua | |
| Físico | Valor total de la infraestructura productiva | Cuantitativa continua | Se suma el valor de todos los activos productivos del hogar |
| | Servicios para el hogar | Cuantitativa discreta | Se contabilizan los servicios con los que cuenta el hogar |
| | ¿En qué estado se encuentra el camino de acceso hasta su aldea y vivienda? | Dicotómico | Directo de la encuesta |
| | Distancia al mercado para vender productos | Continua | Directo de la encuesta |
| | Distancia al centro de abastecimiento | Continua | Directo de la encuesta |

| Capital | Pregunta de la encuesta | Tipo de variable | ¿Cómo se construyó? |
|---------|---|-----------------------|--|
| Social | ¿En cuántas organizaciones participa? | Cuantitativa discreta | Suma de organizaciones en las que participa |
| | Recibe asistencia técnica de organizaciones | Dicotómica | Sí= 1 No= 0 |
| | Programas de monitoreo del clima/ alerta temprana | Cuantitativa discreta | Sí= 1 No= 0 |
| | Puedo confiar en las personas que me rodean sin necesidad de ser muy cauteloso | Ordinal | Directo de la encuesta. Escala de 1 a 7 (donde 7 significa plena confianza) |
| | Los productores de mi región son personas confiables | Ordinal | Directo de la encuesta. Escala de 1 a 7 (donde 7 significa plena confianza) |
| | Los productores de la región trabajan en conjunto para resolver problemas | Ordinal | Directo de la encuesta. Escala de 1 a 7 (donde 7 significa trabajo colaborativo) |
| | Las asociaciones agrícolas trabajan por el bienestar de los agricultores y del sector | Ordinal | Directo de la encuesta. Escala de 1 a 7 (donde 7 apoyo de organizaciones) |

Fuente: Elaboración propia (2021), con base en CATIE (2021)

2 Paso 2. Agrupación de indicadores por tipo de capital

En una hoja de cálculo se segregó la base de datos de la encuesta de acuerdo con el tipo de capital que representa.

3 Paso 3. Estandarización de los indicadores

Para construir cada capital se estandarizó linealmente cada indicador y a partir de allí se calculó la media aritmética de acuerdo con el número de indicadores en cada capital.

4

Paso 4. Índice de capacidad adaptativa

Para estimar la capacidad adaptativa se generó un ranking sumando caso por caso el valor de los cinco capitales. El resultado se convirtió a una escala de 0 a 1. Finalmente, se revisó el perfil nacional del índice de manejo del riesgo de la Comisión Europea (Marín-Ferrer, Vernaccini y Poljansek 2017) para obtener información sobre capacidad adaptativa y consolidar ambas fuentes.

El índice de capacidad adaptativa fue calculado con base en los indicadores de los cinco capitales de medios de vida sostenibles expuestos en el Cuadro 14. Básicamente, se evaluó cómo los activos o capitales pueden ayudar a la comunidad o los hogares a sobreponerse a choques externos, en este caso eventos vinculados con el cambio climático (Figura 47).

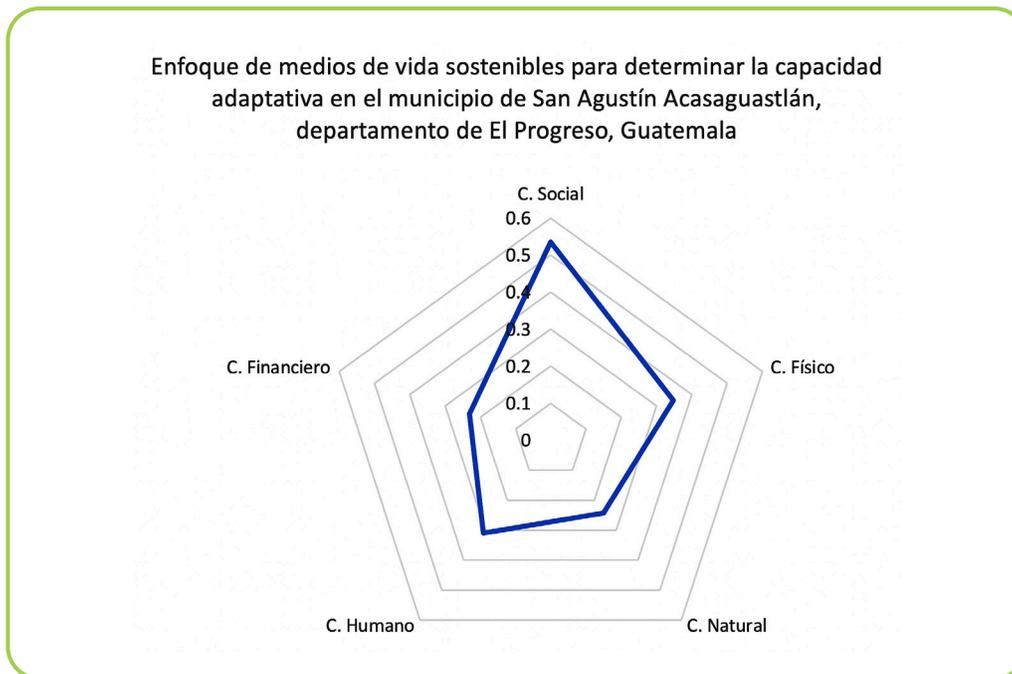


Figura 47. Capacidad adaptativa del municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala, según el marco conceptual de medios de vida sostenibles

Fuente: Elaboración propia (2021), con base en datos de la encuesta Análisis de Vulnerabilidad al Cambio Climático en el Corredor Seco de Guatemala (CATIE 2021)

Cuadro 14. Descriptivos de los cinco capitales de medios de vida sostenibles en el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala

| San Agustín Acasaguastlán | Promedio | Max | Min | Desv. Estánd. |
|---------------------------|----------|------|------|---------------|
| Capital social | 0.54 | 1.00 | 0.14 | 0.22 |
| Capital físico | 0.35 | 0.54 | 0.09 | 0.12 |
| Capital natural | 0.24 | 0.41 | 0.17 | 0.05 |
| Capital humano | 0.31 | 0.49 | 0.14 | 0.07 |
| Capital financiero | 0.23 | 0.50 | 0.07 | 0.11 |

n= 155

Fuente: Elaboración propia (2021) con base en datos de la encuesta Análisis de Vulnerabilidad al Cambio Climático en el Corredor Seco de Guatemala (CATIE 2021)

En el municipio de San Agustín Acasaguastlán se entrevistó a 93 jefes de hogar. La escala se generó tomando en consideración los 29 indicadores descritos en el Cuadro 15. El valor promedio para el municipio es de 0.33.

Asimismo, el índice de manejo de riesgo (Marín-Ferrer et al. 2017), que usa indicadores como reducción del riesgo por desastres, gobernanza, infraestructura física, comunicación y acceso al sistema de salud, le asigna al municipio una puntuación de 6 sobre 10 (0.6 en escala de 0-1).

Consecuentemente, el valor de la capacidad adaptativa para el municipio de San Agustín Acasaguastlán es de 0.46 (Cuadro 15). Finalmente, considerando que la vulnerabilidad está en función de la sensibilidad y la capacidad adaptativa, el componente de vulnerabilidad quedaría definido por:

$$\text{Vulnerabilidad} = \text{Sensibilidad} - \text{Capacidad adaptativa}$$

Cuadro 15. Cálculo del componente de vulnerabilidad, según escenario para San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala

| Escenario | Índice de sensibilidad | Cap. Adaptativa | Vulnerabilidad |
|--------------|------------------------|-----------------|----------------|
| Actual | 0.78 | 0.46 | 0.32 |
| RCP 2.6 2050 | 0.68 | | 0.22 |
| RCP 2.6 2080 | 0.68 | | 0.22 |
| RCP 8.5 2050 | 0.77 | | 0.31 |
| RCP 8.5 2080 | 0.82 | | 0.36 |

Fuente: Elaboración propia (2021)

En una escala de 0 a 1, en donde cero indicaría que en esa zona no hay problema de vulnerabilidad y 1 una vulnerabilidad muy alta, los valores de vulnerabilidad para el municipio de San Agustín Acasaguastlán no llegan a 0.4. Consecuentemente, se concluye que la vulnerabilidad para el municipio fluctúa entre media y baja.

6.7 Índice de riesgo climático

Para construir el índice de riesgo climático se tomó como referencia el marco propuesto por GIZ y EURAC (2017):

$$\text{Riesgo Climático} = 0.3 \text{ Peligro} + 0.4 \text{ Exposición} + 0.3 \text{ Vulnerabilidad}$$

Los pesos fueron asignados a través del juicio de expertos, estableciendo un peso relativamente mayor a la exposición, ya que la sequía es un tema de vital importancia en el corredor seco.

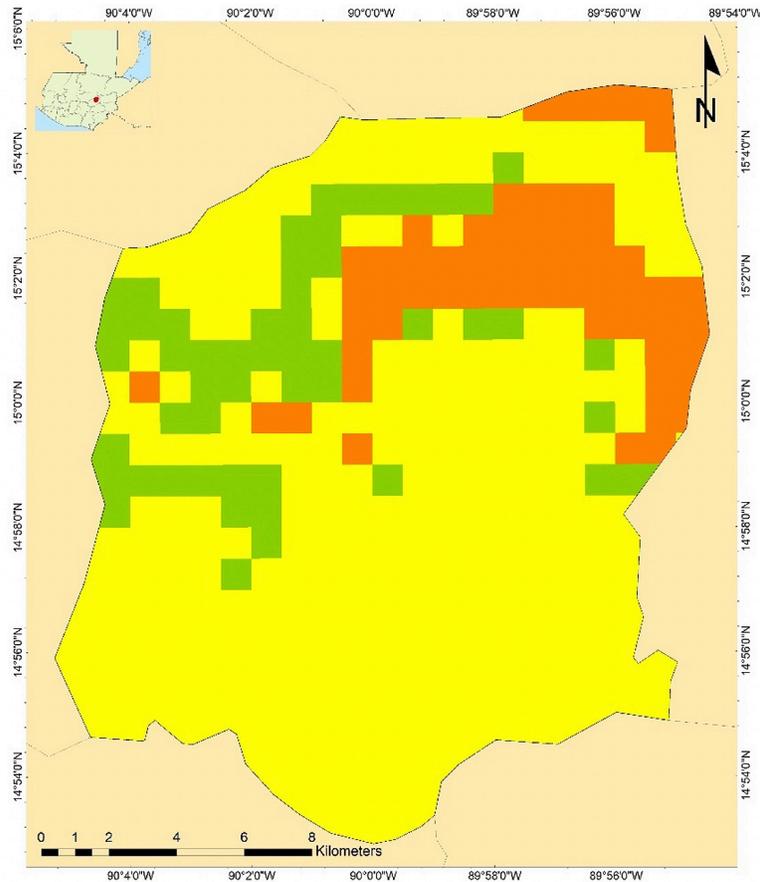
Cuadro 16. Resumen de las condiciones de riesgo climático para San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala

| Escenario | MEAN | MIN | MAX | SD |
|--------------|------|------|------|------|
| Actual | 0.31 | 0.78 | 0.47 | 0.49 |
| RCP 2.6 2050 | 0.31 | 0.60 | 0.29 | 0.47 |
| RCP 2.6 2080 | 0.31 | 0.60 | 0.29 | 0.46 |
| RCP 8.5 2050 | 0.37 | 0.68 | 0.31 | 0.52 |
| RCP 8.5 2080 | 0.37 | 0.68 | 0.31 | 0.52 |

Fuente: Elaboración propia (2021)

El índice de riesgo climático para el municipio de San Agustín Acasaguastlán se comporta dentro de los límites medios. El valor más alto corresponde al escenario RCP 8.5 (0.37 para ambos horizontes temporales), mientras que el valor promedio más bajo se reportó en el escenario correspondiente al RCP 2.6 hacia finales de siglo. El valor promedio del escenario base fue de 0.31, lo que implica que se mantiene estable en el escenario más conservador, pero aumenta considerablemente bajo situaciones más adversas en el mediano y largo plazo.

El detalle y distribución por categorías de riesgo se presentan a continuación (Figura 48 a la Figura 52). Dichos datos son consistentes con la literatura sobre vulnerabilidad en el corredor seco y otros municipios afectados por la sequía en Guatemala. Es necesario aclarar que esos estudios se enfocaban en la metodología del AR4 o sea, utilizaban solamente el marco de vulnerabilidad y no el de riesgo climático (AR5), como en el presente estudio.



- Muy bajo
- Bajo
- Medio
- Alto
- Muy alto

Mapa de riesgo climático

$$Riesgo\ Climático = 0.3Peligro + 0.4Exposición + 0.3Vulnerabilidad$$

Adaptado de GIZ y EURAC (2017)

Figura 48. Mapa de riesgo climático para el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala, según climatología actual (1960-1990)

Fuente: Elaboración propia (2021), con base en datos de WorldClim 1.4 (2021)

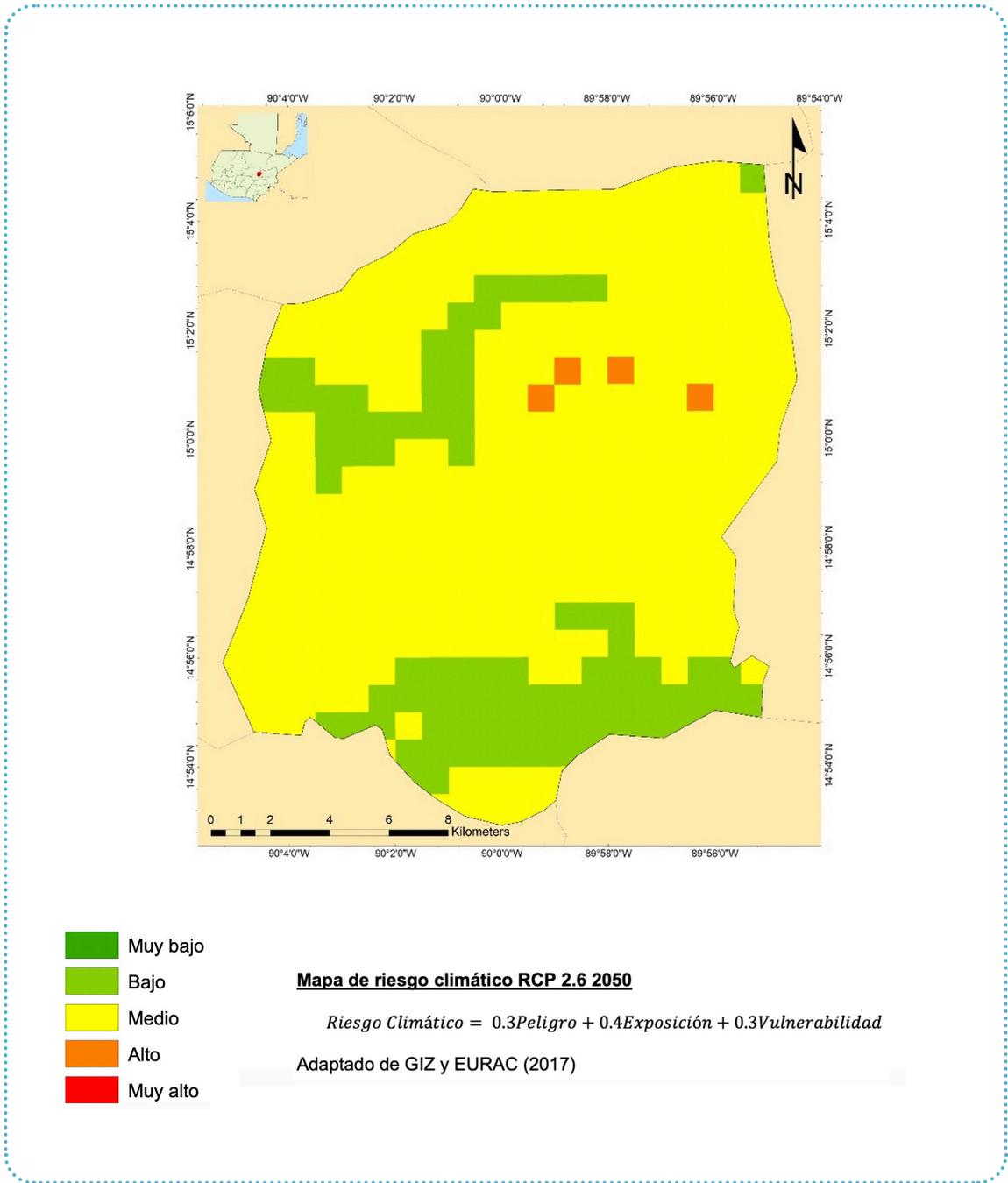


Figura 49. Mapa de riesgo climático para el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala (Escenario RCP 2.6 2050)

Fuente: Elaboración propia (2021), con base en datos de CCAFS-Climata (2014)

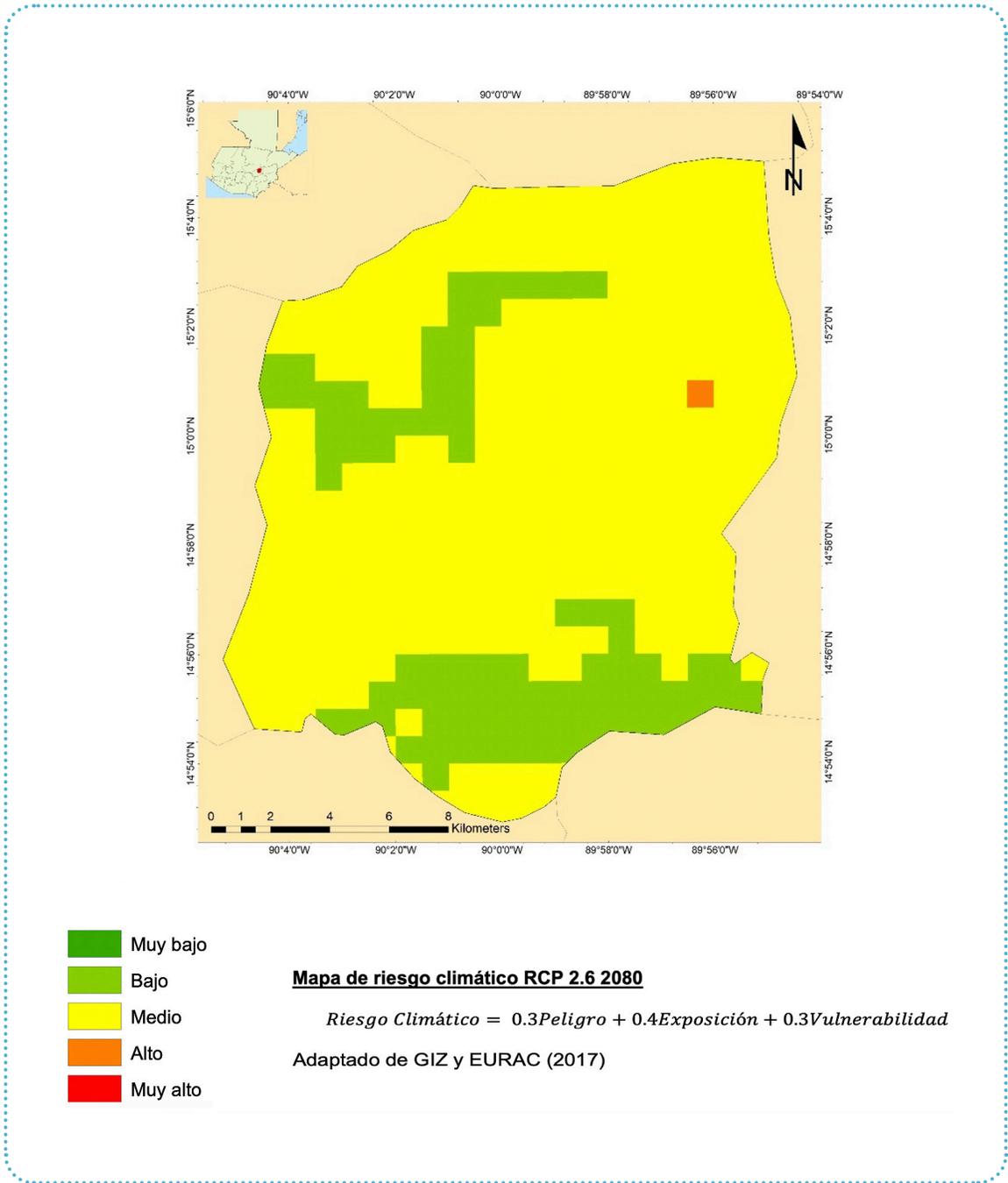


Figura 50. Mapa de riesgo climático para el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala (Escenario RCP 2.6 2080)

Fuente: Elaboración propia (2021), con base en datos de CCAFS-Climate (2014)

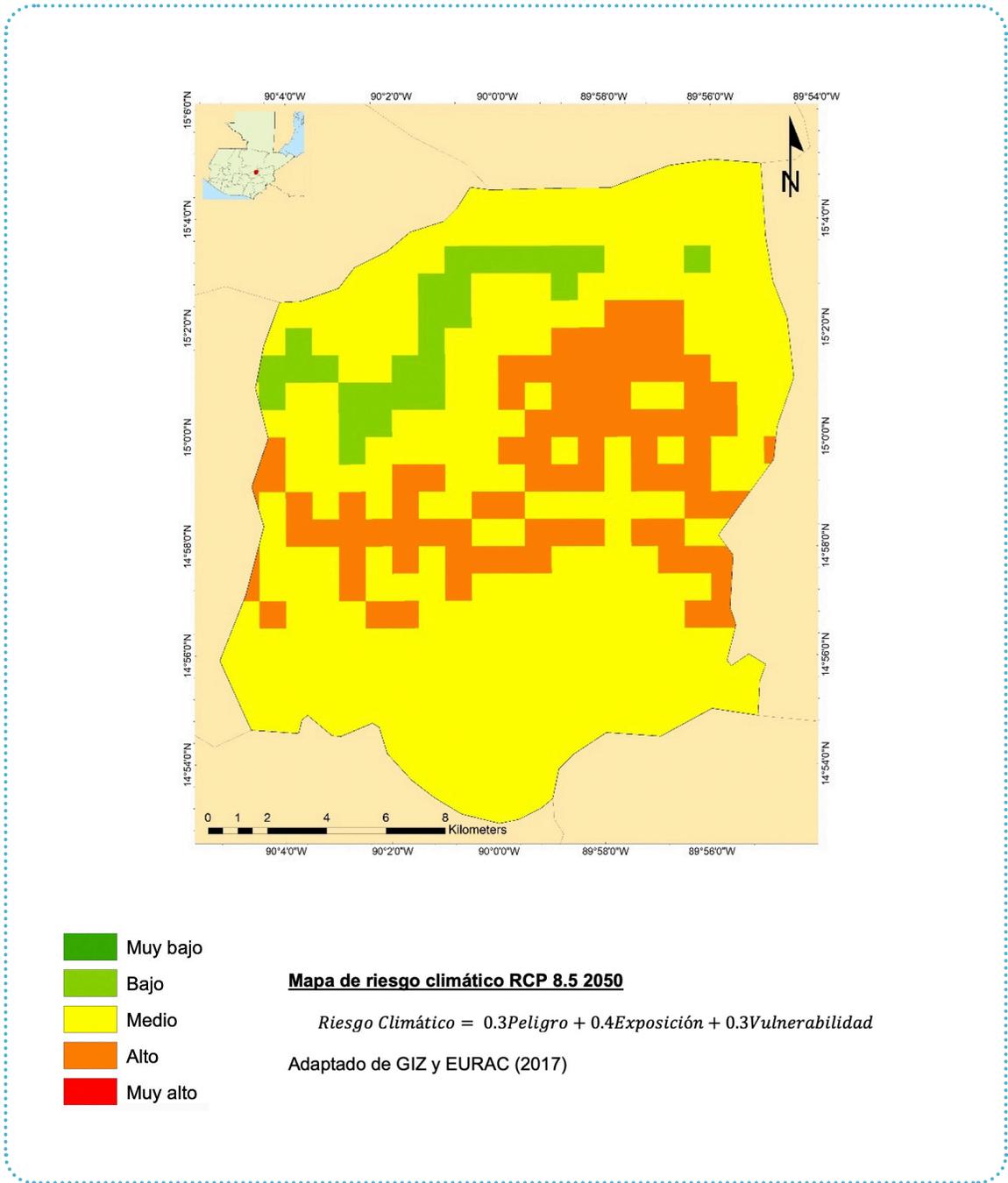


Figura 51. Mapa de riesgo climático para el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala (Escenario RCP 8.5 2050)

Fuente: Elaboración propia (2021), con base en datos de CCAFS-Climate (2014)

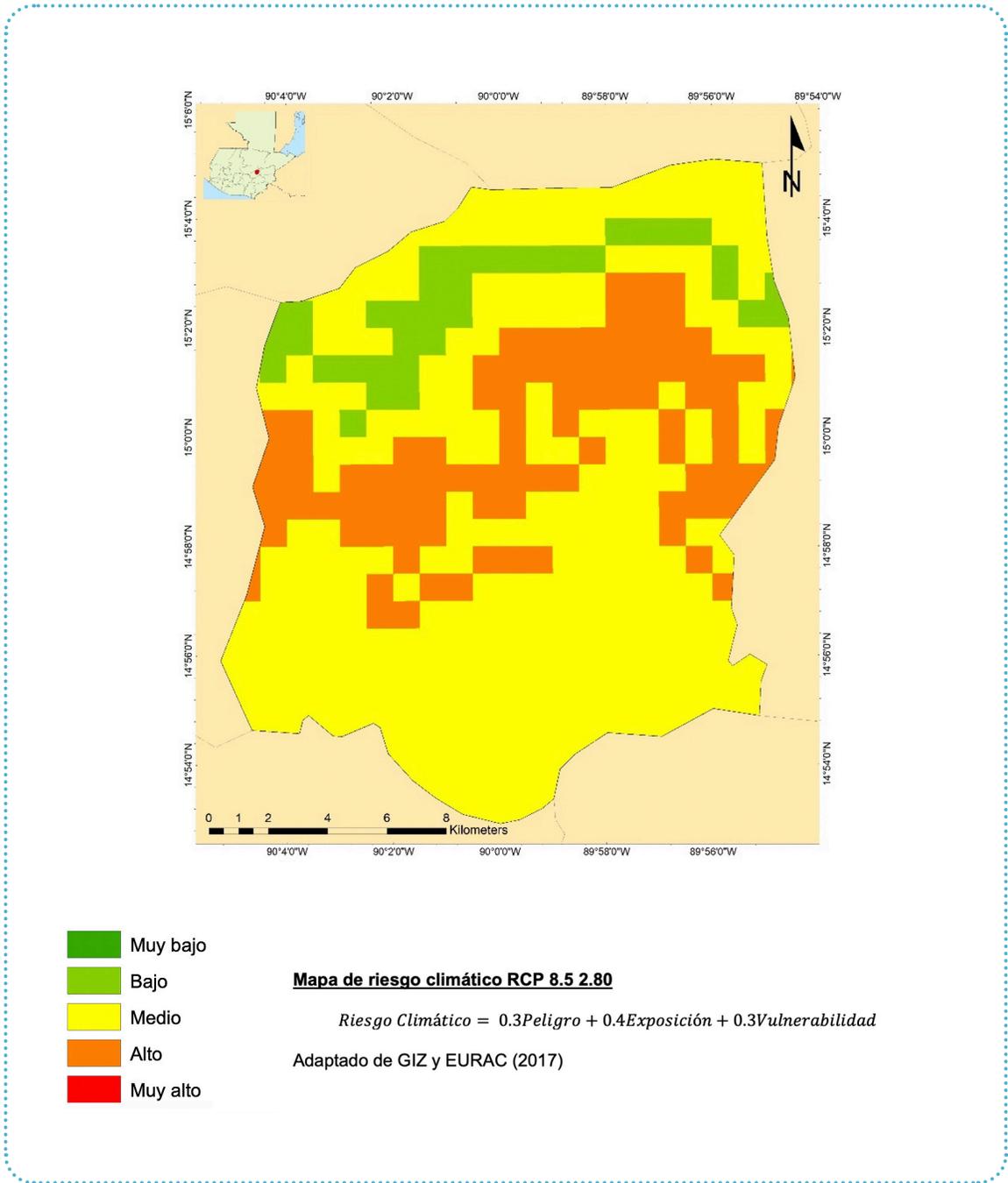


Figura 52. Mapa de riesgo climático para el municipio de San Agustín Acasaguastlán, El Progreso, Guatemala (Escenario RCP 8.5 2080)

Fuente: Elaboración propia (2021), con base en datos de CCAFS-Climade (2014)



7

Recomendaciones del
**Plan Local de Adaptación
al Cambio Climático
(PLACC)**



Recomendaciones del Plan Local de Adaptación al Cambio Climático (PLACC)

7.1 Generalidades

Como fue establecido en secciones anteriores, las opciones/medidas de adaptación al cambio climático identificadas participativamente a nivel institucional y comunitario serán un insumo para la posterior elaboración de un Plan Local de Adaptación al Cambio Climático (PLACC) en el municipio, el cual será un documento de gestión local que facilitará la toma de decisiones, así como el monitoreo y la evaluación de las opciones propuestas. No obstante, es necesario recalcar que el PLACC debe estar alineado con el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC).

Por lo tanto, las opciones/medidas de adaptación deben contrastarse con las establecidas en el PNACC para el área de interés. Además, previo a su análisis de efectividad, eficiencia y viabilidad, es recomendable implementar casos piloto que permitan conocer la pertinencia de estas en la zona, así como determinar ciertos parámetros cuantificables (inversión, ingresos e indicadores financieros, entre otros) y preseleccionar indicadores de gestión y desempeño para establecer un adecuado sistema de evaluación y monitoreo.

Básicamente, las opciones/medidas preseleccionadas deben tener su costo y beneficio esperado, incluyendo –de ser necesario– costos sociales y ambientales, además de otros indicadores de factibilidad y adopción que contribuyan al éxito del PLACC.

Con la información generada deben desarrollarse procesos de consulta institucional y comunitaria para la priorización final de las opciones/medidas de adaptación y promover su integración al proceso de planificación local (planes operativos comunitarios, municipales, institucionales y otros). Adicionalmente, dependiendo de los mecanismos locales, se puede establecer un sistema de seguimiento para conocer la dinámica de la reducción de vulnerabilidad en la comunidad y el municipio con base en los indicadores seleccionados.

Por otra parte, en relación con las opciones de financiamiento del PLACC, existen diversos instrumentos -tanto a nivel local como nacional e internacional- destinados a la financiación de la adaptación a los nuevos patrones climáticos, para la construcción de un territorio adaptado y resiliente.

La gestión eficiente de los recursos disponibles pasa necesariamente por la coordinación institucional multinivel. Para tal caso, a nivel local, la implementación de un Plan Local de Adaptación al Cambio Climático (PLACC) -como cualquier otra iniciativa de política pública- cuenta con varias vías para su financiación. La vía más directa es contar con una partida específica en el presupuesto del gobierno local para la puesta en marcha de las medidas de adaptación. No obstante, existen otras opciones como:

- Ingresos provenientes de tasas por servicios municipales, impuestos, cuotas, inclusión de aspectos ambientales en el sistema impositivo municipal.
- Ayudas y subvenciones para la reducción de emisiones y su canalización hacia la adaptación.
- Recursos gestionados conjuntamente a través de alianzas con el sector privado (asociaciones público-privadas).
- Subvenciones otorgadas por el sector académico y las organizaciones para capacitación e investigación.
- Alianzas territoriales con otros municipios para compartir el costo de las inversiones.

7.2 Gestión de la información

En el proceso de planificación con énfasis en conocer el nivel de riesgo y vulnerabilidad de las comunidades del corredor seco del municipio de San Agustín Acasaguastlán, fue posible identificar las medidas de adaptación al cambio climático prioritarias para las comunidades. Esta etapa se constituyó como una actividad de primera magnitud, debido a que en ella confluyen una diversidad de elementos y factores de tipo socioeconómico y biofísico que inciden en la problemática ambiental del cambio climático de un determinado territorio o sistema natural de la comunidad o el municipio en su conjunto. Este proceso se llevó a cabo a través de diversos pasos:

1

Se visitaron las distintas áreas o comunidades comprendidas en el corredor seco del municipio, concentrándose en los sistemas productivos agrícolas y ganaderos, además de la seguridad alimentaria. Igualmente, se verificaron las condiciones socioeconómicas de la población. Estas visitas de campo permitieron conocer y analizar la situación actual en el sector agroalimentario, buenas prácticas agrícolas, desarrollo agroforestal productivo y de protección, agroforestería comunitaria, ordenamiento territorial rural, adaptación al cambio climático, mitigación de amenazas naturales y antrópicas, y uso y manejo del agua y suelo, entre otros. Esta actividad orientó la identificación de las capacidades de adaptación al cambio climático de la población demandante o comunidades más vulnerables establecidas en ellas.

2

En términos de adaptación al cambio climático, el diagnóstico se fundamentó en la consulta y entrevistas con productores (hombres y mujeres) de las comunidades. Esto permitió a la vez, identificar a priori la situación de riesgo y vulnerabilidad de las poblaciones o comunidades de bajos niveles socioeconómicos, enfocados en la reactivación de los medios de vida, seguridad alimentaria, uso y manejo de los recursos naturales y la influencia del clima como variación y cambio climático.

3

En el proceso metodológico inicial, a través de las visitas de campo, consultas comunitarias y acciones de sensibilización, se realizó un levantamiento de información a través de talleres comunitarios participativos para dar a conocer la propuesta del modelo de adaptación al cambio climático e impulsar la resiliencia comunitaria ante eventos extremos diversos con énfasis en reducir el riesgo y vulnerabilidad local.

4

Posteriormente, se identificaron las opciones/medidas de adaptación al cambio climático por parte de las comunidades. Objetivamente, estas medidas se enfocaron en el manejo y gestión de los agentes causales de la degradación ambiental y la adaptación al cambio climático en sistemas productivos agrícolas y pecuarios asociados con la seguridad alimentaria.

Cuadro 17. Comunidades de los talleres sobre adaptación en el municipio de San Agustín Acasaguastlán

| No. | Comunidad | Participantes |
|-----|------------------|---|
| 1 | El Conte | Líderes de COCODES y comunitarios productores(as) |
| 2 | Puerta de Golpe | Líderes de COCODES y comunitarios productores(as) |
| 3 | El Conacaste | Líderes de COCODES y comunitarios productores(as) |
| 4 | Las Sidras | Líderes de COCODES y comunitarios productores(as) |
| 5 | Magdalena | Líderes de COCODES y comunitarios productores(as) |
| 6 | Ixcanal | Líderes de COCODES y comunitarios productores(as) |
| 7 | Comaja | Líderes de COCODES y comunitarios productores(as) |
| 8 | Tulumaje | Líderes de COCODES y comunitarios productores(as) |
| 9 | Tulumajillo | Líderes de COCODES y comunitarios productores(as) |
| 10 | Pasagua | Líderes de COCODES y comunitarios productores(as) |
| 11 | Agua Hiel Arriba | Líderes de COCODES y comunitarios productores(as) |
| 12 | Las Escaleras | Líderes de COCODES y comunitarios productores(as) |
| 13 | Vado Ancho | Líderes de COCODES y comunitarios productores(as) |

Fuente: Elaboración propia

Para el municipio de San Agustín Acasaguastlán se consideró que el impacto potencial es la escasez en el abastecimiento de agua para la población, causada por la exposición a la sequía y varios elementos de sensibilidad presentes en la comunidad, como los incendios forestales y erosión de suelos, que implica la degradación de sus medios de vida, por una parte y por otra, la deforestación, cambio de uso del suelo, competencia por el uso del agua y falta de coordinación entre la sociedad civil y las instituciones gubernamentales.

En cuanto a las capacidades de adaptación en las comunidades del corredor seco de este municipio, se han considerado el grado de diversificación de fuentes de ingresos, las formas de organización local/comunitaria, el acceso a los programas estatales como MAGA y PROBOSQUES-INAB, y el acceso a los servicios de extensión/asistencia técnica por parte de la población.

7.3 Medidas de adaptación propuestas por los actores de San Agustín Acasaguastlán

Al igual que otros municipios de Baja Verapaz e incluso de El Progreso, fue posible identificar similitudes en los resultados de los talleres. Esta situación puede deberse a la cercanía de las poblaciones y porque comparten las mismas amenazas y problemas al encontrarse expuestas en el corredor seco.

Concretamente, en los talleres se observó que una de las mayores preferencias de los participantes fue el uso eficiente del agua basado en recursos provenientes de la lluvia (cosecha de agua de lluvia) y las buenas prácticas agrícolas que favorezcan la eficiencia en general del manejo de recursos naturales.

Algunas medidas importantes consideradas para los sistemas productivos que reducirían la vulnerabilidad mediante el fortalecimiento de la capacidad adaptativa son los reservorios para micro-riego, buenas prácticas agrícolas, sistemas de almacenamiento postcosecha y en la medida de lo posible, trabajar con sistemas agroforestales.

Además de la capacitación con giras demostrativas que promuevan el conocimiento y tecnologías –como se mencionó–, es fundamental plantear estas medidas de manera integral y que se inserten mediante servicios de extensión o asistencia técnica, para que generen impactos significativos en el sistema productivo agrícola y pecuario.

En este sentido, es recomendable que un equipo técnico elabore los perfiles de proyecto basados en las medidas de adaptación al cambio climático, orientadas a reducir la vulnerabilidad local y aumentar la resiliencia comunitaria ante amenazas climáticas, como la sequía, tomando como insumos: i) las propuestas de medidas de los talleres participativos en las comunidades y ii) los indicadores de riesgo y vulnerabilidad en la comunidad, que serán la línea base para las evaluaciones finales. De esta forma se podrían diseñar medidas que respondan a reducir los componentes de sensibilidad climática y aumentar las capacidades de adaptación.

Cabe mencionar que en los talleres participativos se realizó un ejercicio de priorización de las medidas, con criterios básicos de efectividad, costo y factibilidad, y algunas resultaron seleccionadas de forma paralela en todas las aldeas. Obviamente, ciertos asentamientos tienen particularidades de medidas de adaptación de acuerdo con sus necesidades. En concreto, del menú de medidas se priorizaron las siguientes, las cuales deben ser la base para el desarrollo de un PLACC:

Cuadro 18. Medidas de adaptación priorizadas por los actores clave del municipio de San Agustín Acasaguastlán

| Medidas de adaptación y gestión de recursos propuestas por componente* | | | | | | | | |
|--|---|--|------|---|---|---|---|---|
| N° | Descripción | Indicador(es) | Años | | | | | Responsables propuestos** |
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Componente gestión del agua | | | | | | | | |
| 1 | Diseñar, gestionar e implementar un programa municipal participativo de manejo del recurso hídrico con enfoque en adaptación al cambio climático | <p>Número de microcuencas, cuencas identificadas, priorizadas y caracterizadas para uso doméstico y agrícola del municipio</p> <p>Plan municipal de gestión del recurso hídrico con enfoque en adaptación al cambio climático (nuevo o actualizado)</p> <p>Número de plataformas o redes locales fortalecidas y creadas</p> <p>Número de planes de acción local para la gestión del recurso hídrico con enfoque en la adaptación al cambio climático en las aldeas con mayor riesgo o vulnerabilidad</p> | | x | x | x | x | MARN, MAGA, municipalidad, sociedad civil, representantes de productores y fuerzas vivas comunitarias |
| 2 | Gestionar recursos para implementar sistemas de captación o cosecha de agua de lluvia para uso doméstico, huertos familiares y agricultura a pequeña escala | <p>Número de sistemas de captación de agua establecidos por año</p> <p>Número de huertos familiares establecidos por año</p> <p>Número de parcelas agrícolas a pequeña escala establecidas por año</p> | | x | x | x | x | MARN, MAGA, municipalidad, sociedad civil y fuerzas vivas comunitarias |
| 3 | Gestionar recursos, proyectos o actividades para establecer reservorios de agua para uso agrícola (individuales y grupales) | Número de reservorios establecidos por año | | x | x | x | x | MARN, MAGA, municipalidad, productores y sociedad civil |
| 4 | Gestionar recursos y proyectos para implementar sistemas de micro-riego tecnificado para huertos familiares y agricultura a pequeña y mediana escala (con énfasis en los cultivos expuestos en el presente documento) | <p>Número de sistemas de micro-riego en funcionamiento</p> <p>Número de capacitaciones sobre sistemas de micro-riego</p> | | x | x | x | x | MARN, MAGA, municipalidad, sociedad civil y fuerzas vivas comunitarias |

Medidas de adaptación y gestión de recursos propuestas por componente*

| Descripción | Indicador(es) | Años | | | | | Responsables propuestos** | |
|-------------|--|--|---|---|---|---|---------------------------|--|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | |
| 5 | Diseñar y articular programas de Pago por Servicios Ambientales Hídricos (PSAH) y Fondos Ambientales (FA), con base en estudios de valoración económica de la oferta y demanda | Estudios de valoración económica de la oferta y demanda del Servicio Ambiental Hídrico (SAH) | | x | x | x | x | MARN, MAGA, municipalidad, sociedad civil y fuerzas vivas comunitarias |
| | | Fondo ambiental para la conservación de los recursos hídricos | | | | | | |
| 6 | Identificar, priorizar e implementar actividades de protección para fuentes de agua y zonas de recarga hídrica (incluir bio-bardas artesanales para ríos y quebradas) | Número de zonas de recarga hídrica priorizadas | | | | | | MARN, MAGA, municipalidad, sociedad civil y fuerzas vivas comunitarias |
| | | Número de zonas de recarga hídrica delimitadas | | | | | | |
| | | Cantidad de área de cada zona de recarga hídrica bajo protección y regeneración | x | x | x | x | | |
| | | Número de bio-bardas colocadas en zonas críticas de los ríos y quebradas | | | | | | |
| N° | Componente agrícola | | | | | | | |
| 1 | Diseñar e implementar un programa, proyecto o actividades de diversificación agrícola, conservación de suelos y agua e implementación de medidas de Adaptación basadas en Ecosistemas (AbE) para mejorar la resiliencia de las familias más vulnerables (debe incluir el mapeo de productores, garantizar la seguridad alimentaria y generación de ingresos) | Número de productores, por aldea y municipio, identificados y caracterizados | | | | | | MARN, MAGA, municipalidad, sociedad civil y fuerzas vivas comunitarias |
| | | Número de parcelas productivas de zonas críticas mapeadas | | | | | | |
| | | Número de capacitaciones sobre temas priorizados | | | | | | |
| | | Número de escuelas de campo funcionando | x | x | x | x | | |
| | | Porcentaje de productores del municipio con mayor diversificación agrícola | | | | | | |
| | | Porcentaje de productores del municipio implementando medidas AbE | | | | | | |

Medidas de adaptación y gestión de recursos propuestas por componente*

| Descripción | Indicador(es) | Años | | | | | Responsables propuestos** | |
|-------------|---|---|---|---|---|---|---|--|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | |
| 2 | Gestionar y entregar paquetes de insumos agrícolas (semillas resistentes a la sequía y fertilizantes, entre otros) | | x | x | x | x | MAGA, municipalidad, productores, sociedad civil y fuerzas vivas comunitarias | |
| 3 | Promover la implementación de los sistemas "Milpa" entre los productores para la conservación de la biodiversidad, el mejoramiento participativo, la conservación del suelo y la diversificación agrícola | Número de sistemas "Milpa" replicados y en funcionamiento en áreas de productores | | x | x | x | x | MAGA, municipalidad, sociedad civil y fuerzas vivas comunitarias |
| | Porcentaje de área de los productores implementando el sistema "Milpa" | | | | | | | |
| 4 | Promover el establecimiento de huertos familiares en los hogares con mayores riesgos climáticos y problemas de seguridad alimentaria | Número de huertos familiares establecidos de forma sostenible por año | | | x | x | x | MAGA, municipalidad, sociedad civil y fuerzas vivas comunitarias |
| 5 | Promover la implementación de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) para mejorar la eficiencia de los cultivos de la región | Número de capacitaciones sobre BPA | | | | | | MAGA, municipalidad, sociedad civil y fuerzas vivas comunitarias |
| | | Porcentaje de productores de la región implementando BPA | | | x | x | x | |
| 6 | Gestionar y distribuir sistemas de almacenamiento de semillas y alimentos postcosecha (bancos de semillas individuales, grupales y comunitarios) a familias y productores más vulnerables | Número de silos u otros sistemas de almacenamiento entregados a familias o grupos vulnerables | | | x | x | x | MAGA, municipalidad, sociedad civil y fuerzas vivas comunitarias |
| 7 | Promover el establecimiento y mejoramiento de sistemas agroforestales para sistemas productivos con adecuados arreglos de sombra y con especies maderables/frutales | Número de sistemas agroforestales establecidos | | | | | | MAGA, municipalidad, sociedad civil y fuerzas vivas comunitarias |
| | | Número de sistemas agroforestales mejorados | | | x | x | x | |
| 8 | Diseñar e implementar Sistemas de Alerta Temprana (SAT) contra la sequía extrema y pérdida de cultivos, los cuales deben incluir la difusión efectiva de información agroclimática | Número de Sistemas de Alerta Temprana (SAT) funcionando y brindando información eficiente y precisa a los productores | | x | x | x | x | MARN, MAGA, municipalidad, sociedad civil y fuerzas vivas comunitarias |

Medidas de adaptación y gestión de recursos propuestas por componente*

| N° | Descripción | Indicador(es) | Años | | | | | Responsables propuestos** |
|----|---|--|------|---|---|---|---|---|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 1 | Diseñar, gestionar e implementar proyectos de ganadería sostenible que incluyan la identificación de los productores y el manejo tecnificado de ganado lechero (pasturas mejoradas, rotaciones, equipo) y el establecimiento de sistemas agrosilvopastoriles. Se deben incluir prácticas como bancos forrajeros, barreras vivas, árboles dispersos en potreros y uso de ensilaje, entre otras | <p>Número de asociaciones y productores, por aldea y municipio, identificados y caracterizados</p> <p>Número de fincas o áreas con pasturas de zonas críticas mapeadas</p> <p>Número de capacitaciones sobre ganadería sostenible y manejo de pastos</p> <p>Número de sistemas agrosilvopastoriles establecidos</p> <p>Porcentaje de área con pasturas mejoradas (con base en mapa de uso del suelo y GIS)</p> | | | | | | MAGA, municipalidad, sociedad civil, productores pecuarios y fuerzas vivas comunitarias |
| 2 | Diseñar y brindar módulos para especies menores que apliquen en la zona (apícola, caprino, porcino, piscícola y avícola, entre otros) | Número de módulos brindados | | x | x | x | x | MAGA, municipalidad, sociedad civil y productores |
| 3 | Gestionar asistencia técnica para mejorar la eficiencia de sistemas de especies menores | <p>Número de visitas de asistencia a familias/grupos por sistema</p> <p>Porcentaje de incremento en la producción o rentabilidad</p> | | x | x | x | x | MAGA, municipalidad, sociedad civil y productores pecuarios |
| 4 | Promover el uso de Buenas Prácticas Pecuarias (BPP) para la producción e inocuidad de los productos pecuarios | <p>Número de guías de Buenas Prácticas Pecuarias (BPP) elaboradas y entregadas a productores</p> <p>Número de capacitaciones sobre buenas prácticas (producción e inocuidad)</p> | | x | x | x | x | MAGA, municipalidad, sociedad civil y productores pecuarios |

Medidas de adaptación y gestión de recursos propuestas por componente*

| N° | Descripción | Indicador(es) | Años | | | | | Responsables propuestos** |
|---|--|---|------|---|---|---|---|--|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Componente bosques y servicios ecosistémicos | | | | | | | | |
| 1 | Diseñar e implementar un programa, proyecto o proceso de reforestación y protección en zonas críticas con base en los mapas actuales de uso del suelo, riesgo climático y zonas de recarga hídrica | <p>Cantidad de área reforestada por año en zonas críticas y de recarga hídrica</p> <p>Cantidad de área bajo regeneración en zonas de recarga hídrica</p> <p>Número de guarda-recursos en zonas críticas</p> | | x | x | x | x | MARN, municipalidad, sociedad civil y fuerzas vivas comunitarias |
| 2 | Desarrollar actividades que promuevan la eficiencia en el uso de los recursos: estufas mejoradas y plantaciones dendroenergéticas, entre otras | <p>Número de estufas mejoradas en las aldeas del municipio</p> <p>Área bajo plantaciones dendroenergéticas</p> | | | x | x | x | MARN, municipalidad, sociedad civil y fuerzas vivas comunitarias |
| 3 | Identificar, priorizar y valorar económicamente servicios ecosistémicos (servicio hídrico, captura y fijación de carbono y conservación de biodiversidad, entre otros) | Estudios de valoración económica de la oferta y demanda de servicios ambientales priorizados en el municipio | | | x | x | x | MARN, municipalidad, sociedad civil y fuerzas vivas comunitarias |
| 4 | Diseñar y articular esquemas de Pago por Servicios Ambientales (PSA) para los servicios priorizados | Número de esquemas de Pago por Servicios Ambientales (PSA) establecidos en el municipio | | | x | x | x | MARN, municipalidad, sociedad civil y fuerzas vivas comunitarias |
| 5 | Promover la elaboración, actualización e implementación de planes de manejo de cuencas y áreas protegidas | <p>Número de planes elaborados y actualizados</p> <p>Número de planes en proceso de implementación</p> | x | x | x | x | x | MARN, municipalidad, sociedad civil y fuerzas vivas comunitarias |

| Medidas de adaptación y gestión de recursos propuestas por componente* | | | | | | | | |
|--|--|--|------|---|---|---|---|---|
| N° | Descripción | Indicador(es) | Años | | | | | Responsables propuestos** |
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Componente organización, conocimiento y competitividad | | | | | | | | |
| 1 | Gestionar y fortalecer una plataforma o red municipal muy participativa para el manejo de los problemas ocasionados por el cambio climático | Plataforma o red municipal de acción climática creada o fortalecida | | x | x | x | x | MARN, MAGA, municipalidad, sociedad civil, productores y fuerzas vivas comunitarias |
| 2 | Identificar oportunidades de asociatividad entre los productores para conformar organizaciones de primer nivel y sostenibles que faciliten el acceso a recursos y el mercado | Número de organizaciones conformadas o fortalecidas | | x | x | x | x | MAGA, municipalidad, sociedad civil y productores |
| 3 | Fomentar el establecimiento y fortalecimiento de cadenas de valor sostenibles para los principales productos agrícolas y pecuarios del municipio | Número de cadenas de valor establecidas Número de cadenas de valor fortalecidas | | x | x | x | x | MARN, MAGA, municipalidad, sociedad civil, productores y fuerzas vivas comunitarias |
| 4 | Gestionar cursos o capacitaciones sobre adaptación al cambio climático y beneficios para la producción agropecuaria | Número de capacitaciones sobre adaptación al cambio climático y sus beneficios en el municipio | | x | x | x | x | MARN, MAGA, municipalidad, sociedad civil, productores y fuerzas vivas comunitarias |

Fuente: Elaboración propia con datos de los talleres comunitarios (2021)

* Las medidas expuestas son producto de los talleres participativos con líderes comunitarios y representantes de instituciones de la región del corredor seco de los departamentos de Baja Verapaz y El Progreso (MARN, MAGA y SESAN, entre otros). Por lo tanto, en su mayoría, estas son aplicables a sus municipios, ya que a nivel productivo, espacial y socioeconómico presentan problemas y características similares.

** Propuestos por los participantes de los talleres.

8

Conclusiones



Conclusiones

1. A nivel general, al comparar los cambios en los promedios de la temperatura media anual del período de 1971-2000 con el de 2001-2014 de Guatemala, se observa una tendencia de incremento de la temperatura. Al mismo tiempo, las proyecciones climáticas presentan consistentemente una reducción de la precipitación, tanto en la estación seca como en la húmeda. Sumado a esto, la variabilidad y los eventos climáticos extremos han tenido impactos negativos sobre las actividades agropecuarias, disponibilidad del agua y degradación del suelo. Esos fenómenos tienen impactos severos en la producción de la agricultura de secano y en la seguridad alimentaria de la población, siendo dichos impactos más críticos en áreas como el corredor seco, donde se pronostica una disminución de los acumulados de lluvia de hasta 50%.

Debido a esto y con el fin de enfrentar la situación, en Guatemala se ha diseñado un marco normativo y político sólido en materia de cambio climático, el cual promueve la implementación de diversas iniciativas para reducir el riesgo y la vulnerabilidad de sus sistemas socioecológicos. Sin embargo, es necesario fortalecer la gobernanza, desde el nivel nacional al local, en torno a las políticas y estrategias que promuevan la disminución del riesgo e implementación de opciones o medidas de adaptación al cambio climático, ya que es necesario que exista una conexión entre los tomadores de decisiones e implementadores.

Concretamente, es básico contar con una misma visión para implementar opciones o medidas de adaptación a nivel local, lo cual se puede lograr a través del desarrollo de Planes Locales de Adaptación al Cambio Climático (PLACC), en todos los municipios del país, los cuales deben gestionarse con base científica, pero de forma participativa, ser viables a nivel económico y financiero, establecer responsables directos y contar con un sólido sistema de monitoreo y evaluación.

2. Anteriormente se realizaban estudios de vulnerabilidad al cambio climático utilizando la metodología expuesta en el Cuarto Informe de Evaluación del IPCC (AR4). No obstante, en el presente estudio se usó la metodología expuesta en el Quinto Informe de Evaluación del IPCC (AR5), la cual es más actualizada y recomendable, de acuerdo con el IPCC, ya que se cataloga como un nuevo enfoque que determina el riesgo climático de un territorio como índice final de su situación frente a los efectos negativos que representan los cambios en los patrones del clima. Es necesario resaltar que esta nueva metodología de análisis de riesgo climático integra los componentes de peligro, exposición y vulnerabilidad, donde este último componente ahora está caracterizado por la sensibilidad y capacidad adaptativa.

Como se puede observar, los principales cambios estructurales son que esta metodología incluye el componente de peligro como un nuevo elemento y la vulnerabilidad ya no es el indicador final de un territorio determinado. Ahora es un componente adicional que contribuye a definir el riesgo climático. Además, el término de riesgo valora tanto la probabilidad de un suceso (concepto que es análogo al período de retorno de la amenaza) como la intensidad del suceso, que establece la magnitud de las consecuencias de este. Por lo tanto, el riesgo es clave al momento de evaluar los retos asociados con el cambio climático y también al definir una respuesta que permita estar preparado para ellos.

3. En relación con las etapas metodológicas utilizadas para desarrollar el presente análisis, es necesario mencionar que no se profundiza en cada una de ellas, ya que no es el propósito del documento. Pero sí se presentan los lineamientos mínimos clave para organizar y desarrollar este tipo de estudios con información primaria y secundaria a nivel local, regional y nacional.

Específicamente, las etapas que fueron necesarias para alcanzar los objetivos establecidos en el presente análisis fueron: a) Definición del alcance (conformación de un comité de apoyo o asesor, definición del área de alcance y caracterización de los medios de vida locales), b) Mapeo de actores, c) Información biofísica y socioeconómica, d) Análisis de riesgo climático y e) Recomendaciones para el Plan Local de Adaptación al Cambio Climático (PLACC).

Adicionalmente, es necesario establecer que el estudio se basó en un enfoque muy participativo, que incluyó información primaria de actores centrales, regionales y población local. Además, se utilizó técnicas estadísticas con información secundaria que en su conjunto permitieron desarrollar un modelamiento climático robusto, ya que la información de contexto que brindaron los actores involucrados ayudó a generar indicadores con mayor precisión, así como identificar y priorizar conjuntamente opciones de adaptación específicas contra los efectos negativos del cambio climático existentes en el territorio.

4. El mapeo de actores permitió identificar a todas las instituciones nacionales (con presencia en el área de interés), regionales y locales que están vinculadas con el tema de riesgo climático. No obstante, después de evaluar la posición, interés e influencia de los actores, fue posible determinar que la percepción local es que las instituciones que sobresalen con mayor importancia para el municipio, en relación con el

tema de cambio climático, son la UGAM/Municipalidad de San Agustín Acasaguastlán, el COCODE, el MARN, el Proyecto MARN-KFW y el MAGA, mientras que en segunda instancia se encuentran la SESAN, el INAB y el PMA. Por lo tanto, son los actores que deberían tenerse en cuenta al momento de desarrollar proyectos, planes y estrategias relacionadas con el tema de riesgo climático e implementación de opciones/medidas de adaptación en la región.

5. Existe una gran cantidad de variables socioeconómicas y biofísicas mencionadas en el estudio, pero debido a la naturaleza del enfoque de este análisis (agricultura, ganadería y seguridad alimentaria), es clave señalar que a nivel de uso del suelo de San Agustín Acasaguastlán destaca que 58% de su territorio está ocupado por vegetación arbustiva baja (guamil-matorral), seguido por bosques (19%), cultivo de café (8%), agricultura anual (6%), pastizales (4%) y otros (5%).

Al analizar los datos, se observa que más de la mitad del municipio se encuentra sin cobertura o con poca vegetación (guamiles o matorrales), sobre todo desde la zona central y se intensifica hacia el sur del territorio. En esencia, son terrenos que deben recuperarse para garantizar servicios ambientales. Por otra parte, un quinto del municipio corresponde a bosques, particularmente en la zona norte, ya que es parte de la Sierra de las Minas. En este caso, es necesario desarrollar o implementar herramientas estratégicas de conservación existentes en la actualidad (planes de manejo, ambientales y de desarrollo territorial, entre otros).

Entre tanto, en la zona centro-norte se observa mayor presencia de café y agricultura anual, porque es un área que posee mejores condiciones climáticas que el sur del municipio. Dichas áreas dedicadas al café deben analizarse para conocer si existen otros problemas, como enfermedades y plagas, además de identificar el tipo de sombra y cultivos de asocio en sistemas agroforestales con árboles maderables o frutales

para mejorar la productividad de los sistemas y favorecer la seguridad alimentaria, participación en mercados especiales y obtener mejores ingresos. En la parte con cultivos anuales deben promoverse buenas prácticas agrícolas, así como medidas de adaptación aplicadas a la agricultura.

6. Al estudiar las condiciones climáticas actuales (2021) del municipio de San Agustín Acasaguastlán, se observa que hacia el noreste del municipio existe mayor precipitación, situación que es contraria a la zona centro y sur. En concreto, el rango de precipitación se encuentra desde un mínimo de 641 mm hasta un máximo de 2416 mm y una media de 1398 mm. Por otra parte, la temperatura promedio anual es de 21,7 °C, con una máxima de 26,7 °C en el norte y centro del municipio, y una mínima que puede alcanzar los 10,4 °C.

Ahora bien, al revisar el inicio de la época de lluvias y su distribución, así como su variación mensual, es posible establecer que la precipitación expone un comportamiento bimodal. Básicamente, entre diciembre y marzo se observa una época seca marcada por muy pocas precipitaciones. En abril existen pequeños indicios de precipitación, pero es el mes de mayo el que marca el inicio de la época de lluvias, las cuales alcanzan su máximo histórico en junio con precipitaciones cercanas a los 250 mm/mes (con extremos que superan los 320 mm) en por lo menos 50% del territorio. Las lluvias disminuyen entre julio y agosto y repuntan en septiembre. Posteriormente, entre octubre y noviembre, la precipitación disminuye sosteniblemente hasta llegar a estar por debajo de los 25 mm/mes de precipitación mensual. En relación con el comportamiento de la temperatura media, se evidencia un incremento sostenible entre enero y abril. Además, los datos históricos muestran un descenso sostenible mes a mes a partir de mayo hasta diciembre.

7. El análisis del cambio de las condiciones en los patrones de precipitación y temperatura a futuro se realizó con base en los siguientes cuatro escenarios: un escenario RCP 2.6 para el año 2050 (promedio 2040-2069) y otro para el año 2080 (promedio 2070-2099) y un escenario RCP 8.5 para el año 2050 (promedio 2040-2069) y otro para el año 2080 (promedio 2070-2099). Al comparar el escenario base contra el RCP 2.6 hacia la mitad y final de siglo, se observan anomalías en la precipitación total anual, las cuales se encuentran desde -3,3 mm hasta -8,4 mm (al 2050 y 2080, respectivamente). Por otro lado, el escenario RCP 8.5 muestra anomalías promedio de -108,3 mm hacia mediados de siglo, mientras que para el 2080 estas podrían significar reducciones de hasta -229 mm con respecto al escenario base. Estos cambios serán muy drásticos en el territorio si no se aplican las medidas de adaptación en tiempo y forma.

En cuanto a la temperatura, todos los escenarios muestran incrementos en los valores de temperatura promedio con respecto a la línea base. Estas anomalías podrían ser del orden de 1,7 °C y 1,6 °C (RCP 2.6 al 2050 y 2080), hasta los 4,4 °C (RCP 8.5 al 2080). Este es otro ejemplo que evidencia que podrían existir lugares en los que la temperatura fácilmente pasará el umbral de 1,5 °C por encima del promedio histórico. Concretamente, la distribución de la temperatura promedio para el escenario base y los escenarios futuros en el municipio de San Agustín Acasaguastlán presenta una asimetría hacia la derecha (hacia los máximos), lo que demuestra que es necesario implementar medidas de adaptación que permitan a los sistemas socioecológicos ser más resilientes, sobre todo para el mediano y largo plazo.

8. En el componente de peligro se analizó el comportamiento actual de la precipitación (mensual y anual), así como la temperatura (promedio mensual y anual) en el municipio de San Agustín Acasaguastlán. A partir de estos factores se desarrollaron los indicadores de número de meses secos y evapotranspiración potencial. Con este último y la precipitación se desarrolló el cálculo de índice de aridez.

Finalmente, se consideraron la precipitación y la temperatura media, así como el índice de aridez, número de meses secos y evapotranspiración potencial, dentro de un modelo de superposición ponderada (weighted overlay) para construir un índice de peligro final e identificar las zonas que deben ser sujeto de seguimiento y acción en el marco del análisis de riesgo.

De esta forma, en el municipio de San Agustín Acasaguastlán se observa que –a excepción de la zona norte del territorio– el resto de este tendría como mínimo 6 meses secos. Mientras tanto, el índice de aridez es consecuente con el indicador de meses secos. Cabe resaltar que la zona noreste estaría considerada como húmeda, pero en el resto del municipio la aridez sería cada vez mayor.

Ahora bien, a nivel de los escenarios futuros de meses secos, es posible inferir que existirá un incremento general. Básicamente, en el escenario RCP 2.6 existirá un aumento considerable, ya que se alcanzarán los 8 meses secos como máximo en ambos periodos (2050 y 2080), mientras que en el escenario RCP 8.5 se podrían alcanzar los 9 meses secos durante un año en ambos horizontes de tiempo (2050 y 2080).

En concreto, los valores promedio del índice de peligro climático para el municipio de San Agustín Acasaguastlán muestran que para el RCP 2.6 –tanto para el periodo 2050 como para el 2080, así como el RCP 8.5 hacia mediados de

siglo- son muy similares (alrededor de 0.62) y se catalogaría como alto. Por otro lado, el escenario con el RCP 8.5 hacia finales de siglo sería de 0.58. En general, los valores son muy altos, lo que indica el alto peligro hacia fenómenos climáticos existentes en la zona, como la sequía extrema, especialmente en la zona centro y sur.

9. El componente de exposición se determinó identificando el principal problema por eventos climáticos de la zona, es decir, la amenaza de sequía, el cual se contrastó con la ubicación de las familias del municipio. Específicamente, se identificó que bajo las condiciones actuales aproximadamente 82,5% de los centros poblados estarían ubicados en zonas que se considerarían bajo amenaza de sequía muy alta y extremadamente alta. Ahora bien, conforme se avanza en los escenarios, se puede apreciar que los centros poblados que se encuentran localizados en zonas categorizadas con media-baja amenaza se mantienen en la misma categoría. No obstante, las zonas de amenaza alta comienzan a alcanzar a más centros poblados (en comparación con el escenario base, donde la categoría de amenaza era media). Con el RCP 8.5, la categoría de amenaza extremadamente alta de sequía alcanzaría a 16 centros poblados.
10. Como se estableció, la sensibilidad está determinada por aquellos factores que afectan directamente las consecuencias de peligro. La sensibilidad puede incluir atributos ecológicos o físicos de un sistema (e.g. tipo de tierra en campos agrícolas, capacidad de retención de agua para control de inundación, material de construcción de casas), así como atributos sociales, económicos y culturales (e.g. estructura etaria y estructura de ingresos).

En este caso, el trabajo se fundamentó en el desarrollo de modelos a través de EcoCrop, el cual construye un índice de adecuación con base en los requerimientos climáticos de cada especie de interés. Para eso, el modelo usa dos tipos de

rangos, los cuales están definidos por un par de parámetros de cada variable (temperatura y precipitación). El primer rango es el definido por la temperatura mínima y máxima, así como la precipitación mínima y máxima, en la que se puede encontrar la especie (rango absoluto). Es decir, más allá de esos límites, las condiciones no son adecuadas para el desarrollo del cultivo o la especie. El segundo se refiere a los rangos óptimos, tanto para temperatura como para precipitación, requeridos por la especie para que pueda alcanzar su mejor rendimiento.

Así, actores locales y expertos fueron consultados para seleccionar los sistemas productivos más importantes del municipio y que debían ser sujeto de análisis: frijol (*Phaseolus vulgaris*), maíz (*Zea mays*), café (*Coffea arabica*), cacao (*Theobroma cacao*), pino ocote (*Pinus oocarpa*), tomate (*Solanum lycopersicum*) y pastos para el ganado (*Brachiaria* spp. y *Paspalum* spp.).

De esta forma, con base en los requerimientos de cada especie, se crearon los modelos de nicho climático con un rango de cero (0) a cien (100), donde 100 indica que la zona ofrece condiciones climáticas favorables para el desarrollo de la especie. El análisis base estableció que el territorio de San Agustín Acasaguastlán muestra condiciones climáticas favorables para el desarrollo del maíz, tomate y pastos. Sin embargo, la climatología del municipio es un factor limitante para el desarrollo del café, el cacao y especialmente, el frijol.

Ahora bien, las condiciones climáticas futuras en el municipio de San Agustín Acasaguastlán no afectarán el índice de adecuación para el maíz. Por el contrario, se pueden apreciar zonas en las que se espera que las nuevas condiciones de precipitación y temperatura incrementen las áreas en las cuales dicha especie podría desarrollarse. Para el caso del frijol, se espera que algunas zonas pierdan idoneidad, en concreto con el RCP 8.5. Con excepción del RCP 8.5 hacia el año 2080,

el maíz y la *Brachiaria* spp. son las más estables entre las 9 especies. Esto daría señales sobre cuáles son los requerimientos de especies en el marco de un programa de mejoramiento de cultivos frente al cambio climático. Además, las condiciones climáticas futuras en el municipio de San Agustín Acasaguastlán ofrecerían condiciones favorables para el desarrollo del pino ocote.

11. La capacidad adaptativa se refiere a la habilidad de sociedades y comunidades para prepararse y responder a impactos climáticos presentes y futuros. En el presente estudio, la capacidad adaptativa se estimó usando el enfoque de medios de vida sostenibles (DFID 2001), mediante el cual se identifica un portafolio de activos o recursos físicos, humanos, sociales, financieros y naturales con los que cuentan los hogares (o las comunidades), los cuales interactúan entre sí para hacer frente a choques externos (en este caso, el cambio climático). De esta forma, se definieron y estandarizaron 29 indicadores sobre los diferentes capitales de los medios de vida. Básicamente, se evaluó cómo los activos o capitales pueden ayudar a la comunidad o los hogares a sobreponerse a choques externos (para este caso, eventos vinculados con el cambio climático). Así, el valor estimado de la capacidad adaptativa para el municipio de San Agustín Acasaguastlán fue de 0.46.
12. Considerando que la vulnerabilidad es una función de la sensibilidad y la capacidad adaptativa, fue posible estimar el valor de 0.32 para el escenario base, mientras que en los escenarios RCP 2.6 durante el horizonte 2050 y 2080 la vulnerabilidad sería de 0.22. No obstante, en el escenario RCP 8.5 al 2050 su valor aumentaría considerablemente (0.31) y aún más en el escenario RCP 8.5 al 2080 (0.36). Estas variaciones sobre todo se deben a los cambios en el índice de sensibilidad.

- 13.** El índice de riesgo climático para el municipio de San Agustín Acasaguastlán se comporta dentro de los límites medios. Para tal caso, el valor actual se encuentra en 0.31, el cual se mantiene en los escenarios RCP 2.6 durante los horizontes 2050 y 2080 (0.31). Sin embargo, en el escenario RCP 8.5 al 2050 y 2080 su valor se incrementaría a 0.37. En este sentido, es necesario resaltar que la zona central del municipio y sus sistemas socioecológicos son los que presentan mayor riesgo climático. Por lo tanto, las estrategias de adaptación y conservación deben enfocarse de forma más puntual hacia dicha zona.

Los datos expuestos son consistentes con la literatura sobre vulnerabilidad en el corredor seco y otros municipios afectados por la sequía en Guatemala. Cabe aclarar que dichos estudios se enfocaban en la metodología del AR4 o sea, utilizaban solamente el marco de vulnerabilidad y no el de riesgo climático (AR5), como en el presente estudio.

- 14.** En relación con las recomendaciones de opciones o medidas de adaptación para la gestión de un nuevo o actualizado Plan Local de Adaptación al Cambio Climático (PLACC) en el municipio, este será un documento de gestión local que facilitará la toma de decisiones, el monitoreo y la evaluación de las opciones propuestas. También es necesario recalcar que el PLACC debe estar alineado con el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC). Por lo tanto, las opciones o medidas de adaptación deben contrastarse con las establecidas en el PNACC para el área de interés.

Además, previo a su análisis de efectividad, eficiencia y viabilidad, es recomendable implementar casos piloto que permitan reconfirmar la pertinencia de estas en la zona, determinar ciertos parámetros cuantificables (inversión, ingresos e indicadores financieros, entre otros), así como preseleccionar indicadores de gestión y desempeño para establecer un adecuado sistema de evaluación y monitoreo.

Las opciones o medidas preseleccionadas deben tener su costo y beneficio esperado, incluyendo –de ser necesario– costos sociales y ambientales, además de otros indicadores de factibilidad y adopción que contribuyan al éxito del PLACC. Con la información generada se recomienda que se desarrollen procesos de consulta institucional y comunitaria para la priorización final de las opciones o medidas de adaptación y promover la integración de estas al proceso de planificación local (planes operativos comunitarios, municipales, institucionales y otros). Adicionalmente, dependiendo de los mecanismos locales, se puede establecer un sistema de seguimiento para conocer la dinámica de la reducción de vulnerabilidad en la comunidad y el municipio con base en los indicadores seleccionados.

Ahora bien, en esta fase de identificación, en los diversos talleres, se observó que las preferencias de los participantes es el uso eficiente del agua proveniente de la lluvia (cosecha de agua de lluvia) y las buenas prácticas agrícolas que favorecen la eficiencia en general del manejo de recursos naturales. No obstante, las medidas que son consideradas clave para los sistemas productivos, porque reducirán el riesgo y la vulnerabilidad mediante el fortalecimiento de la capacidad adaptativa, son los reservorios de agua para sistemas de micro-riego, buenas prácticas agrícolas, sistemas de almacenamiento postcosecha, sistemas agroforestales y la capacitación con giras demostrativas para promover el conocimiento y las tecnologías.

Como se mencionó, es importante plantear estas medidas de manera integral y que se inserten mediante servicios de extensión o asistencia técnica que generen impactos significativos en el sistema productivo agrícola y pecuario. Concretamente, en el documento se exponen las principales opciones o medidas identificadas por componente de intervención.

9

Referencias



Referencias

- Arango, C. 2019. Análisis de superposición entre usos del suelo y tres áreas de conservación natural del Oriente antioqueño. Disponible en <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/13603>.
- Axelsson, K; Nilsson, A. 2013. Arctic Resilience Interim Report 2013. Stockholm: Stockholm Environment Institute and Stockholm Resilience Centre. Disponible en <https://www.sei.org/publications/arctic-resilience-interim-report-2013/>.
- BID. 2019. Metodología de Evaluación del Riesgo de Desastres y Cambio Climático para Proyectos del BID: Documento Técnico de Referencia Para Equipos a cargo de Proyectos del BID | Publications. Disponible en <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Metodologia-de-evaluacion-del-riesgo-de-desastres-y-cambio-clim%C3%A1tico-para-proyectos-del-BID-Documento-tecnico-de-referencia-para-equipos-a-cargo-de-proyectos-del-BID.pdf>.
- Cardona, OD; van Aalst, M; Birkmann, J; Fordham, M; McGregor, G; Pérez, R; Pulwarty, R. et al. 2012. Determinants of Risk: Exposure and Vulnerability. In Field, C; Barros, V. Stocker, T; Qin Dahe (eds). Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation, 65-108. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139177245.005>.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 2021. Encuesta aplicada a nivel de hogar en el marco del proyecto Análisis de Vulnerabilidad al Cambio Climático en el Corredor Seco de Guatemala.
- Cazalac (Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y El Caribe); Programa Hidrológico Internacional/Organización de las Naciones Unidas para la Educación PHI/Unesco la Ciencia y la Cultura. 2006. Guía Metodológica para la Elaboración del Mapa de Zonas Áridas, Semiáridas y Subhúmedas Secas de América Latina y el Caribe. Disponible en chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=http%3A%2F%2Fbibliotecadigital.ciren.cl%2Fbitstream%2Fhandle%2F123456789%2F14588%2FGuia_metodologica_Mapa_ZA_ALC.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy&clen=744470.
- CMNUCC. 1992. Resoluciones y artículos de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. 1992. 50. Disponible en https://unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/pdf/convsp.pdf.

- Consejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Rabinal; Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. Dirección de Planificación Territorial SEGEPLAN/DPT. 2011. Plan de Desarrollo Municipal Rabinal. SEGEPLAN.
- DFID (Department for International Development). 2001. Sustainable Livelihoods Guidance Sheets. Disponible en <https://www.livelihoodscentre.org/documents/114097690/114438878/Sustainable+livelihoods+guidance+sheets.pdf/594e5ea6-99a9-2a4e-f288-cbb4ae4bea8b?t=1569512091877>.
- Droogers, P; Allen, R. 2002. Estimating Reference Evapotranspiration under Inaccurate Data Conditions. *Irrigation and Drainage Systems* 16(1):33-45. <https://doi.org/10.1023/A:1015508322413>.
- Esri. 2016. Cómo Funciona Superposición Ponderada. 2016. Disponible en <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-weighted-overlay-works.htm>.
- Field, C; Barros, V; Stocker, T; Qin Dah (eds). 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139177245>.
- GIZ; EURAC. 2017. Risk Supplement to the Vulnerability Sourcebook. Guidance on How to Apply the Vulnerability Sourcebook's Approach with the New IPCC AR5 Concept of Climate Risk. Disponible en chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.adaptationcommunity.net%2Fwp-content%2Fuploads%2F2017%2F10%2FGIZ-2017_Risk-Supplement-to-the-Vulnerability-Sourcebook.pdf&clen=5336845&chunk=true.
- Hackett, C; Vanclay, JK. 1998. Mobilizing Expert Knowledge of Tree Growth with the PLANTGRO and INFER Systems. *Ecological Modelling* 106(2-3):233-46. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(97\)00185-3](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(97)00185-3).
- Hagenlocher, M; Schneiderbauer, S; Sebesvari, Z; Bertram, M; Renner, K; Renaud, F; Wiley, H; Zebisch, M. 2018. Climate Risk Assessment for Ecosystem-Based Adaptation – A Guidebook for Planners and Practitioners. GIZ, EURAC & UNU-EHS. Disponible en <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.adaptationcommunity.net%2Fwp-content%2Fuploads%2F2018%2F06%2Fgiz-eurac-unu-2018-en-guidebook-climate-risk-asesment-eba.pdf&clen=9475865&chunk=true>.
- Hannah, L; Donatti, C; Harvey, C; Alfaro, E; Rodríguez, DA; Bouroncle, C; Castellanos, E. et al. 2017. Regional Modeling of Climate Change Impacts on Smallholder Agriculture and Ecosystems in Central America. *Climatic Change* 141(1):29-45. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1867-y>.
- Hassan; Hassan; Dregne, H. 1997. Natural Habitats and Ecosystems Management in Drylands: An Overview. 51. Environmentally Sustainable Development. The World Bank. Disponible en <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.606.9207&rep=rep1&type=pdf>.

- Hijmans, R; Cameron, S; Parra, J; Jones, P; Jarvis, A. 2005. Very High Resolution Interpolated Climate Surfaces for Global Land Areas. *International Journal of Climatology* 25(15):1965-78. <https://doi.org/10.1002/joc.1276>.
- Hijmans, R; Guarino, L; Bussink, C; Mathur, P; Cruz, M; Barrantes, I; Rojas, E. 2004. DIVA-GIS. Versión 4. Sistema de Información Geográfica para el Análisis de Datos de Distribución de Especies. Manual. Disponible en chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=http%3A%2F%2Fdata.diva-gis.org%2Fdocs%2FDIVA-GIS4_manual_Esp.pdf&clen=1284987&chunk=true.
- Holdridge, L.R. 1959. Simple Method for Determining Potential Evapotranspiration from Temperature Data. *130(3375):572-572*.
- Holdridge, L.R. 1967. Life Zone Ecology. Tropical Science Center.
- INE (Instituto Nacional de Estadística de Guatemala). 2018. XII Censo Nacional de Población y VII de Vivienda - Portal de Resultados del Censo 2018. Disponible en <https://www.censopoblacion.gt/>.
- IPCC. 2014. Fifth Assessment Report – IPCC. Disponible en <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar5/>.
- Jovanovic, T; Booth, T. 2002. Improved Species Climatic Profiles. RIRDC 02/095. RIRDC - Rural Industries Research and Development Corporation. Disponible en <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S096098229770976X>.
- Kelly, P; Adger, W. 2000. Theory and Practice in Assessing Vulnerability to Climate Change and Facilitating Adaptation. *Climatic Change* 47(4):325-52. <https://doi.org/10.1023/A:1005627828199>.
- Lugo, AE; Brown, SL; Dodson, R; Smith, TS; Shugart, HH. 1999. The Holdridge Life Zones of the Conterminous United States in Relation to Ecosystem Mapping. *Journal of Biogeography* 26(5):1025-38. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.1999.00329.x>.
- MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación). 2002. Estimación de Amenazas Inducidas por Fenómenos Hidrometeorológicos en la República de Guatemala. Disponible en <chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=http%3A%2F%2Fdesastres.medicina.usac.edu.gt%2Fdocumentos%2Fdocgt%2Fpdf%2Fspa%2Fdoc0069%2Fdoc0069.pdf&clen=7505817&chunk=true>.
- Marín-Ferrer, M; Vernaccini, L; Poljansek, K. 2017. INFORM Index for Risk Management. Concept and Methodology Version 2017. Disponible en chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fpublications.europa.eu%2Fresource%2Fcellar%2Fb1ef756c-5fbc-11e7-954d-01aa75ed71a1.0001.02%2FDOC_1.
- Moss, R; Edmonds, JA; Hibbard, KA; Manning, M; Rose, S; van Vuuren, D; Carter, T. et al. 2010. The next Generation of Scenarios for Climate Change Research and Assessment. *Nature* 463(7282):747-56. <https://doi.org/10.1038/nature08823>.

- Nakićenović, S.; Swart, R. 2000. Special Report on Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, New York: Cambridge University Press.
- O'Brien, K.; Eriksen, S.; Nygaard, L.; Schjolden, A. 2007. Why Different Interpretations of Vulnerability Matter in Climate Change Discourses. *Climate Policy* 7(1):73-88. <https://doi.org/10.1080/14693062.2007.9685639>.
- Pons, D.; Castellanos, E.; Conde, D.; Brincker, J.; Incer, D.; López, A. 2018. Escenarios de Aridez para Guatemala para los Años 2030, 2050 y 2070 Utilizando Modelos de Cambio Climático. *Revista Yu'am* 2(4):4-16.
- Rainforest Alliance. 2021. Fortalecimiento de los procesos nacionales de planificación para la adaptación (SNAPP).
- Ramírez-Villegas, J.; Jarvis, A.; Läderach, P. 2013. Empirical Approaches for Assessing Impacts of Climate Change on Agriculture: The EcoCrop Model and a Case Study with Grain Sorghum. *Agricultural and Forest Meteorology* 170 (March):67-78. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.09.005>.
- SEGEPLAN/IDEG; Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia. Dirección de Planificación Territorial - Infraestructura de Datos Espaciales de Guatemala. 2018. Corredor Seco a Nivel Municipal. Disponible en <http://ideg.segeplan.gob.gt/geoportal/>.
- UNEP (United Nations Environment Programme). 1997. World Atlas of Desertification: Second Edition. Disponible en <https://wedocs.unep.org/xmlui/handle/20.500.11822/30300>.
- WorldClim 1.4. 2021. Disponible en <https://www.worldclim.org/data/v1.4/worldclim14.html>.



CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) es un centro regional dedicado a la investigación y la enseñanza de posgrado en agricultura, manejo, conservación y uso sostenible de los recursos naturales. Sus miembros son Belice, Bolivia, Colombia, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, República Dominicana, Venezuela y el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).



Tel. + (506) 2558-2000



comunica@catie.ac.cr



Sede Central, CATIE
Cartago, Turrialba, 30501
Costa Rica

ISBN: 978-9977-57-781-4



9 789977 577814