

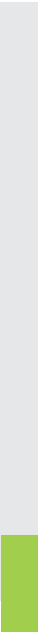
ANÁLISIS DE RIESGO CLIMÁTICO

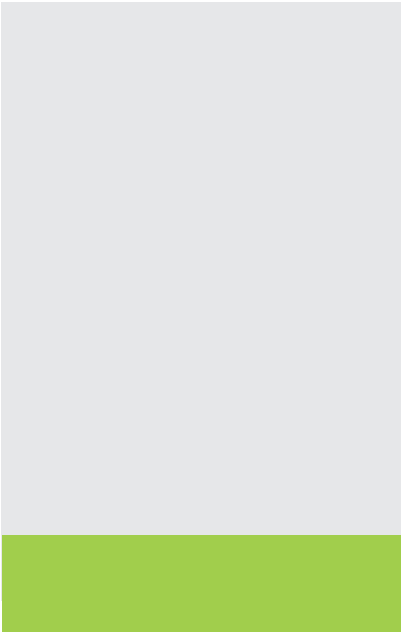
y recomendaciones para desarrollar un Plan Local de Adaptación al Cambio Climático (PLACC)

Aplicación al sector agropecuario y de seguridad alimentaria

Municipio de Rabinal, departamento de Baja Verapaz, 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 Rabinal, departamento de Baja Verapaz,
Guatemala



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 Análisis de riesgo climático y recomendaciones para desarrollar un Plan Local de Adaptación al Cambio Climático (PLACC). *Municipio de Rabinal, departamento de Baja Verapaz, Guatemala/ Enrique Alvarado Írias...* [et al.]
– 1ª ed. – Turrialba, Costa Rica : CATIE, 2022.
192 p. : il. – (Serie técnica. Informe técnico/ CATIE ; no. 439)

ISBN 978-9977-57-774-6

1. Accidentes atmosféricos 2. Adaptación al cambio climático 3. Gobernanza
4. Mitigación al cambio climático I. Alvarado Írias, Enrique II. Leguía Hidalgo, Efraín III. Lanza, Gracia IV. Cabrera Cruz, Rudy V. CATIE
VI. Título VII. Serie.

Cita sugerida:

Alvarado Írias, E.; Leguía Hidalgo, E.; Lanza, G.; Cabrera Cruz, R. 2022. Análisis de riesgo climático y recomendaciones para desarrollar un Plan Local de Adaptación al Cambio Climático (PLACC). Municipio de Rabinal, departamento de Baja Verapaz, Guatemala. (en línea). Turrialba, Costa Rica, CATIE. 192 p. (Serie técnica. Informe técnico / CATIE, no. 439). Disponible en: <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/11817>

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 Rabinal, departamento de Baja Verapaz, 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”, la cual fue financiada por el Climate Technology Centre and Network (CTCN) e implementada por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), 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, PhD

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 Agrícola y 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, PhD

Enrique Alvarado, PhD

Contenidos:

Acrónimos y Siglas	11
1. Introducción	12
1.1 Antecedentes.....	14
1.2 Objetivos	16
1.2.1 Objetivo general.....	16
1.2.2 Objetivos específicos.....	16
2. Marco conceptual clave.....	17
3. Área de intervención.....	30
4. Resumen metodológico.....	37
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
4.5.1 Diferencia entre las metodologías del AR4 y AR5.....	48
4.5.2 Metodología del AR5.....	51
4.6 Recomendaciones para el PLACC.....	68
5. Mapeo de actores.....	72
6. Análisis de riesgo climático.....	78
6.1 Condiciones climáticas actuales del municipio de Rabinal	79
6.2 Condiciones climáticas futuras del municipio de Rabinal.....	84
6.3 Resumen de la cadena de impactos.....	88
6.4 Análisis del peligro	90
6.4.1 Evapotranspiración, índice de meses secos e índice de aridez	90
6.4.2 Estimación del índice de peligro.....	99
6.5 Análisis de la exposición.....	108
6.6 Análisis de la vulnerabilidad	116
6.6.1 Análisis de la sensibilidad.....	116
6.6.2 Análisis de la capacidad adaptativa.....	137
6.7 Índice de riesgo climático	148
7. Recomendaciones del plan local de adaptación al cambio climático (PLACC).....	154
7.1 Generalidades.....	155
7.2 Gestión de la información.....	157
7.3 Medidas de adaptación propuestas por los actores de Rabinal	163
8. Conclusiones y recomendaciones	174
9. Referencias.....	187

Lista de cuadros

Cuadro 1.	Tipo de caminos en el municipio de Rabinal.....	34
Cuadro 2.	Principales actores en el municipio de Rabinal.....	75
Cuadro 3.	Matriz para datos futuros.....	84
Cuadro 4.	Estadísticas de la precipitación actual y futura para el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala.....	86
Cuadro 5.	Clasificación del índice de aridez.....	93
Cuadro 6.	Cambios en meses secos (situación actual y futura) para el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala.....	97
Cuadro 7.	Variables de interés usadas para construir el índice de peligro para el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala.....	99
Cuadro 8.	Índice de peligro promedio en el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala.....	107
Cuadro 9.	Cantidad de centros poblados en el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala, según categoría de amenaza de sequía.....	110
Cuadro 10.	Parámetros demandados por el modelo mecanístico usado para el análisis.....	118
Cuadro 11.	Parámetros climáticos y requerimientos de 9 especies.....	123
Cuadro 12.	Cambios en la adecuación de 9 especies (climatología futura - climatología actual).....	128
Cuadro 13.	Cálculo del índice de sensibilidad con base en el promedio de adecuación, según escenario para el territorio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala.....	135
Cuadro 14.	Indicadores para medir los cinco capitales de medios de vida sostenibles.....	142
Cuadro 15.	Descriptivos de los cinco capitales de medios de vida sostenibles en el municipio de Rabinal, departamento de Baja Verapaz, Guatemala.....	146
Cuadro 16.	Cálculo del componente de vulnerabilidad, según escenario para Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala.....	147
Cuadro 17.	Resumen de las condiciones de riesgo climático para Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala.....	148
Cuadro 18.	Comunidades de los talleres sobre adaptación en el municipio de Rabinal.....	159
Cuadro 19.	Medidas de adaptación priorizadas por las comunidades del municipio de Rabinal.....	164

Lista de Figuras

Figura 1.	Ubicación del municipio de Rabinal, departamento de Baja Verapaz, dentro del corredor seco de Guatemala	32
Figura 2.	Pirámide poblacional del municipio de Rabinal	33
Figura 3.	Bosques y usos de la tierra del municipio de Rabinal al 2012	35
Figura 4.	Distribución de usos de la tierra en el municipio de Rabinal 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 Rabinal, Baja Verapaz.....	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 Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala, según climatología 1960-1990	80
Figura 17.	Mapa de distribución espacial de precipitación y temperatura por meses en el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala, según climatología 1960-1990.	81
Figura 18.	Variabilidad mensual de la precipitación en Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala, según climatología 1960-1990	82
Figura 19.	Variabilidad mensual de la temperatura promedio en Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala, según climatología 1960-1990	83
Figura 20.	Cambios proyectados en las precipitaciones totales y la temperatura promedio en el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala, según RCP y horizonte temporal	85
Figura 21.	Comparación en la distribución de la precipitación total de la línea base y los escenarios futuros para Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala.....	87

Figura 22.	Comparación en la distribución de la temperatura promedio de la línea base y los escenarios futuros.....	88
Figura 23.	Cadena de impactos del análisis de riesgo climático.....	90
Figura 24.	Número de meses secos, índice de aridez y evapotranspiración potencial en el municipio del Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala, según climatología 1960-1990	95
Figura 25.	Número de meses secos según escenarios futuros para Rabinal Baja Verapaz, Guatemala.....	96
Figura 26.Comparación en la distribución de meses secos entre la línea base y los escenarios futuros para Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala.....	97
Figura 27.	Cambios en el índice de aridez, entre la línea base y los escenarios futuros para Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala.....	98
Figura 28.	Índice de peligro climático en el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala, según climatología actual (1960-1990)	102
Figura 29.	Índice de peligro climático en el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala (Escenario RCP 2.6, periodo 2050).....	103
Figura 30.	Índice de peligro climático en el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala (Escenario RCP 2.6, periodo 2080)	104
Figura 31.	Índice de peligro climático en el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala (Escenario RCP 8.5, periodo 2050).....	105
Figura 32.	Índice de peligro climático en el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala (Escenario RCP 8.5, periodo 2080)	106
Figura 33.	Distribución del resultado de la superposición ponderada para el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala	108
Figura 34.	Amenaza de sequía en el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala (climatología actual)	111
Figura 35.	Amenaza de sequía en el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala (Escenario RCP 2.6, periodo 2050).....	112
Figura 36.Amenaza de sequía en el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala (Escenario RCP 2.6, periodo 2080).	113
Figura 37.	Amenaza de sequía en el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala (Escenario RCP 8.5, periodo 2050).....	114
Figura 38.	Amenaza de sequía en el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala (Escenario RCP 8.5, periodo 2080)	115
Figura 39.	Representación en dos (A) y tres dimensiones (B) del modelo mecanístico usado en este análisis	117
Figura 40.	Adaptación de la ley de mínimo de Liebig al contexto de adecuación de espacial.....	120
Figura 41.	Adecuación climática de 9 especies en el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala (climatología actual)	124

Figura 42.	Idoneidad climática para 9 especies en el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala (climatología actual)	125
Figura 43.	Índice de sensibilidad según climatología actual, con base en la adecuación de 9 especies a las condiciones climáticas del municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala	127
Figura 44.	Cambios en la idoneidad climática del frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>) y el maíz (<i>Zea mays</i>) en el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala (climatología actual)	130
Figura 45.	Cambios en la idoneidad climática del café (<i>Coffea arabica</i>) y el cacao (<i>Theobroma cacao</i>) en el municipio de Rabinal (climatología actual).....	131
Figura 46.	Cambios en la idoneidad climática de <i>Brachiaria</i> y <i>Paspalum</i> en el municipio de Rabinal (climatología actual).....	132
Figura 47.C	ambios en la idoneidad climática del pino (<i>Pinus spp.</i>) y el pino ocote (<i>Pinus oocarpa</i>) en el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala (climatología actual)	133
Figura 48.	Cambios en la idoneidad climática del tomate (<i>Lycopersicum esculentum</i>) en el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala (climatología actual)	134
Figura 49.	Índice de sensibilidad según climatología futura, con base en la adecuación de 9 especies a las condiciones climáticas del municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala	137
Figura 50.	Distribución de personas encuestadas por tipo de género	138
Figura 51.	Distribución de edad de las mujeres y hombres por comunidad del municipio de Rabinal	139
Figura 52.	Nivel educativo del total de entrevistados en el municipio de Rabinal	139
Figura 53.	Nivel educativo por género en las aldeas del municipio de Rabinal.....	141
Figura 54.	Capacidad adaptativa del municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala, según el marco de conceptual de medios de vida sostenibles	145
Figura 55.	Mapa de riesgo climático para el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala, según climatología actual (1960-1990).....	149
Figura 56.	Mapa de riesgo climático para el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala (Escenario RCP 2.6 2050).....	148
Figura 57.	Mapa de riesgo climático para el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala (Escenario RCP 2.6 2080).....	151
Figura 58.	Mapa de riesgo climático para el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala (Escenario RCP 8.5 2050).....	152
Figura 59.	Mapa de riesgo climático para el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala (Escenario RCP 8.5 2080).....	153

ACRÓNIMOS Y SIGLAS ¹

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
LAC	América Latina y el Caribe (LAC, por sus siglas en inglés)
MAGA	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
NDC	Contribución Nacionalmente Determinada (NDC, por sus siglas en inglés)
PHI	Programa Hidrológico Internacional
PLACC	Plan Local de Adaptación al Cambio Climático
RCPs	Caminos Representativos de Concentración (RCPs, por sus siglas en inglés) Representative Concentration Pathway (RCP)
UEASS	Unidad de Economía, Ambiente y Agronegocios Sostenibles
UNEP	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
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. Editorial Planeta, S.A. Barcelona.



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 Rabinal, departamento de Baja Verapaz, 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, por sus siglas en inglés) 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 Rabinal, 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 en 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 utilizada para el análisis se basó en el Quinto Informe de Evaluación del IPCC: Cambio climático (AR5), por lo cual el análisis 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 Rabinal.

De esta manera, el documento se encuentra integrado por nueve secciones principales. La primera expone la introducción, con los principales antecedentes y objetivos del estudio. La segunda 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 expone el resumen metodológico utilizado para realizar el estudio. Concretamente, se exponen 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 presenta 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 presenta 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 desarrollan las principales conclusiones y recomendaciones del estudio y la sección bibliográfica 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 estación seca como en la húmeda.

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 socio-ecológicos.

Asimismo, durante el año 2020 el Gobierno de Guatemala se encontraba en el proceso de actualización de su Contribución Nacionalmente Determinada (NDC, por sus siglas en inglés), 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/o 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 Rabinal, departamento de Baja Verapaz, 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 en 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 Rabinal, departamento de Baja Verapaz, 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 Rabinal, departamento de Baja Verapaz, 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 para promover y continuar con un Plan Local de Adaptación al Cambio Climático (PLACC).



2

Marco Conceptual



2

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

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).



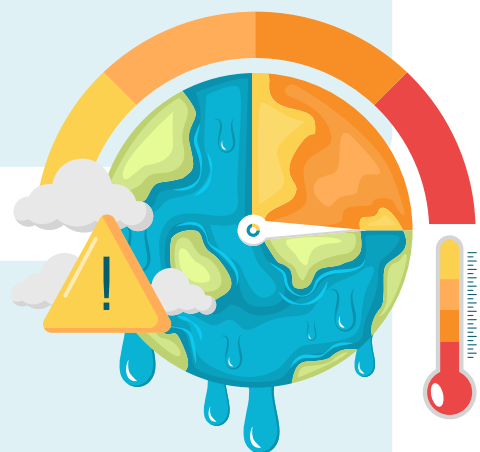
Amenaza natural

En este contexto 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, se refiere 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

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

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 de la vulnerabilidad.

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

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

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).

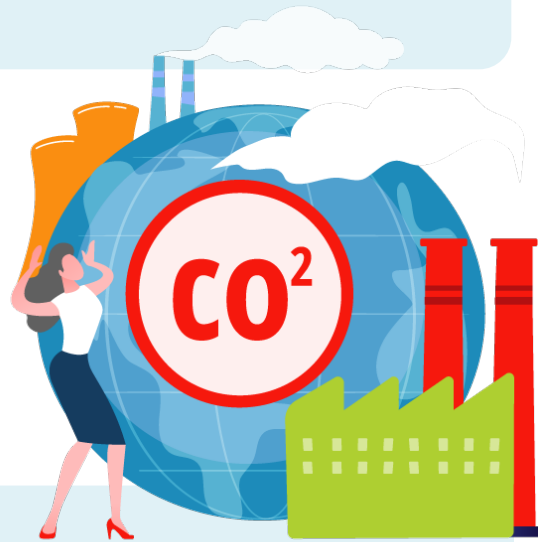


Exposición

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

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).

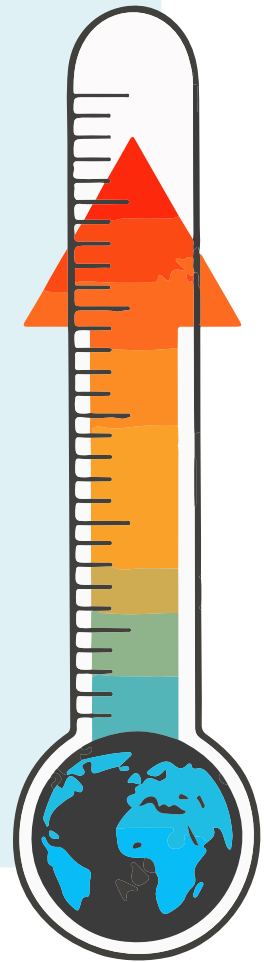


Mitigación del cambio climático

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

Modelo climático

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 atmósfera-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

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

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

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

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

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

Grado en que un sistema o especie resultan afectados, 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, por sus siglas en inglés)

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; pero 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)², 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 de 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

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

Zona geográfica caracterizada por gran vulnerabilidad y exposición al cambio climático (IPCC 2014).



3

Área de
Intervención



3

Área de Intervención:

El área de estudio corresponde al municipio de Rabinal, el cual se encuentra ubicado en el departamento de Baja Verapaz, en el área central de la República de Guatemala. Rabinal limita al norte con el departamento de Quiché, al este con el municipio de San Miguel Chicaj, al sur con los municipios de Santa Cruz El Chol, Granados y Salamá, y al oeste con el municipio de Cubulco, todos del departamento de Baja Verapaz.

La extensión territorial del municipio de Rabinal es de 504 km². El área urbana se encuentra a una altura de 977 msnm, aunque su variación altitudinal va de 800 a 2100 msnm, por lo que en general su clima va de templado frío a cálido. Se ubica en una zona nor-central del país dentro de la zona denominada “corredor seco”, la cual presenta serios problemas de seguridad alimentaria por la pérdida de cultivos, debido a situaciones críticas como el déficit hídrico (Consejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Rabinal and SEGEPLAN/DPT 2011).

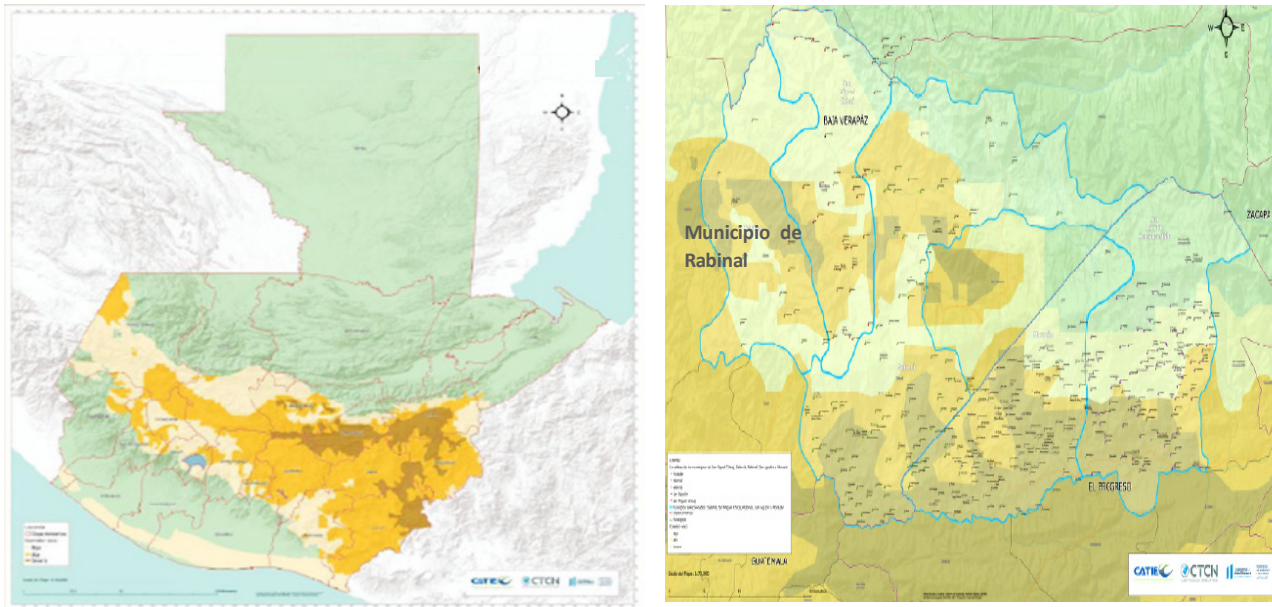


Figura 1. Ubicación del municipio de Rabinal, departamento de Baja Verapaz, dentro del corredor seco de Guatemala

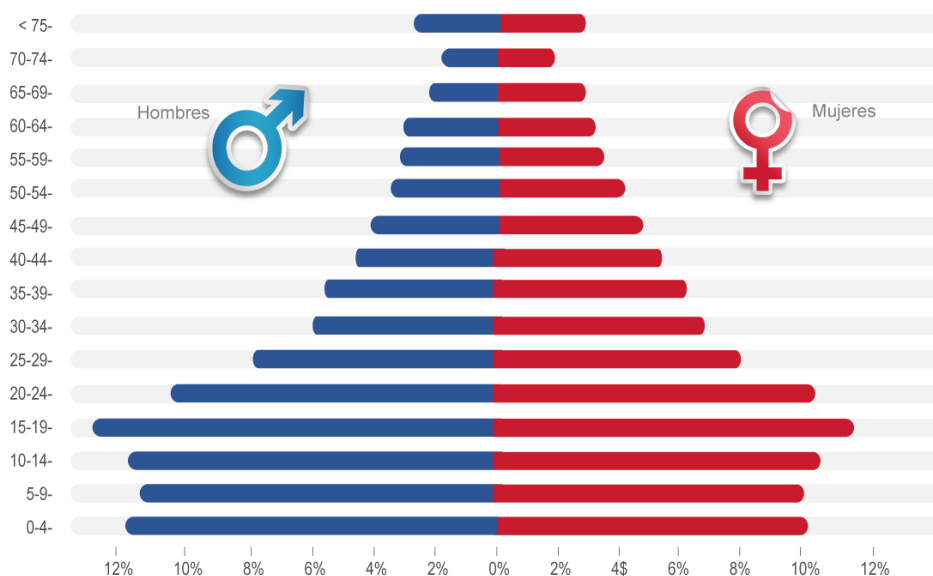
Fuente: Elaboración propia (2021)

A nivel general, Rabinal se encuentra dividida en una ciudad o zona urbana, 14 aldeas y un total de 47 caseríos. Según SEGEPLAN/IDEG (2018), las aldeas y caseríos dentro del corredor seco del municipio de Rabinal son las siguientes: Chitucán, Xococ, Nimacabaj, Cuateguá, Concul, Pahoj, San Rafael, Quebrada Honda, Pichec, Palimonix, Pachalum, Chirrum, Raxtun, Río Negro, San Luis, Vegas de Santo Domingo y Xeabaj.

La economía del municipio se basa en el cultivo de frijol, maíz, cítricos, caña de azúcar y café. Además, cuenta con crianza de animales, producción artesanal con tejidos, cerámica, máscaras, y elaboración de muebles.

Según el censo nacional de población y vivienda (INE 2018), la población total del municipio de Rabinal es de 40 797 habitantes, los cuales se encuentran agrupados en 9462 hogares. Además, del total de la población, 52% son mujeres. 62,8% de la población vive en zonas rurales. Por otra parte, cerca de 30% de los hogares tiene una mujer como jefa de hogar y la densidad poblacional del municipio es de 80,9/km².

Pirámide Poblacional de Rabinal, 2018



Fuente: INE. censo Nacional XII de Población y vivienda (2017-2018)

Figura 2. Ubicación del municipio de Rabinal, departamento de Baja Verapaz, dentro del corredor seco de Guatemala

Fuente: INE (2018)

La población más numerosa es la perteneciente al grupo maya (81,8%), seguida de los ladinos (17,8%). En cuanto a las viviendas, el municipio de Rabinal cuenta con 12 033 viviendas particulares ocupadas por 4,31 personas en promedio. Los caminos se clasifican en pavimentados (17,1 km), no pavimentados (419,1 km) y no clasificados (23,8 km) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tipo de caminos en el municipio de Rabinal

Descripción	Distancia (km)
No clasificados	23,75
No Pavimentado	419,14
Pavimentado	17,06
Total	459,95

Fuente: Consejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Rabinal and SEGEPLAN/DPT (2011)

BOSQUES Y USOS DE LA TIERRA RABINAL (2012)

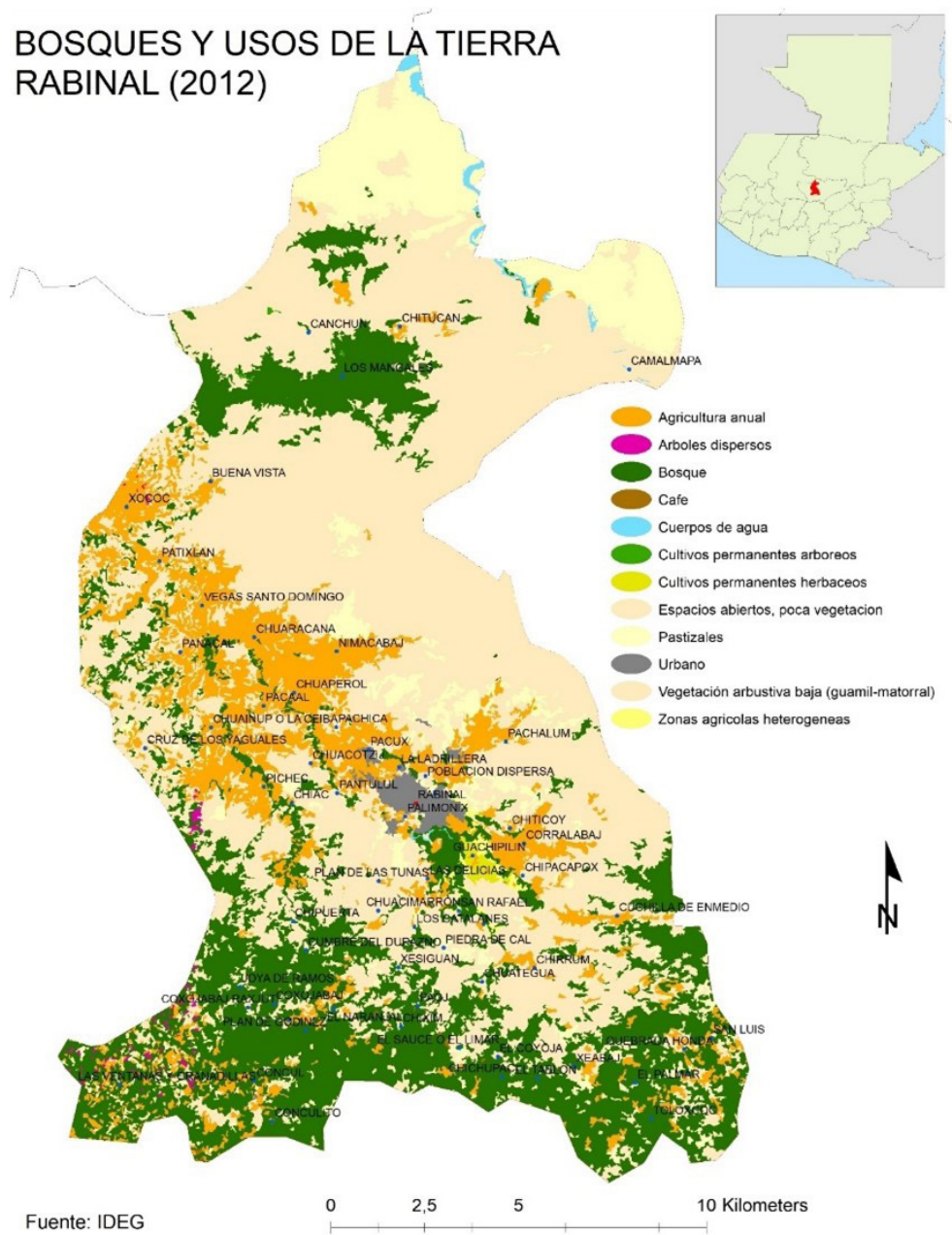


Figura 3. Bosques y usos de la tierra del municipio de Rabinal al 2012

Fuente: SEGEPLAN/IDEG (2018)

A nivel de uso del suelo, en Rabinal destaca la presencia de bosque en la zona norte del municipio, mientras que en la parte sur se encuentran cultivos permanentes en sistemas arbóreos, lo que en conjunto equivale a 25% del área del municipio.

No obstante, cabe señalar que en la parte central se ubica la agricultura de cultivos de ciclo anual (13% del municipio), áreas de pasto (9% del municipio) y espacios abiertos con poca vegetación (51%), lo que en conjunto equivale a 73% del área del municipio.

Por lo tanto, esta zona central es la que debe poseer mayor énfasis al momento de realizar estrategias y/o planes locales de adaptación al cambio climático y desarrollo territorial, ya que ahí deben concentrarse los esfuerzos y actividades destinadas a mejorar la resiliencia de los sistemas socio-ecológicos, contrarrestar la inseguridad alimentaria, recuperar áreas sin vegetación y promover el desarrollo sostenible.

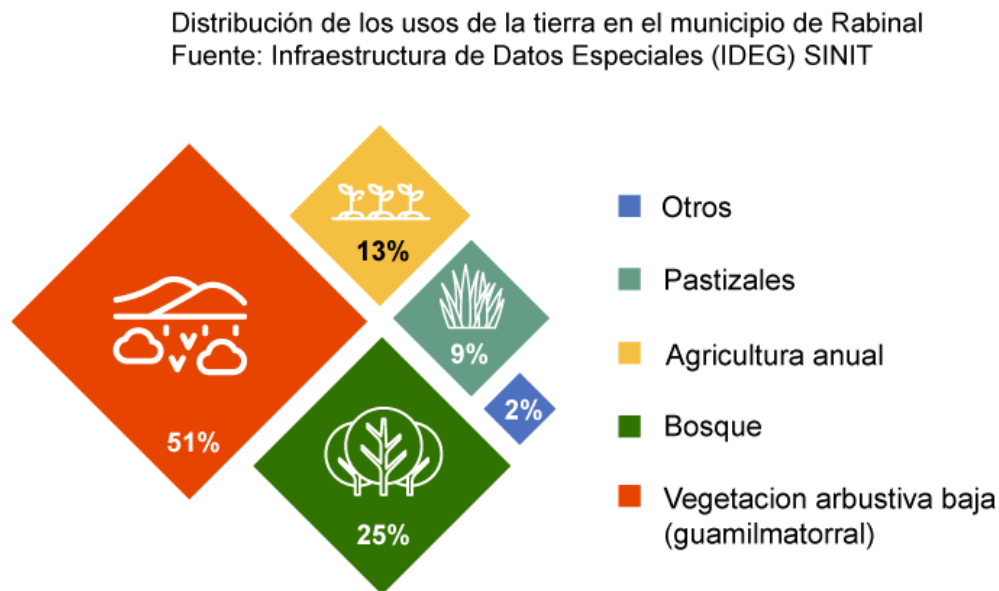


Figura 4. Distribución de usos de la tierra en el municipio de Rabinal al 2012

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/o nacional. Específicamente, a continuación 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 (2021)

4.2 Definición del Alcance

A nivel general, el alcance de este estudio contempló las siguientes actividades.

1. Conformar un comité asesor y/o de apoyo

Así como se desarrolló en el presente estudio, en cualquier intervención vinculada con este tema es recomendable conformar un comité que apoye científica, técnica y/o 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– a 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.

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/o 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 socio-demográficas o biofísicas clave, como el uso del suelo.

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/o herramientas:
- **Giras de reconocimiento:** Se planificaron y realizaron giras de reconocimiento por el área de interés, ya que era fundamental tener una primera aproximación sobre 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/o 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/o 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/o regionales vinculadas con el tema de interés y 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 que 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 socioeconómicas

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 permitiría a los investigadores tener un contexto general de la región y su situación en relación con los objetivos del estudio. Igualmente, esta etapa facilitó el diseño e implementación de una estrategia de intervención y facilitó gestionar los vacíos de información existentes que eran 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 (2021)

Seguidamente, se gestionó la información primaria necesaria para actualizar datos fundamentales 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 Mayor 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/o 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

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, ya que 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 la vulnerabilidad ahora 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 and 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.

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

⁴ GIZ y 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.

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 las componentes de exposición y vulnerabilidad, aunque depende también de la amenaza).

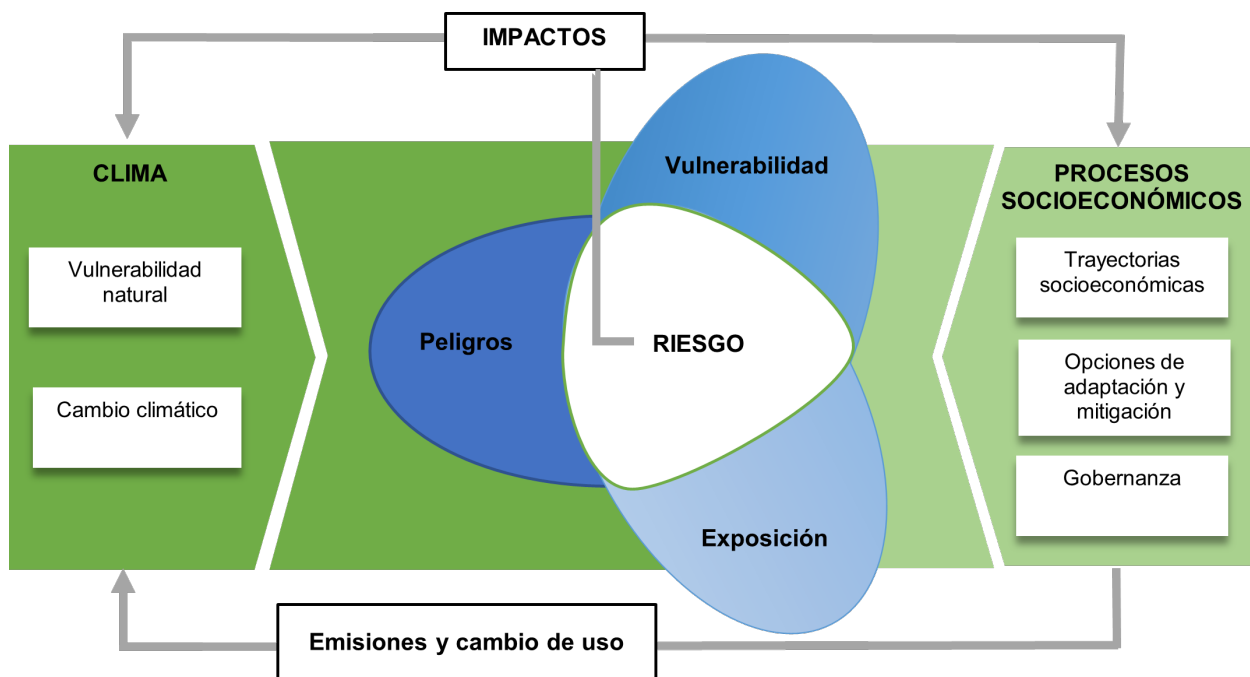


Figura 8. Componentes del análisis de riesgo climático (AR5)

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 lo tanto, 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 ya 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 las 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.

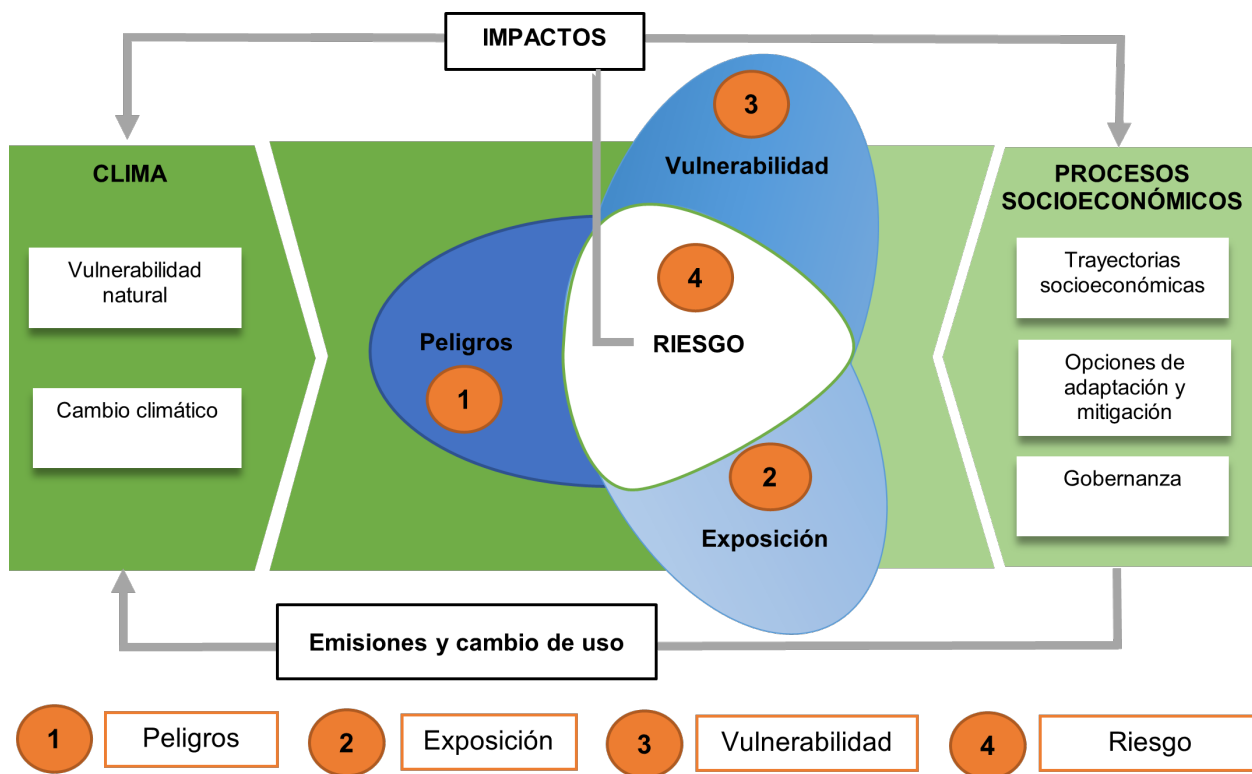


Figura 9. Pasos y componentes del análisis de riesgo climático (AR5)

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/o 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, ya que 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/o 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/o 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 vinculada 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/o 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 establecer opciones o medidas de adaptación.

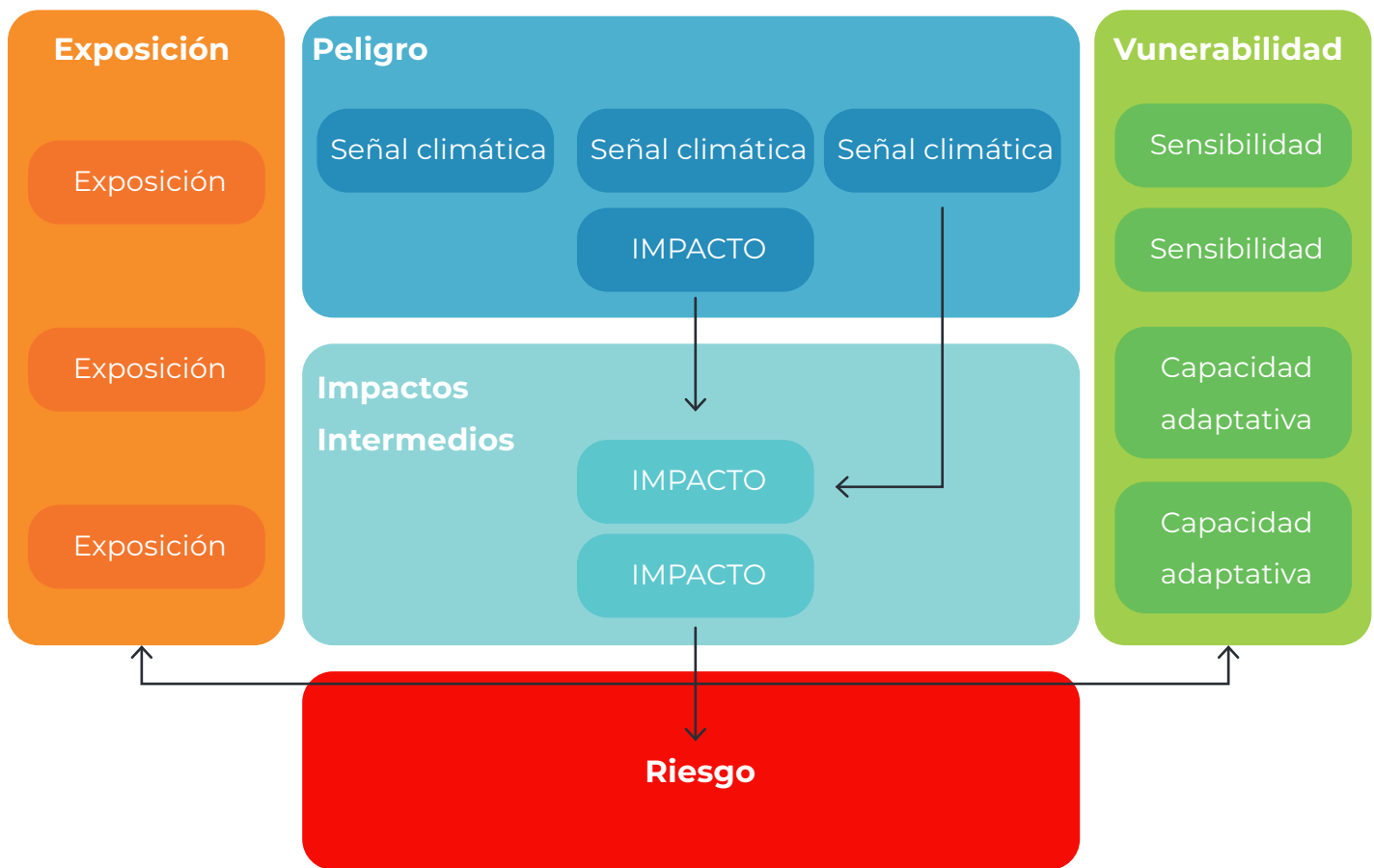


Figura 12. Estructura de una cadena de impacto de acuerdo con el AR5 del IPCC

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

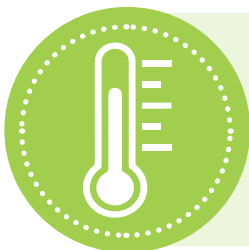
4.5.2.2 Peligro

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 y/o 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).

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

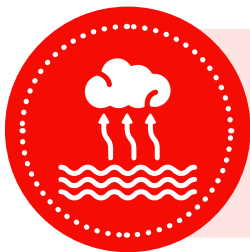
Donde:

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 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 mediante el 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 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, 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 sea posible y 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 de cualquier adaptación adicional) se puedan comparar con los riesgos mitigados (después de las ac-

ciones 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, 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, formas/opciones de adaptación y en la medida de lo posible, el proceso de integración de las opciones de adaptación a la planificación local.

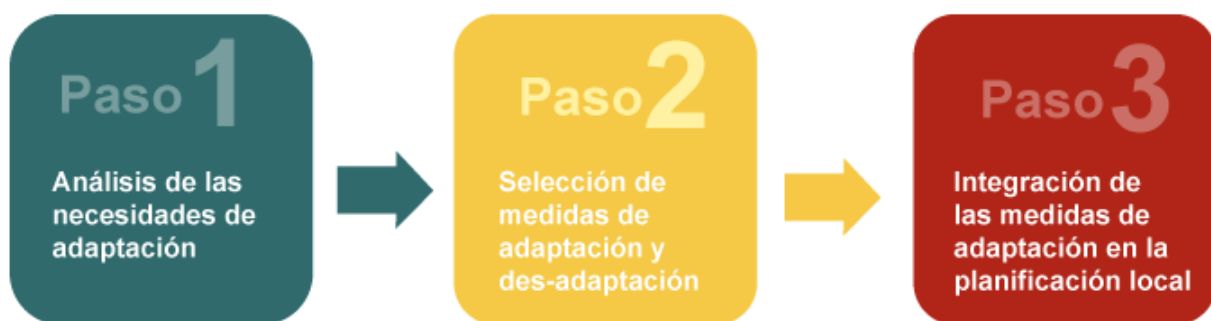


Figura 13: Pasos para identificar necesidades y opciones de adaptación

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 adapta- ción 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
Actores**



Mapeo 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 a 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 otras relacionadas con el tema de interés.



Figura 14. Mapeo de actores por sector en el municipio de Rabinal, Baja Verapaz-

Fuente: Elaboración propia (2021)

En relación con las instituciones del gobierno central, en el municipio de Rabinal resalta la presencia del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), Ministerio de Desarrollo Social (MIDES), Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS), Ministerio de Educación (MINEDUC), Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), Secretaría General de Planificación (SEGEPLAN), Comité Nacional de Alfabetización (CONALFA), Secretaría de Seguridad Alimentaria y Nutricional (SESAN), Instituto Nacional de Electrificación (INDE) e Instituto Nacional de Bos-

ques (INAB), entre otros. A nivel municipal sobresalen la Oficina Municipal Forestal, la Unidad de Gestión Ambiental, la Oficina Municipal del Agua y la Oficina Municipal de la Mujer.

Cuadro 2. Principales actores en el municipio de Rabinal

Nombre de la Institución	Tema central	Actividades
MAGA	Agricultura	AMER
MARN	Ambiental	Asistencia técnica y educación ambiental
Proyecto MARN - KfW	Medidas de adaptación al cambio climático	Asistencia técnica y apoyo en adaptación al CC
UGAM, Municipalidad de Rabinal	Agricultura y Saneamiento	Capacitaciones
Oficina de la Mujer, Municipalidad de Rabinal	Desarrollo de la mujer	Capacitaciones
Oficina de la Discapacidad, Municipalidad de Rabinal	Discapacidades en las comunidades	Ayuda con mobiliario
Plan Internacional	Agricultura, recursos naturales y desarrollo de la mujer	Capacitaciones
MINEDUC	Educación	Académicas
CONALFA	Educación	Académicas
Corazón del Maíz	Agricultura y desarrollo de la mujer	Capacitaciones
MSPAS	Salud	Puestos de convergencia y campañas de vacunación
INAB	Forestal	Incentivos
INDE	Programa de Forestal - Cuenca Chixoy	Producción de plantas forestales
SESAN	Seguridad alimentaria	Monitoreo y capacitaciones
CONAP	Áreas protegidas	Capacitaciones

Fuente: Elaboración propia (2021)

Por su parte, los participantes en los talleres comunitarios identificaron actores de la sociedad civil, como los Comités Comunitarios de Desarrollo (COCODE) y Comités de Agua, que se encargan de administrar proyectos de abastecimiento de agua para las comunidades, Comités de Padres de Familia o Junta Escolar, Comités de Salud y Comités de Madres de Familia.

Además, fue posible identificar la presencia de cooperación internacional, como la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Share, Plan Internacional, Caritas, GIZ y KfW, entre otras. Igualmente, se constató la presencia de asociaciones locales como la Asociación de Caficultores de Chichupac, Asociación Qa´Chu´Alom, Asociación de Guardianes del Patrimonio Cultural, Asociación Bufete Jurídico Popular y Asociación Cultural Xojooj Tun Rabinal Achí.

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 eso 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.

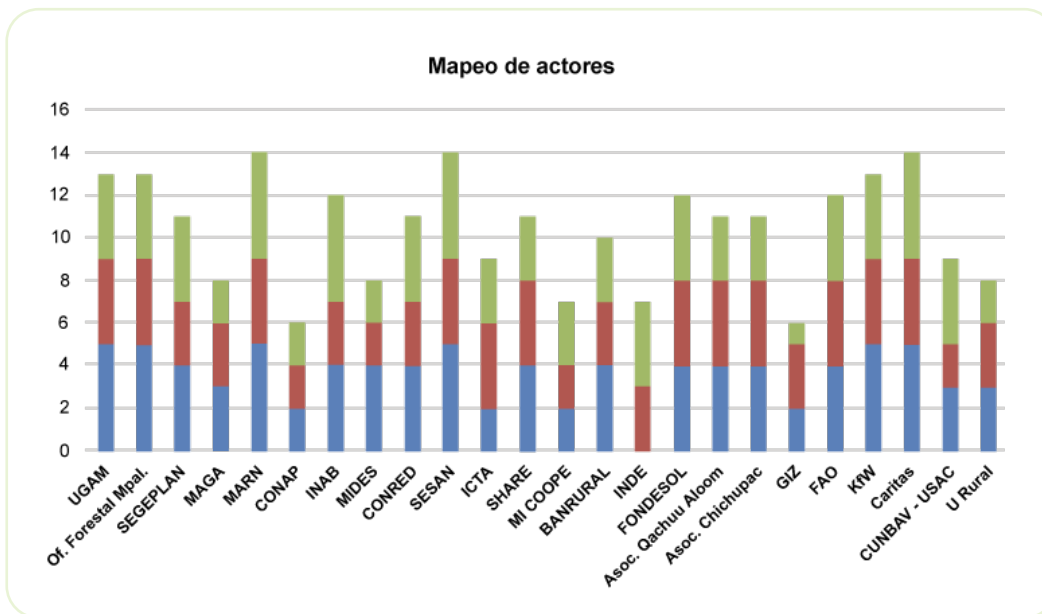


Figura 15. Resumen del orden de importancia institucional en el corredor seco del municipio de Rabinal, Baja Verapaz

Fuente: Elaboración propia (2021)

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, en relación con el tema de cambio climático, son MARN, SESAN, CARITAS, UGAM, Oficina Forestal Municipal, KfW, FAO, INAB y FONDESOL. 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 la región



6

**Análisis de
Riesgo Climático**



Análisis de Riesgo Climático:

6.1 Condiciones climáticas actuales del municipio de Rabinal

Al analizar la distribución de la precipitación del municipio de Rabinal, departamento de Baja Verapaz (Figura 16), se observa que en el norte y sur del municipio ha existido mayor precipitación. Concretamente, los tonos de azul más fuertes (hacia el norte y sur del municipio) indican mayor precipitación, mientras que los tonos más suaves (hacia el centro del municipio) indican menor precipitación.

En relación con la cantidad de lluvia, esta va desde un mínimo de 715 mm hasta un máximo de 1671 mm, con un valor promedio de 1151 mm. Por otra parte, la temperatura promedio anual oscila entre los 14,5 y 23,2 °C, siendo el centro del municipio el sector con mayor temperatura.

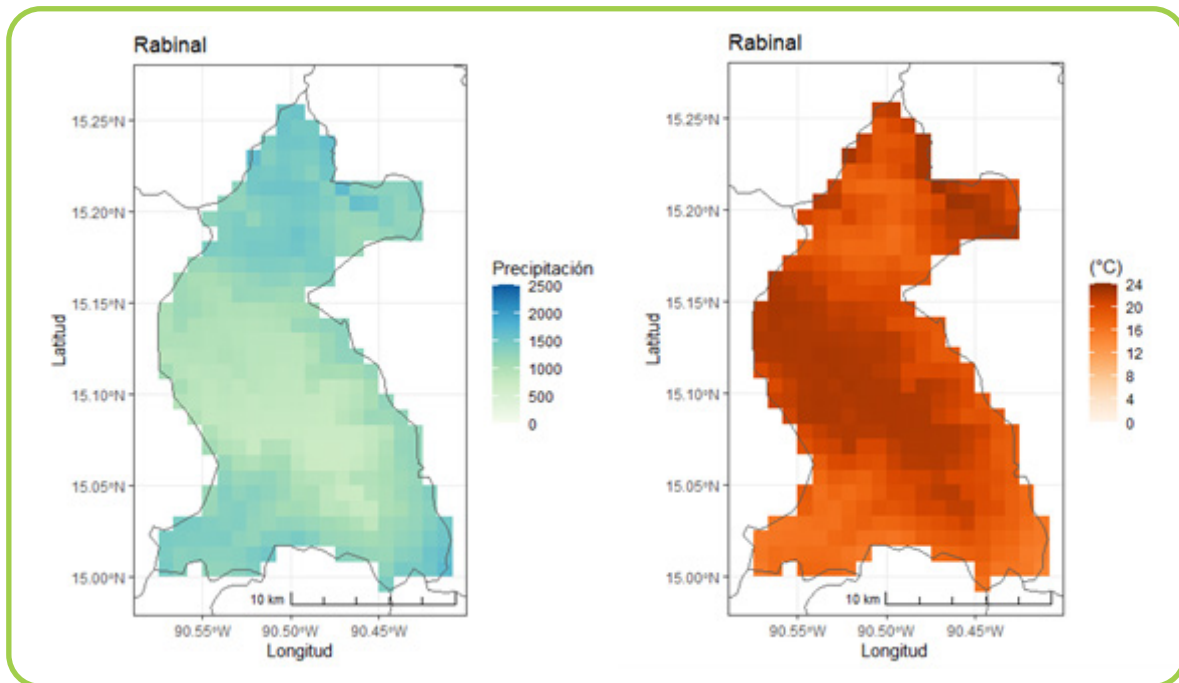


Figura 16. Mapa de distribución de la precipitación total y temperatura promedio en el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala, según climatología 1960-1990

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

Ahora bien, al observar el inicio de la época de lluvias y su distribución (Figura 17), así como su variación mensual (Figura 18), es posible establecer que la precipitación muestra un comportamiento bimodal. Básicamente, entre enero y abril se evidencia una época seca muy marcada, con precipitaciones por debajo de los 25 mm mensuales en promedio (con excepción de abril, que supera los 25 mm al mes).

El inicio de las lluvias ocurre en el mes de mayo y alcanza un máximo histórico durante el mes de junio, con precipitaciones cercanas a los 240 mm y decrece entre julio y agosto (135 mm aproximadamente) para repuntar en septiembre (cuando supera los 200 mm). Entre octubre y diciembre, las precipitaciones van disminuyendo sosteniblemente hasta llegar a estar por debajo de los 50 mm de precipitación mensual.

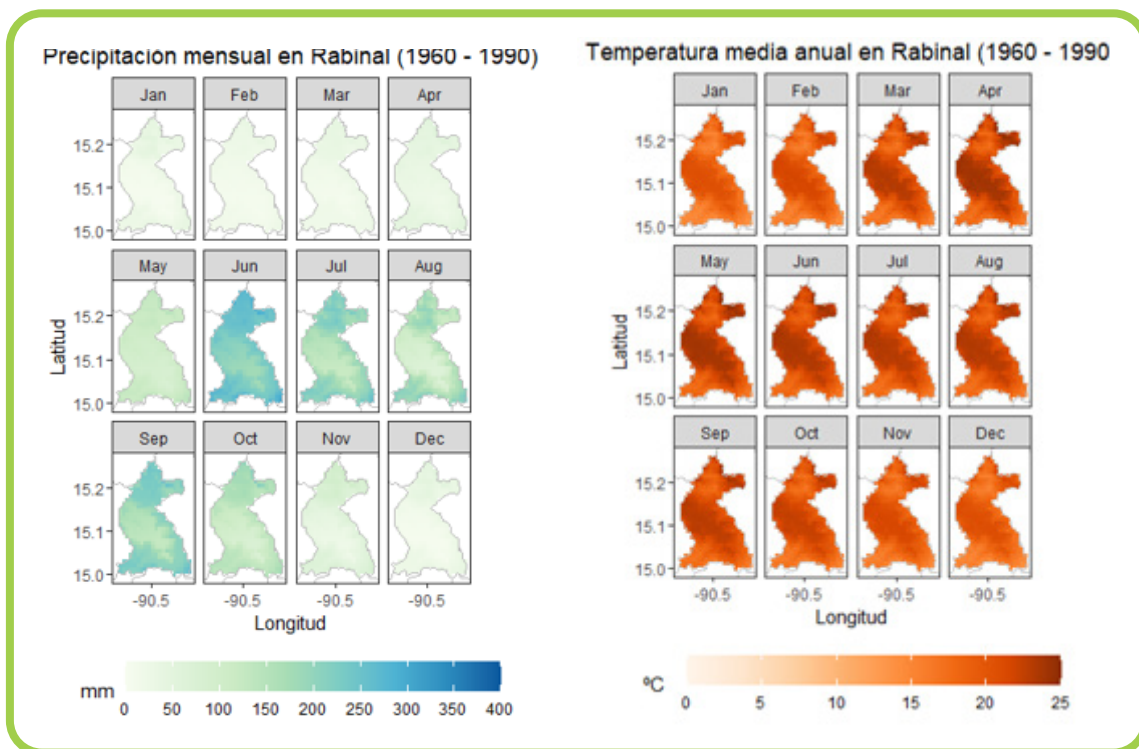


Figura 17. Mapa de distribución espacial de precipitación y temperatura por meses en el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala, según climatología 1960-1990

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

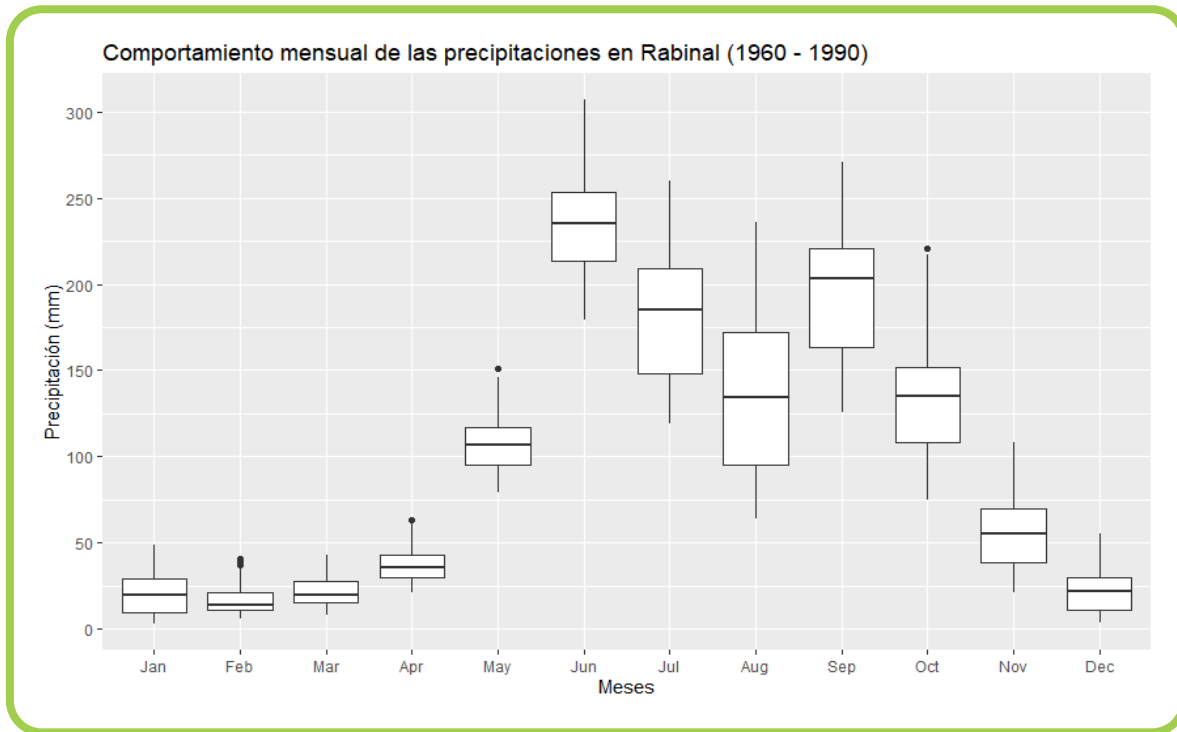


Figura 18. Variabilidad mensual de la precipitación en Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala, según climatología 1960-1990

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

En relación con el comportamiento de la temperatura media, se observa un incremento sostenible entre enero y mayo, siendo este último mes el más cálido (Figura 19).

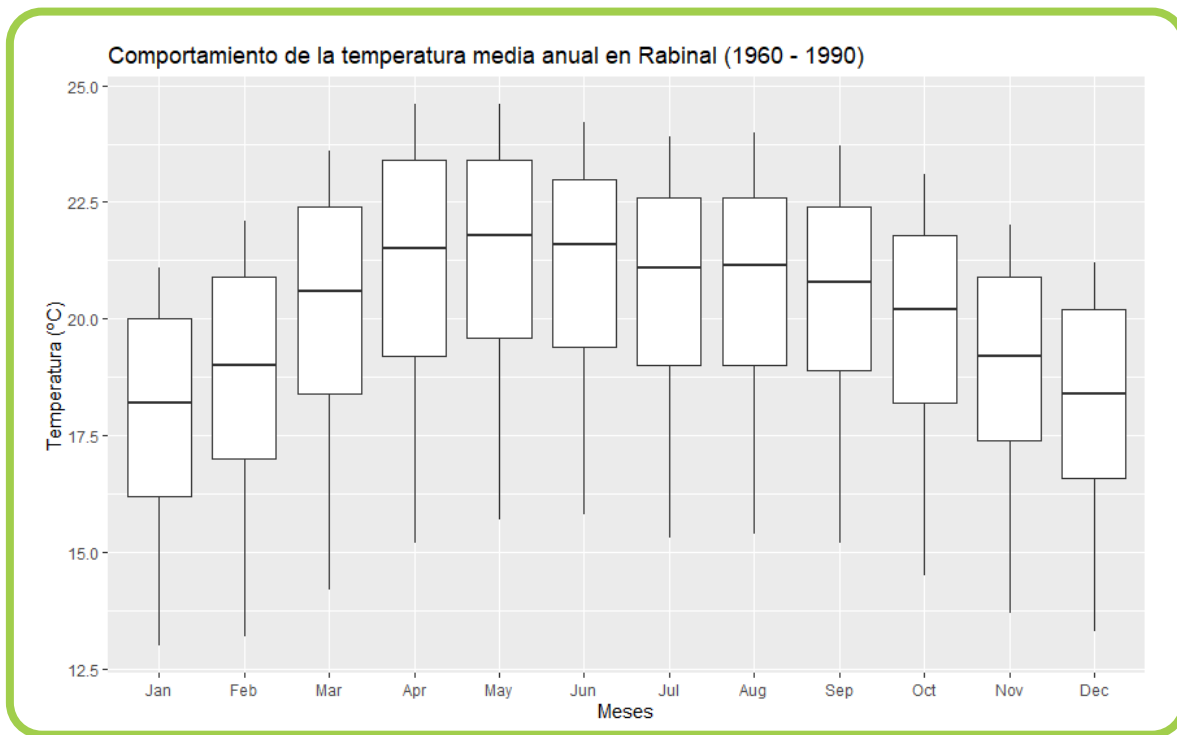


Figura 19. Variabilidad mensual de la temperatura promedio en Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala, según climatología 1960-1990

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

6.2 Condiciones climáticas futuras del municipio de Rabinal

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 3).

Cuadro 3. Matriz para datos futuros

Horizonte	2050 (promedio 2040-2069)	2080 (promedio 2070-2099)
RCP		
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 Rabinal. En la Figura 20 se puede observar espacialmente la diferencia de la precipitación anual total, así como la temperatura promedio entre los escenarios futuros y la línea base.

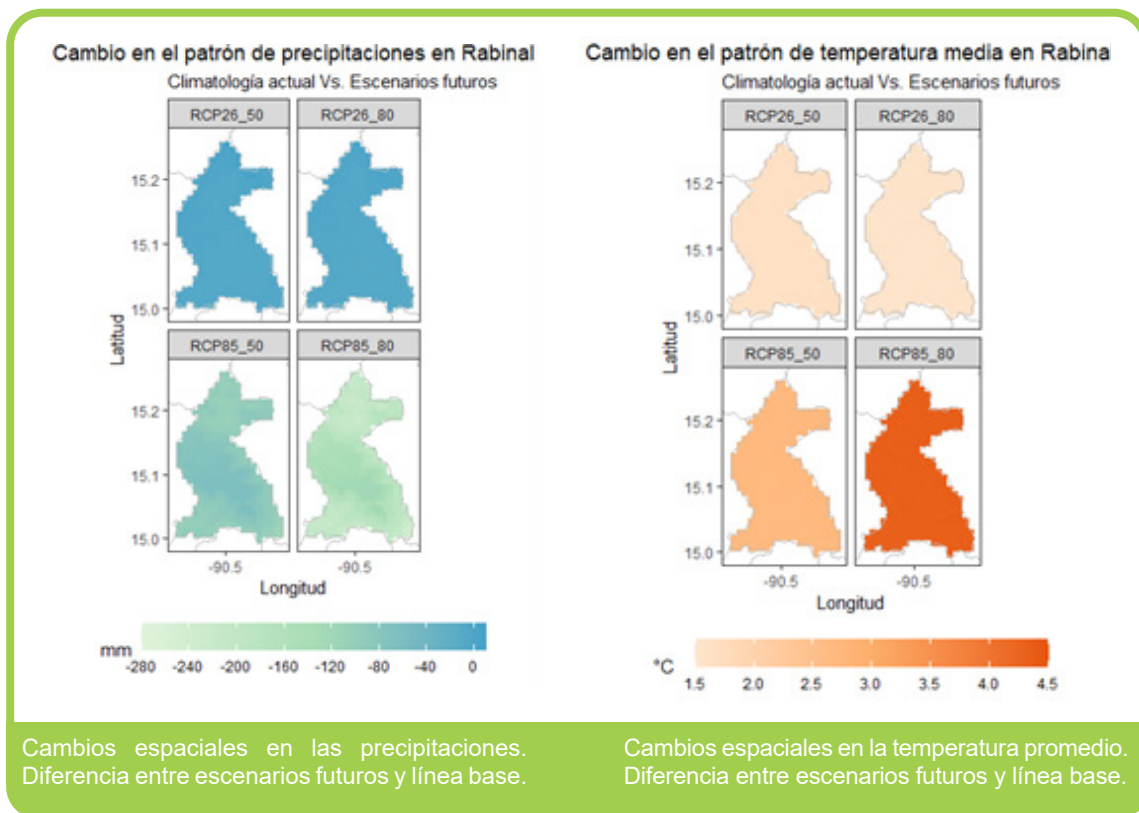


Figura 20. Cambios proyectados en las precipitaciones totales y la temperatura promedio en el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala, según RCP y horizonte temporal

Fuente: Elaboración propia (2021)

Al comparar el escenario base contra el RCP2,6 hacia mediados y finales de siglo, se observan leves variaciones en las precipitaciones, las cuales se traducen en zonas que experimentarán incrementos en precipitación y otras donde las precipitaciones disminuirán. Hacia mediados de siglo, se espera que la diferencia en las precipitaciones con respecto a la línea base sea del orden de -9 mm hasta incrementos en 8 mm. Mientras que, hacia finales de siglo, dicha diferencia será de -10 mm hasta 7 mm.

El RCP8,5 muestra condiciones de disminución de precipitaciones en todo el municipio de Rabinal. Hacia el año 2050, se estima que la disminución de las precipitaciones oscile entre -61 mm a -124 mm, mientras que para el 2080, se espera que la disminución en las precipitaciones sea de entre -123 mm hasta -260 mm (Cuadro 4).

Cuadro 4. Estadísticas de la precipitación actual y futura para el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala

Escenario	Promedio	Q33	Q50	Q66	Mínimo	Máximo
Precipitación (mm)						
Línea base	1151,23	1007,05	1182,50	1283,10	715,00	1671,00
RCP26_50	1146,48	1004,05	1176,00	1277,20	708,00	1676,00
RCP26_80	1145,78	1001,15	1175,00	1276,00	707,00	1675,00
RCP85_50	1065,10	930,05	1094,00	1189,10	654,00	1560,00
RCP85_80	974,37	851,15	998,00	1087,60	592,00	1443,00
Temperatura (°C)						
Línea base	19,96	18,98	20,28	21,44	14,54	23,16
RCP26_50	21,60	20,62	21,93	23,08	16,20	24,83
RCP26_80	21,52	20,54	21,84	23,01	16,10	24,72
RCP85_50	22,65	21,68	22,98	24,14	17,23	25,88
RCP85_80	24,29	23,33	24,60	25,77	18,90	27,52

Fuente: Elaboración propia (2021)

La distribución de las precipitaciones totales para el municipio de Rabinal muestra un comportamiento bimodal. El RCP 8,5 –tanto para el horizonte 2050 como para el 2080– presenta una marcada reducción y concentración de la cantidad de precipitaciones totales en el municipio (Figura 21).

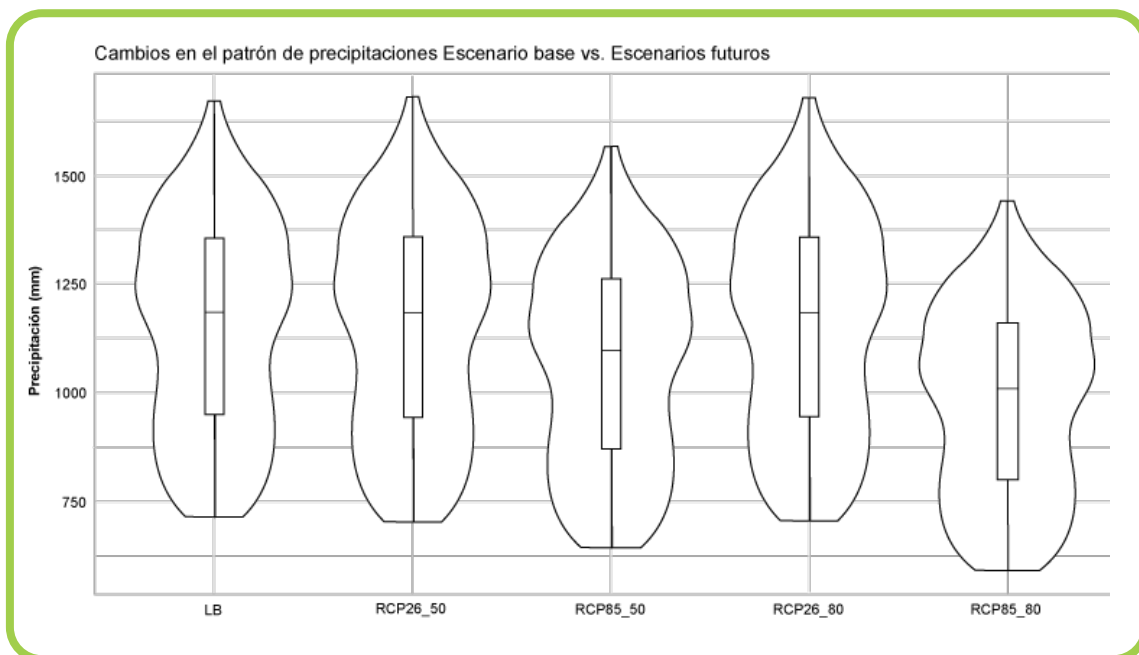


Figura 21. Comparación en la distribución de la precipitación total de la línea base y los escenarios futuros para Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala

Fuente: Elaboración propia (2021)

En cuanto a la temperatura, todos los escenarios muestran incrementos en los valores de temperatura promedio. Dichos valores van desde 1,5 °C (RCP 2,6 al 2080) hasta 4,4 °C (RCP 8,5 al 2080) por encima de la temperatura promedio para la línea base (Cuadro 4). Este es otro ejemplo que muestra que habría lugares en los que la temperatura fácilmente pasará el umbral de los 1,5 °C por encima del promedio histórico.

En cuanto a la distribución de la temperatura promedio para el municipio de Rabinal, esta se concentrará en valores cercanos a la máxima en cada uno de los escenarios (asimetría negativa) y disminuirá de manera consistente conforme los valores de la temperatura se acerquen a los valores mínimos (Figura 22).

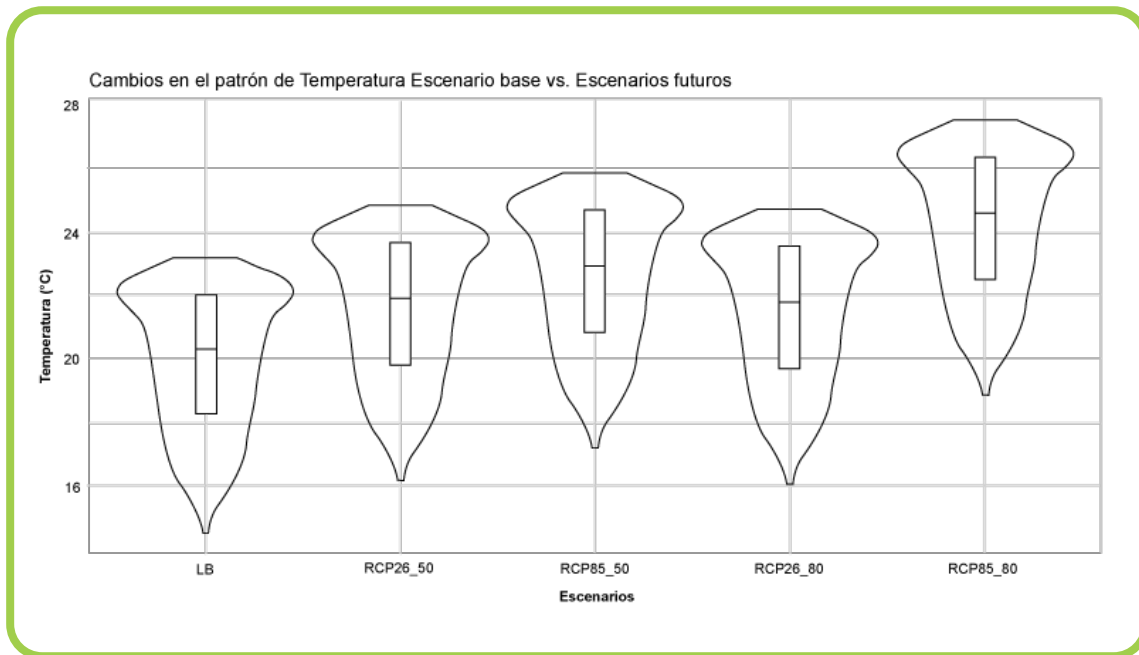


Figura 22. Comparación en la distribución de la temperatura promedio de la línea base y los escenarios futuros

Fuente: Elaboración propia (2021)

6.3 Resumen de la cadena de impactos

Dentro de los principales resultados de los talleres institucionales y/o 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.

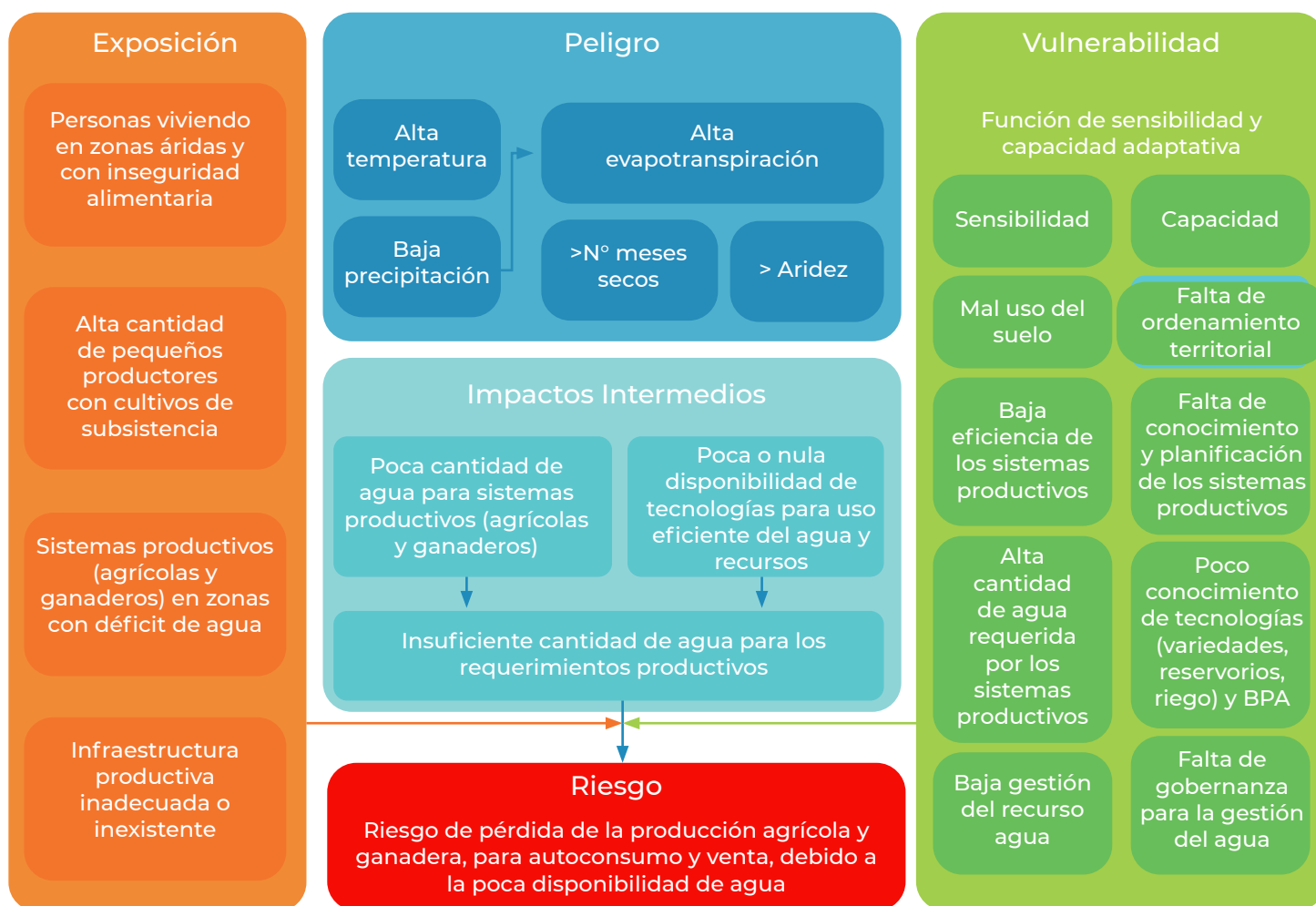


Figura 23. Cadena de impactos del análisis de riesgo climático⁷

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 total), así como la temperatura (promedio mensual y anual) en el municipio de Rabinal. 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 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 MJ m⁻²d⁻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) (Cuadro 5).

Cuadro 5. 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

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).

Zonas	Pt/ET	Índice
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 24 se puede ver el detalle espacial de los meses secos, así como el índice de aridez. En cuanto al primer indicador, en el municipio de Rabinal hay sectores que podrían presentar condiciones de entre 2 a 6 meses secos. Asimismo, el índice de aridez es consecuente con el comportamiento de las precipitaciones, en donde se puede observar que de enero a abril el municipio cuenta con condiciones semiáridas, mientras que entre octubre y septiembre las condiciones son húmedas. Para una mejor interpretación y visualización del régimen hídrico se asumió la escala propuesta por Pons *et al.* (2018).

En cuanto a la condición de meses secos durante un año, el escenario base muestra que en el territorio del municipio de Rabinal se pueden encontrar zonas cuyas condiciones de meses secos varían entre los 2 meses secos como mínimo hasta los 6 meses secos como máximo. Todos los escenarios futuros pronostican un incremento de los meses secos en sus valores máximos, alcanzando los 7 meses secos en todos los escenarios. Sin embargo, los cambios más importantes se observan en los valores mínimos para el RCP 8.5, donde se espera que al 2050 no existan sectores del municipio de Rabinal con menos de 3 meses secos, mientras que para el 2080 no habrá lugares en Rabinal con menos de 4 meses secos (Figura 25).

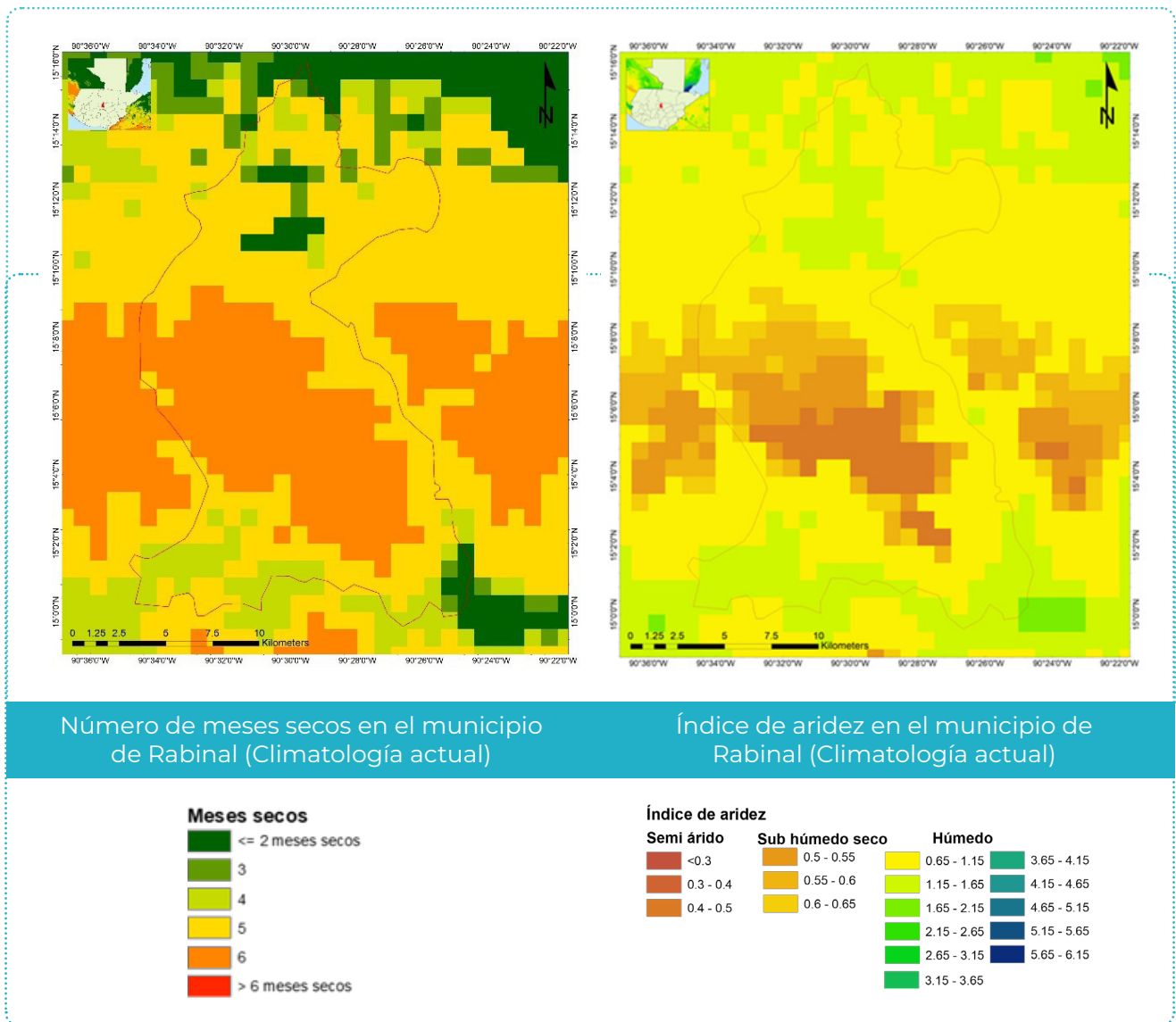


Figura 24. Número de meses secos, índice de aridez y evapotranspiración potencia en el municipio del Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala, según climatología 1960-1990

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

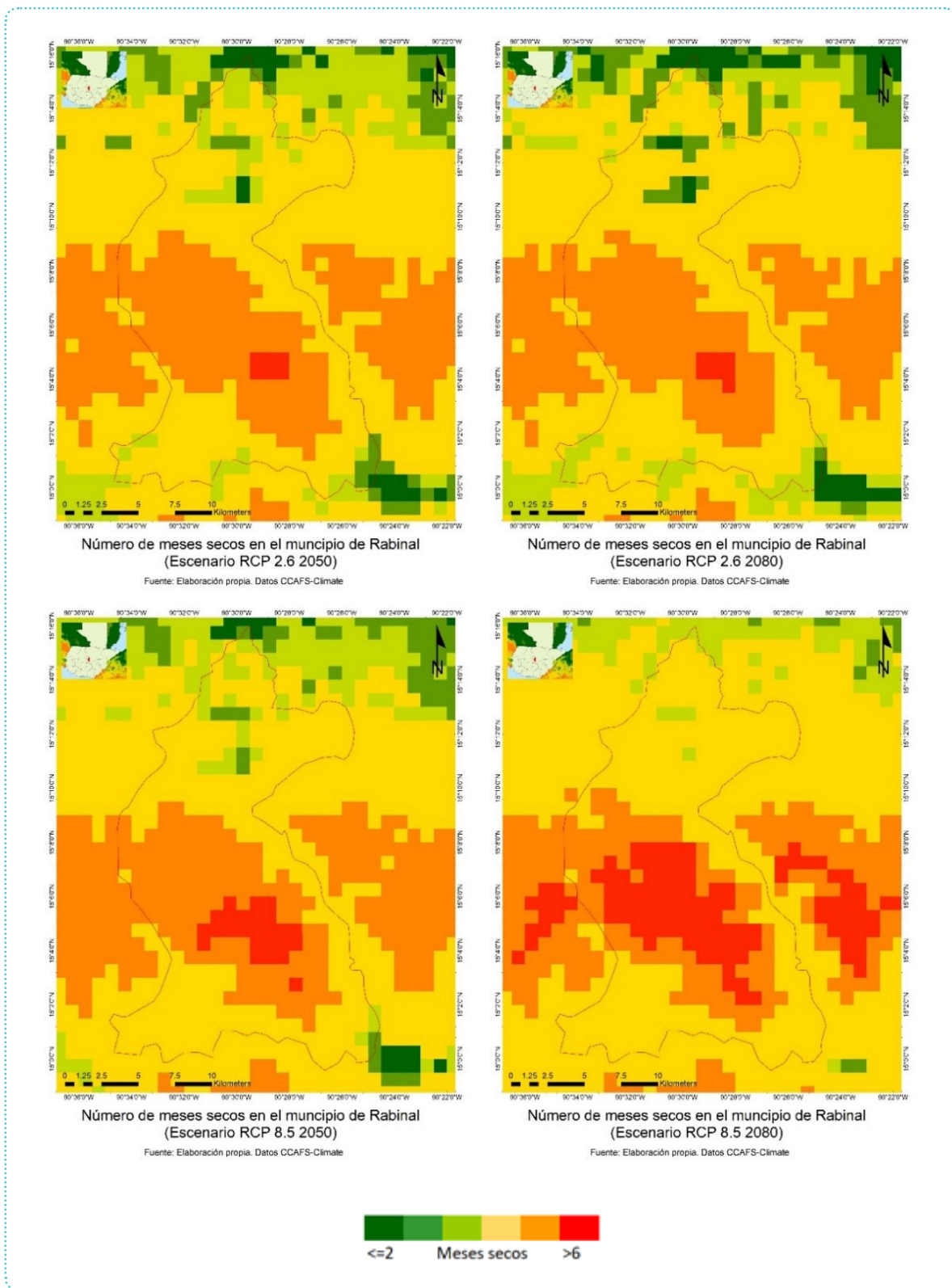


Figura 25. Número de meses secos según escenarios futuros para Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala

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

La Figura 26 muestra la distribución de los meses secos. Es notorio el aumento de zonas donde el número de meses secos se incrementará en los escenarios futuros. Aunque en ningún escenario se sobrepasa el umbral de 7 meses secos, se espera –dependiendo el escenario– que haya más zonas alrededor de ese umbral y que –como se puede observar para el caso del RCP 8.5– el rango entre valores máximos y mínimos de número de meses secos se contraiga (Cuadro 6).

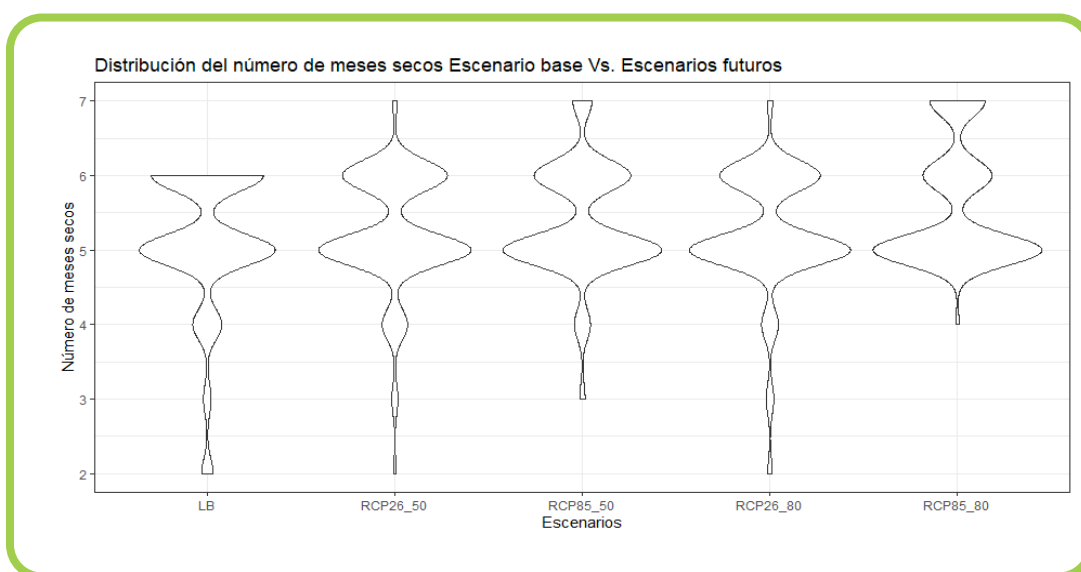


Figura 26. Comparación en la distribución de meses secos entre la línea base y los escenarios futuros para Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala

Fuente: Elaboración propia (2021)

Cuadro 6. Cambios en meses secos (situación actual y futura) para el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala

Escenario	Mínimo	Máximo
Número de meses secos		
Línea base	2	6
RCP2.6 2050	2	7
RCP2.6 2080	2	7
RCP8.5 2050	3	7
RCP8.5 2080	4	7

Fuente: Elaboración propia (2021)

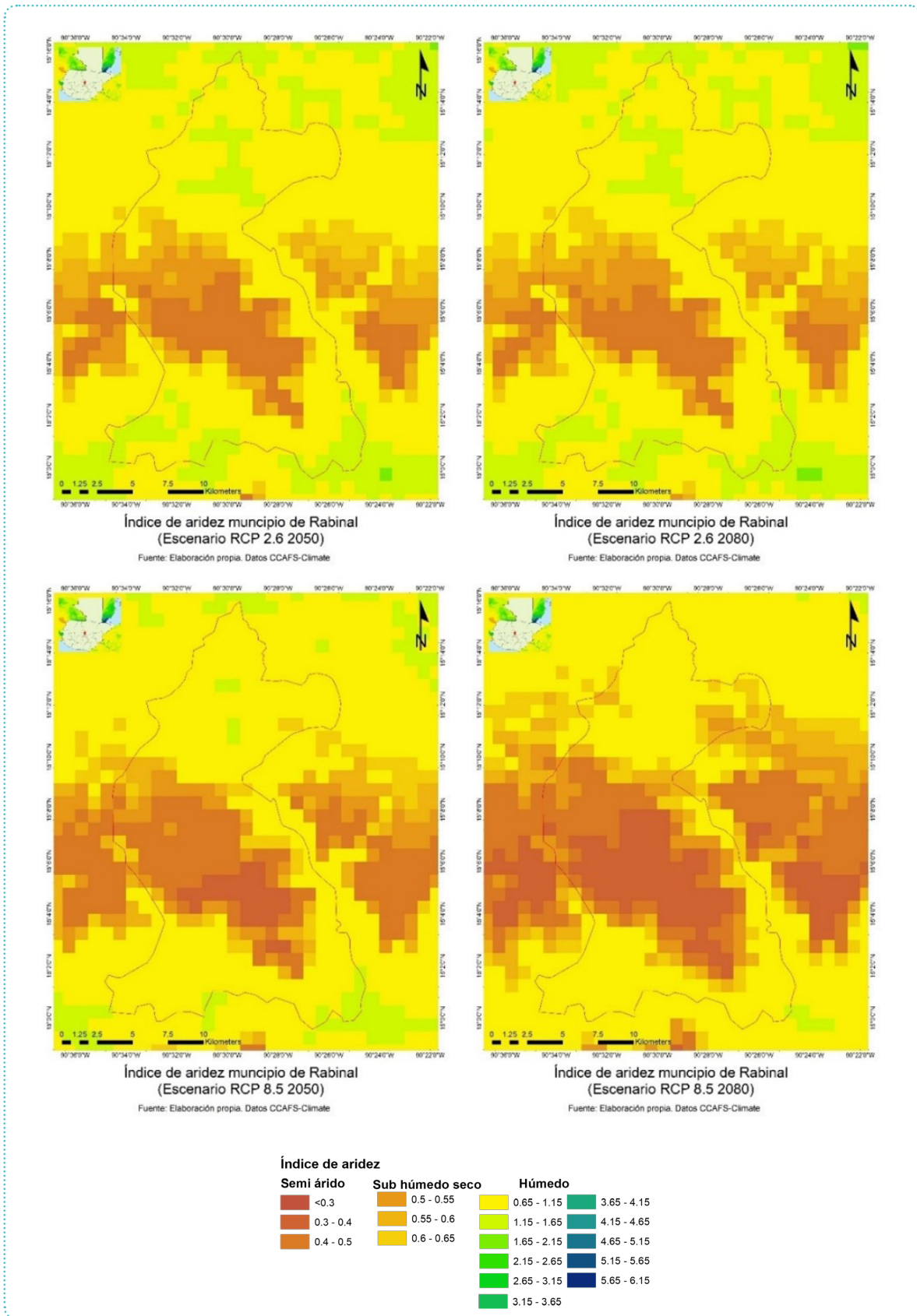


Figura 27. Cambios en el índice de aridez, entre la línea base y los escenarios futuros para Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala

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

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 2019, ESRI s.f.). A continuación se describen los pasos que se siguieron para implementar el modelo de superposición ponderada (Cuadro 7).

Cuadro 7. Variables de interés usadas para construir el índice de peligro para el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, 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)

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:

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

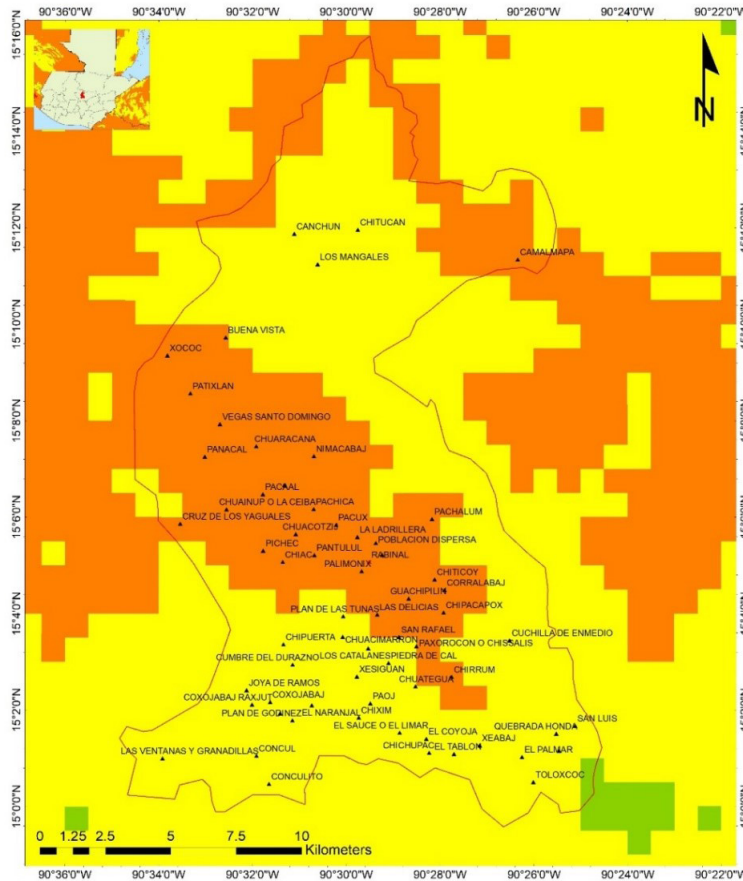
Donde:

- $Prec$ 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, 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 Rabinal.

En síntesis, el índice de peligro para el municipio de Rabinal se construyó sometiéndolo los valores estandarizados de escenarios futuros y la línea base de las variables a un análisis de superposición ponderada: precipitación total anual, temperatura media anual, número de meses secos, índice de aridez y evapotranspiración potencial (Figura 28 a Figura 32).

El valor de la escala debe interpretarse de la siguiente manera: Los valores más cercanos a cero indican que las anomalías son menores, mientras que conforme el valor de la escala aumenta, el efecto del cambio climático es mayor. Los cuatro escenarios futuros muestran cambios importantes con respecto al escenario base, siendo el escenario RCP8.5 hacia finales del siglo el más retador en términos de condiciones climáticas.



- Muy Bajo
- Bajo
- Medio
- Alto
- Muy Alto

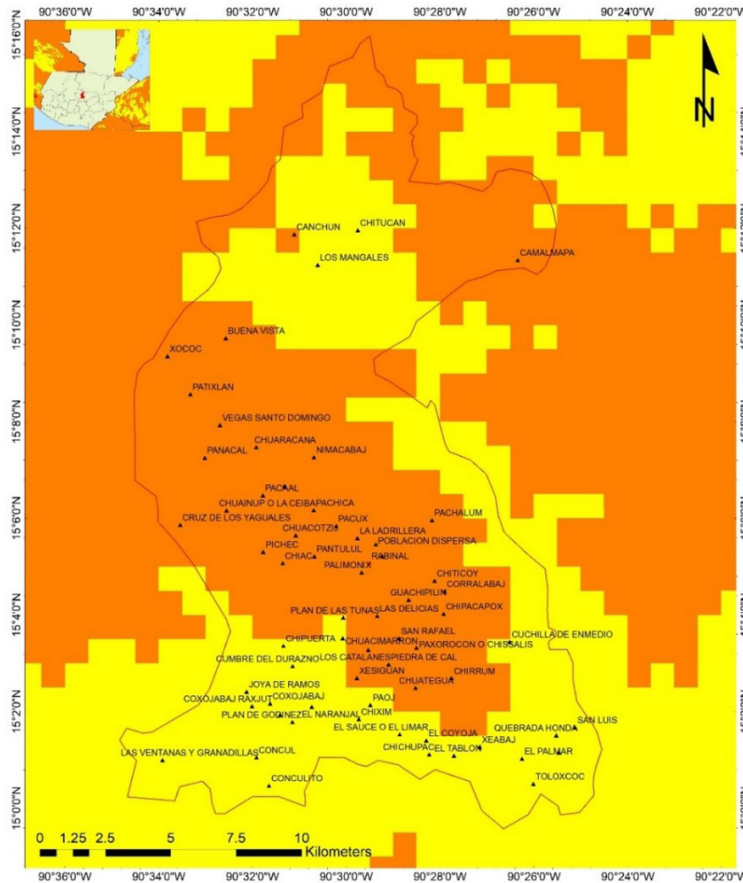
Índice de peligro climático construido a través de superposición ponderada, mediante la combinación de la precipitación total anual, temperatura anual promedio, número de meses secos, índice de aridez y evapotranspiración, a través de la siguiente expresión:

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

Climatología presente (1960-1990)

Figura 28. Índice de peligro climático en el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala, según climatología actual (1960-1990)

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



- Muy Bajo
- Bajo
- Medio
- Alto
- Muy Alto

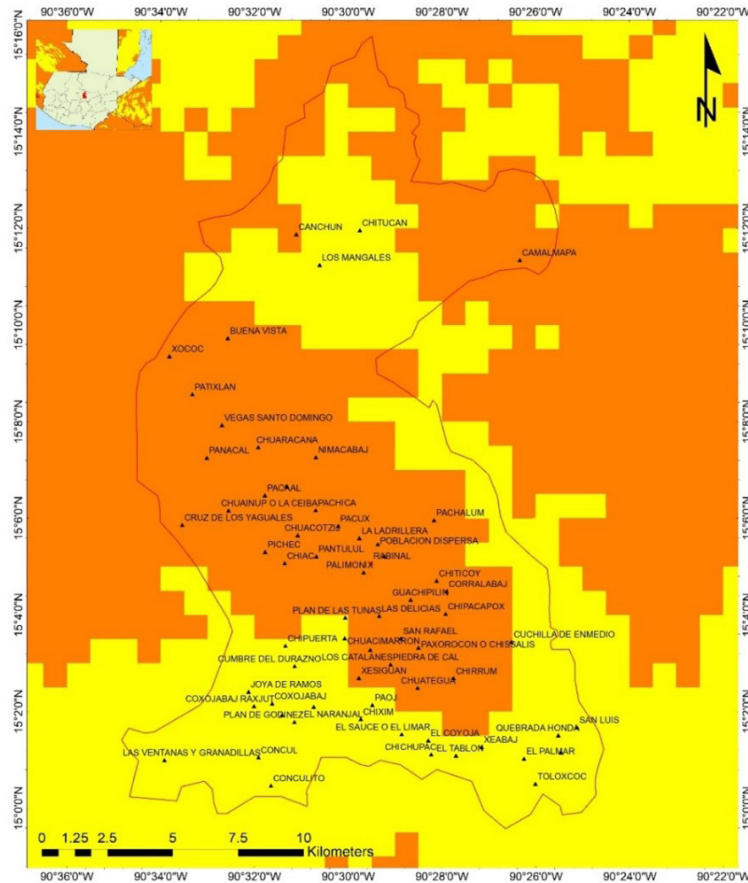
Índice de peligro climático construido a través de superposición ponderada, mediante la combinación de la precipitación total anual, temperatura anual promedio, número de meses secos, índice de aridez y evapotranspiración, a través de la siguiente expresión:

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

Climatología futura RCP 2.6, periodo 2050

Figura 29. Índice de peligro climático en el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala (Escenario RCP 2.6, periodo 2050)

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



- Muy Bajo
- Bajo
- Medio
- Alto
- Muy Alto

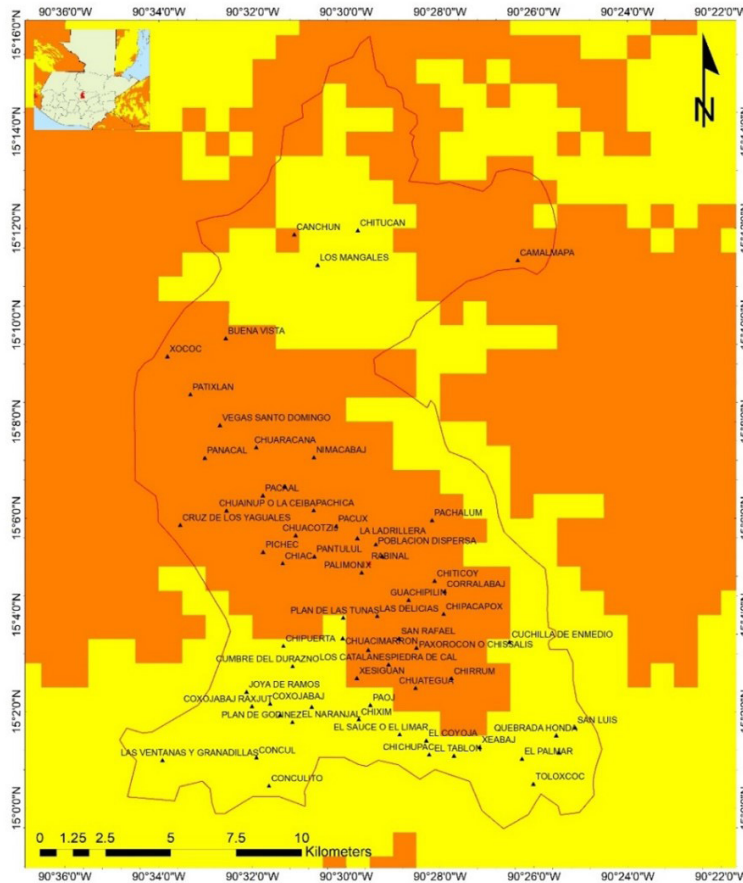
Índice de peligro climático construido a través de superposición ponderada, mediante la combinación de la precipitación total anual, temperatura anual promedio, número de meses secos, índice de aridez y evapotranspiración, a través de la siguiente expresión:

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

Climatología futura RCP 2.6, periodo 2080

Figura 30. Índice de peligro climático en el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala (Escenario RCP 2.6, periodo 2080)

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



- Muy Bajo
- Bajo
- Medio
- Alto
- Muy Alto

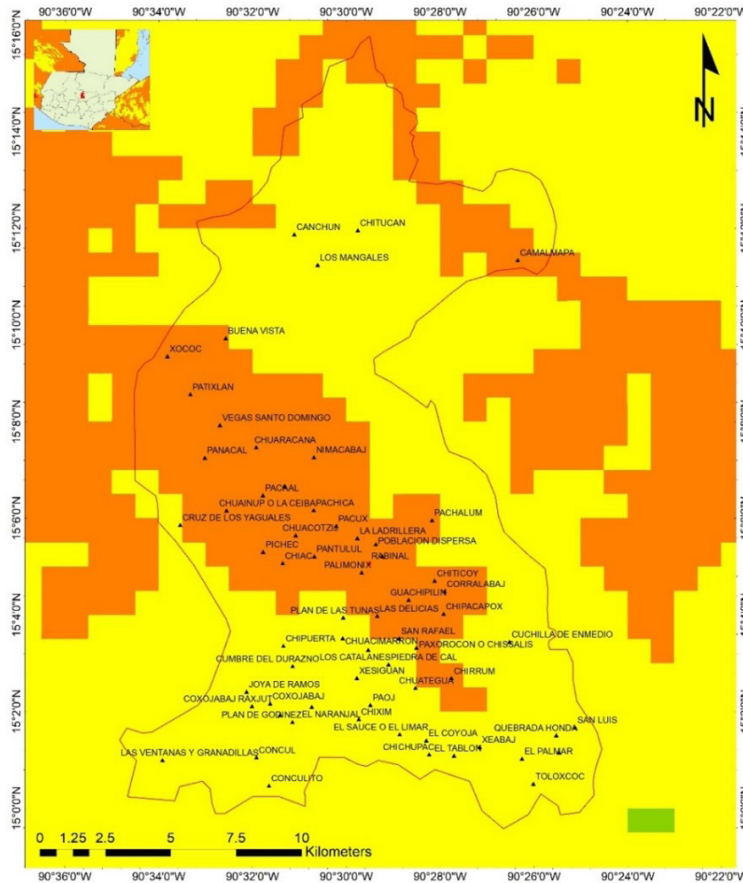
Índice de peligro climático construido a través de superposición ponderada, mediante la combinación de la precipitación total anual, temperatura anual promedio, número de meses secos, índice de aridez y evapotranspiración, a través de la siguiente expresión:

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

Climatología futura RCP 8.5, periodo 2050

Figura 31. Índice de peligro climático en el municipio de Rabinul, Baja Verapaz, Guatemala (Escenario RCP 8.5, periodo 2050)

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



- 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:

$$0.3 * Prec + 0.3 * T_{avg} + 0.1 * MS + 0.1 * IA + 0.2 * ETO$$

Climatología futura RCP 8.5, periodo 2080

Figura 32. Índice de peligro climático en el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala (Escenario RCP 8.5, periodo 2080)

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

El Cuadro 8 presenta el valor promedio del índice de peligro climático para el municipio de Rabinal. Nótese que las diferencias son muy pequeñas y que espacialmente la escala de peligro va de media a alta. Asimismo, los mapas de la Figura 28 a la Figura 32 muestran espacialmente el cambio en el índice de peligro, considerando la línea base y los escenarios futuros. El escenario base demuestra que hacia el centro del municipio se concentrarán las zonas consideradas como de alto peligro, mientras que hacia el norte y sur predominarán las zonas consideradas de peligro medio.

Cuadro 8. Índice de peligro promedio en el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala

Escenario	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD
Actual	0.38	0.65	0.26	0.56	0.07
RCP 2.6 2050	0.42	0.69	0.28	0.60	0.07
RCP 2.6 2080	0.42	0.70	0.28	0.60	0.07
RCP 8.5 2050	0.43	0.69	0.26	0.60	0.07
RCP 8.5 2080	0.43	0.65	0.22	0.56	0.06

Fuente: Elaboración propia (2021)

Las condiciones de alta peligrosidad se intensificarán y expandirán conforme se avance en los escenarios. El RCP 2.6 en ambos horizontes de tiempo indica que el índice de peligro aumentaría en el municipio de Rabinal. Asimismo, el RCP 8.5 señala que el peligro se incrementará drásticamente en el horizonte hacia mediados de siglo. Cabe mencionar que, debido a la estandarización de los insumos del índice de peligro, la lectura se debe hacer entre escenarios y línea base, mas no así comparando un escenario futuro con otro (Figura 33).

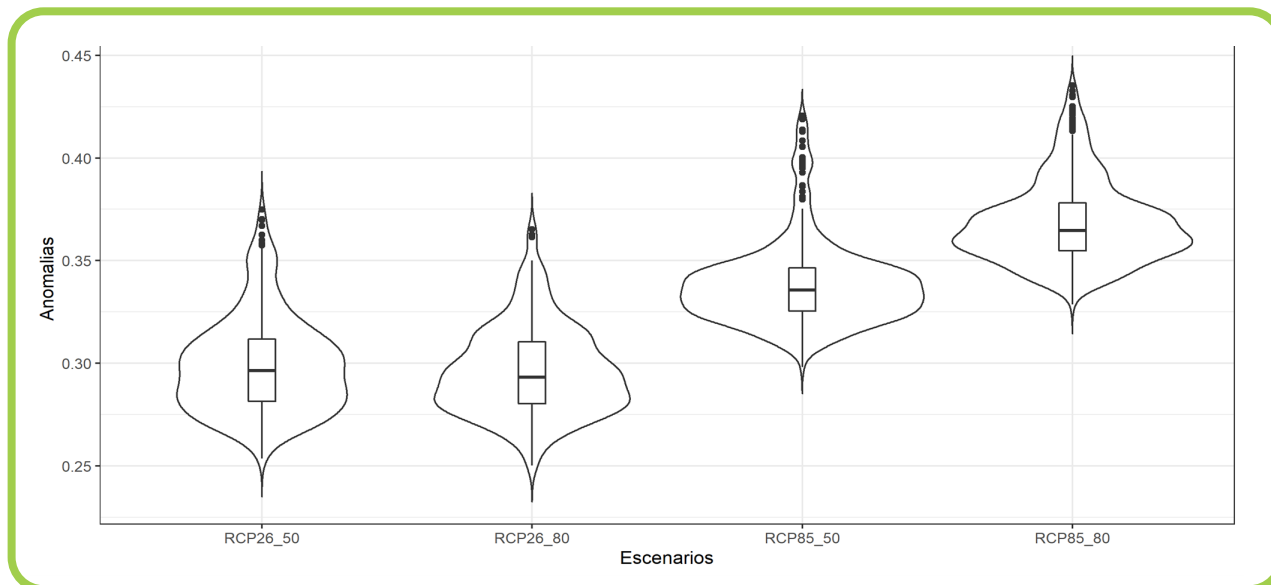


Figura 33. Distribución del resultado de la superposición ponderada para el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala

Fuente: Elaboración propia (2021)

6.5 Análisis de la exposición

Como se expuso, el IPCC 5 (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 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.

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 (IDEG, s. f.), la cual muestra que el principal evento climático en la zona son las sequías. Datos de este portal toman una muestra de 28 lugares poblados; de estos, 29% de los centros poblados del municipio de Rabinal se encuentra en la categoría de amenaza muy alta a sequía.

Con base en esos datos, se decidió tomar como indicador de índice de exposición el mapa de amenazas por sequía. Para eso se usó la metodología propuesta por MAGA (2002) y con la ubicación de los centros poblados (65 en total) se pudo determinar el valor de la exposición a amenazas por sequía para cada lugar poblado.

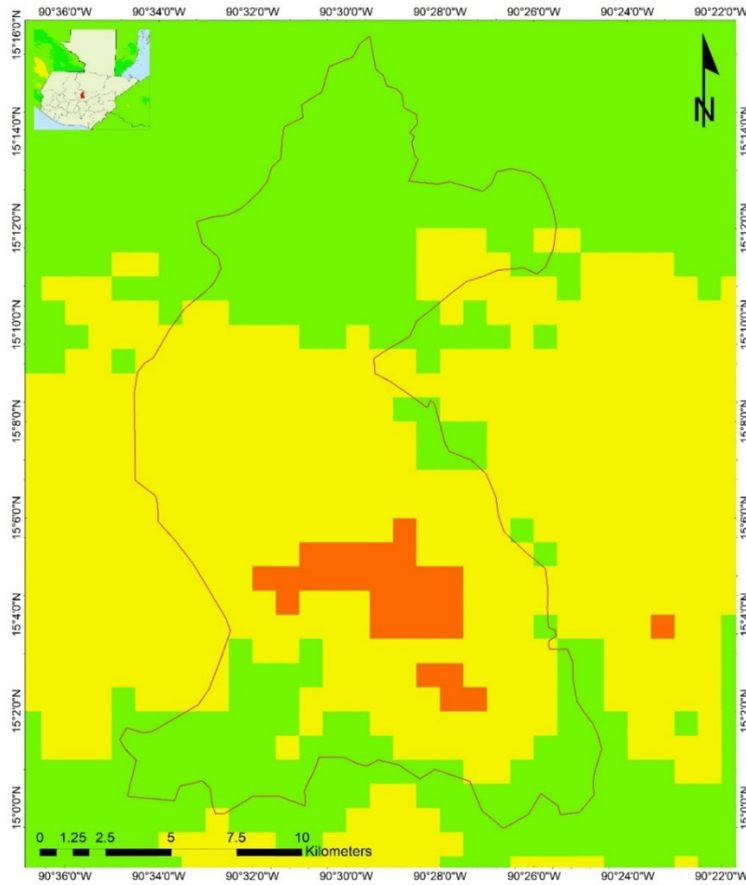
Bajo las condiciones actuales (climatología 1960-1990), aproximadamente 73% de los lugares poblados estarían ubicados en zonas consideradas de media a muy alta probabilidad de ocurrencia de sequías. Con base en el RCP 2.6, la situación es muy parecida al escenario actual, mientras que el RCP 8.5 –especialmente hacia finales de siglo– presenta un panorama complejo para la población de Rabinal, ya que 92% de los lugares poblados estarían ubicados en zonas con categorías de amenaza media a extremadamente alta de sequías (Cuadro 9).

Cuadro 9. Cantidad de centros poblados en el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, 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	-	-	-	-	7
Muy alta	12	11	12	18	17
Alta	5	10	9	10	7
Media	31	31	31	27	29
Medio baja	17	13	13	10	5
Baja	-	-	-	-	-
Muy baja	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia (2021), con datos de lugares poblados (IDEG, s. f.)

Los mapas presentados muestran la distribución espacial de la amenaza por sequía para el municipio de Rabinal, tanto para la línea base como para los escenarios futuros. Nótese que en la zona céntrica la amenaza por sequía es alta y con cada escenario esta se va intensificando; mientras que hacia el norte y sur del municipio la amenaza va disminuyendo.



Amenaza de Sequia

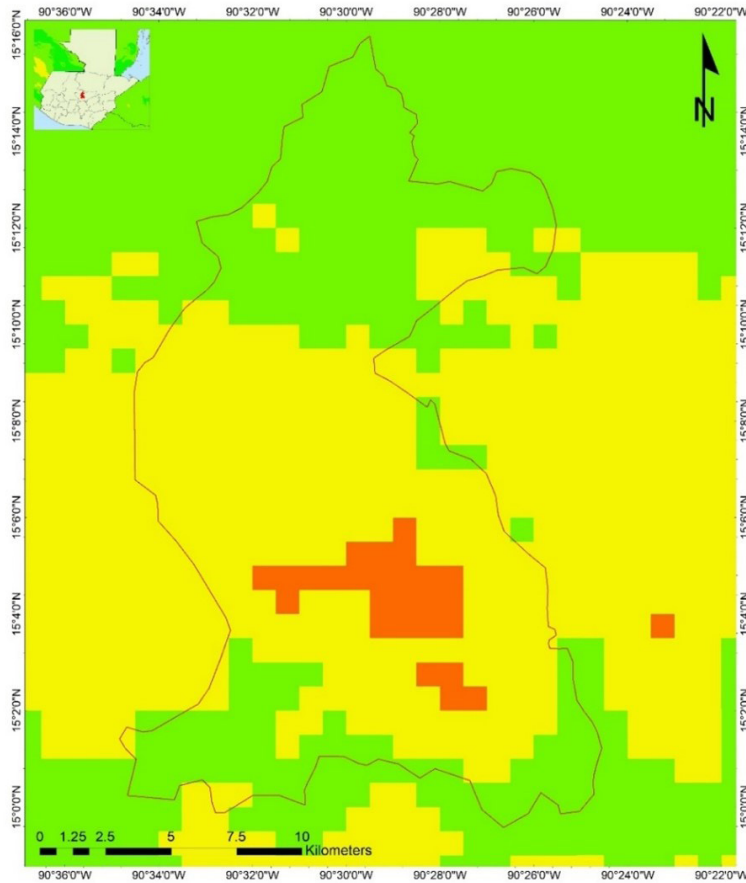
- Extremadamente
- Alta Muy Alta
- Alta
- Media
- Media Baja
- Baja
- Muy Baja

Este mapa fue elaborado bajo la metodología propuesta por (MAGA 2002, Bardales 2021).

Los insumos de precipitación e índice de aridez se generaron a partir de los datos de (WorldClim 1.4 2021).

Figura 34. Amenaza de sequía en el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala (climatología actual)

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



Amenaza de Sequía

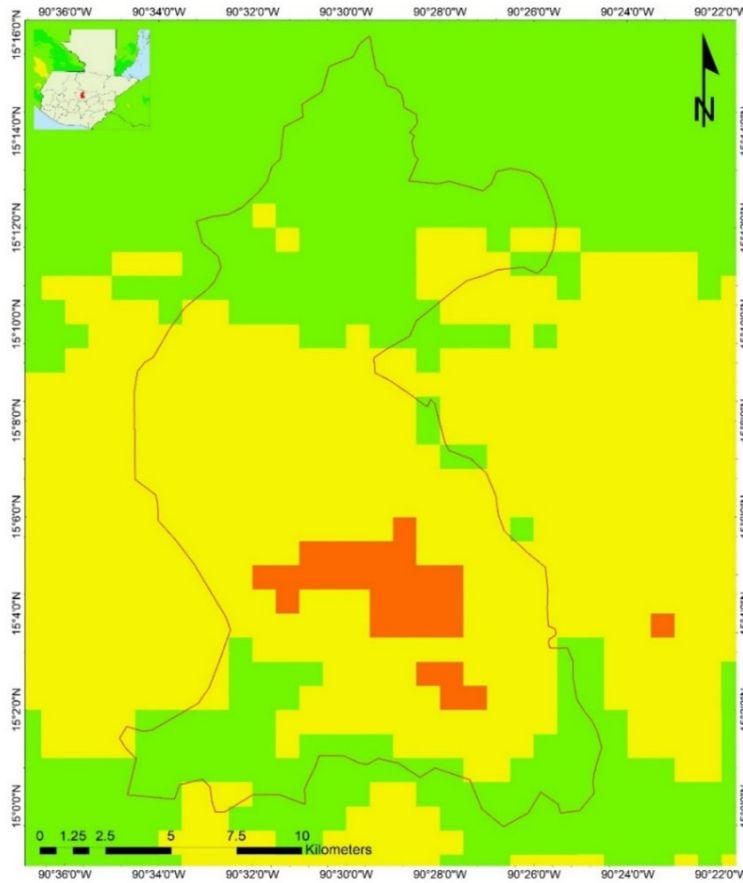
- Extremadamente
- Alta Muy Alta
- Alta
- Media
- Media Baja
- Baja
- Muy Baja

Este mapa fue elaborado 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 CCAFS-Climate.

Figura 35. Amenaza de sequía en el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala (Escenario RCP 2.6, periodo 2050)

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



Amenaza de Sequia

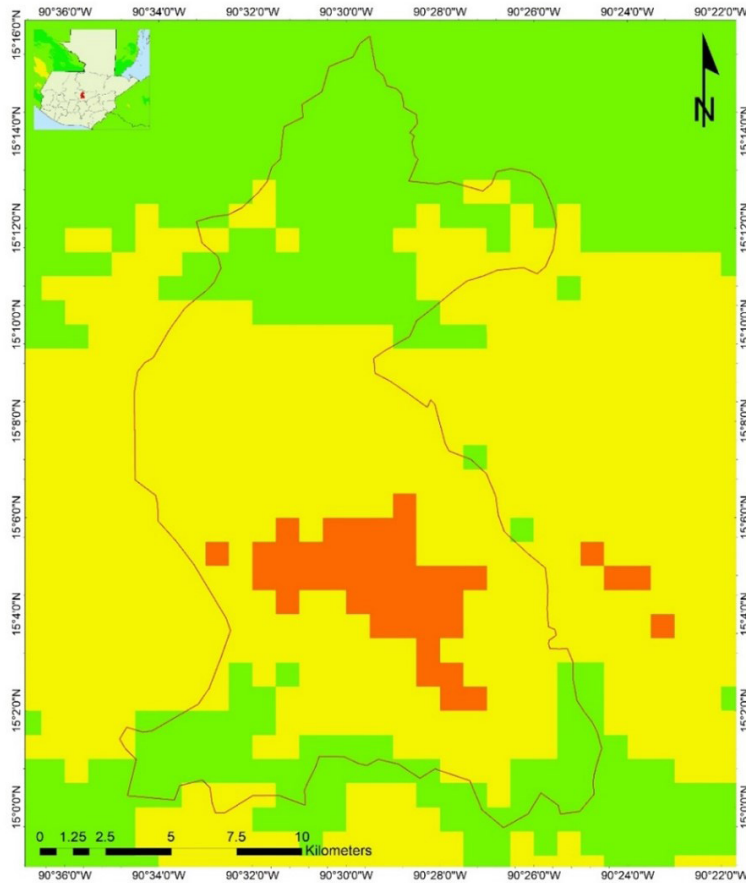
- Extremadamente
- Alta Muy Alta
- Alta
- Media
- Media Baja
- Baja
- Muy Baja

Este mapa fue elaborado bajo la metodología propuesta por MAGA (2002 y Bardales (2021).

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

Figura 36. Amenaza de sequía en el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala (Escenario RCP 2.6, periodo 2080)

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



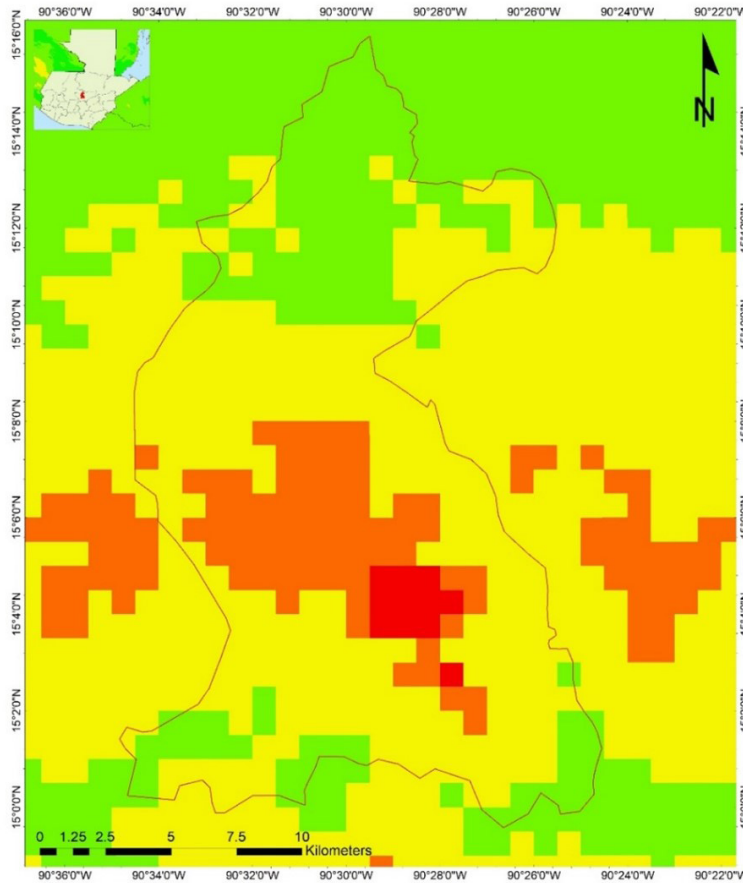
- Amenaza de Sequía
- Extremadamente
 - Alta Muy Alta
 - Alta
 - Media
 - Media Baja
 - Baja
 - Muy Baja

Este mapa fue elaborado 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 CCAFS-Climate.

Figura 37. Amenaza de sequía en el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala (Escenario RCP 8.5, periodo 2050)

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



- Amenaza de Sequia**
- Extremadamente
 - Alta Muy Alta
 - Alta
 - Media
 - Media Baja
 - Baja
 - Muy Baja

Este mapa fue elaborado 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 CCAFS-Climate.

Figura 37. Amenaza de sequía en el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala (Escenario RCP 8.5, periodo 2080)

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

6.6 Análisis de 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 adap-

tativa 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), quienes 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 39 muestra la interacción entre los parámetros de precipitación y temperatura para los rangos absolutos y óptimos

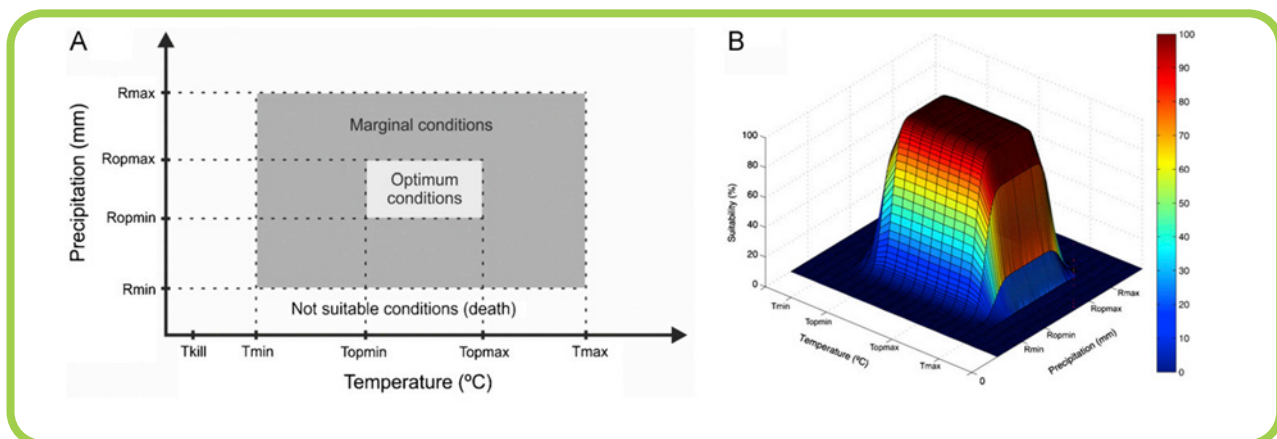


Figura 39. Representación en dos (A) y tres dimensiones (B) del modelo mecanístico usado en este análisis

Fuente: Tomado de Ramírez-Villegas et al. (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 (IDEG, s. f.) (Cuadro 10).

Cuadro 10. 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 sp.* y *Paspalum sp.*)
- Sistemas con especies forestales pino (*Pinus spp.*) y 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 40). 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 del valor mínimo de la serie de nueve especies para cada horizonte de tiempo.

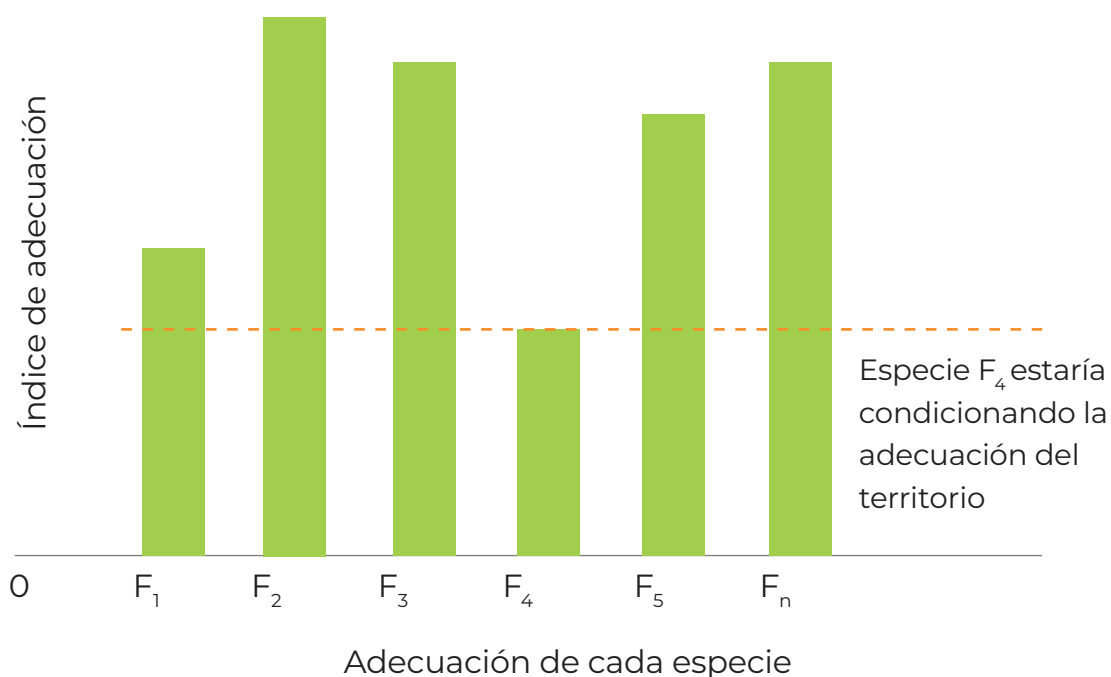


Figura 40. Adaptación de la ley de mínimo de Liebig al contexto de adecuación de espacial

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 (IDEG, s. f.), 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 Rabinal, dominado por pequeños productores (cuya propiedad es inferior a 1 manzana [mz]), mientras que propiedades mayores a las 10 mz están en manos de ganaderos cuya producción abastece a la capital. En dichas propiedades se pueden encontrar las siguientes variedades de maíz (ICTA B7, ICTA V301, amarillo, llanito y lajita) y frijol (ICTA Sayaxché e ICTA Petén) como base de la seguridad alimentaria y nutricional, y en menor proporción especies como:

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

En cuanto a los sistemas pecuarios, se puede destacar el ganado bovino (*Bos taurus*) y a nivel de patio, las gallinas, pavos y patos. Los principales pastos para el ganado vacuno son:

Pastos de corte:

- Pasto Cuba 22 (*Pennisetum sp.*)
- Maralfalfa (*Pennisetum purpureum*)
- Pasto elefante (*Penisetum purpureum*)
- Estrella (*Cynodon dactylon*)
- Jaragua (*Hyperrhenia rufa*)
- Brizanta (*Urochloa brizantha*)
- Pasto peludo (*Brachiaria decumbens*)

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

- Sistema silvopastoril [pino (*Pinus oocarpa*), pasto estrella (*Cynodon dactylon*) y ganado bovino de la raza Jersey]
- Huertos familiares o de traspatio [ICTA dorado, mango de pashte, hortalizas, plantas medicinales y limón (*Citrus limon*) o banano (*Musa paradisiaca*)]
- Árboles en asocio a cultivos perennes [*Inga sp.*, cedro, *Pinus sp.*, café catuai o caturra (*Coffea arabica*), con musáceas (*Musa sp.*)]

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 11).

Cuadro 11. Parámetros climáticos y requerimientos de 9 especies

Cultivo	GMIN	GMAX	TKMP	TMIN	TOP-MIN	TOP-MAX	TMAX	RMIN	ROP-MIN	ROP-MAX	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
Brachiaria	90	150	0	9	17	26	32	440	500	800	900
Paspalum	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.

En la Figura 41 se muestran los resultados del índice de adecuación de las 9 especies consideradas como importantes para los sistemas productivos en el municipio de Rabinal. 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 como 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).

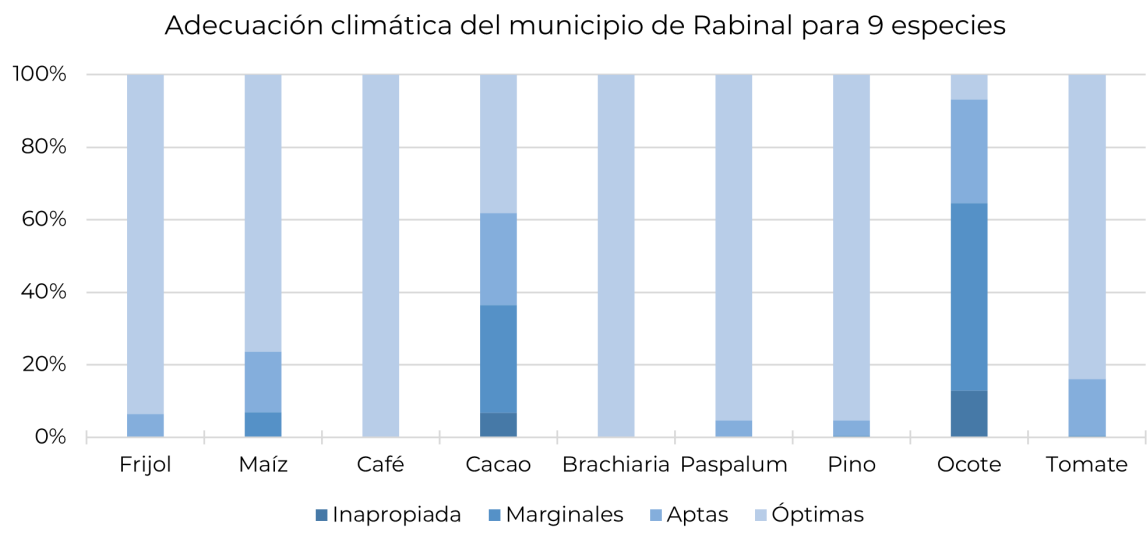
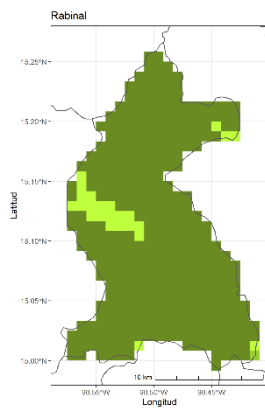


Figura 41. Adecuación climática de 9 especies en el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala (climatología actual)

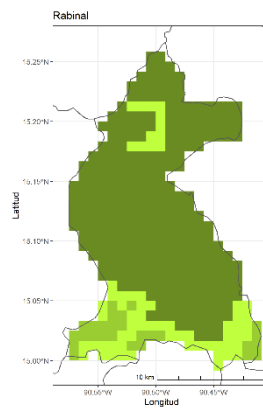
Fuente: Elaboración propia (2021), con base en datos de CCAFS Climate (2014)

Con excepción del cacao y el pino ocote, la totalidad del territorio del municipio de Rabinal ofrece condiciones climáticas muy favorables para el desarrollo de las especies seleccionadas (Figura 42).

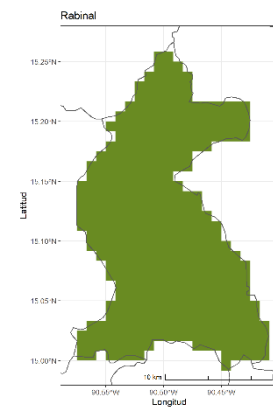
Para combinar los mapas individuales de adecuación en un solo ráster, se adecuó la ley de mínimos de Liebig, asumiendo que el índice de adecuación del territorio está determinado por el valor mínimo de adecuación de las especies (Figura 43).



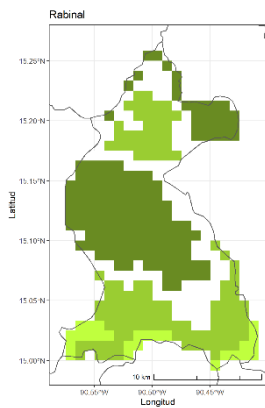
Frijol (*Phaseolus vulgaris*)



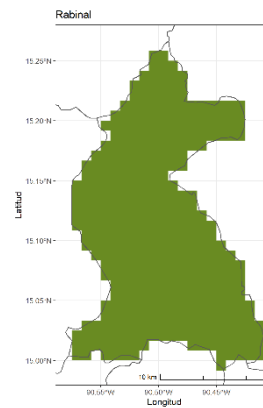
Maíz (*Zea mays*)



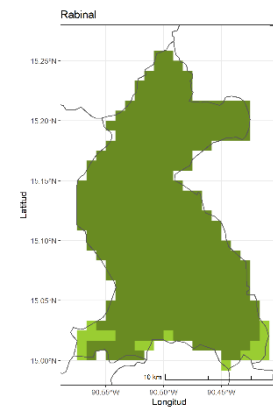
Café (*Coffea arabica*)



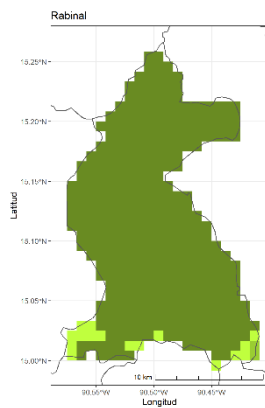
Frijol (*Phaseolus vulgaris*)



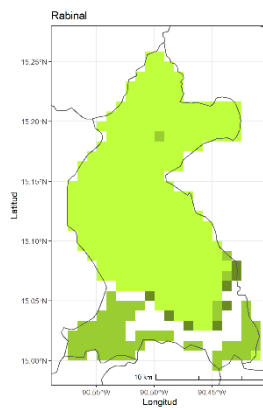
Brachiaria



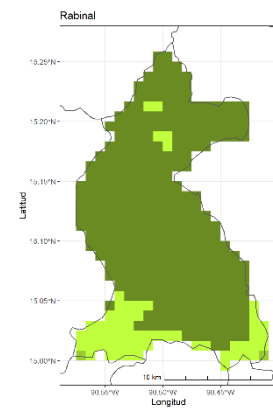
Paspalum



Pino (*Pinus spp.*)



Ocote (*Pinus oocarpa*)

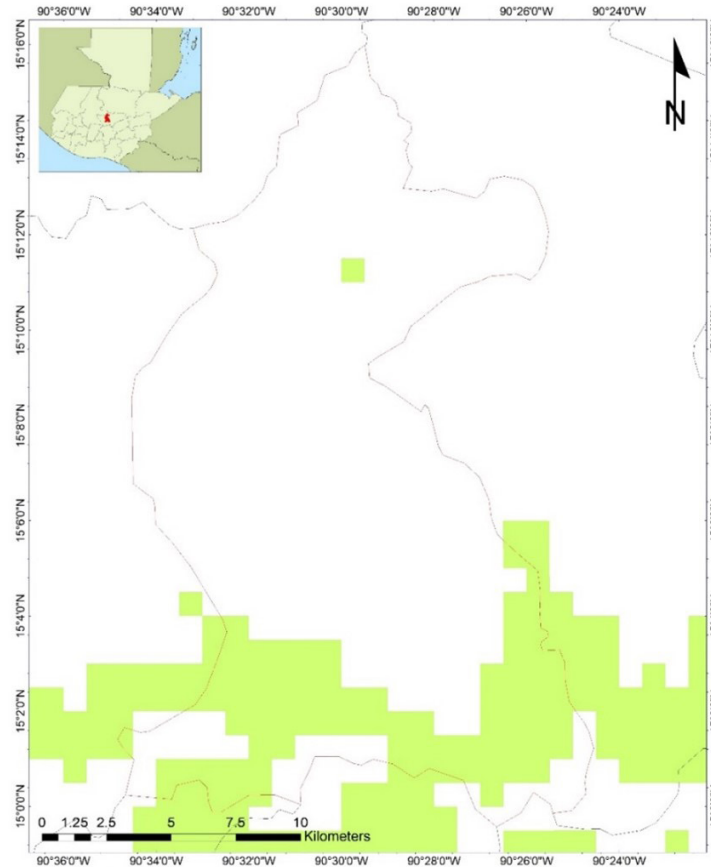


Tomate
(*Lycopersicon esculentum*–)

□ Inapropiado ■ Marginales ■ Aptas ■ Óptimas

Figura 42. Idoneidad climática para 9 especies en el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala (climatología actual)

Fuente: Elaboración propia (2021)



Índice de sensibilidad

- Inapropiada
- Marginal
- Apta
- Óptima

Ley de mínimo de Liebig, adaptado de Hackett y Vanclay (1998)

$IS = \text{MIN} (\text{maíz}, \text{frijol}, \text{café}, \text{cacao}, \text{pasto 1}, \text{pasto 2}, \text{forestal 1}, \text{forestal 2}, \text{huerto})$

Figura 43. Índice de sensibilidad según climatología actual, con base en la adecuación de 9 especies a las condiciones climáticas del municipio de Rabinal, Baja Verapaz, 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 12).

Cuadro 12. 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
ha						
Frijol						
RCP 2.6	-	15 314,24	16 466,92	-	14 573,22	17 207,93
RCP 8.5	82,33	18 607,62	13 091,20	82,33	24 618,05	7080,78
Maíz						
RCP 2.6	741,01	-	31 040,14	658,68	-	31 122,48
RCP 8.5	1811,36	-	29 969,79	1811,36	-	29 969,79
Café						
RCP 2.6	-	21 983,34	9797,82	-	22 148,01	9633,15
RCP 8.5	-	26 676,41	5104,75	-	31 451,82	329,34
Cacao						
RCP 2.6		14 243,89	17 537,27	-	14 161,55	17 619,60
RCP 8.5	164,67	17 290,27	14 326,22	905,68	21 818,67	9056,81

Etiquetas de fila	2050			2080		
	Mayor idoneidad	Menor idoneidad	No cambio	Mayor idoneidad	Menor idoneidad	No cambio
Brachiaria						
RCP 2.6	-	1976,03	29 805,13	-	1317,35	30 463,80
RCP 8.5	-	4446,07	27 335,09	-	12 103,19	19 677,97
Paspalum						
RCP 2.6	-	7904,12	23 877,03	-	7904,12	23 877,03
RCP 8.5	-	10 868,17	20 912,99	-	13 502,87	18 278,28
Pino						
RCP 2.6	82,33	9386,14	22 312,68	82,33	9386,14	22 312,68
RCP 8.5	82,33	11 938,52	19 760,30	82,33	15 561,24	16 137,58
Ocote						
RCP 2.6	12 432,52	494,01	18 854,62	12 432,52	494,01	18 854,62
RCP 8.5	14 079,22	1646,69	16 055,25	11 115,17	4199,06	16 466,92
Tomate						
RCP 2.6	-	5763,42	26 017,73	-	5269,41	26 511,74
RCP 8.5	-	9056,81	22 724,35	82,33	14 243,89	17 454,94

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 de la Figura 44 a la Figura 48. El color rojo muestra cambios negativos, es decir, zonas en las cuales el índice de adecuación se verá perjudicado; mientras, el color verde indica las zonas en las que el cambio climático favorecerá el desarrollo de la especie. El color gris indica que no hay cambios.

Las condiciones climáticas futuras en el municipio de Rabinal no afectarán el índice de adecuación para el maíz (*Zea mays*), mientras que para el pino ocote (*Pinus oocarpa*) mejorarán. En otras palabras, las condiciones futuras permitirían que la especie pueda desarrollarse en el municipio. Para el resto de las especies se observa que el municipio presentará condiciones climáticas que afectarían su desarrollo (color rojo).

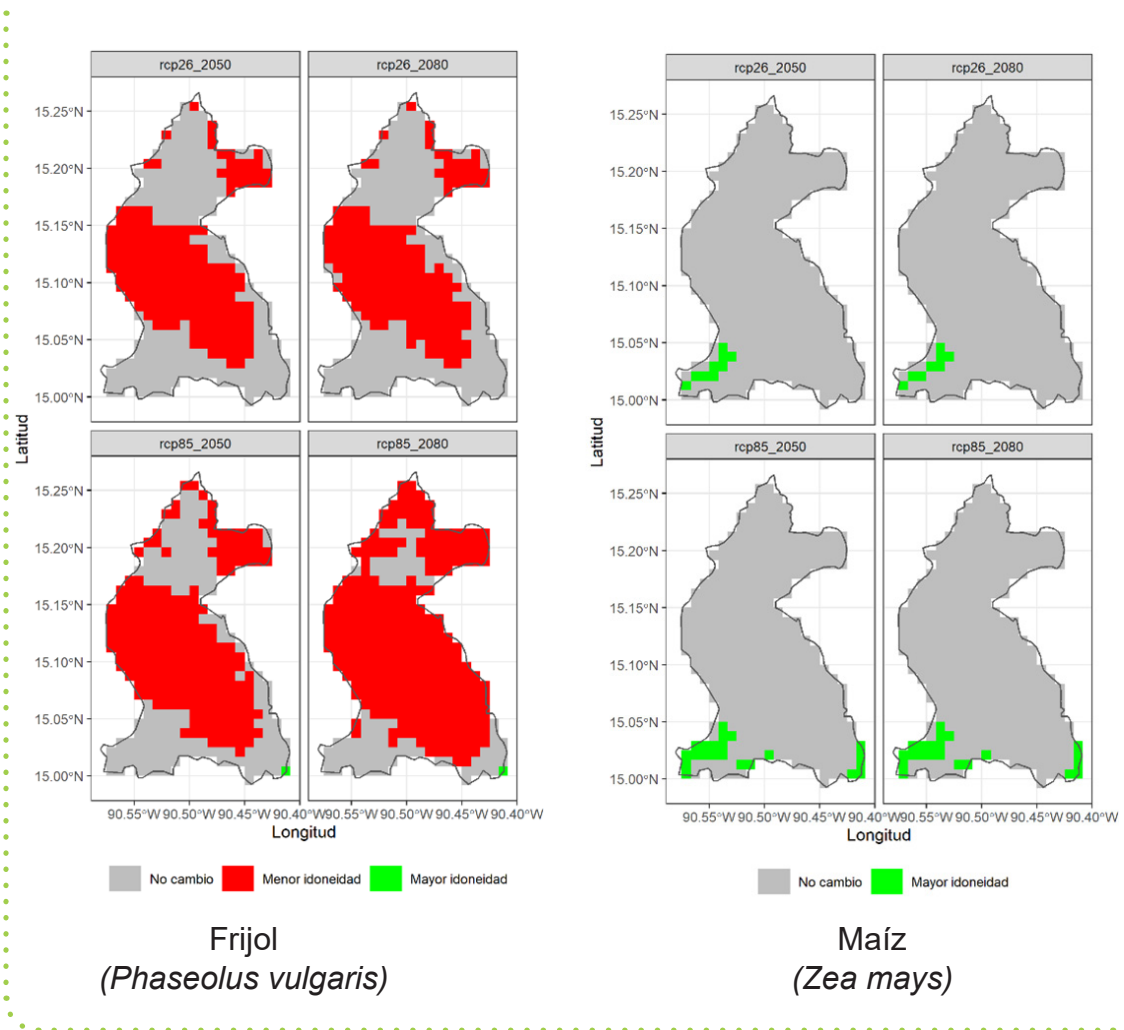


Figura 44. Cambios en la idoneidad climática del frijol (*Phaseolus vulgaris*) y el maíz (*Zea mays*) en el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala (*climatología actual*)

Fuente: Elaboración propia (2021)

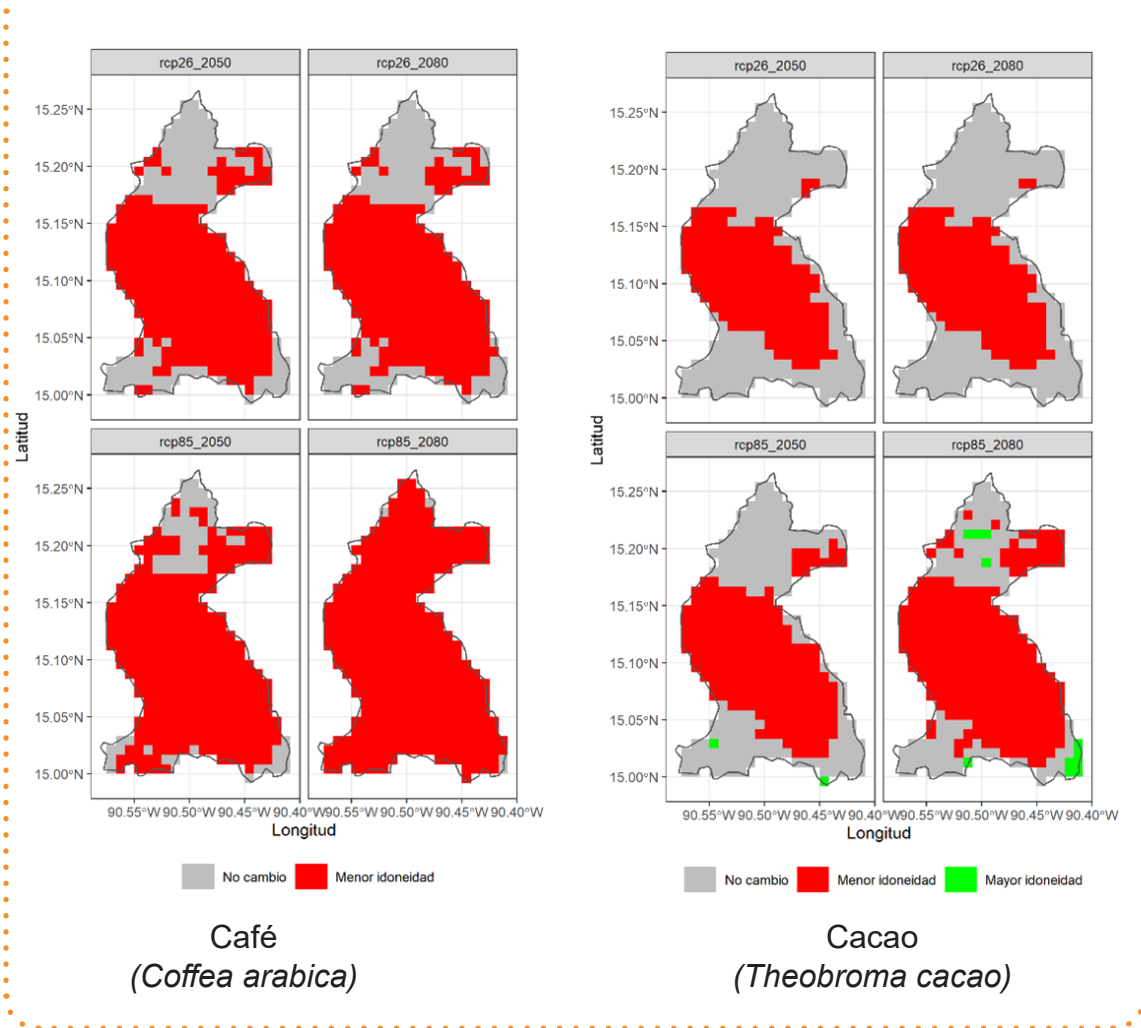


Figura 45. Cambios en la idoneidad climática del café (*Coffea arabica*) y el cacao (*Theobroma cacao*) en el municipio de Rabinal (climatología actual)

Fuente: Elaboración propia (2021)

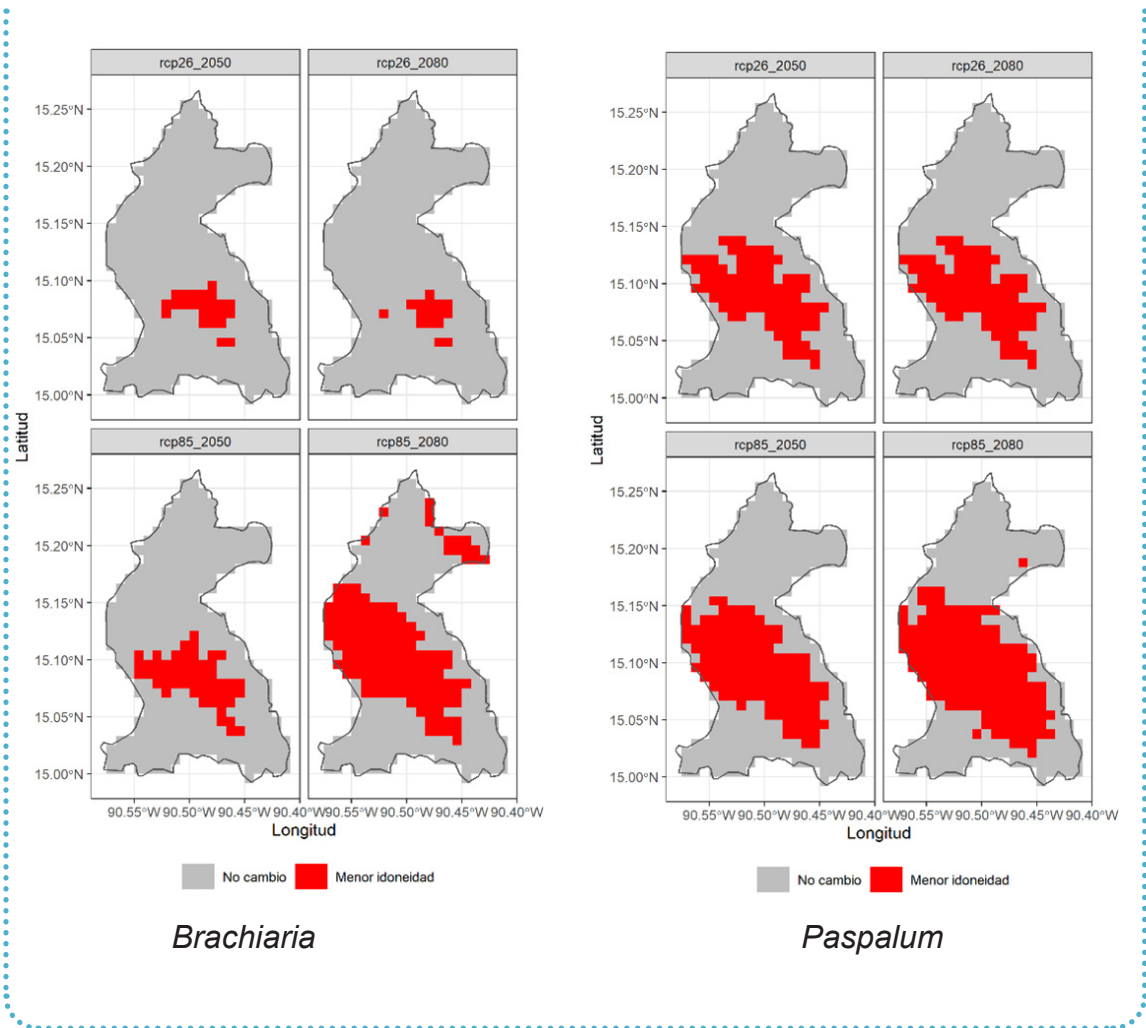


Figura 46. Cambios en la idoneidad climática de *Brachiaria* y *Paspalum* en el municipio de Rabinal (*climatología actual*)

Fuente: Elaboración propia (2021)

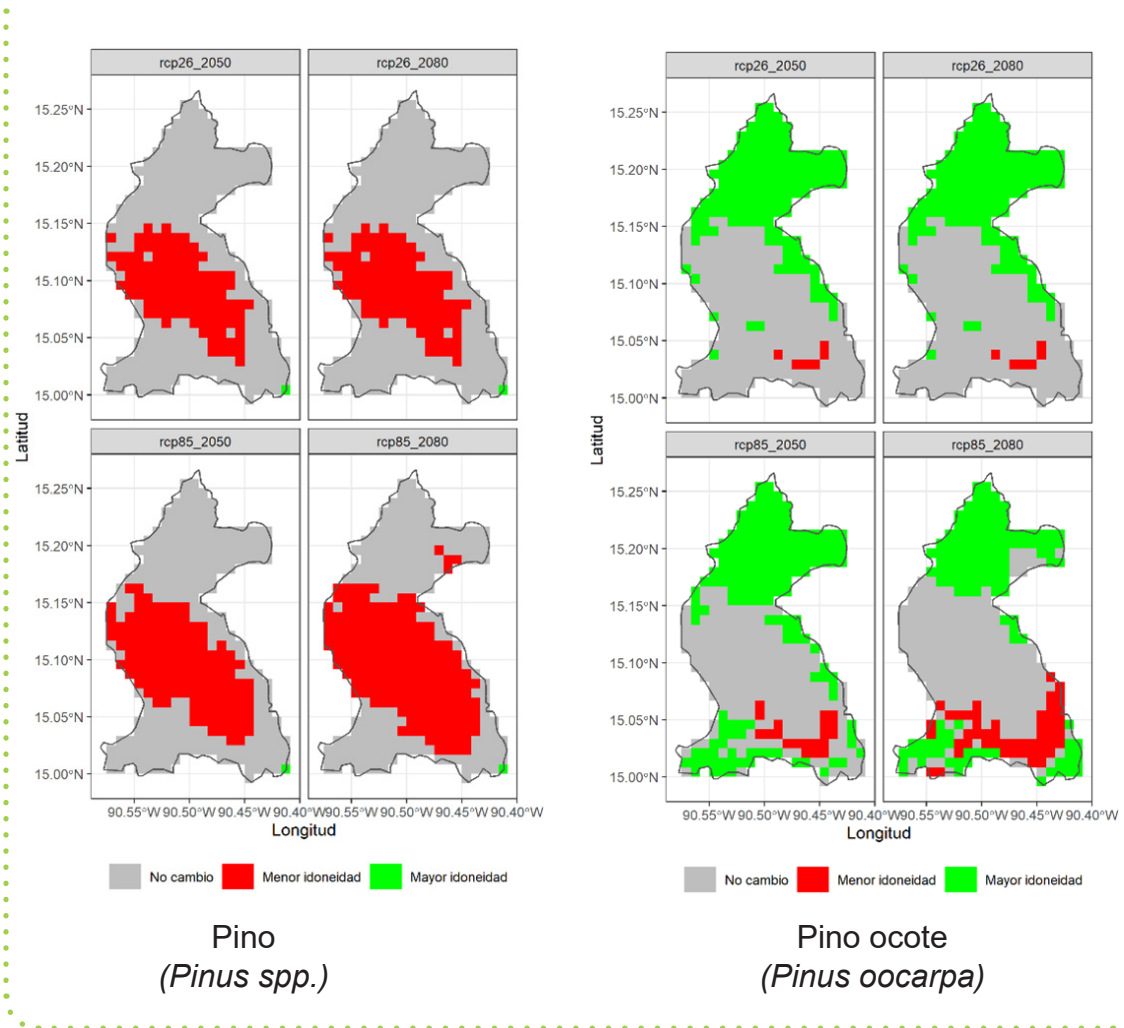
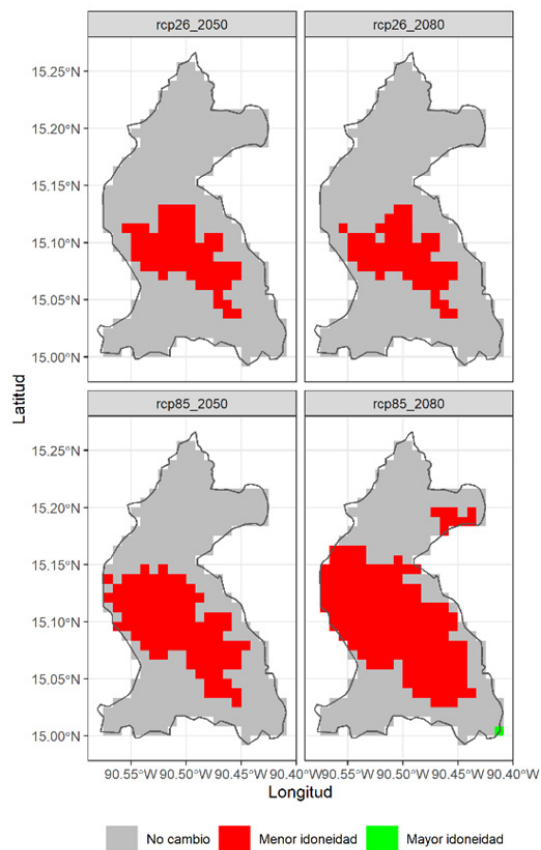


Figura 47. Cambios en la idoneidad climática del pino (*Pinus spp.*) y el pino ocote (*Pinus oocarpa*) en el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala (*climatología actual*)

Fuente: Elaboración propia (2021)



Tomate
(*Lycopersicon esculentum*)

Figura 48. Cambios en la idoneidad climática del tomate (*Lycopersicon esculentum*) en el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala (*climatología actual*)

Fuente: Elaboración propia (2021)

Con la herramienta *zonal statistics* de Arcmap se calculó el valor promedio de adecuación para el municipio de Rabinal, tanto para el escenario base como para los escenarios futuros y con estos se calculó el índice de sensibilidad (Cuadro 13).

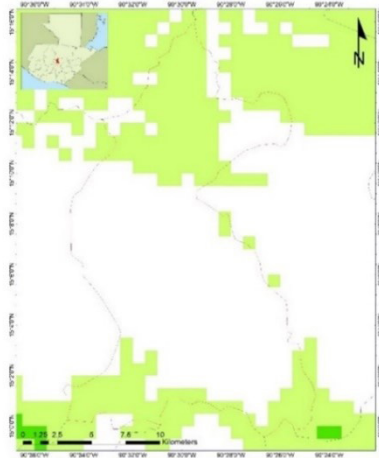
Cuadro 13. Cálculo del índice de sensibilidad con base en el promedio de adecuación, según escenario para el territorio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala

Escenario	Adecuación promedio (Des. Estándar)	Índice de sensibilidad
Actual	0.16 (0.25)	0.84
RCP 2.6 2050	0.34 (0.25)	0.66
RCP 2.6 2080	0.34 (0.24)	0.66
RCP 8.5 2050	0.23 (0.22)	0.77
RCP 8.5 2080	0.12 (0.15)	0.88

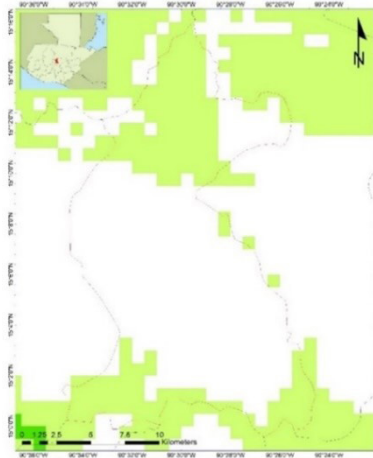
* Índice de sensibilidad = 1 – Adecuación promedio. Donde Adecuación promedio es el ráster resultado de aplicar la ley de mínimos de Liebig.

Fuente: Elaboración propia (2021)

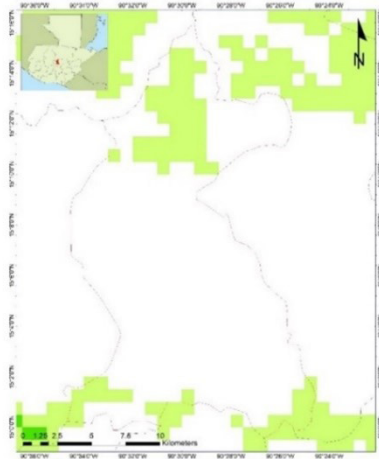
El cambio climático generará especies que serán afectadas y otras que podrían verse favorecidas en términos de su adecuación (Figura 49). Asimismo, al ser el índice de sensibilidad la inversa del índice de adecuación, se esperaría que a menor adecuación mayor sensibilidad y viceversa.



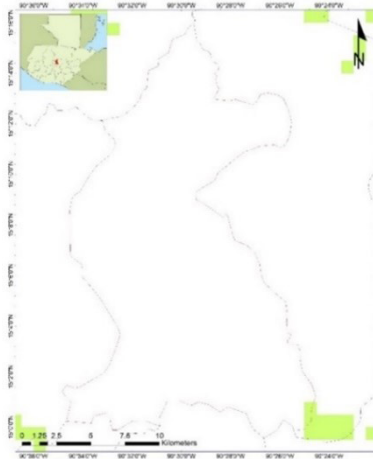
Índice de sensibilidad en el municipio de Rabin
(Escenario RCP 2.6 2050)



Índice de sensibilidad en el municipio de Rabin
(Escenario RCP 2.6 2080)



Índice de sensibilidad en el municipio de Rabin
(Escenario RCP 8.5 2050)



Índice de sensibilidad en el municipio de Rabin
(Escenario RCP 8.5 2080)

Índice de sensibilidad

- Inapropiada
- Marginal
- Apta
- Óptima

Ley de mínimo de Liebig, adaptado de Hackett y Vanclay (1998)

$IS = \text{MIN}(\text{maíz, frijol, café, cacao, pasto 1, pasto 2, forestal 1, forestal 2, huerto})$

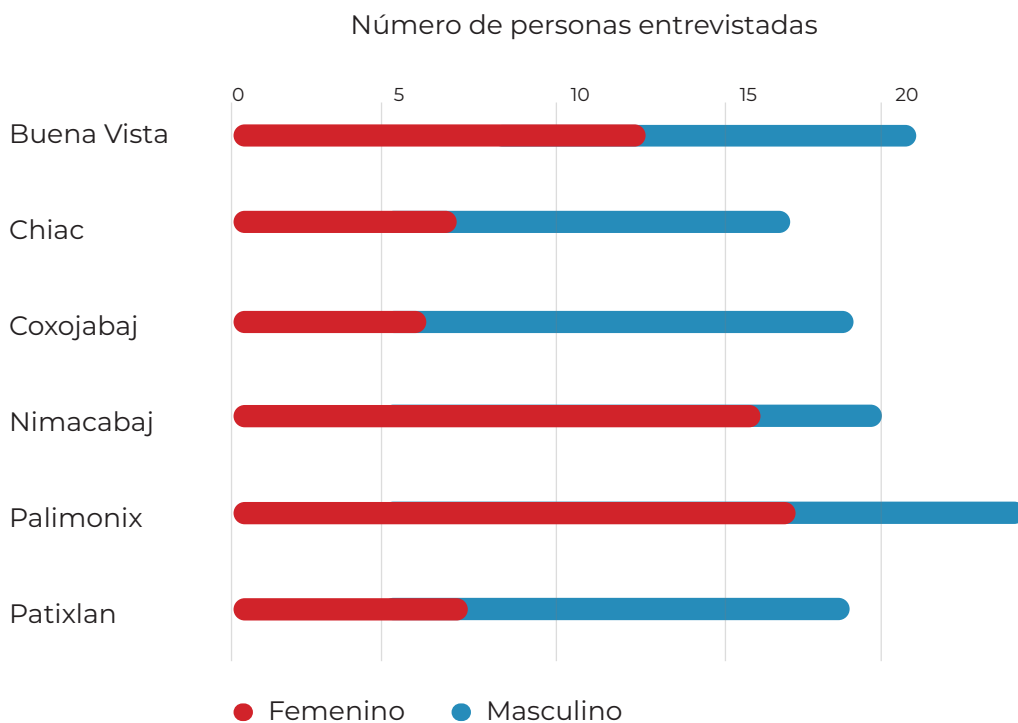
Figura 49. Índice de sensibilidad según climatología futura, con base en la adecuación de 9 especies a las condiciones climáticas del municipio de Rabin, Baja Verapaz, Guatemala

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

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 Rabinal el proceso de recolección de información primaria sobre medios de vida se realizó a través de encuestas tipo cuestionario, el cual se basó en un muestro al azar simple, por lo que aleatoriamente se consideró la participación de 119 personas, siendo 56% mujeres y 44% hombres (Figura 50), las cuales se encuentran distribuidas en 6 aldeas ubicadas dentro del corredor seco de Guatemala.



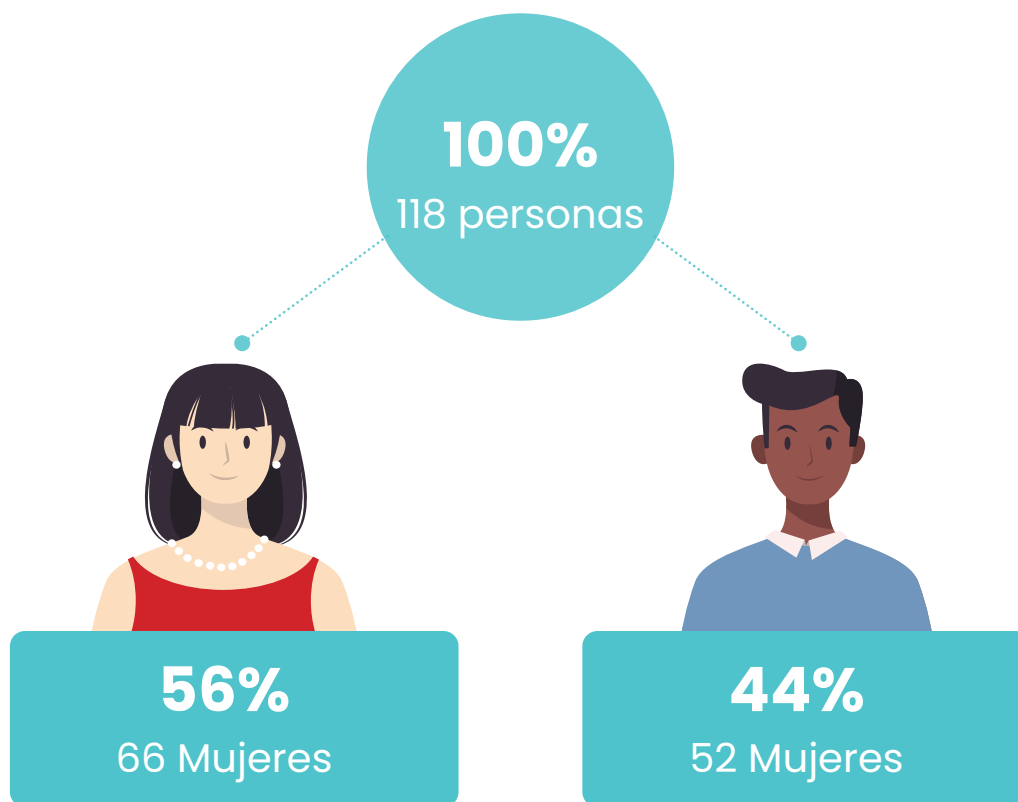


Figura 50. Distribución de personas encuestadas por tipo de género

Fuente: Elaboración propia (2021)

En el municipio, la edad promedio de los entrevistados es de 50 años, siendo 46 años la edad promedio de las mujeres y 54 años la de los hombres, diferencia que es estadísticamente significativa. Ahora bien, como se puede observar, la concentración de mujeres que poseen una edad promedio menor a los 42 años se encuentra ubicada en las aldeas de Chiac y Patixtlan.

Por otra parte, analizando el nivel educativo de las personas encuestadas en el municipio de Rabinal, fue posible inferir que 44% de ellas no poseen ningún tipo de educación; mientras que el 56% restante expresó haber cursado mayormente educación a nivel de primaria.

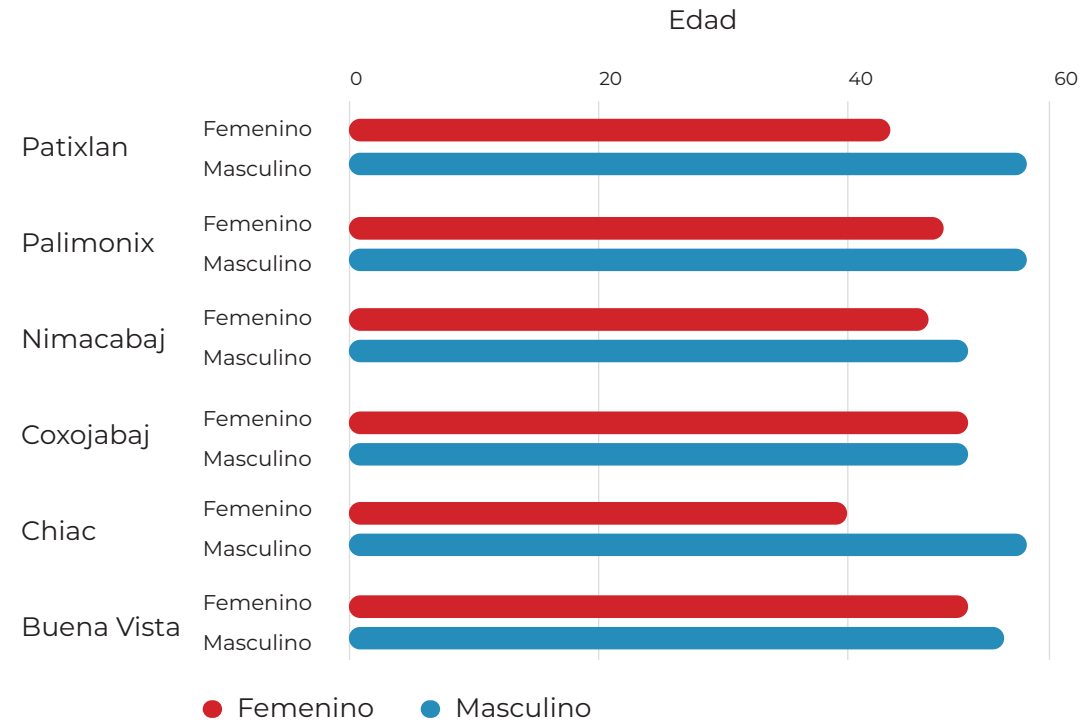


Figura 51. Distribución de edad de las mujeres y hombres por comunidad del municipio de Rabinal

Fuente: Elaboración propia (2021)

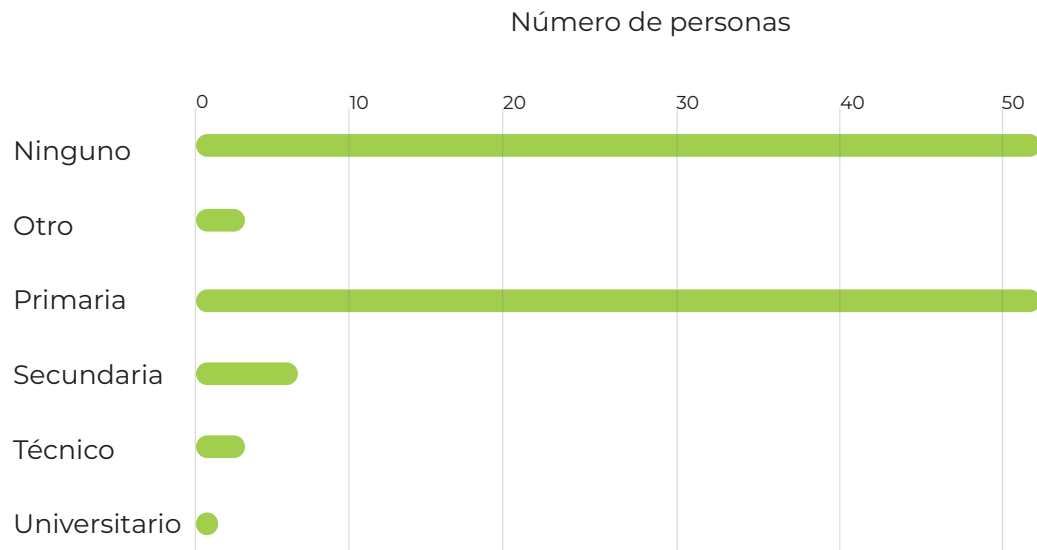


Figura 52. Nivel educativo del total de entrevistados en el municipio de Rabinal

Fuente: Elaboración propia (2021)

Ahora bien, al analizar el nivel educativo por tipo de género en las aldeas del municipio de Rabinal, se puede inferir que en la aldea de Buena Vista la mayor parte de la población no posee ningún grado de escolaridad, pero resalta que la población del género masculino es la que tiene mayor presencia a nivel educativo secundario.

En el caso de la aldea de Chiac, se observa que existe equidad de género al momento de participar en el nivel educativo primario. No obstante, destaca que de todas las aldeas esta es la que posee mayores pobladores con un nivel técnico, ya sea para hombres o mujeres. Mientras, en el resto de aldeas (Coxojobaj, Nimacabaj, Palimonix y Patixtlan) sobresale que gran parte de los encuestados han asistido al nivel primario, pero pocos casos a nivel secundario y prácticamente existe poca o nula preparación técnica. Por lo tanto, al planificar políticas locales y/o estrategias vinculadas con mejorar el 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 mejore las condiciones de vida de los habitantes de las aldeas dentro del corredor seco.

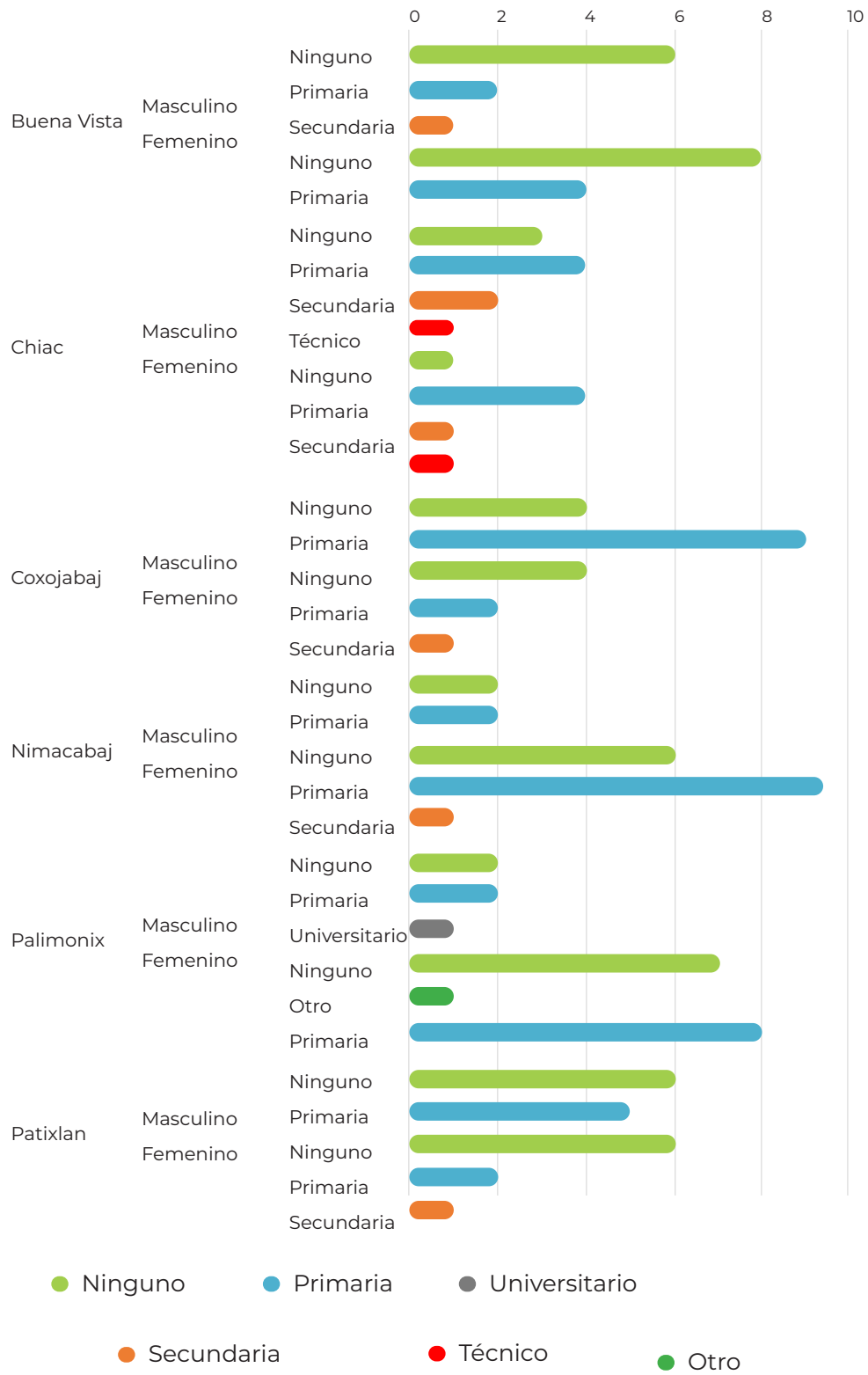


Figura 53. Nivel educativo por género en las aldeas del municipio de Rabinal

Fuente: Elaboración propia (2021)

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

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 14).

Cuadro 14. 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	Categórica	Se contabiliza el número de fuentes de agua, incluyendo cosecha de agua y agua potable
	Tipo de suelo	Categórica	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

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

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 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 (Marin-Ferrer, Vernaccini y Poljansek 2017) para obtener información sobre la 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 15. 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) (Figura 54).

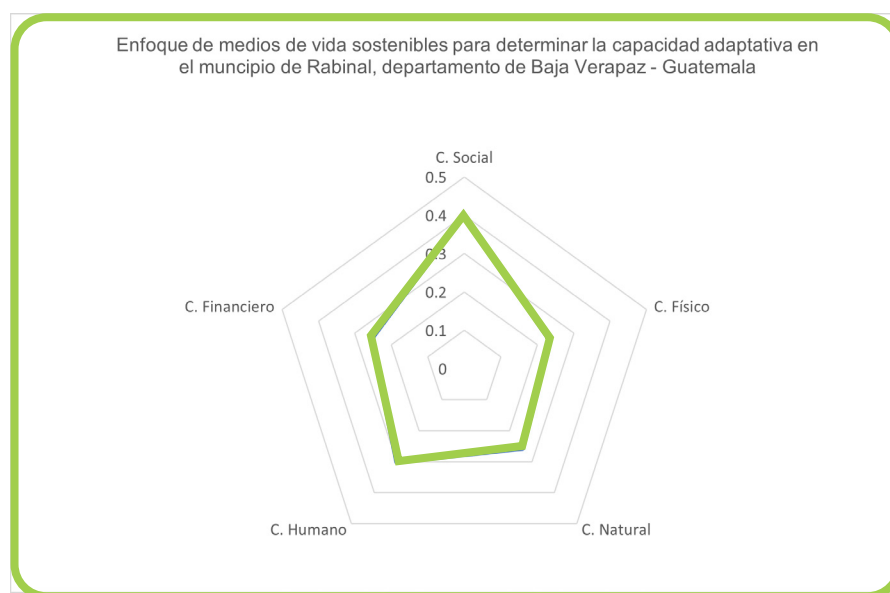


Figura 54. Capacidad adaptativa del municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala, según el marco de conceptual de medios de vida sostenibles

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 15. Descriptivos de los cinco capitales de medios de vida sostenibles en el municipio de Rabinal, departamento de Baja Verapaz, Guatemala

Rabinal	Promedio	Max	Min	Desv. Estand
Capital social	0.40	0.85	0.24	0.14
Capital físico	0.24	0.49	0.12	0.05
Capital natural	0.26	0.40	0.17	0.05
Capital humano	0.30	0.62	0.11	0.09
Capital financiero	0.25	0.47	0.03	0.10

n = 114

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 Rabinal se entrevistaron a 119 jefes de hogar. La escala se generó tomando en consideración los 29 indicadores descritos en el Cuadro 14. El valor promedio para el municipio de Rabinal es de 0.28.

Asimismo, el índice de manejo de riesgo (Marín-Ferrer *et al.* 2017), usando indicadores como reducción del riesgo por desastres, gobernanza, infraestructura física, comunicación y acceso al sistema de salud, le asigna al municipio de Rabinal una puntuación de 4.6 sobre 10 (0.46 en escala de 0 – 1).

Consecuentemente, el valor de la capacidad adaptativa para el municipio de Rabinal es de 0.37. Finalmente, considerando que la vulnerabilidad está en función de la sensibilidad y la capacidad adaptativa, el componente de vulnerabilidad quedaría definido por:

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

El componente de vulnerabilidad fue estimado en 0.47 para el escenario base, mientras que la vulnerabilidad se reduciría con los escenarios RCP 2.6 durante el horizonte 2050 y 2080, y también con el escenario RCP 8.5 al 2050. El único escenario en el que las condiciones de vulnerabilidad serían más fuertes es con el RCP 8.5 hacia finales de siglo (Cuadro 16).

Cuadro 16. Cálculo del componente de vulnerabilidad, según escenario para Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala

Escenario	Índice de sensibilidad	Cap. Adaptativa	Vulnerabilidad
Actual	0.84	0.37	0.47
RCP 2.6 2050	0.66		0.29
RCP 2.6 2080	0.66		0.29
RCP 8.5 2050	0.77		0.40
RCP 8.5 2080	0.88		0.51

Fuente: Elaboración propia (2021)

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):

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.

El índice de riesgo climático para el municipio de Rabinal se comporta dentro de los límites medios. El valor más alto corresponde al escenario RCP 8.5 (0.52 para 2080), mientras que el valor promedio más bajo se reportó en el escenario correspondiente al RCP 2.6 hacia finales de siglo (0.45). El valor promedio del escenario base fue de 0.51 (Cuadro 17). El detalle espacial, así como el comportamiento de las franjas de riesgo en cada uno de los escenarios, puede verse en los mapas desde la Figura 55 a la Figura 59. Dichos datos son consistentes con la literatura sobre vulnerabilidad en el corredor seco y otros municipios afectados por la sequía en Guatemala, aclarando que dichos estudios se enfocaban en la metodología del AR4 o sea, utilizan solamente el marco de vulnerabilidad y no el de riesgo climático (AR5), como en el presente estudio.

Cuadro 17. Resumen de las condiciones de riesgo climático para Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala

Escenario	MEAN	MIN	MAX	SD
Actual	0.51	0.29	0.66	0.10
RCP 2.6 2050	0.46	0.32	0.63	0.07
RCP 2.6 2080	0.45	0.32	0.63	0.07
RCP 8.5 2050	0.51	0.37	0.69	0.06
RCP 8.5 2080	0.52	0.41	0.69	0.06

Fuente: Elaboración propia (2021)

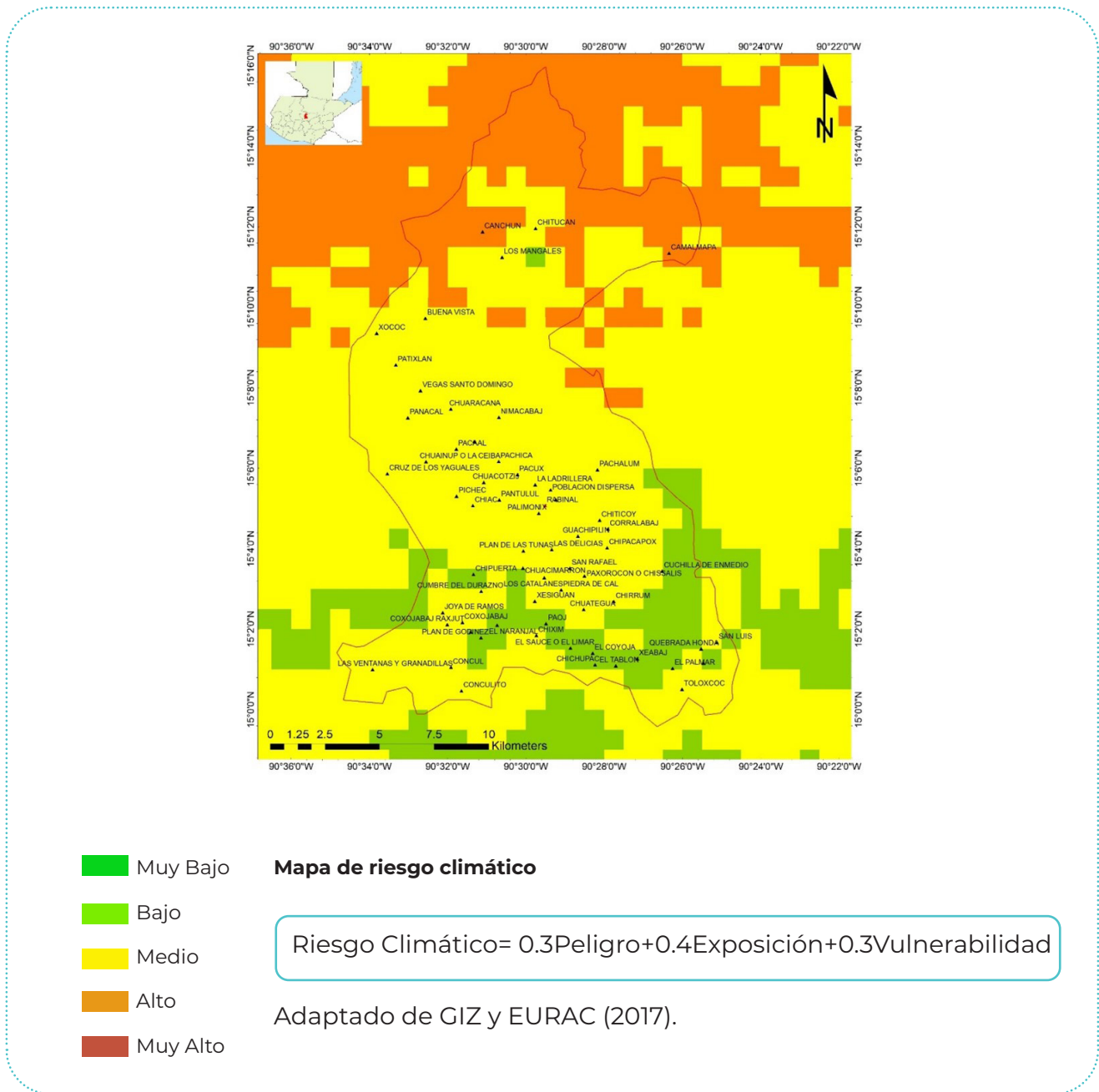


Figura 55. Mapa de riesgo climático para el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala, según climatología actual (1960-1990)

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

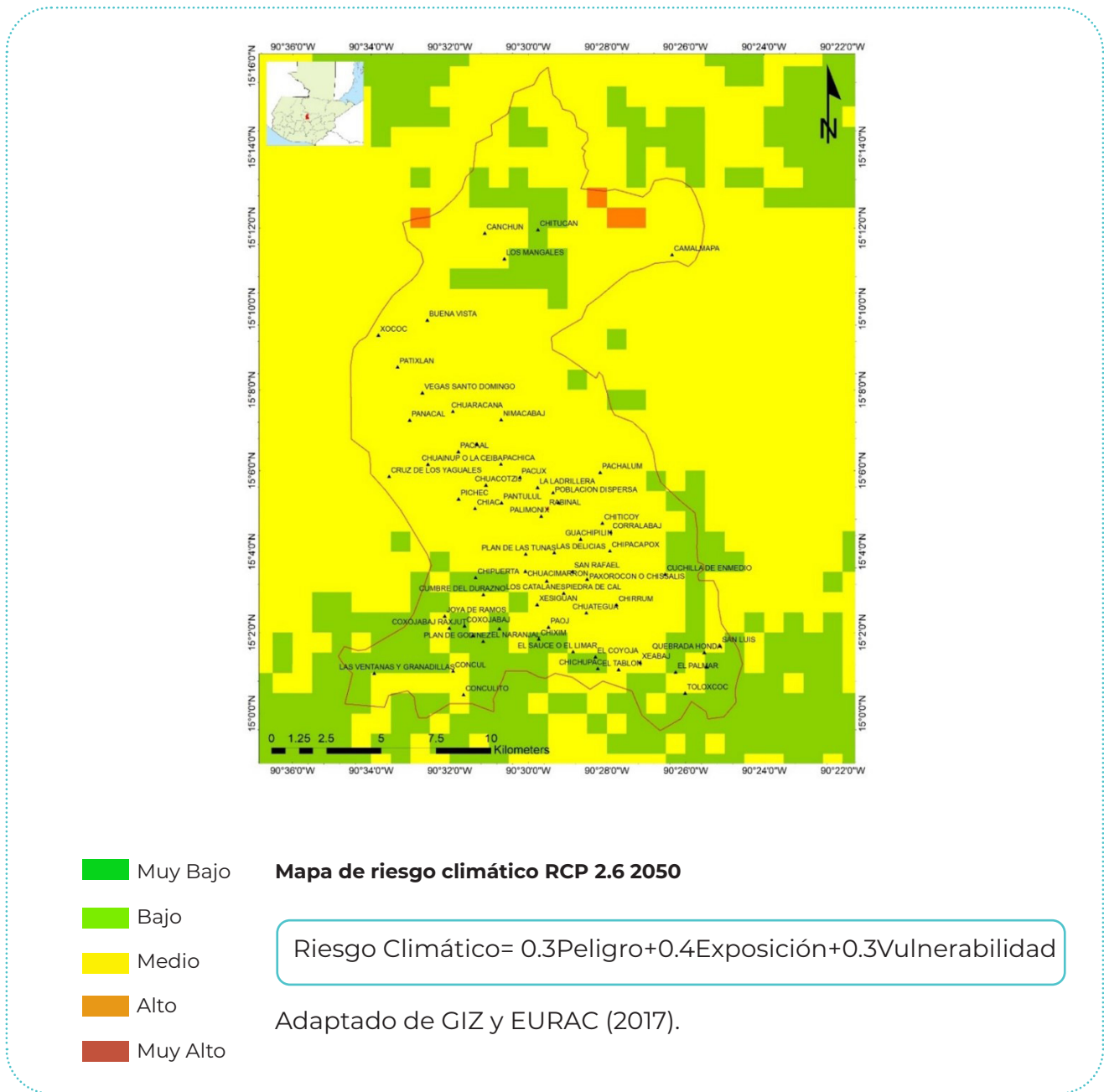
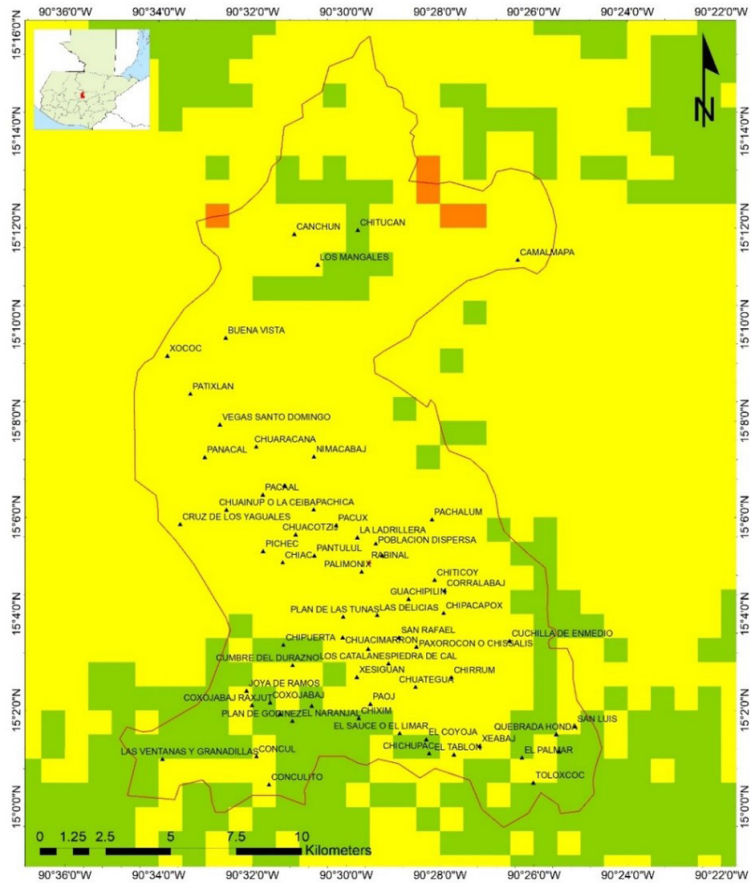


Figura 56. Mapa de riesgo climático para el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala (Escenario RCP 2.6 2050)

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



- Muy Bajo
- Bajo
- Medio
- Alto
- Muy Alto

Mapa de riesgo climático RCP 2.6 2080

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

Adaptado de GIZ y EURAC (2017).

Figura 57. Mapa de riesgo climático para el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala (Escenario RCP 2.6 2080)

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

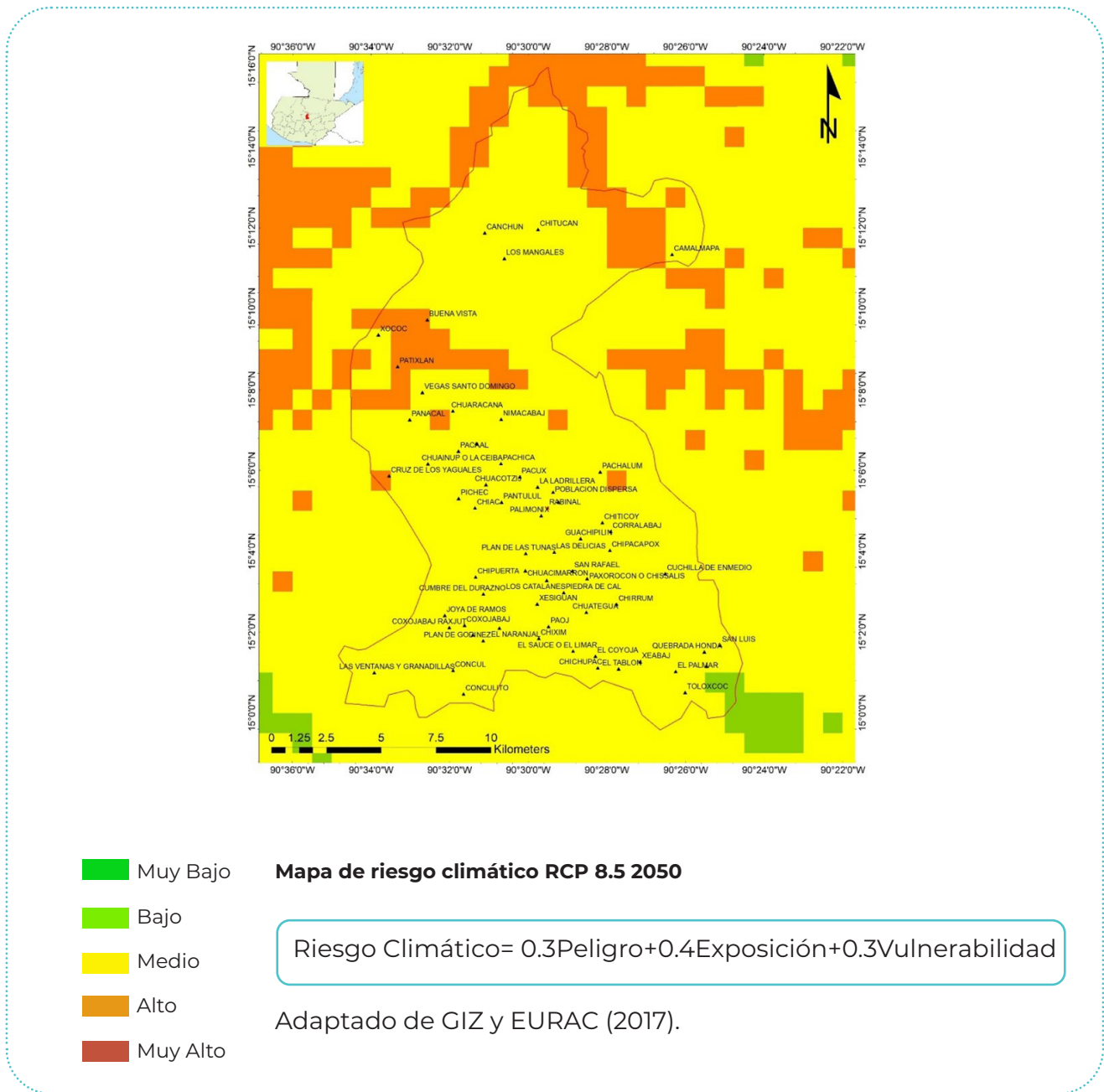
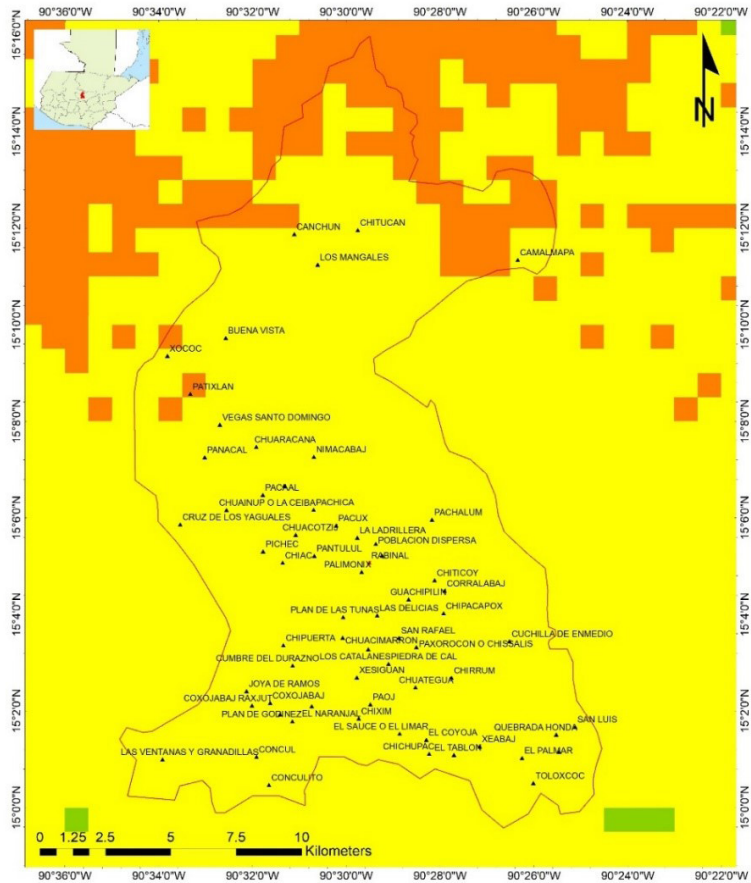


Figura 58. Mapa de riesgo climático para el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala (Escenario RCP 8.5 2050)

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



- Muy Bajo
- Bajo
- Medio
- Alto
- Muy Alto

Mapa de riesgo climático RCP 8.5 2050

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

Adaptado de GIZ y EURAC (2017).

Figura 59. Mapa de riesgo climático para el municipio de Rabinal, Baja Verapaz, Guatemala (Escenario RCP 8.5 2080)

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

7

Recomendaciones del Plan Local de Adapatación al Cambio Climático PLACC



7

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 Rabinal, fue posible identificar las medidas de adaptación al cambio climático prioritarias para las comunidades. Esa 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 18. Comunidades de los talleres sobre adaptación en el municipio de Rabilal

N°	Comunidad	Participantes
1	Nimacabaj	Líderes de COCODES y comunitarios productores(as)
2	Chiac	Líderes de COCODES y comunitarios productores(as)
3	Buena Vista	Líderes de COCODES y comunitarios productores(as)
4	Patixtlan	Líderes de COCODES y comunitarios productores(as)
5	San Rafael	Líderes de COCODES y comunitarios productores(as)
6	Chiticoy	Líderes de COCODES y comunitarios productores(as)
7	Coxojabaj	Líderes de COCODES y comunitarios productores(as)
8	Palimonix	Líderes de COCODES y comunitarios productores(as)
9	Institucional sede Rabilal	Representantes institucionales (mapeo de actores)

Fuente: Elaboración propia (2021)

El modelo de resultados de los talleres de consulta a nivel de una comunidad (aldea Nimacabaj) se incluye a continuación:

1

Análisis de las necesidades de adaptación

MEDIOS DE VIDA	PRINCIPAL AMENAZA CLIMÁTICA	FACTORES DE SENSIBILIDAD CLIMÁTICA	¿QUÉ ZONAS Y ACTORES PUEDEN SER MÁS AFECTADOS Y POR QUÉ?	IMPACTOS BIOFÍSICOS (producción o)	IMPACTOS SOCIALES Y ECONÓMICOS	CAPACIDADES ACTUALES DE ADAPTACIÓN (Recurso, conocimientos, tecnología, organización, acciones en curso etc.)	NIVEL DE RIESGO CLIMÁTICO	NIVEL DE VUNERABILIDAD CLIMÁTICA
Agricultura, Ganadería y Seguridad Alimentaria		Deforestación Competencia de Agua Incendios Forestales Enfermedades y Plagas en Ganadería	Zona Baja. Los pobladores ya que parece un desierto	Baja Fertilidad del suelo Pérdida de Cultivo Pérdida de Semillas Criollas Pérdida en el Cultivo de	Baja Producción Pérdida de Semillas Criollas Menores ingresos económicos Migración Nacional e Internacional Enfermedades Asociadas al agua para los animales	Asistencia Técnica del MAGA ASECSA Asistencia Técnica de la Municipalidad en Agricultura	ALTO	ALTO

2

Selección de las medidas de adaptación

MEDIOS DE VIDA	PRINCIPAL AMENAZA CLIMÁTICA	NIVEL DE RIESGO CLIMÁTICO	NIVEL DE VUNERABILIDAD CLIMÁTICA	OPCIONES DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN	QUE ACTORES DEBEN INVOLUCRARSE	CRITERIOS PARA LA PRIORIZACIÓN DE LAS MEDIDAS			CALIFICACIÓN FINAL
						Factibilidad	Costo	Efectividad	
Agricultura, Ganadería y Seguridad Alimentaria	Sequía	ALTO	ALTO	Sistemas Agroforestales	MAGA, PRODENORTE	5	5	5	15
				Elaboración de un Pozo	Municipalidad y Consejo de Desarrollo	5	1	5	11
				Cosecha de Aguas de Lluvia	ASECSA, CARITAS y UGAM	5	3	5	13
				Elaboración de un Tanque comunitario	Municipalidad y Consejo de Desarrollo	5	2	5	12
				Semillas Resistentes a la Sequía	MAGA, CARITAS y FAO	5	4	4	13
				Sistemas de miniriego	PRODENORTE, FAO y KFW	5	3	5	13
				Elaboración de Aboneras	MAGA y CARITAS	5	4	5	14
				Elaboración de Aboneras	MAGA y FAO	5	4	5	14
				Barreras Vivas y muertas	UGAM, CARITAS, INDE, INAB y Oficina Forestal Municipalidad	4	3	5	12
				Protección de Recargas Hídricas	MAGA y Municipalidades	5	3	5	13
				Recuperación del cultivo de Naranja	Municipalidad, MAGA y CACHUALOM	5	4	5	14
Huertos Familiares									

3

Integración de las medidas de adaptación en la planificación local

MEDIOS DE VIDA	OPCIONES DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN	COMO SE IMPLEMENTARÁ LA MEDIDA	¿EN QUE PLAZO?	¿EN CUAL PROCESO DE PLANIFICACIÓN LOCAL?	¿QUIENES SERÍA LOS BENEFICIARIOS?	¿CUALES SON SUS ROLES O RESPONSABILIDADES?
Agricultura, Ganadería y Seguridad Alimentaria	Sistemas Agroforestales	MAGA, PRODENORTE	M	PINPEP	Familia y Productores Comunitarios	Mano de Obra comunitaria
	Elaboración de un Pozo	Municipalidad y Consejo de Desarrollo	M	Fondos Municipales		
	Cosecha de Aguas de Lluvia	ASECSA, CARITAS y UGAM	C	Municipalidad y FAO		
	Elaboración de un Tanque comunitario	Municipalidad y Consejo de Desarrollo	M	Fondos Municipales		
	Semillas Resistentes a la Sequía	MAGA, CARITAS y FAO	C	MAGA y FAO		
	Sistemas de miniriego	PRODENORTE, FAO y KFW	C	PRODENORTE y Municipalidad		
	Elaboración de Aboneras	MAGA y CARITAS	C	MAGA		
	Barreras Vivas y muertas	MAGA y FAO	C	INAB		
	Protección de Recargas Hídricas	UGAM, CARITAS, INDE, INAB y Oficina Forestal Municipalidad	C	Fondos Municipales		
	Recuperación del cultivo de Naranja Huertos Familiares	MAGA y Municipalidades	C	MAGA y PRODENORTE		
		Municipalidad, MAGA y CACHUALOM	M	Fondos Municipales, FAO y MA		

En su mayoría, en las comunidades del corredor seco del municipio de Rabinal se dedican a la agricultura de subsistencia con cultivos de maíz y frijol. Ante la mayor amenaza climática definida (“sequía”), se identificaron elementos que potencian la susceptibilidad de las comunidades: la alta erosión de los suelos, la pérdida de cultivos, falta de agua, la deforestación y los incendios forestales. Estos aspectos hacen que la población de las comunidades sea susceptible a ser más afectada por sequías en sus medios de vida.

La gestión del agua es de gran importancia, dado que es un recurso limitado no solo para consumo humano, sino para la producción agrícola y ganadera. Resalta también la contaminación del agua para consumo humano, que es un punto sensible desfavorable, ya que su preferencia es a consumir agua sin tratamientos con sistemas de cloración que la hagan apta para el consumo humano.

Adicionalmente, el alto porcentaje de población en condiciones de pobreza es un factor de sensibilidad climática. Por esa exposición y sensibilidad, el impacto potencial a los medios de vida basado en la agricultura, ganadería y seguridad alimentaria se encuentra en un valor de medio-alto, de acuerdo con los valores asignados a los indicadores seleccionados. No obstante, existen algunas capacidades de adaptación que pueden reducir en parte dicho impacto y en consecuencia, reducir la vulnerabilidad.

Las capacidades de adaptación para las comunidades del corredor seco no dependen solamente de la agricultura para su ingreso familiar, sino que –por los efectos de la sequía– tienen al menos una fuente más de ingresos, además de la agricultura, como es el trabajo agrícola en otras fincas fuera de su entorno comunitario.

Existe un bajo nivel de acceso de las familias a servicios de extensión o asistencia técnica (menos de 20% de las familias con acceso a estos servicios), lo que hace que la capacidad de adaptación sea baja, así como la organización comunitaria. Más aún, cuando en la actualidad no existe organización social o comunitaria que –por ejemplo– impulse la gestión del agua y servicios a la comunidad o actividades productivas de manera conjunta y manejo de recursos naturales para aspectos productivos. Esto hace que las capacidades para enfrentar los impactos de la sequía sean menores.

7.3 Medidas de adaptación por los actores de Rabinal

En los diversos talleres, se pudo observar 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.

Sin embargo, una medida importante considerada para los sistemas productivos que reduciría 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.

También la capacitación con giras demostrativas promueve el conocimiento y tecnologías. Como se mencionó, es importante plantear estas medidas de manera integral y que se inserten mediante servicios de extensión o asistencia técnica y 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.

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, ciertas comunidades tienen particularidades de medidas de adaptación de acuerdo con sus necesidades. Del menú de medidas se priorizaron las siguientes, las cuales deben ser la base para el desarrollo de un PLACC:

Cuadro 19. Medidas de adaptación priorizadas por las comunidades del municipio de Rabinal

Medidas de adaptación y gestión de recursos propuestas por componente*								
Descripción	Indicador(es)	Años					Responsables propuestos**	
		1	2	3	4	5		
N°	Componente gestión del agua							
1	Gestionar proyectos de captación o cosecha de agua de lluvia para uso doméstico y huertos familiares	Número de sistemas de captación de agua establecidos por año Número de huertos familiares establecidos por año	x	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		
2	Diseñar y gestionar programas de reservorios de agua para uso agrícola (individuales y/o grupales)	Número de reservorios establecidos por año	x	x	x	x	x	MARN, MAGA, Municipalidad y sociedad civil
3	Establecer sistemas de micro-riego tecnificado para huertos familiares y agricultura a pequeña y mediana escala	Número de sistemas de micro-riego en funcionamiento Número de capacitaciones sobre sistemas de micro-riego		x	x	x	x	MARN, MAGA, Municipalidad, sociedad civil y fuerzas vivas comunitarias
4	Establecer programas de limpieza de ríos y fuentes de agua con base en bio-barreras artesanales y manejo de residuos	Número de bio-barreras colocadas en zonas críticas de los ríos y quebradas		x	x	x	x	Municipalidad, sociedad civil y fuerzas vivas comunitarias
5	Diseñar programas de Pago por Servicios Ambientales Hídricos (PSAH) y Fondos Ambientales (FA), con base en estudios de valoración económica	Estudios de valoración económica de la oferta y demanda Fondo ambiental para la conservación de los recursos hídricos		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	
6 Desarrollar e implementar programas de protección de fuentes de agua y zonas de recarga hídrica	Número de zonas de recarga hídrica priorizadas						MARN, MAGA, Municipalidad, sociedad civil y fuerzas vivas comunitarias
	Número de zonas de recarga hídrica delimitadas	x	x	x	x		
	Cantidad de área de cada zona de recarga hídrica bajo protección y/o regeneración						
N° Componente agrícola							
1 Replicar, gestionar e implementar sistemas "Milpa" 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			x	x	x	MAGA, Municipalidad, sociedad civil y fuerzas vivas comunitarias
2 Promover el establecimiento de huertos familiares en los hogares con mayores riesgos climáticos, por pobreza y poco acceso a alimentos	Número de huertos familiares establecidos de forma sostenible			x	x	x	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		
3	Gestionar programas que brinden bonos tecnológicos agrícolas (semillas resistentes a la sequía) en las áreas con mayor riesgo y vulnerabilidad climática frente a la amenaza de sequía	Número de bonos tecnológicos distribuidos			x	x	x	MAGA, Municipalidad, sociedad civil y fuerzas vivas comunitarias
4	Promover la implementación de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) para mejorar la eficiencia de los cultivos de la región	Número de capacitaciones sobre BPA Porcentaje de productores de la región implementando BPA			x	x	x	MAGA, Municipalidad, sociedad civil y fuerzas vivas comunitarias
5	Brindar sistemas de almacenamiento de semilla y alimentos postcosecha (bancos de semilla individuales, grupales y/o comunitarios) a familias y/o 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
6	Promover el establecimiento y/o mejoramiento de sistemas agroforestales para sistemas productivos con adecuados arreglos de sombra y especies maderables/frutales	Número de sistemas agroforestales establecidos Número de sistemas agroforestales mejorados			x	x	x	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	
7 Diseñar y promover programas 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 (garantizar la seguridad alimentaria y generación de ingresos)	Número de capacitaciones sobre los temas de interés						MARN, MAGA, Municipalidad, sociedad civil y fuerzas vivas comunitarias
	Número de escuelas de campo funcionando						
	Porcentaje de productores del municipio con mayor diversificación agrícola						
	Porcentaje de productores del municipio implementando medidas AbE						
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*

Descripción	Indicador(es)	Años					Responsables propuestos**
		1	2	3	4	5	
N° Componente pecuario							
1	Diseñar, gestionar e implementar proyectos de ganadería sostenible que incluyan 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, uso de ensilaje, entre otras	Número de capacitaciones sobre ganadería sostenible y manejo de pastos					
	Número de sistemas agrosilvopastoriles establecidos			x	x	x	MAGA, Municipalidad, sociedad civil, productores pecuarios y fuerzas vivas comunitarias
	Porcentaje de área con pasturas mejoradas (con base en mapa de uso del suelo y GIS)						
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	Número de visitas de asistencia a familias/grupos por sistema	x	x	x	x	MAGA, Municipalidad, sociedad civil y productores pecuarios
	Porcentaje de incremento en la producción o rentabilidad						

Medidas de adaptación y gestión de recursos propuestas por componente*

Descripción	Indicador(es)	Años					Responsables propuestos**	
		1	2	3	4	5		
4	Promover el uso de Buenas Prácticas Pecuarias (BPP) para la producción e inocuidad de los productos pecuarios	Número de guías Buenas Prácticas Pecuarias (BPP) elaboradas y entregadas a productores		x	x	x	x	MAGA, Municipalidad, sociedad civil y productores pecuarios
		Número de capacitaciones sobre buenas prácticas (producción e inocuidad)						
5	Identificar oportunidades de asociatividad entre los productores para conformar organizaciones de primer nivel 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 pecuarios
6	Promover el establecimiento biodigestores para el manejo de residuos en asociaciones, grupos y/o centros de experimentación	Número de biodigestores establecidos con base en volumen de residuos			x	x	x	MAGA, Municipalidad, sociedad civil y productores pecuarios
N°	Componente bosques y servicios ecosistémicos							
1	Establecer un programa, proyecto o proceso de reforestación con base en los mapas actuales de uso del suelo y zonas de recarga hídrica	Cantidad de área reforestada por año en zonas críticas y de recarga hídrica		x	x	x	x	MARN, Municipalidad, sociedad civil y fuerzas vivas comunitarias
		Cantidad de área bajo regeneración en zonas de recarga hídrica						

Medidas de adaptación y gestión de recursos propuestas por componente*

Descripción	Indicador(es)	Años					Responsables propuestos**	
		1	2	3	4	5		
2	Promover el establecimiento y uso de estufas mejoradas y plantaciones dendroenergéticas	Número de estufas mejoradas en las aldeas del municipio			x	x	x	MARN, Municipalidad, sociedad civil y fuerzas vivas comunitarias
		Área bajo plantaciones dendroenergéticas						
3	Identificar, priorizar y valorar económicamente servicios ecosistémicos (servicio hídrico, captura y fijación de carbono, 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 establecer 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 y/o implementación de planes de manejo de cuencas y áreas protegidas	Número de planes elaborados y/o actualizados	x	x	x	x	x	MARN, Municipalidad, sociedad civil y fuerzas vivas comunitarias
		Número de planes en proceso de implementación						

Medidas de adaptación y gestión de recursos propuestas por componente*

Descripción	Indicador(es)	Años					Responsables propuestos**
		1	2	3	4	5	
6	Gestionar programas de guarda de recursos (control de incendios, protección de bosques y zonas de recarga hídrica, entre otras actividades)	Número de guarda de recursos en zonas críticas	x	x	x	x	MARN, Municipalidad, sociedad civil y fuerzas vivas comunitarias
Nº	Componente organización, conocimiento y competitividad						
1	Fomentar la organización y/o fortalecimiento de cadenas de valor sostenibles para los principales productos agrícolas y/o 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
2	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
3	Sistematizar y promover el conocimiento ancestral para hacer frente a los efectos negativos del cambio climático	Número de documentos con prácticas sistematizadas Prácticas ancestrales implementadas en las aldeas	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.

Adicionalmente, es necesario mencionar que la Asociación de Desarrollo Verde de Guatemala (ASOVERDE) desarrolló un Plan municipal de adaptación al cambio climático y riesgo del municipio de Rabinal en el año 2019, documento elaborado de forma muy participativa y que incluye siete líneas estratégicas, más allá del enfoque agrícola y pecuario del presente documento.

Por consiguiente, es recomendable la consolidación de un plan que incluya aspectos estratégicos, como el mejoramiento de sistemas de abastecimiento de agua, infraestructura vial, protección y conservación de zonas de recarga hídrica, incremento de la productividad de sistemas productivos y protección de bosques. Sin embargo, como se ha expuesto, previamente es aconsejable llevar a cabo estudios de caso y realizar análisis económico-financieros adicionales para reconfirmar la viabilidad de las medidas propuestas, además de su pertinencia y efectividad.

8

Conclusiones y Recomendaciones



Conclusiones y Recomendaciones

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 lo expuesto, la variabilidad y los eventos climáticos extremos han tenido impactos negativos sobre las actividades agropecuarias, disponibilidad del agua y degradación del suelo. 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%.

Debido a esto y con el fin de enfrentar la precaria 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 socio-ecológicos. 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 las 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 dicho

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 estos.

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/o 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 facilitó identificar todas las instituciones nacionales, con presencia en el área de interés (regional y local) vinculada 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 MARN, SESAN, CARITAS, UGAM, Oficina Forestal Municipal, KFW, FAO, INAB y FONDESOL. Por lo tanto, son los actores que deben tenerse en cuenta al momento de gestionar consultas, proyectos, planes y estrategias relacionadas con el tema de riesgo climático e implementación de opciones o 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 mencionar que a nivel de uso del suelo, en Rabinal destaca la presencia de bosque en la zona norte del municipio, mientras que en la parte sur se encuentran cultivos permanentes en sistemas arbóreos, lo que en conjunto equivale a 25% del área del municipio. Sin embargo, destaca que en la parte central se encuentra la agricultura de cultivos de ciclo anual (13% del municipio), áreas de pasto (9% del municipio) y espacios abiertos con poca vegetación (51%), lo que en conjunto equivale a 73% del área de Rabinal.

Por ende, esta zona central es la que debe poseer mayor énfasis al momento de realizar estrategias y/o planes locales de adaptación al cambio climático y desarrollo territorial, ya que en esta zona deben concentrarse los esfuerzos y actividades destinadas a mejorar la resiliencia de los sistemas socio-ecológicos, contrarrestar la inseguridad alimentaria, recuperar áreas sin vegetación y promover el desarrollo sostenible.

6. Al analizar las condiciones climáticas actuales del municipio de Rabinal, se observa que en el norte y sur del municipio ha existido mayor precipitación, contrario a la zona central. En general, la precipitación va desde un mínimo de 715 mm hasta un máximo de 1671 mm, con un valor promedio de 1151 mm. Por otra parte, la temperatura promedio anual oscila entre los 14,5 y 23,2 °C, siendo el centro del municipio el sector con mayor temperatura.

Ahora bien, al observar el inicio de la época de lluvias y su distribución, así como su variación mensual, es posible establecer que la precipitación muestra un comportamiento bimodal. Básicamente, entre enero y abril se observa una época seca muy marcada, con precipitaciones por debajo de los 25 mm mensuales en promedio (con excepción de abril, que supera los 25 mm al mes). El inicio de las lluvias ocurre en el mes de mayo y alcanza un máximo histórico durante el mes de junio, con precipitaciones cercanas a los 240 mm y decrece entre julio y agosto (135 mm aproximadamente) para repuntar en septiembre (donde supera los 200 mm). Entre octubre y diciembre, las precipitaciones van disminuyendo sosteniblemente hasta llegar a estar por debajo de los 50 mm de precipitación mensual. En relación con el comportamiento de la temperatura media, se observa un incremento sostenible entre enero y mayo, siendo este último mes el más cálido.

7. El análisis del cambio de las condiciones en los patrones de precipitación y temperatura a futuro se hizo con base en los siguientes cuatro escenarios: un escenario RCP 2.6 para el año 2050 (promedio 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 RCP2.6 hacia mediados y finales de siglo, se evidencian leves variaciones en las precipitaciones, las cuales se traducen en zonas que experimentarán incrementos en precipitación y otras donde las precipitaciones disminuirán. Hacia mediados de siglo, se espera que la diferencia en las precipitaciones con respecto a la línea base sea del orden de -9 mm hasta incrementos en 8 mm. Mientras, hacia finales de siglo, dicha diferencia será de -10 mm hasta 7 mm. El RCP8.5 muestra condiciones de disminución de precipitaciones en todo el municipio de Rabinal. Hacia el año 2050, se estima que la disminución de las precipitaciones oscilará entre -61 a -124 mm, mientras que para el 2080 se espera que la disminución en las precipitaciones sea entre -23 y -260 mm.

En cuanto a la temperatura, todos los escenarios muestran incrementos en los valores de temperatura promedio. Dichos valores van desde 1,5 °C (RCP 2.6 al 2080) hasta 4,4 °C (RCP 8.5 al 2080) por encima de la temperatura promedio para la línea base. Este es otro ejemplo que demuestra que habría lugares en los que la temperatura fácilmente pasará el umbral de los 1,5 °C por encima del promedio histórico.

En cuanto a la distribución de la temperatura promedio para el municipio de Rabinal, esta se concentrará en valores cercanos a la máxima en cada uno de los escenarios (asimetría negativa) y disminuirá de manera consistente conforme los valores de la temperatura se acerquen a los valores mínimos.

- 8.** En el componente de peligro se analizó el comportamiento actual de la precipitación (mensual y total), así como la temperatura (promedio mensual y anual) en el municipio de Ra-

binal. 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 a las que se les debe prestar atención en el marco del análisis de riesgo.

De esta forma, en el municipio de Rabinal existen sectores que podrían presentar condiciones de entre 2 a 6 meses secos. Asimismo, el índice de aridez es consecuente con el comportamiento de las precipitaciones, en donde se puede observar que de enero a abril el municipio cuenta con condiciones semiáridas, mientras que entre octubre y septiembre las condiciones son húmedas.

Ahora bien, todos los escenarios futuros pronostican un incremento de los meses secos en sus valores máximos, alcanzando un valor de 7 meses. Sin embargo, los cambios más importantes se observan en los valores mínimos para el RCP 8.5, donde se espera que al 2050 no existan sectores del municipio de Rabinal con menos de 3 meses secos, mientras que para el 2080 no habrá lugares en Rabinal con menos de 4 meses secos.

En concreto, los valores promedio del índice de peligro climático para el municipio de Rabinal muestran que –en el escenario base– hacia el centro del municipio se concentrarán las zonas consideradas como de alto peligro, mientras que hacia el norte y sur predominarán las zonas consid-

eradas de peligro medio. Adicionalmente, las condiciones de alta peligrosidad se intensificarán y expandirán conforme se avance en los escenarios. El RCP 2.6 en ambos horizontes de tiempo indica que el índice de peligro aumentaría en el municipio de Rabinal. Asimismo, el RCP 8.5 señala que el peligro se incrementará drásticamente en el horizonte hacia mediados de siglo.

- 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. Básicamente, se identificó que bajo las condiciones actuales (climatología 1960-1990), aproximadamente 73% de los lugares poblados estaría ubicado en zonas consideradas de media a muy alta probabilidad de ocurrencia de sequías. Igualmente, bajo el RCP 2.6, la situación es muy parecida al escenario actual, mientras que el RCP 8.5, especialmente hacia finales de siglo, presenta un panorama complejo para la población de Rabinal, ya que 92% de los lugares poblados estaría ubicado en zonas con categorías de amenaza media a extremadamente alta de sequías. Cabe mencionar que en la zona céntrica la amenaza por sequía es alta y con cada escenario, esta se va intensificando; mientras que hacia el norte y sur del municipio, la amenaza va disminuyendo.
- 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 (*Pinus oocarpa*), tomate (*Solanum lycopersicum*) y pastos para el ganado (*Brachiaria sp.* y *Paspalum sp.*).

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 –con excepción del cacao y el pino ocote– la totalidad del territorio del municipio de Rabinal ofrece condiciones climáticas muy favorables para el desarrollo de las especies seleccionadas.

Por su parte, las condiciones climáticas futuras en el municipio de Rabinal no afectarán el índice de adecuación para el maíz (*Zea mays*), mientras que para el pino ocote (*Pinus oocarpa*) mejorarán. En otras palabras, las condiciones futuras permitirían que la especie pueda desarrollarse en el municipio. Para el resto de las especies se observa que el municipio

presentará condiciones climáticas que afectarían su desarrollo. Este aspecto es clave para la planificación del uso del suelo y ordenamiento territorial del municipio. Básicamente, sería recomendable proyectar las actividades agropecuarias y forestales a futuro, ya que al conocer cómo las condiciones afectarán cada sistema se podrá orientar la producción, organización de cooperativas y establecimiento de plantaciones, entre otros aspectos.

- 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 Rabinal fue de 0.37.

- 12.** Considerando que la vulnerabilidad está en función de la sensibilidad y la capacidad adaptativa, fue posible estimar el valor de 0.47 para el escenario base, mientras que la vulnerabilidad se reduciría con los escenarios RCP 2.6 durante el horizonte 2050 (0.29) y 2080 (0.29), y también con el escenario RCP 8.5 al 2050 (0.40). El único escenario en el que las condiciones de vulnerabilidad serían más fuertes es con el RCP 8.5 hacia finales de siglo (0.51).

- 13.** El índice de riesgo climático para el municipio de Rabinal se comporta dentro de los límites medios. El valor más alto corresponde al escenario RCP 8.5 (0.52 para 2080), mientras que el valor promedio más bajo se reportó en el escenario correspondiente al RCP 2.6 hacia finales de siglo (0.45). El valor promedio del escenario base fue de 0.51. 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 dichos estudios se enfocaban en la metodología del AR4 o sea, utilizando 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, el cual será un documento de gestión local que facilitará la toma de decisiones, el monitoreo y la evaluación de las opciones propuestas, es importante destacar que el PLACC debe estar alineado con el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC). Por lo que las opciones o medidas de adaptación tienen que 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 su pertinencia 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 o medidas preseleccionadas deben tener su costo y beneficio esperado, incluyendo –de ser necesario– costos sociales y ambientales, además de otros in-

dicadores 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 pudo observar 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. No obstante, una medida importante considerada para los sistemas productivos que reduciría el riesgo y 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. También, la capacitación con giras demostrativas promueve el conocimiento y 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/>.
- Bardales, W. 2021. Metodología para la estimación de sequía Zoom.
- 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://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=http%3A%2F%2Fbibliotecadigital.ciren.cl%2F-bitstream%2Fhandle%2F123456789%2F14588%2FGuia_metodologica_Mapas_ZA_ALC.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy&clen=744470.

- CCAFS (Climate Change, Agriculture and Food Security). 2014. GCM Down-scaled Data Portal. Disponible en <http://www.ccafs-climate.org>.
- 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://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfindmkaj/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://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfindmkaj/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.
- 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://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfindmkaj/viewer.html?pdfurl=http%3A%2F%2Fdata.diva-gis.org%2Fdocs%2FDIVA-GIS4_manual_Esp.pdf&cflen=1284987&chunk=true.
- Holdrige, L.R. 1959. Simple Method for Determining Potential Evapotranspiration from Temperature Data. *130(3375):572-572*.
- Holdrige, 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://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfindmkaj/viewer.html?pdfurl=http%3A%2F%2Fdesastres.medicina.usac.edu.gt%2Fdocumentos%2Fdocgt%2Fpdf%2Fspa%2Fdoc0069%2Fdoc0069.pdf&cflen=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://efaidnbnmnibpcajpcglclefindmkaj/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; Swart. 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: 978-9977-57-774-6



9 789977 577746