



**USAID**  
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS  
UNIDOS DE AMÉRICA

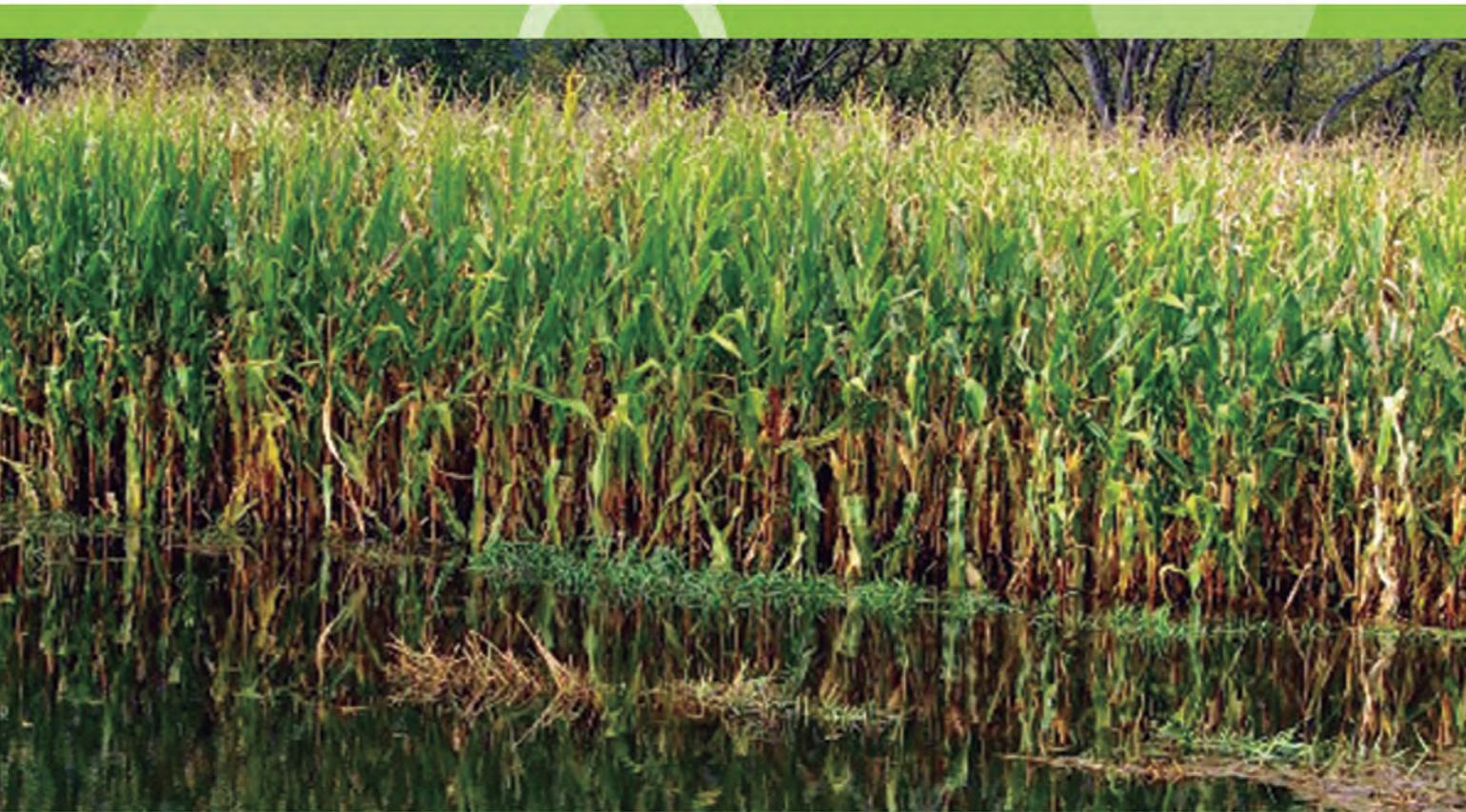
**CLIMA, NATURALEZA  
y COMUNIDADES  
en Guatemala**



**Rainforest  
Alliance**



**The Nature  
Conservancy**  
Conservando la naturaleza.  
Protegiendo la vida.



# Análisis de la Vulnerabilidad ante el Cambio Climático en el Altiplano Occidental de Guatemala

Guatemala, agosto de 2014

# Análisis de la Vulnerabilidad ante el Cambio Climático en el Altiplano Occidental de Guatemala

Guatemala, agosto de 2014

“La reproducción de este estudio es posible gracias al apoyo del Pueblo de los Estados Unidos a través de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). El contenido de este estudio es responsabilidad exclusiva de TNC y BIOTA, SA, y el mismo no necesariamente refleja la perspectiva de USAID ni del Gobierno de los Estados Unidos de América”.

Biota, S.A. y The Nature Conservancy (2014). **Análisis de la Vulnerabilidad ante el Cambio Climático en el Altiplano Occidental de Guatemala.** Guatemala: Autores.

**Descriptor:** cambio climático, vulnerabilidad, altiplano de Guatemala, clima, amenazas climáticas, capacidad de adaptación.

ISBN: 978-9929-688-02-5

**Tiraje:** 1,000 ejemplares

© **Copyright** Biota S.A. y The Nature Conservancy (2014).  
Todos los derechos reservados.

# Créditos

**Autores:**

Biota, S.A.  
The Nature Conservancy (TNC)

**Contraparte de TNC:**

Jorge Cardona  
*Especialista en Biodiversidad y Cambio Climático*

Jim Rieger

*Asesor de Relaciones con el Gobierno de Estados Unidos y Líder del Equipo de Adaptación al Cambio Climático para la Región de Latinoamérica*

**Revisores:**

Dr. Edwin Castellanos  
*Director del Centro de Estudios Ambientales de la Universidad del Valle de Guatemala (UVG)*

Dr. Alex Guerra

*Director del Instituto de Cambio Climático (ICC)*

El Programa CNCG agradece el tiempo, esfuerzo y los valiosos aportes proporcionados por el Dr. Edwin Castellanos, co-director del Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad (CEAB) de la Universidad del Valle de Guatemala (UVG) y por el Dr. Alex Guerra Noriega, director del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático para elaboración del presente trabajo.

**Edición y diagramación:**

Cecilia Cleaves

Paisaje cultural en la meseta de los Cuchumatanes, donde se aprecia el cultivo de gramíneas y el pastoreo con árboles dispersos.  
*Fotografía: Jorge Cardona, TNC.*



# Índice

Créditos .....	iii
Carta de presentación.....	vii
Siglas y acrónimos.....	ix
Resumen ejecutivo.....	1
Executive summary.....	3
I. Introducción.....	5
II. Objetivos.....	6
III. Área de estudio.....	7
3.1 Demografía.....	10
IV. Marco conceptual.....	11
V. Métodos y procedimientos utilizados.....	13
5.1 La vulnerabilidad actual ante el cambio climático.....	13
5.1.1 Procedimientos utilizados para actualizar la base climática.....	13
5.1.2 Determinación de la exposición.....	20
5.1.3 Determinación de la sensibilidad.....	20
5.1.3.1 Análisis sobre la disponibilidad de recursos hídricos.....	20
5.1.3.2 Análisis sobre la base productiva agrícola.....	21
5.1.3.3 Construcción del <i>índice de sensibilidad hídrica y productiva actual</i> .....	21
5.1.4 Determinación de la capacidad de adaptación.....	21
5.1.5 Determinación de la vulnerabilidad actual y priorización de municipios.....	22
VI. Resultados obtenidos.....	23
<i>Primera parte</i> .....	23
6.1 Mapas climáticos actualizados al año 2011.....	23
6.2 Las amenazas que forman la exposición.....	25
6.2.1 Amenaza por sequías.....	25
6.2.2 Amenaza por heladas.....	28
6.2.3 Amenaza por inundaciones.....	32
6.2.4 Amenaza por deslizamientos.....	34

6.2.5 Amenaza por peligro de erosión.....	39
6.2.6 Amenazas por incendios forestales.....	42
6.2.7 Determinación de la exposición: La integración en el <i>índice de amenazas climáticas actuales</i> (IACA).....	44
6.3 Sensibilidad hídrica y productiva ( <i>índice de sensibilidad</i> al año 2011).....	49
6.3.1 <i>Índice de escasez hídrica</i> .....	49
6.3.2 <i>Índice de sensibilidad productiva</i> .....	55
6.3.2.1 <i>Índice de sensibilidad</i> del cultivo de maíz.....	56
6.3.2.2 <i>Índice de sensibilidad</i> del cultivo del frijol.....	63
6.3.2.3 <i>Índice de sensibilidad</i> del cultivo del café.....	68
6.3.2.4 Integración en el <i>índice de sensibilidad</i> de la producción.....	73
6.3.3 Integración en el <i>índice de sensibilidad hídrica y productiva actual</i> (ISHP).....	74
6.4 <i>Índice de capacidad de adaptación</i> de la región al año 2011.....	77
6.4.1 Cálculo de los <i>índices de densidad de población, servicios ecosistémicos e inseguridad alimentaria y nutricional</i> .....	77
6.4.2 Integración del <i>índice de capacidad de adaptación</i> .....	85
6.5 La vulnerabilidad climática actual.....	87
6.5.1 Municipios ordenados según el <i>índice de vulnerabilidad climática actual</i> .....	90
<b>Segunda parte</b> .....	94
6.6 La vulnerabilidad climática futura (al año 2050).....	94
6.6.1 Climatología base y escenarios de emisiones.....	94
6.6.2 Modelos regionales de cambio climático.....	94
6.6.2.1 Patrón de escalamiento.....	95
6.6.2.2 Corrida de datos: años 2030, 2050, 2070 y 2090.....	97
6.6.3 El <i>índice de amenazas climáticas</i> (la exposición) al año 2050.....	110
6.6.3.1 Amenazas futuras por heladas y sequías.....	110
6.6.3.2 Otras amenazas ambientales a futuro.....	113
6.6.3.3 Integración del índice de amenazas climáticas al año 2050.....	115
6.6.4 <i>Índice de sensibilidad</i> al año 2050.....	117
6.6.4.1 <i>Índice de escasez hídrica</i> al año 2050.....	117
6.6.4.2 <i>Índice de sensibilidad</i> de la producción al año 2050.....	118
6.6.4.3 Integración del <i>índice de sensibilidad</i> al año 2050.....	123
6.6.5 <i>Índice de capacidad de adaptación</i> al año 2050.....	125
6.6.5.1 <i>Índice de densidad de población</i> al año 2050.....	125
6.6.5.2 <i>Índice de servicios ecosistémicos con base en el bosque</i> .....	129
6.6.5.3 <i>Índice de inseguridad alimentaria y nutricional</i> al año 2050.....	130
6.6.5.4 Integración en el <i>Índice de capacidad de adaptación</i> al año 2050.....	132
6.6.6 <i>Índice de vulnerabilidad climática</i> al año 2050.....	134
6.6.7 Clasificación de los municipios con base al <i>índice de vulnerabilidad climática</i> al año 2050.....	136
6.7 Análisis de correlaciones sobre la vulnerabilidad actual y futura. Explicaciones adicionales.....	140
6.7.1 Vulnerabilidad actual.....	140
6.7.2 Vulnerabilidad futura.....	141
<b>VII. Bibliografía</b> .....	<b>142</b>

# Carta de presentación

Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM), la atmósfera terrestre pasó de una concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de 393.1 partes por millón en 2013, a 400 partes por millón en lo que va del 2014. Este valor ha incrementado en un 144% con respecto a la era preindustrial.

Durante el decenio 2001-2010 (que es la unidad de tiempo en la que la OMM hace sus estimaciones), la temperatura anual mundial en la superficie de la tierra y del océano superó la media mundial del periodo 1961-1990 en 0.47°C y la del periodo 1991-2000 en +0.21.

El mismo decenio fue el más húmedo desde 1901, siendo el 2010 el año más húmedo jamás registrado mundialmente desde que comenzaron a emplearse instrumentos de medición.

A nivel mundial fallecieron más de 370,000 personas como consecuencia de las condiciones meteorológicas y climáticas extremas, incluidas olas de calor, períodos fríos, sequías, tormentas e inundaciones. Esa cifra es un 20% superior a la registrada entre 1991 y 2000.

La correlación entre el calentamiento global y las alteraciones en el clima es innegable.

Durante los últimos 16 años, en Guatemala se han experimentado cinco estaciones lluviosas con promedios excepcionalmente altos que causaron

serias inundaciones con saldos de muerte y destrucción importantes y dos sequías con saldos menos obvios, pero no por eso menos relevantes en términos de desnutrición aguda y crónica.

El altiplano occidental, por ser una región donde habitan 5 millones de personas, con un relieve muy accidentado y con una institucionalidad débil en cuanto a prevenir y reducir desastres, fue especialmente afectado.

En este contexto, el *Programa Clima, Naturaleza y Comunidades en Guatemala* (CNCG), financiado por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) e implementado por un consorcio de organizaciones nacionales e internacionales bajo el liderazgo de *Rainforest Alliance*, persigue fortalecer una oferta de bienes y servicios provenientes de los recursos naturales generados de una forma sostenible, tanto para el mercado nacional como para el internacional.

Ello persigue afirmar la participación de Guatemala en la reducción de emisiones de gases de efecto de invernadero (GEI) a la atmósfera, generando desarrollo en el proceso, incrementando capacidades nacionales y locales para enfrentar los efectos del cambio climático y construyendo capacidades en organizaciones de desarrollo locales para que escalen su ámbito de acción e impactos.

Todo esto de mano de la academia, que provee la base científica para sustentar las intervenciones.

*The Nature Conservancy* (TNC), parte del consorcio de CNCG, es una organización con 25 años de presencia en Guatemala. Ha trabajado con organizaciones locales de la sociedad civil y el gobierno a través de promover un manejo del territorio que asegure la conservación de los ecosistemas y los bienes y servicios que proveen a la sociedad.

TNC lidera las intervenciones que conducen a la adaptación al cambio climático en el altiplano occidental de Guatemala, como socio ejecutor de CNCG.

El presente estudio establece la vulnerabilidad climática actual y futura de los 114 municipios

correspondientes a los cinco departamentos del altiplano occidental de Guatemala: Huehuetenango, Quiché, San Marcos, Quetzaltenango y Totonicapán (a excepción del municipio La Blanca, de reciente creación en San Marcos).

Esperamos que con esta información, los tomadores de decisión a nivel nacional, regional, departamental y municipal, definan políticas, estrategias y acciones que se enfoquen a las amenazas y a los territorios más vulnerables y se desplieguen medidas de adaptación al cambio climático para reducir las pérdidas en términos de vidas, infraestructura y medios de vida que, de mantenerse según la tendencia actual, seguirán impactando el altiplano occidental y todo el país.

# Siglas y acrónimos

<b>AHP</b>	Método de Jerarquías Analíticas
<b>CEPAL</b>	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
<b>CEPRENAC</b>	Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en Centroamérica
<b>CONALFA</b>	Comité Nacional de Alfabetización
<b>CONRED</b>	Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres
<b>DIGEGR</b>	Dirección de Información Geográfica, Estratégica y Gestión de Riesgos del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación
<b>ECCA</b>	economía del cambio climático en Centroamérica
<b>ESPREDE</b>	Proyecto de asistencia técnica y generación de información: Estudio para la prevención de desastres
<b>ETP</b>	evapotranspiración potencial
<b>FAO</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (por sus siglas en inglés)
<b>GCM</b>	Modelo de Circulación Global
<b>GEI</b>	gases de efecto invernadero
<b>IACA</b>	Índice de amenazas climáticas actuales
<b>IDEAM</b>	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
<b>IGAC</b>	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
<b>IICA</b>	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
<b>INAB</b>	Instituto Nacional de Bosques
<b>INCAP</b>	Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá
<b>INDH</b>	Informe Nacional de Desarrollo Humano
<b>INE</b>	Instituto Nacional de Estadística
<b>INSIVUMEH</b>	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología
<b>IPAH</b>	Índice de probabilidad de ocurrencia de heladas
<b>IPAS</b>	Índice de probabilidad de ocurrencia de sequías
<b>IPCC</b>	Panel Intergubernamental de Cambio Climático (por sus siglas en inglés)
<b>ISHP</b>	Índice de sensibilidad hídrica y productiva actual
<b>IVISAN</b>	Índice de vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria y nutricional
<b>JICA</b>	<i>Japan International Cooperation Agency</i>
<b>MAGA</b>	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación

<b>MAGICC</b>	<i>Model for the Assessment of Greenhouse –Gas Induced Climate Change</i>
<b>MED</b>	modelo de elevación digital
<b>MINEDUC</b>	Ministerio de Educación
<b>OMS</b>	Organización Mundial de la Salud
<b>PEDN</b>	Programa de Emergencia por Desastres Naturales
<b>PMA</b>	Programa Mundial de Alimentos
<b>PRECIS</b>	<i>Providing Regional Climates for Impacts Studies</i>
<b>Proyecto INAP</b>	Proyecto Nacional de Adaptación al Cambio Climático, Colombia
<b>SCENGEN</b>	<i>Global and Regional Climate Change Scenario Generator</i>
<b>SESAN</b>	Secretaría de Seguridad Alimentaria y Nutricional
<b>TNC</b>	<i>The Nature Conservancy</i>
<b>UNESCO</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
<b>UNISDR</b>	Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres
<b>UPGGR</b>	Unidad de Planificación Geográfica y Gestión de Riesgo del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación
<b>USAID</b>	Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional
<b>USGS</b>	Servicio Geológico de Estados Unidos (por sus siglas en inglés)

## Abreviaturas

°C	grados centígrados
h	hora
K <sub>fc</sub>	coeficiente de infiltración
km <sup>2</sup>	kilómetros cuadrados
K <sub>t</sub>	Coefficiente de ajuste de la ecuación de Hargreaves
m	metro
mm	milímetros
msnm	metros sobre el nivel del mar
mz	manzana
pp	precipitación
qq	quintales
Re	radiación extraterrestre
T	temperatura
T <sub>max</sub>	temperatura máxima
T <sub>med</sub>	temperatura media mensual
T <sub>min</sub>	temperatura mínima
T <sub>o</sub>	temperatura inicial
Δ	Gradiente térmico

# Resumen ejecutivo

Con base en la definición del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) sobre *vulnerabilidad climática*, The Nature Conservancy y Biota, S.A. realizaron un estudio que permite comprender este fenómeno en la región de occidente de la República de Guatemala, que comprende cinco departamentos: Huehuetenango, Quiché, Totonicapán, Quetzaltenango y San Marcos; los cuales abarcan un área de 21,402 km<sup>2</sup>, que representa el 19.6% del territorio nacional.

El estudio fue realizado en dos etapas. En la primera se calculó la *vulnerabilidad climática* actual de la región. Para ello, se actualizó la información de 53 estaciones climáticas del periodo 2000 al 2011-específicamente temperatura y precipitación- (ver Cuadro 1), con base en los datos de las estaciones climáticas del

Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH). En la segunda etapa se calculó la *vulnerabilidad futura* de la región para la década del 2050.

Para ello, se utilizó el modelo PRECIS y se estudiaron las familias de escenarios B1, B2, A1 y A2 caracterizados por el IPCC (2000). La corrida de datos abarcó las décadas de 2030, 2050, 2070 y 2090. En ambos análisis de vulnerabilidad se determinaron los diez municipios de la región más vulnerables ante el cambio climático.

La fórmula de vulnerabilidad utilizada proviene del IPCC y es la siguiente:

**Vulnerabilidad ante el cambio climático:** (exposición + sensibilidad) – capacidad de adaptación

El *índice de exposición* fue calculado con base en el análisis de seis amenazas: heladas, sequías, inundaciones, deslizamientos, erosión e incendios forestales.

El *índice de sensibilidad* se obtuvo a partir de la construcción del *índice de escasez hídrica* (oferta versus demanda hídrica) y del *índice de producción*, obtenido del análisis de las producciones y

rendimientos de los cultivos de maíz, frijol y café, de los cuales se construyeron subíndices a nivel municipal.

El *índice de capacidad de adaptación* se obtuvo a partir de la construcción del *índice de densidad de población* (población referida a superficie de los municipios), del *índice de inseguridad alimentaria y nutricional* (formado por los subíndices: déficit de granos

básicos, pobreza extrema, analfabetismo de mujeres, saneamiento ambiental y precariedad en el empleo), y del *índice de servicios ecosistémicos* provenientes del bosque. En total, se trabajó con 11 índices y 11 subíndices.

La **vulnerabilidad actual** estimada, indica que la región ya está siendo afectada por fuertes eventos climáticos (efecto El Niño y otros) y por la variabilidad climática interanual; de tal forma que el 50% del territorio de la región presenta muy alta y alta vulnerabilidad climática.

El departamento con mayor vulnerabilidad climática es Totonicapán, con 100% de sus municipios en estas categorías. Asimismo, existe una franja aproximadamente horizontal en las tierras altas de Quetzaltenango y San Marcos que son muy vulnerables y conectan con un eje vertical que sube hasta el centro del departamento de Huehuetenango. El sur de Quiché también presenta municipios con muy alta y alta vulnerabilidad.

Con respecto a la **vulnerabilidad futura** (década del 2050), la corrida de datos del modelo de circulación regional utilizado indica un aumento de dos grados centígrados en la temperatura media de la región y una moderada disminución de las lluvias en general, aunque este proceso está regionalizado con municipios que pierden precipitaciones y otros, donde aumentan.

Tomando en cuenta el porcentaje de municipios en las categorías de muy alta y alta vulnerabilidad de cada departamento, el orden de mayor a menor vulnerabilidad a futuro, es el siguiente: Totonicapán (100% de sus municipios en esas categorías), Quetzaltenango (54.1%), San Marcos (48.3%), Huehuetenango (40.7%) y Quiché (38.1%).

Se realizaron análisis de correlación bivariada que muestran que el aumento de las amenazas naturales provoca un incremento en la vulnerabilidad de las

poblaciones de la región y que al subir la capacidad adaptativa baja la vulnerabilidad. Esto implica que las medidas de adaptación que la población pueda efectuar en estos territorios son la clave para enfrentar la vulnerabilidad climática en la actualidad y a futuro.

La sensibilidad está afectada no solo por los factores climáticos considerados en este análisis, si no por otros factores que tienen incidencia. Por ejemplo, en la producción agropecuaria tiene una gran importancia la calidad del sitio, las técnicas aplicadas y sobre todo el riego que se aplique.

En conclusión, para disminuir la vulnerabilidad actual y futura en estos territorios deben aumentarse las capacidades de adaptación de las poblaciones en aspectos claves, como reducir la inseguridad alimentaria y nutricional, lo cual se logra aumentando la capacidad de producción de alimentos; eliminando el analfabetismo; disminuyendo la pobreza extrema; mejorando las condiciones de salubridad de las viviendas y mejorando la precariedad en el empleo.

Asimismo, es importante moderar el crecimiento de la población a través de campañas educativas y otras técnicas, así como mantener y mejorar la cobertura forestal.

Respecto a la producción hídrica y de productos agropecuarios, es necesario mantener el vínculo hidrológico-forestal, forestando las fuentes de agua y las partes altas de las microcuencas.

El aumento del rendimiento de los cultivos se puede lograr mediante la conformación de terrazas de banco en los cultivos de ladera, aplicando materia orgánica, fertilizantes y, sobre todo, riego, para no depender exclusivamente de la temporada de lluvias en condiciones de cambio climático y vulnerabilidad climática interanual.

# Executive summary

## Analysis of vulnerability to climate change in Guatemalan western highlands

The Project Climate Nature and Communities in Guatemala (CNCG), through The Nature Conservancy and Biota S.A. conducted a study of the vulnerability of human populations to climate change in the western region of the Republic of Guatemala, comprising five departments: Huehuetenango, Quiché, Totonicapán, Quetzaltenango and San Marcos. These departments cover an area of 21,402 km<sup>2</sup>, 19.6% of the country.

The study was conducted in two stages. The first stage examined *current climate vulnerability* of the region. Information (temperature and precipitation) of 53 weather stations was updated and homogenized for the period 2000 to 2011 based on data from weather stations of the Instituto Nacional de

Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) (National Institute of Seismology, Volcanology, Meteorology and Hydrology).

The second stage calculated the *future vulnerability* of the region to the decade of 2050. The PRECIS model and scenario families B1, B2, A1 and A2 (IPCC, 2000) were used to examine temperature and precipitation changes for the decades 2030, 2050, 2070 and 2090; the calculation of vulnerability used PRECIS and emissions scenario B1 for the 2050 decade.

Both vulnerability analyses (current and future) ranked municipalities of the region according to vulnerability to climate change, using the formula:

$$\text{Vulnerability to climate change} = (\text{exposure} + \text{sensitivity}) - \text{adaptation capacity}$$

The *exposure index* was calculated based on the analysis of six threats: frost, drought, floods, landslides, erosion, and forest fires. The *sensitivity index* was obtained from the construction of a *water scarcity index* (hydric supply versus demand) and a *production index*, obtained from the analysis of production and yields of crops of maize, beans

and coffee, from which were built sub-indexes at municipal level.

The *adaptive capacity index* was obtained from the construction of a *population density index*, from the *index for food and nutrition insecurity* (formed by the sub-indexes: deficit of basic grains, extreme poverty,

illiteracy of women, environmental sanitation and job insecurity), and an *index of ecosystem services* from forests. Eleven indexes and 11 sub-indexes were used in total.

**Current estimated vulnerability** indicates that the region is already affected by severe climatic events (El Niño effect and others) and also inter-annual climate variability, such that 50% of the territory of the region shows very high and high climate vulnerability.

The department with most climate vulnerability is Totonicapán, with 100% of its municipalities in these categories. Also there is an approximately horizontal strip in highlands of Quetzaltenango and San Marcos which are very vulnerable and connect with a vertical axis that goes to the center of the department of Huehuetenango. Southern Quiché also presents municipalities with high and very high vulnerability.

Regarding **future vulnerability** (2050), the run data of the regional circulation model used indicates an increase of two degrees Celsius in the average temperature of the region and a moderate decrease in rainfall in general, although some municipalities lose rainfall and others experience increased rainfall.

Considering the percentage of municipalities of each department in the categories of high and very high vulnerability, the order of high to low vulnerability to future climate change is the following: Totonicapán (100% of its municipalities in those categories), Quetzaltenango (54.1%), San Marcos (48.3%), Huehuetenango (40.7%), and Quiché (38.1%).

Bivariate correlation analyses showed that adaptive capacity of the population accounts for a large amount of the variation in vulnerability, indicating the high value of adaptation measures that people can perform in decreasing climate vulnerability in the present and future.

Sensitivity is affected not only by climatic factors considered in this analysis. For example, site quality and agricultural techniques, and especially type and availability of irrigation, are important parts of the sensitivity of agricultural production to climate change.

In conclusion, to reduce current and future vulnerability in these areas, it is important to increase adaptive capacity of populations in key factors such as reducing food and nutrition insecurity, which is achieved by increasing the capacity of food production, reducing illiteracy, extreme poverty, and job insecurity, and improving health conditions of housing.

Likewise, it is important to moderate population growth through educational campaigns and other techniques, as well as maintain and improve the forest cover.

With regard to water and agricultural production, it is important to maintain the water-forest link, reforesting water sources and the upper part of micro watersheds. The increase in crop shields can be achieved through the construction of bench terraces in the hillside crops, applying organic material, fertilizers and especially irrigation, in order to not solely rely on rainy season under climate change conditions and interannual climate vulnerability.

# I. Introducción

En el marco del programa de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), titulado: “Clima, Naturaleza y Comunidades en Guatemala”, The Nature Conservancy (TNC), solicitó a la empresa BIOTA, S.A. Consultores la elaboración de un estudio que permitiera conocer la vulnerabilidad ante el cambio climático en las poblaciones de la región de occidente de la República de Guatemala, conformada por los siguientes departamentos: Huehuetenango, Quiché, Totonicapán, Quetzaltenango y San Marcos.

El análisis de vulnerabilidad se realizó a nivel de reconocimiento (escala cartográfica 1:250,000) en la población de los cinco departamentos indicados (y sus municipios constituyentes). Se estableció la

exposición a las amenazas climáticas, la sensibilidad determinada por el grado de afección del sistema a la exposición y la capacidad de adaptación de la población para acomodarse a los cambios climáticos analizados. El estudio permitió clasificar los diez municipios más afectados a través de una escala de vulnerabilidad.

Este análisis guiará el desarrollo y la integración de estrategias efectivas de adaptación a través de un aprendizaje basado en la comunidad, y un abordaje dirigido a reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia de las personas, los lugares y los medios de subsistencia a los impactos negativos del cambio climático.



Paisaje del altiplano occidental de Guatemala.  
Fotografía: Raúl Maas.

## II. Objetivos

1. Realizar un análisis de la vulnerabilidad ante el cambio climático en las poblaciones de los cinco departamentos de la República de Guatemala que constituyen la región de occidente: Huehuetenango, Quiché, Totonicapán, Quetzaltenango y San Marcos.
2. Identificar los diez municipios de los cinco departamentos analizados, que presentan la mayor vulnerabilidad al cambio climático.



Paisaje en el departamento de Totonicapán, altiplano occidental de Guatemala.  
*Fotografía: César Castañeda.*

### III. Área de estudio

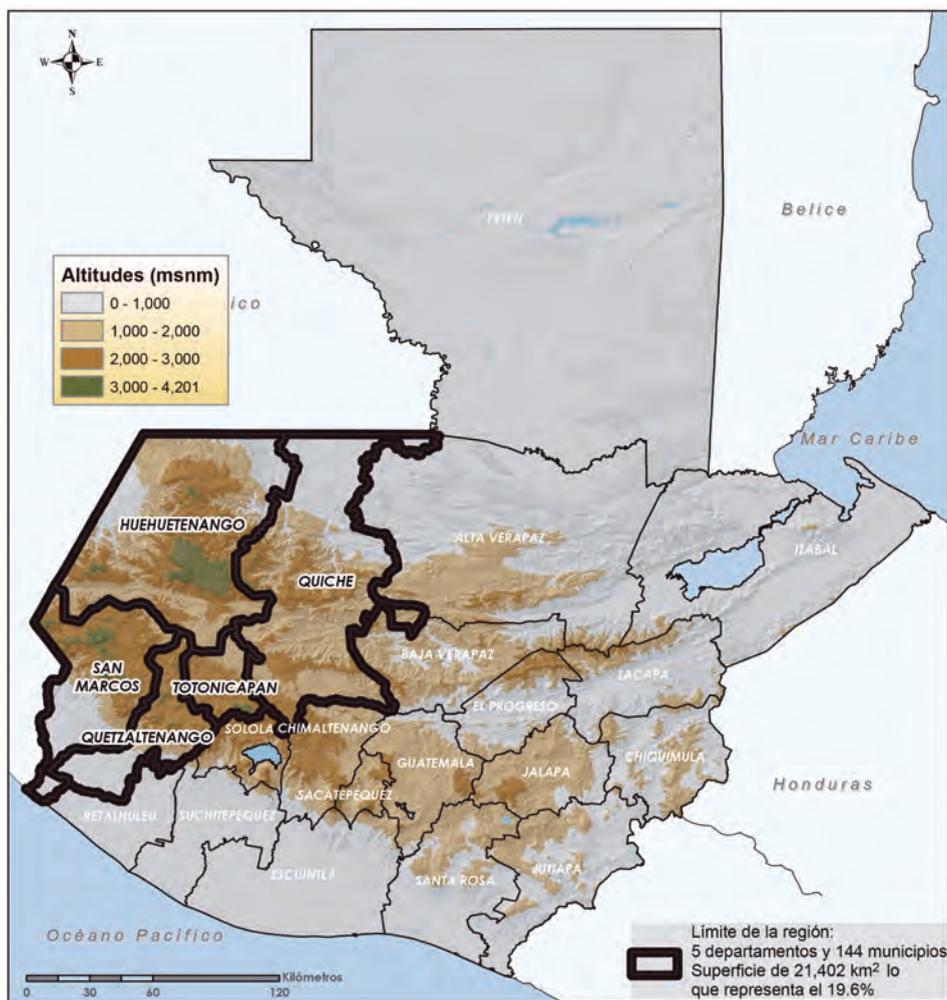
El área estudiada cubre los cinco departamentos que constituyen la “región de occidente” de la República de Guatemala, que comprende los departamentos de Huehuetenango, Quiché, Totonicapán, Quetzaltenango y San Marcos.

Estos departamentos abarcan un área de 21,402 km<sup>2</sup>, que representa el 19.6% del total del territorio nacional.

El detalle de la distribución por departamento es la siguiente: Huehuetenango posee 7,362 km<sup>2</sup>; Quiché, 7,278 km<sup>2</sup>; San Marcos, 3,553 km<sup>2</sup>; Quetzaltenango, 2,133 km<sup>2</sup> y Totonicapán, 1,076 km<sup>2</sup>.

La ubicación de la región de occidente se observa en la Figura 1.

**Figura 1.** Ubicación de los cinco departamentos de la región de occidente de Guatemala



Fuente: Elaboración propia.

La región se ubica al noroeste de la República de Guatemala. Limita al norte y oeste con México y tiene una topografía muy variada. La mayor parte de su territorio está ubicado sobre los 1,000 metros sobre el nivel del mar, posee altiplanos y elevaciones muy marcadas.

Cuenta con un área de 1,122 km<sup>2</sup> (el 5% del territorio) que se encuentra por encima de los 3,000 msnm, donde hay picos que superan los 3,700 msnm, ubicados en la Sierra de los Cuchumatanes. Los picos más altos del país (4,200 msnm) se encuentran en el departamento de San Marcos.

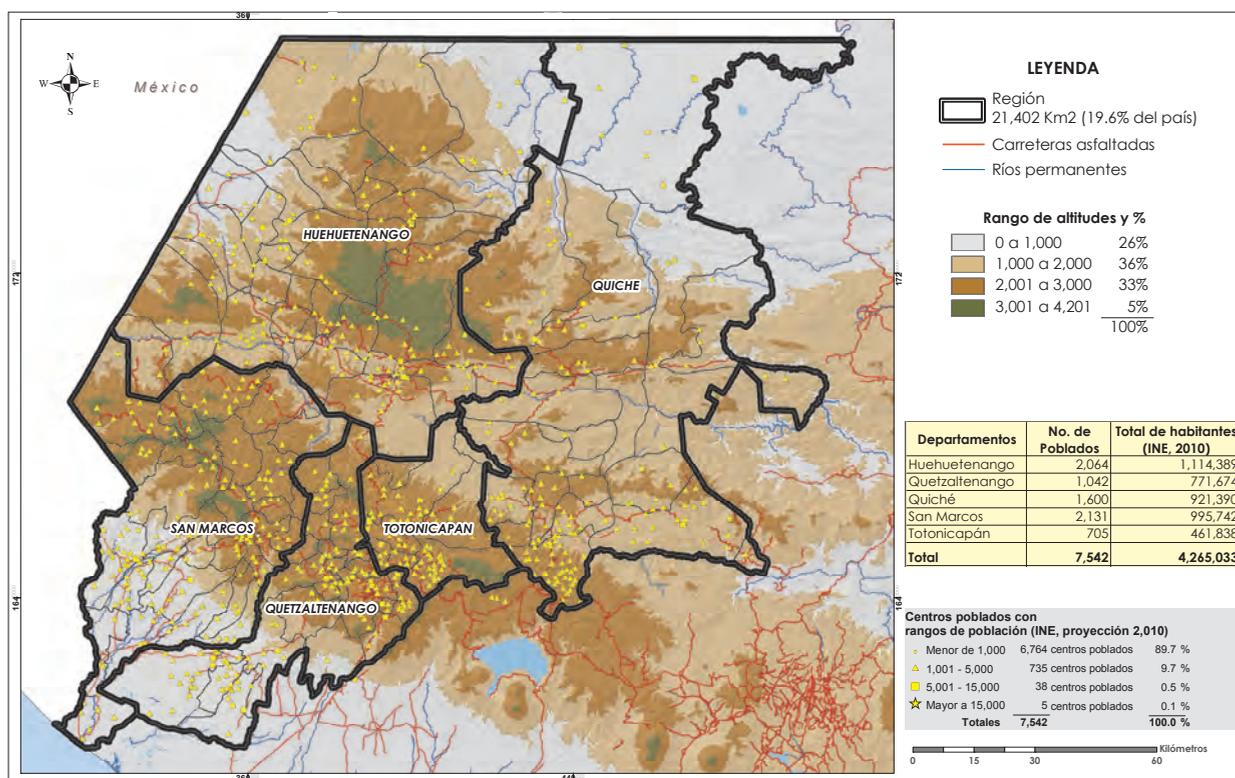
El territorio drena hacia las tres vertientes nacionales: del océano Pacífico, del Golfo de México y del Mar Caribe.

De acuerdo con el Censo de Población (INE, 2002), la región posee un total de 7,542 centros poblados de diferente tamaño, distribuidos de la siguiente manera:

- 6,754 poblados (89.7% del total), cuentan con una población inferior a las 1,000 personas y se encuentran distribuidos en forma dispersa a lo largo y ancho de la geografía de la región;
- 735 centros poblados cuentan con 1,001 a 5,000 personas;
- 8 centros poblados tienen de 5,001 a 15,000 habitantes;
- 5 centros poblados corresponden a las cabeceras departamentales y poseen más de 15,000 personas. Entre ellos destaca la ciudad de Quetzaltenango, que es la segunda ciudad más importante del país.

Con respecto a la cantidad total de personas que viven en el área, las proyecciones del Instituto Nacional de Estadística (INE) al año 2010 indican que en la región habitan 4,265,000 personas, que corresponde al 29.6% del total proyectado para ese mismo año en la República de Guatemala (14,374,659 millones de personas). La Figura 2 muestra el detalle del mapa base de la región de estudio.

**Figura 2.** Mapa base de la región



Fuente: Elaboración propia.

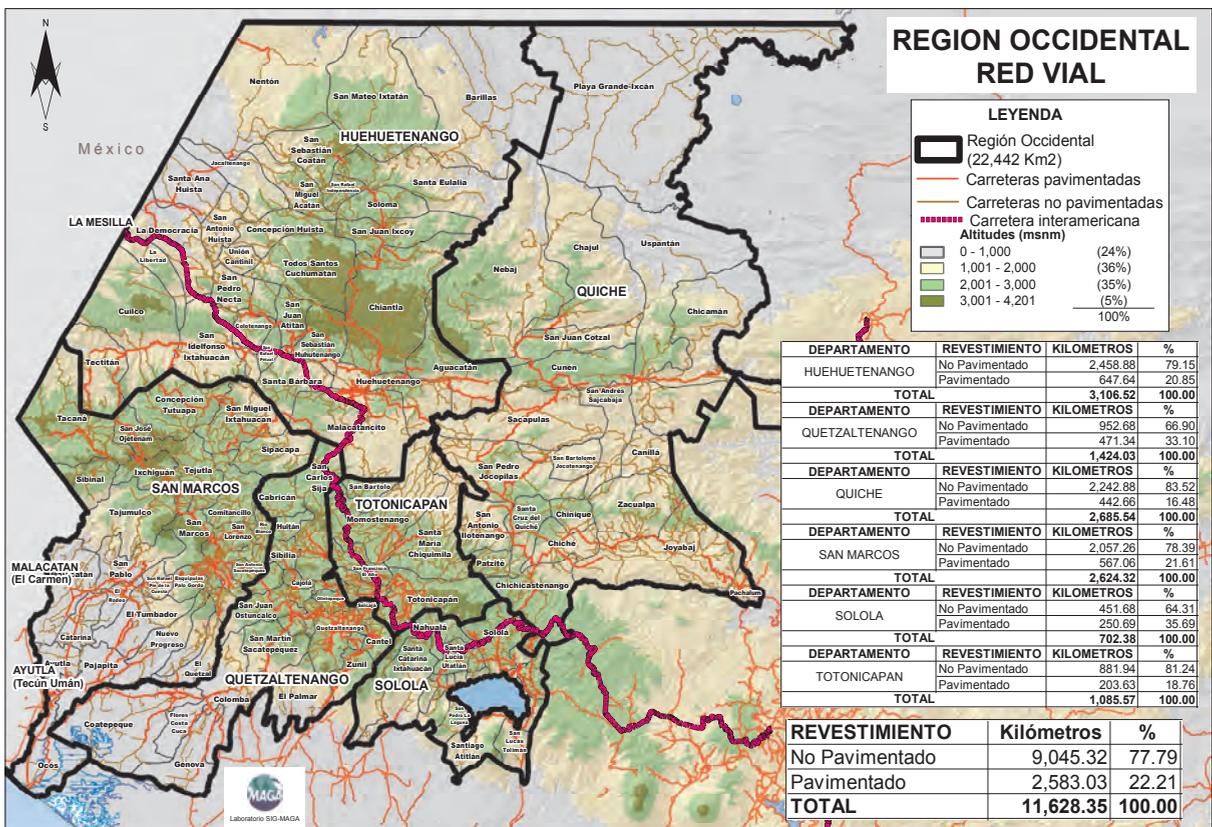
Como se muestra en la Figura 2, los centros urbanos están distribuidos a lo largo de la región y crean un patrón de *población dispersa y rural*. El concepto de rural surge por el esparcimiento de los centros poblados en los territorios de los departamentos, y por el pequeño número de habitantes de la mayoría de ellos.

El departamento de San Marcos es el que posee mayor “ruralidad”, con una media de 467 habitantes por centro poblado; le siguen Huehuetenango, con una media de 540; el Quiché, con una media de 575; Totoncapán, con una media de 655; y Quetzaltenango, con una media de 740.

Como se observa en el mapa de red vial del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA, 2011b), la principal vía de conexión es la carretera interamericana, que atraviesa la región de sureste a noroeste y culmina en la frontera con la República de México, en el pueblo de La Mesilla del departamento de Huehuetenango (Figura 3).

La región se caracteriza porque al centro y al sur de la misma existen importantes vías de comunicación, tanto verticales como transversales; pero no sucede lo mismo al norte de la región, que está poco comunicada.

**Figura 3.** Mapa de vías pavimentadas y no pavimentadas de la región



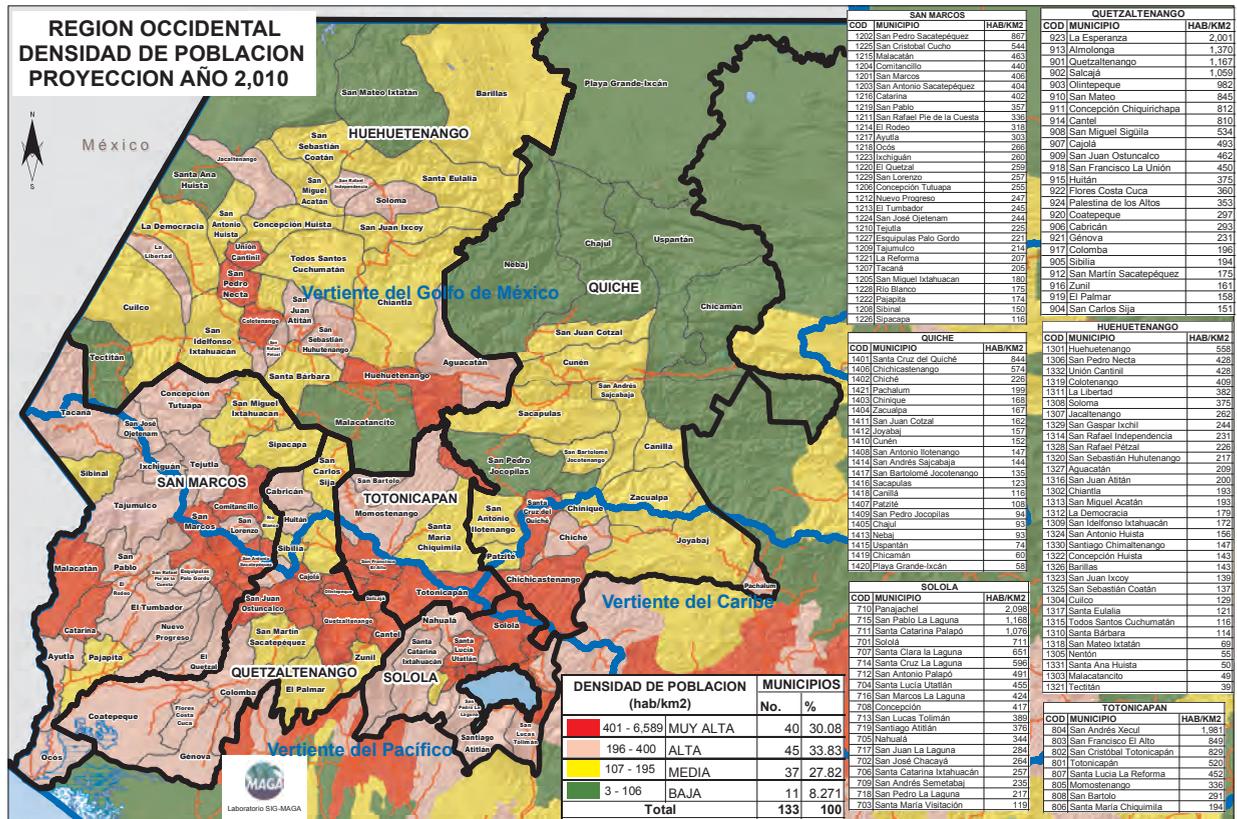
Fuente: MAGA (2011b).

### 3.1 Demografía

Según el MAGA (2011a), la mayoría de municipios de la región posee la categoría de “alta y muy alta” densidad poblacional. Si se considera que, según las proyecciones del INE para el 2010, la media nacional es de 132 habitantes/km<sup>2</sup>, que corresponde

con la categoría de “baja” densidad en la Figura 4, entonces la mayoría de los municipios de la región superan la media nacional. Los departamentos más densamente poblados son Totonicapán y San Marcos.

Figura 4. Densidad de población (habitantes/km<sup>2</sup>)



Mujeres de la empresa *Semillas del Bosque* en Cajolá, Quetzaltenango.

Fuente: MAGA (2011a).

## IV. Marco conceptual

El marco conceptual ha sido extraído de las comunicaciones del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) hasta llegar a la cuarta comunicación (IPCC, 2007); de la Ley de Cambio Climático desarrollada por Guatemala (Decreto 7-2013 del Congreso de la República de Guatemala) y del Estudio del índice de vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria y nutricional –IVISAN– (MAGA y SESAN, 2012).

Los métodos utilizados provienen de sugerencias del IPCC y de experiencias desarrolladas por instituciones internacionales que han realizado estudios de vulnerabilidad en diferentes países.

Los conceptos empleados en este documento, son los siguientes:

**Acceso a los alimentos:** “Capacidad que tiene la población para adquirir los alimentos vía producción, compra, transferencias y/donaciones” (Artículo 2, numeral 1 del Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional, Acuerdo Gubernativo No. 75-2006).

**Adaptación al cambio climático:** “son los ajustes en los sistemas naturales o humanos como respuesta a estímulos climáticos estimados o reales, o sus efectos que pueden moderar el daño o aprovechar sus aspectos beneficiosos” (IPCC, 2007).

**Amenazas:** “Fenómeno, sustancia, actividad humana o situación peligrosa que puede causar la muerte, lesiones u otros impactos sobre la salud, daños materiales, pérdida de los medios de vida y servicios, interrupción de la actividad social y económica o degradación ambiental” (UNISDR, 2009).

**Aprovechamiento o utilización biológica de alimentos:** “Óptimo aprovechamiento de los alimentos y nutrientes, una vez sean consumidos por

el individuo. Implica contar con salud y nutrición óptima a través de la prestación de servicios de salud, higiene, alimentos inocuos, agua segura y saneamiento ambiental” (Artículo 2, numeral 15 del Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional, Acuerdo Gubernativo No. 75-2006).

**Cambio climático:** “el cambio climático es cualquier cambio en el clima producido en el transcurso del tiempo, ya sea debido a la variabilidad natural o a la actividad humana” (IPCC, 2007).

**Capacidad adaptativa:** “la capacidad de un sistema para ajustarse al cambio climático (incluida la variabilidad climática y los cambios extremos) para aminorar daños potenciales, aprovechar las oportunidades o enfrentar las consecuencias” (IPCC, 2001).

**Consumo de alimentos:** “Capacidad de la población para decidir adecuadamente sobre la selección, almacenamiento, preparación, distribución y consumo de los alimentos en la familia; está relacionado con las costumbres, prácticas, educación e información específica sobre alimentación y nutrición” (Artículo 2, numeral 2 del Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional, Acuerdo Gubernativo No. 75-2006).

**Disponibilidad de alimentos:** “Existencia de alimentos disponibles en calidad, variedad y cantidad suficiente para satisfacer la demanda de la población a nivel nacional, regional, local, comunitario, familiar e individual” (Artículo 2, numeral 3 del Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional, Acuerdo Gubernativo No. 75-2006).

**Exposición y sensibilidad:** “la exposición de un sistema o comunidad a una amenaza climática está, en general, vinculada a la geografía del lugar y al

tiempo. La sensibilidad se refiere al grado en que la comunidad resulta afectada por estímulos relativos al clima” (IPCC, 2001).

**Inseguridad alimentaria y nutricional:** “Situación en la cual las personas carecen de capacidades para tener acceso físico, económico o social, a una alimentación adecuada en cantidad y calidad, así como a un buen aprovechamiento biológico, que limita su desarrollo” (Artículo 2, numeral 11 del Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional, Acuerdo Gubernativo No. 75-2006).

**Modelo de circulación global:** “Es un modelo numérico avanzado que procura simular todas las partes y procesos del sistema climático global” (Oglesby y Rowe, 2010).

**Modelos climáticos regionales:** “Son versiones detalladas, o de mayor resolución, de los modelos de circulación general calculadas para una superficie limitada por un dominio” (Oglesby y Rowe, 2010).

**Seguridad alimentaria y nutricional:** “el derecho de toda persona a tener acceso físico, económico y social, oportuna y permanentemente, a una alimentación adecuada en cantidad y calidad, con pertinencia cultural, preferiblemente de origen nacional, así como a su adecuado aprovechamiento biológico para

mantener una vida saludable y activa” (Artículo 1 de la Ley del Sistema Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional, Decreto 32-2005 del Congreso de la República de Guatemala).

**Variabilidad climática:** “variaciones en las condiciones climáticas medias y otras estadísticas del clima, en todas las escalas temporales y espaciales que se extienden más allá de un fenómeno meteorológico en particular” (Decreto 7-2013 del Congreso de la República de Guatemala).

**Vulnerabilidad al cambio climático:** “Grado en que un sistema es capaz o incapaz de afrontar los efectos adversos del cambio climático, incluyendo la variabilidad climática y los fenómenos extremos. La vulnerabilidad es una función del carácter, magnitud e índice de la variación climática a que está expuesto un sistema, su sensibilidad y su capacidad adaptativa” (IPCC, 2001).

Conforme esta definición, la vulnerabilidad ante el cambio climático puede ser estimada a partir del análisis de la exposición, la sensibilidad y la capacidad adaptativa de las poblaciones sujetas a estos cambios. Es por ello que la fórmula utilizada en este estudio es la siguiente:

**Vulnerabilidad ante el cambio climático:**  
(exposición + sensibilidad) – capacidad de adaptación

## V. Métodos y procedimientos utilizados

El análisis de vulnerabilidad ante el cambio climático fue realizado, en su mayor parte, con base en informaciones temáticas oficiales, o sea, derivadas de las instituciones encargadas de la generación de datos básicos sobre climatología, recursos naturales y población del país; principalmente del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH); del MAGA; del INE y de la Secretaría de Seguridad Alimentaria y Nutricional (SESAN).

Se utilizaron bases de datos y mapas a *nivel de reconocimiento*, con una escala cartográfica de 1:250,000, y a *nivel municipal* para los cinco departamentos del área de estudio. Los análisis fueron

realizados en un Sistema de Información Geográfica, utilizando el *software* Arc-GIS 9.2°.

El primer paso del análisis consistió en determinar la *vulnerabilidad ante el cambio climático actual*, o sea a un año lo más cercano posible a la actualidad, lográndose realizar para el año 2011. Seguidamente, se aplicó un modelo regional para analizar los escenarios climáticos a futuro.

Una vez determinados, se calculó la *vulnerabilidad ante el cambio climático a futuro*, en una corrida de datos al año 2050. Finalmente, se compararon ambos análisis y los resultados se expresan en este documento. A continuación, se explican las actividades realizadas a detalle.

### 5.1 La vulnerabilidad actual ante el cambio climático

Estudios sobre vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria en el país con base en las amenazas climáticas y otros aspectos, fueron desarrollados por el MAGA con patrocinio del Programa Mundial de Alimentos (*World Food Program*) en el año 2002 (MAGA y PMA, 2002), y en el año 2012 se publicó un segundo trabajo por encargo de la Secretaría de Seguridad Alimentaria y Nutricional (SESAN) (MAGA y SESAN, 2012).

En ambos estudios, la base climática proveniente del INSIVUMEH fue la misma, a partir de estaciones climatológicas que fueron seleccionadas por contar

con registros en un tiempo de 40 años (1960 a 2000). Esto significa que las amenazas climáticas relacionadas al clima (sequías, heladas e inundaciones) que fueron utilizadas en esos estudios, y que son de amplia difusión en el país, no están actualizadas, pues sólo llegan al año 2000.

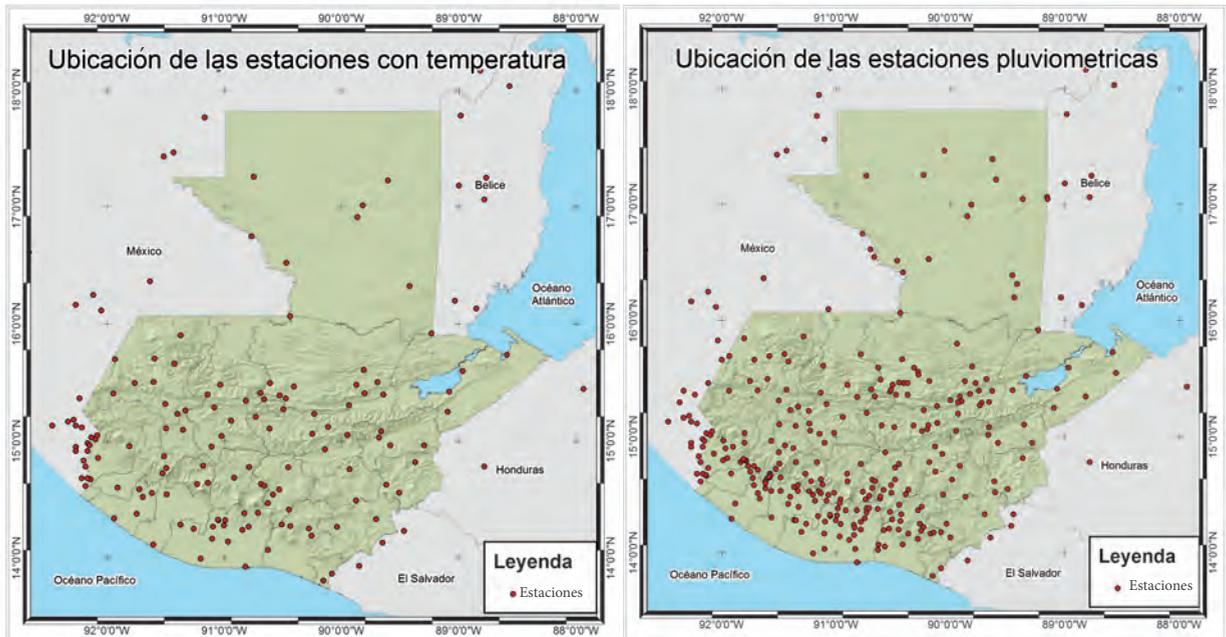
Debido a esta situación, y a la necesidad de contar con datos más recientes, el primer paso del análisis de vulnerabilidad consistió en actualizar los datos climáticos desde el año 2000 hasta la fecha más cercana a la actualidad. Se logró actualizar la base climática hasta el año 2011, incluyendo ese año.

#### 5.1.1 Procedimientos utilizados para actualizar la base climática

Se identificaron 238 estaciones climáticas del INSIVUMEH con registros de temperatura y precipitación desde el año 1970 al año 2011 (Figura

5). Fue necesario procesar los datos de 53 estaciones meteorológicas desde el año 2000 al 2008, y actualizarlos para todas, hasta el año 2011.

**Figura 5.** Ubicación de estaciones climáticas con registros de temperatura y precipitación



Fuente: Elaboración propia.

Las 53 estaciones meteorológicas distribuidas en el territorio nacional que necesitaron procesamiento de sus registros, se muestran en el Cuadro 1.

Se estableció un control de calidad para los datos climáticos de las estaciones involucradas en el análisis. Una vez reunida la información de todas las estaciones, los datos se ordenaron para poder aplicar un *software* estadístico denominado RCLimDex®.

Posteriormente, los datos fueron sistematizados de tal forma que se ajustaran a los formatos de entrada de los archivos utilizados en el programa citado. Los requisitos de cada archivo fueron los siguientes:

- La primera columna corresponde al año de registro.
- La segunda columna es el número del mes.
- La tercera columna es el día.
- La cuarta columna es el dato de precipitación, con un decimal. Los vacíos se cambian con el número -99.9 (valor indiferente al programa y, por lo tanto, no altera los resultados).
- La quinta y sexta columna corresponden a los datos de temperatura máxima y mínima, respectivamente, con un decimal. Los vacíos también deben cambiarse con el número -99.9.
- El archivo de seis columnas se graba como texto (TXT).

- Cuando en una fecha faltan los tres datos, el dato se puede eliminar.

Posteriormente, se corrió el análisis y los datos resultantes fueron interpretados. El proceso incluyó los siguientes aspectos:

- Análisis de los valores extremos de temperatura máxima y mínima que se encontraron fuera del rango definido.
- Comparación con los archivos originales para evaluar si los datos que se encontraban fuera del rango, fueron mal ingresados o si fue error de los observadores al tomar y anotar los valores. De igual manera se ingresaron algunos datos faltantes.
- Comparación de los valores atípicos con los registros de las estaciones cercanas para verificar si realmente era un error ya que, si eran coincidentes, se trataba de un valor extremo.
- Finalmente, se tomó la decisión de dejar, modificar o eliminar cada dato.

Se elaboraron gráficas de los resultados, a partir de las cuales se detectaron datos faltantes, como en el caso presentado en la Figura 6.

**Cuadro 1. Estaciones meteorológicas que necesitaron procesamiento de sus registros**

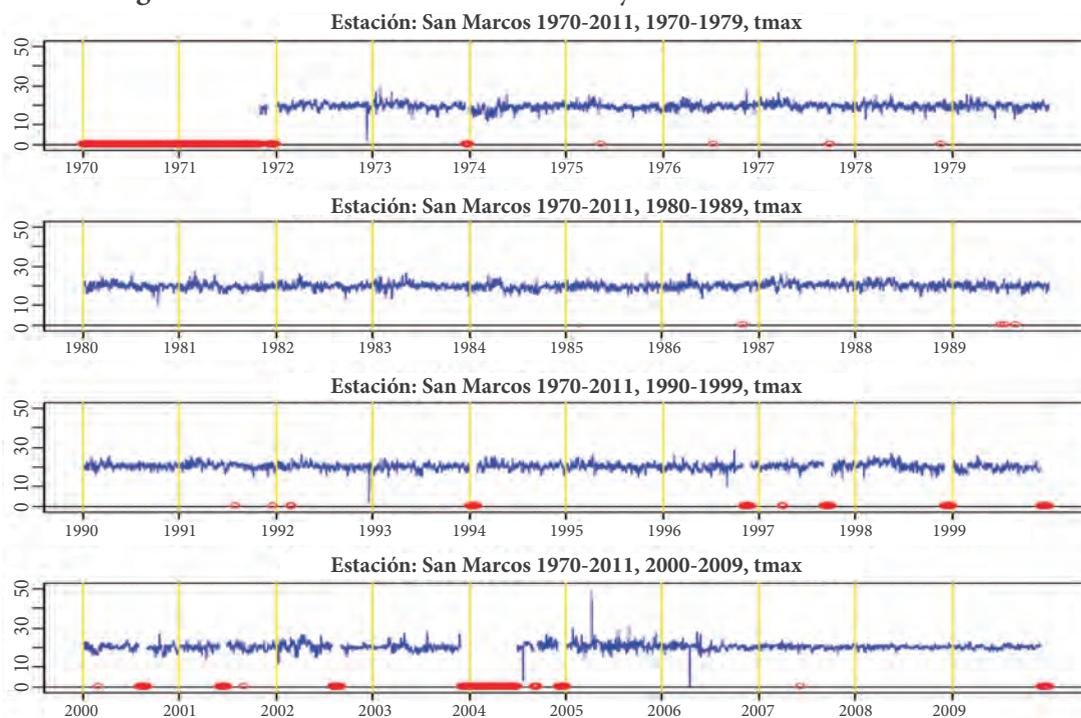
No.	Longitud	Latitud	Departamento	Código	Estación
1	-89.810600	15.608300	Alta Verapaz	010202	Santa María Cahabón
2	-90.407500	15.466700		010108	Cobán
3	-89.643900	15.397200		010710	Panzós
4	-90.614167	15.108889	Baja Verapaz	020202	Cubulco
5	-90.250000	15.061100		020604	San Jerónimo
6	-90.915300	14.686700	Chimaltenango		Santa Cruz Balanyá
7	-90.788600	14.778600			San Martín Jilotepeque
8	-90.803333	14.633889		030102	Alameda ICTA
9	-89.372800	14.820600	Chiquimula	040201	Camotán
10	-89.508600	14.558900		040402	Esquipulas
11	-89.949167	15.052500	El Progreso	120604	Los Albores
12	-91.050800	14.325000	Escuintla	051008	Camantulul
13	-90.829200	14.382800		050114	Sabana Grande
14	-90.834400	13.936100		050805	San José
15	-90.454722	14.776389	Guatemala		San Pedro Ayampuc
16	-90.532800	14.586400		060100	INSIVUMEH
17	-91.952778	15.406389	Huehuetenango		Cuilco
18	-91.503100	15.317200		070103	Huehuetenango
19	-91.763333	15.495278		071902	San Pedro Nectá
20	-91.603600	15.504700		073102	Todo Santos
21	-88.966700	15.600000	Izabal	080306	Las Vegas
22	-89.07781	15.42866			Mariscos
23	-88.591700	15.737800		080104	Puerto Barrios
24	-89.875600	14.492800	Jalapa	090303	La Ceibita
25	-89.932200	14.760600		090102	Potrero Carrillo
26	-89.705800	14.334400	Jutiapa	100301	Asunción Mita
27	-90.155000	13.808900		101102	Montúfar
28	-90.037800	14.266100		101301	Quezada
29	-89.8664	16.9147	Petén	110104	Flores
30	-91.513900	14.870000	Quetzaltenango	131401	Labor Ovalle
31	-91.583056	14.980556			Pachuté
32	-91.024444	15.043889	Quiché	140502	Chinique
33	-90.660600	15.356100		141502	Chixoy Quiché
34	-91.092200	15.291100		141001	Chuitinamit
35	-91.142200	15.398100		140801	Nebaj
36	-91.695800	14.521900	Retalhuleu	150108	Retalhuleu
37	-90.661100	14.616900	Sacatepéquez	161101	Suiza Contenta
38	-92.077200	14.855600	San Marcos	170301	Catarina
39	-91.809444	14.954167		170103	San Marcos
40	-92.139444	14.673611		170201	Tecún Umán
41	-90.278300	14.252800	Santa Rosa	180103	Los Esclavos

Continuación del Cuadro 1

No.	Longitud	Latitud	Departamento	Código	Estación
42	-91.140556	14.693056	Sololá		El Capitán
43	-91.181900	14.790300		190103	Santa María El Tablón
44	-91.231389	14.631667		191904	Santiago Atitlán
45	-89.584400	14.964200	Zacapa	220301	La Fragua
46	-89.291100	14.963300		220602	La Unión
47	-89.680000	15.030000		220701	Pasabién
48	-91.427222	15.663889	Huehuetenango		San Pedro Soloma
49	-90.438889	16.066667	Chisec o Sayaxché		San Agustín Chixoy
50	-91.724444	14.588333	Retalhuleu		El Asintal
51	-90.948611	17.259722	Petén		San Pedro Mactún
52	-90.141944	14.930278	El Progreso		Morazán
53	-89.936944	15.305555	Alta Verapaz		Papalha

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 6.** Gráficas de los datos climáticos y detección de saltos en los datos



Fuente: Elaboración propia.

Una vez depurados los datos, se calcularon las medias mensuales multianuales, a partir de lo cual se elaboraron mapas, se realizó un análisis de la producción agrícola y se construyeron los índices hídricos.

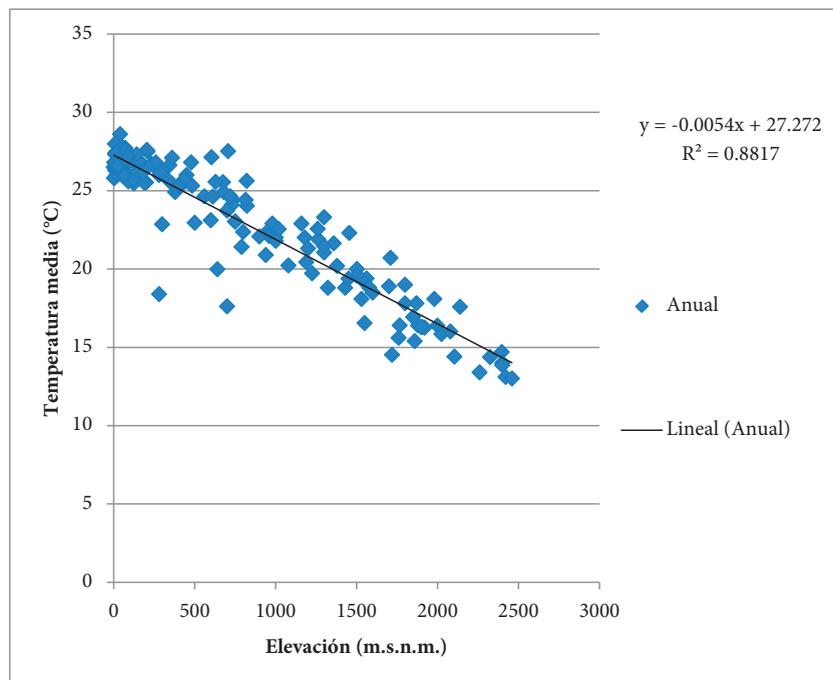
Fue necesario elaborar mapas climáticos, para lo cual, los datos de lluvia se interpolaron bajo el método de *Topo to raster*, el cual relaciona la precipitación de las estaciones con las isólinas de precipitaciones que fueron trazadas a criterio de experto.

Para realizar el mapa de temperatura media anual, se utilizó el gradiente térmico anual con respecto a la elevación, que es de  $-0.0054 \text{ } ^\circ\text{C/m}$  ( $\Delta$ ).

Este gradiente fue utilizado para determinar la temperatura de cada estación al nivel medio del mar, por medio de la fórmula indicada en la Ecuación 1. La Figura 7 muestra el ajuste a la curva.

$$T_0 = T_{\text{estación}} + \Delta * Elev \text{ (Ecuación 1)}$$

**Figura 7.** Análisis de la temperatura media anual respecto a la elevación



Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se interpoló la red de puntos obtenidos al aplicar la Ecuación 1, mediante el *Método inverso de la distancia ponderado* y se obtuvo un *raster* con

resolución espacial de 90 metros pixel de temperaturas a nivel del mar. Para obtener el mapa de temperaturas, se aplicó el procedimiento indicado en la Ecuación 2.

Ecuación 2:



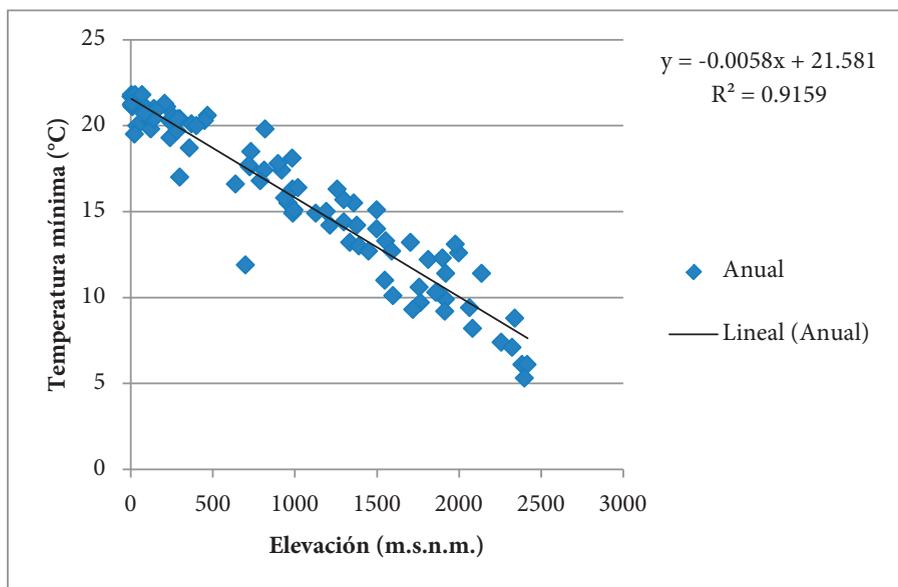
Este método se utilizó para obtener los mapas en *raster* de la temperatura media anual, y de las temperaturas máximas y mínimas.

Los mapas de temperatura mínima y máxima fueron creados en *raster*, mediante la relación de

las temperaturas mínima y máxima anual con la elevación del terreno (msnm).

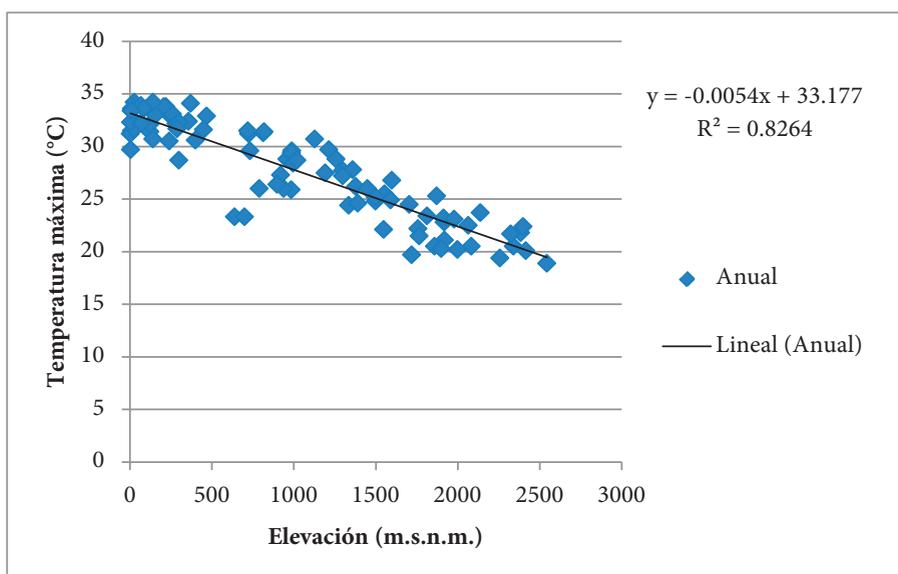
En las Figuras 8 y 9 se observa la relación entre ambos factores.

**Figura 8.** Relación entre la temperatura mínima anual y la elevación



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 9.** Relación entre la temperatura máxima anual y la elevación

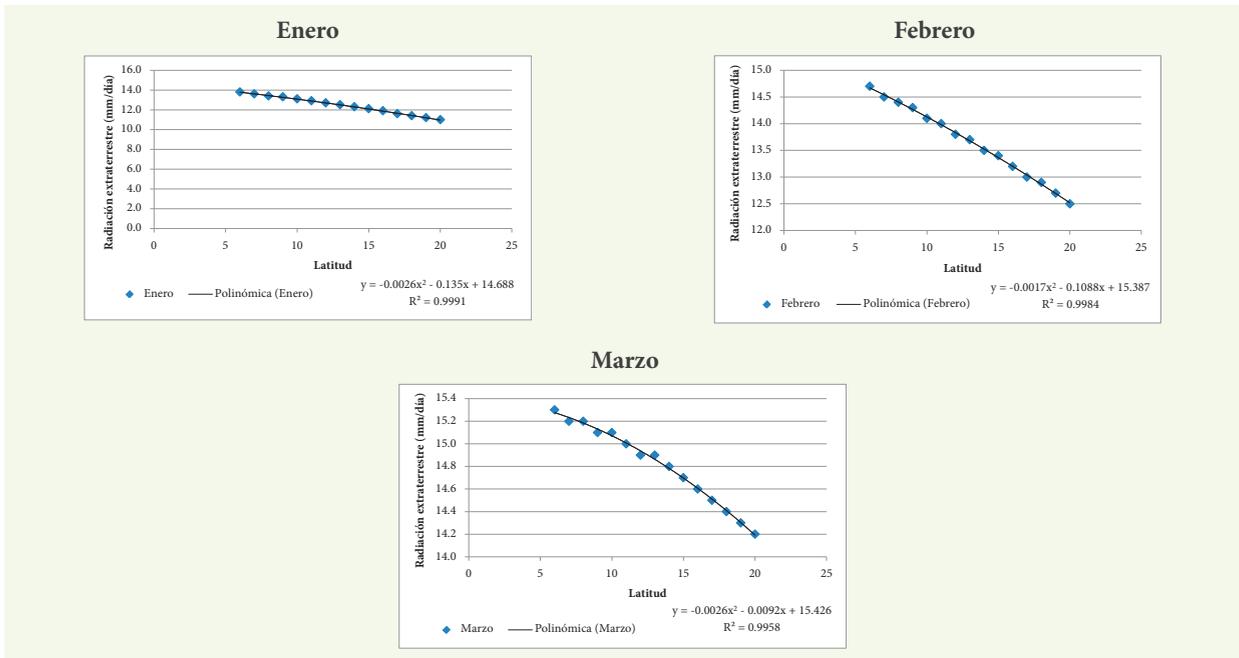


Fuente: Elaboración propia.

Para la construcción del mapa de evapotranspiración (ETP) mensual, fue necesario elaborar un *raster* de “radiación extraterrestre”,

el cual fue creado en función de las tablas que existen para calcular la evapotranspiración de cada mes (Figura 10).

**Figura 10.** Ejemplo de tablas de radiación para los meses de enero, febrero y marzo



Fuente: Elaboración propia.

El *raster* de evapotranspiración fue construido a través de la suma de los *raster* mensuales de ETP, que fueron realizados mediante la *ecuación de Hargreaves*,

utilizando un coeficiente de ajuste (Kt) de 0.176. La fórmula se muestra a continuación:

$$ETP \text{ (mm)} = 0.0135 (T_{med} + 17.78) * Re * Kt * \sqrt{T_{max} - T_{min}} * d$$

Donde:

ETP = Evapotranspiración potencial  
 Tmed = Temperatura media mensual  
 Tmax = Temperatura máxima

Tmin = Temperatura mínima  
 Re = Radiación extraterrestre  
 Kt = Coeficiente de ajuste  
 d = Días del mes

## 5.1.2 Determinación de la exposición

La exposición fue determinada a través los mapas de amenazas ambientales, a los niveles y escalas indicados. A partir de ello, se construyó el *índice de amenazas climáticas actuales* (IACA).

En el Cuadro 2 se muestran los indicadores utilizados, su fuente original, la actualización realizada, o bien, la creación de uno nuevo por no existir previo a este estudio.

En cada mapa que se muestra en el siguiente capítulo, se describe sucintamente la metodología utilizada para su elaboración.

**Cuadro 2.** Índice de amenazas climáticas actuales: indicadores utilizados

Variables / Indicadores	Datos	Fuente y año	Actualización y/o creación
<b>Amenaza por sequía</b>	Amenaza por sequía (por municipio)	Mapa de susceptibilidad a sequía, año 2002 (UPGGR-MAGA).	Se actualizó con datos climáticos de estaciones del INSIVUMEH, desde el año 2000 al 2011.
<b>Amenaza por heladas</b>	Amenaza por heladas (por municipio)	Mapa de susceptibilidad a heladas, año 2002 (UPGGR-MAGA).	Se actualizó con datos climáticos de estaciones del INSIVUMEH, desde el año 2000 al 2011.
<b>Amenaza por inundaciones</b>	Amenaza por inundaciones (por municipio)	Mapa de susceptibilidad a inundaciones, año 2002 (UPGGR-MAGA).	Se actualizó con datos de eventos de inundaciones de CONRED hasta el año 2011.
<b>Amenaza por deslizamientos</b>	Amenaza por deslizamientos (por municipio)	Creado para el presente estudio.	Fue elaborado con base en la metodología del estudio de suelos de Sololá (MAGA-IGAC, 2013).
<b>Amenaza por peligro de erosión</b>	Amenaza por peligro de erosión (por municipio)	Creado para el presente estudio.	Fue elaborado con base en los estudios de suelos de Simmons, Tárano y Pinto (1959).
<b>Amenaza por incendios forestales</b>	Amenaza por incendios forestales (por municipio)	Creado para el presente estudio.	Fue elaborado con base en los datos de incendios forestales del INAB hasta el año 2012.

**Fuente:** Elaboración propia.

## 5.1.3 Determinación de la sensibilidad

La determinación de la sensibilidad de la región, es decir, la forma en que la región se ve afectada por los estímulos relativos al clima, fue analizada sobre dos aspectos temáticos:

1. Disponibilidad de recursos hídricos de la zona y
2. Base productiva agrícola de la región.

Una vez analizados estos dos aspectos, fueron integrados en un *índice de sensibilidad hídrica y productiva actual* (ISHP).

### 5.1.3.1 Análisis sobre la disponibilidad de recursos hídricos

La disponibilidad de recursos hídricos de la región se determinó mediante la elaboración de un *índice de escasez hídrica* que relaciona la demanda del recurso por parte de la población (que fue estimada según las proyecciones de crecimiento de la población realizadas por el INE al año 2010) y la oferta hídrica de la región (que fue calculada mediante un balance climático, en el cual se determinó la lámina potencialmente aprovechable).

Se prefirió utilizar este método, en vez de utilizar un modelo de precipitación-escorrentía, pues este último no puede ser calibrado al faltar los datos de caudales, que sólo están disponibles en el INSIVUMEH hasta el año 2003. El cálculo fue realizado a nivel municipal.

#### 5.1.3.2 *Análisis sobre la base productiva agrícola*

Se analizó la producción de granos básicos (maíz y frijol) y el cultivo de café. También se analizaron cultivos hortícolas (papa y arveja china); sin embargo, los datos de producción y rendimiento departamental y municipal de estos cultivos eran contradictorios e inexactos, por lo que no fueron incluidos.

El análisis consistió en comparar los rendimientos (producciones sobre la superficie en hectáreas) de cada cultivo en el periodo 1979 a 2011, o las fechas más aproximadas al año de estudio, con las anomalías climáticas que presentó la región. Se analizaron las anomalías del Niño y la Niña en comparación con los años neutrales. Para ello, se utilizó la base de datos de efectos climáticos que posee el INSIVUMEH.

Para determinar el rendimiento municipal de maíz, frijol y café, se utilizaron los censos agrícolas nacionales de 1979 y 2003; las encuestas departamentales de los años 1996, 2005, 2006, 2007 y 2008; y la serie de producción nacional y departamental de rendimientos. La serie histórica de rendimientos nacional se ajustó a la municipal a través del uso de índices de producción, completando el periodo 1979 a 2011.

Al determinar los años en los que los rendimientos decrecieron drásticamente, se realizó una caracterización climática, identificando la influencia del fenómeno océano-atmosférico (“Niño fuerte o Niña fuerte”) en los rendimientos de producción.

Seguidamente, se analizaron los rendimientos de producción en los años con condiciones “neutras, de niño fuerte y de niña fuerte”, obteniendo la anomalía de rendimiento para las dos últimas. Con ello, se construyó un índice por cultivo y los resultados se graficaron en mapas. Posteriormente, los resultados se agregaron en un *índice de sensibilidad de la producción*.

#### 5.1.3.3 *Construcción del índice de sensibilidad hídrica y productiva actual*

Se estructuró un *índice de sensibilidad* a nivel municipal, integrando la sensibilidad hídrica y la sensibilidad a la producción agrícola. El procedimiento técnico que se realizó fue llevar los datos a índices, estandarizar los datos a nivel municipal y sumarlos algebraicamente. Una vez determinados los valores municipales, se elaboraron los mapas en el sistema de información indicado.

### 5.1.4 **Determinación de la capacidad de adaptación**

La capacidad de adaptación de la población ante los efectos del cambio climático fue determinada analizando tres aspectos:

1. Demografía de la región,
2. Inseguridad alimentaria y nutricional de la población, y
3. Servicios ecosistémicos que brinda la cobertura boscosa de los territorios analizados.

El indicador demográfico utilizado fue la “densidad total de habitantes por unidad de área” a nivel municipal. Los datos se obtuvieron del INE y se proyectaron al año 2010, con lo cual se realizó un *índice demográfico por municipio*.

Con respecto a los aspectos sociales y económicos, se tomó el *índice de inseguridad alimentaria y nutricional* generado por el MAGA y SESAN (2012), que integra los siguientes indicadores:

- Disponibilidad de alimentos (déficit de granos básicos),
- Acceso a alimentos (indicadores de pobreza extrema, índice de precariedad ocupacional),
- Consumo de alimentos (indicador de analfabetismo en mujeres de 15 años), y
- Aprovechamiento biológico de alimentos (indicador de saneamiento ambiental de los hogares).

Los indicadores se actualizaron con base en publicaciones de la SESAN, CONALFA (Comité Nacional de Alfabetización) e INE.

El *índice de servicios ecosistémicos* que brinda la cobertura boscosa fue determinado con base en los datos de cobertura forestal a nivel municipal del Instituto Nacional de Bosques (INAB) al año 2010. Se calculó el porcentaje de cobertura boscosa densa en cada municipio. Los valores fueron transformados a índices.

## 5.1.5 Determinación de la vulnerabilidad actual y priorización de municipios

Una vez determinados los índices, se construyó una base de datos vinculada al Sistema de Información Geográfica con el *software* indicado, que integró los valores de los índices con su peso final.

La fórmula de vulnerabilidad ante el cambio climático sufrió la siguiente transformación:

### Vulnerabilidad ante el cambio climático:

[Exposición (índice sintético de amenazas ambientales) + Sensibilidad (índice de sensibilidad hídrica + índice de sensibilidad productiva)] – Capacidad de adaptación (índice demográfico + índice de inseguridad alimentaria y nutricional+ índice de servicios ecosistémicos)

La base de datos con los factores de la fórmula normalizados y con el peso correspondiente, fue conectada a la base geográfica nacional ya indicada (escala cartográfica 1:250,000) mediante el *software* Arc-GIS 9.3.

Con ello, se obtuvo el resultado final a nivel municipal, categorizando los municipios con base en rangos cuantitativos que indican la vulnerabilidad actual (baja, media, alta y muy alta).

La priorización surgió de la base de datos, indicando los diez municipios con valores más altos de vulnerabilidad ante el cambio climático.

Los valores de las variables fueron distribuidos en cuatro grupos o “cuartiles”. Con ello, se calculó la probabilidad de cada valor, que fue representada espacialmente en los mapas correspondientes.

La leyenda de los mapas contiene las siguientes categorías: muy alta, alta, media y baja condición de cada variable.

Los colores utilizados en el análisis siguen el concepto del semáforo, donde el color rojo indica las condiciones más desfavorables.



Uno de los aspectos utilizados para la determinación de la capacidad de adaptación de la población ante los efectos del cambio climático fue el índice de servicios ecosistémicos que brinda la cobertura boscosa.

## VI. Resultados obtenidos

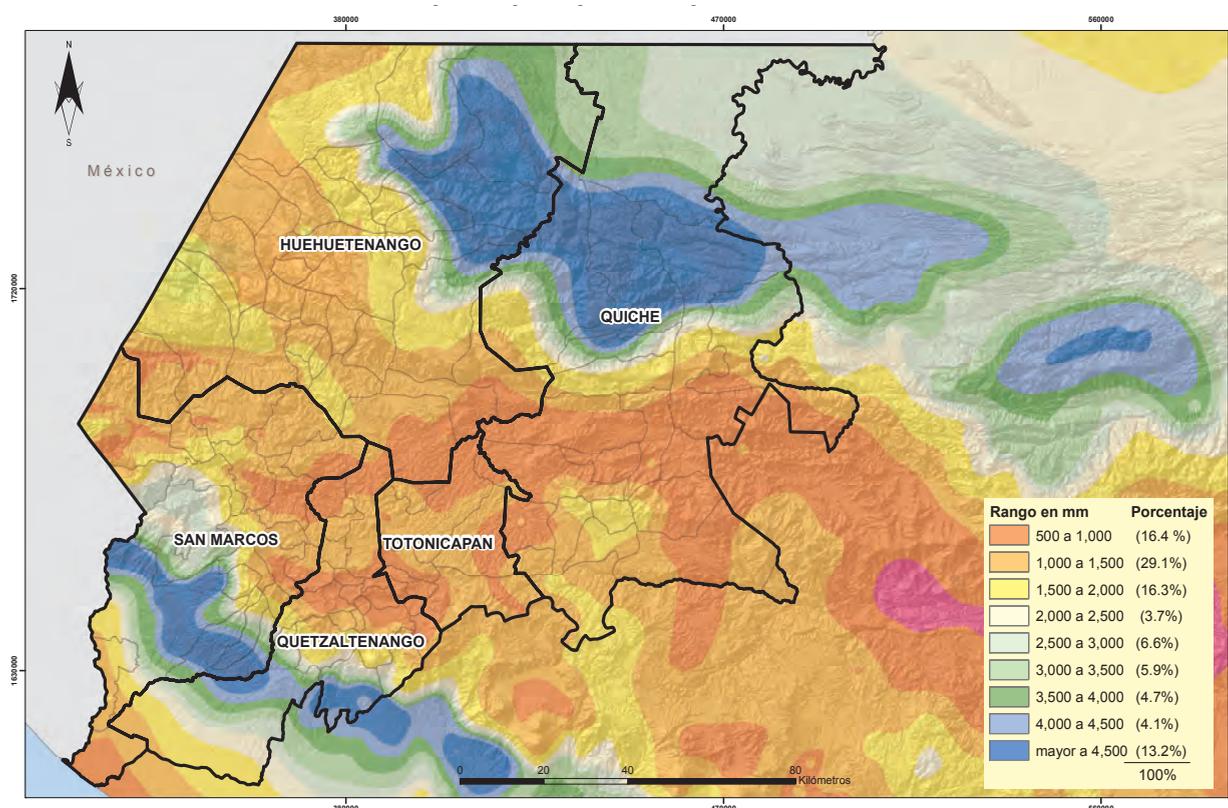
### 6.1 Mapas climáticos actualizados al año 2011

Los principales mapas actualizados al 2011, según los análisis de los datos de las estaciones meteorológicas, son los de precipitación anual y temperaturas medias anuales, que se constituyen en la base para la determinación de las zonas bajo amenazas de sequía y heladas.

Para cada uno de ellos, fue necesario generar doce mapas promedio mensuales, cubriendo de enero a diciembre, en la serie de tiempo analizado.

La Figura 11 muestra el mapa de precipitación anual promedio obtenido.

Figura 11. Mapa de precipitaciones anuales promedio actualizadas al año 2011



Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Figura 11, las precipitaciones se distribuyen entre los 500 a los 5,600 mm anuales. Las áreas con menores precipitaciones se encuentran

en la parte media de la región, sobre todo en la parte central del departamento de Quiché, al sur de Huehuetenango y el valle central de Quetzaltenango.

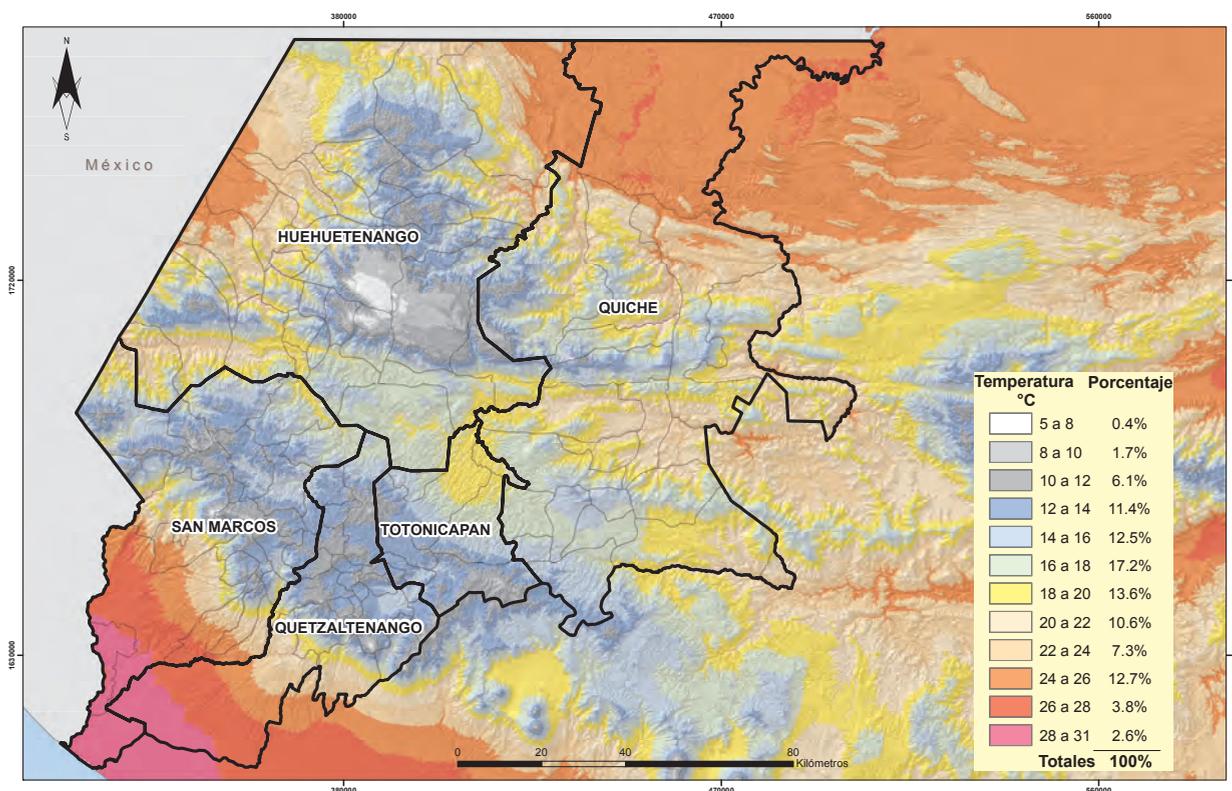
El 45% de la superficie de la región tiene precipitaciones entre los 1,000 a 2,000 mm, e incluye el norte de San Marcos y Quetzaltenango, el centro de Totonicapán, la mayoría del territorio de Huehuetenango y el sur de Quiché.

Las zonas con altas precipitaciones se concentran en el noreste de Huehuetenango y el norte de Quiché, abarcando la Sierra de los Cuchumatanes -donde los vientos alisios descargan la humedad proveniente del océano Atlántico-.

La otra región con altas precipitaciones se encuentra al sur de los departamentos de San Marcos y Quetzaltenango, por efecto de los vientos provenientes del océano Pacífico, que descargan su humedad al subir por las cumbres de la Sierra Madre.

En la Figura 12 se muestra el mapa de temperatura promedio anual, para el cual también fue necesario producir los doce mapas mensuales correspondientes, así como los mapas de temperaturas máximas y mínimas, y de evapotranspiración potencial promedio anual.

**Figura 12.** Mapa de temperaturas promedio anuales actualizadas al año 2011



Fuente: Elaboración propia.

Esta región posee una gran variabilidad de rangos de temperatura promedio anual. El rango de 5 a 8°C, que corresponde a las temperaturas más frías del país, se encuentra en las zonas más altas de la Sierra de los Cuchumatanes en el departamento de Huehuetenango, y en los picos volcánicos de los departamentos de San Marcos y Quetzaltenango.

El rango superior, que corresponde a un clima cálido (28 a 31°C), se observa en las partes bajas cercanas

a la costa del Pacífico en los departamentos de San Marcos y Quetzaltenango.

Con esta amplitud climática, esta región contiene todos los climas del país. Sin embargo, la superficie predominante (que abarca hasta el 43% del total de la región), corresponde al clima templado y semifrío (entre 14 a 20°C de media anual). Los climas semicálido y cálido (mayor a 20°C), ocupan el 37% de la superficie de la región.

## 6.2 Las amenazas que forman la exposición

El *índice de amenazas climáticas actuales* (IACA) fue construido a partir de la determinación de seis mapas de amenazas. Como se indicó en el Cuadro 2, fue necesario elaborar mapas de sequías, heladas e inundaciones actualizados al 2011. Asimismo, bajo el marco de este estudio, se construyeron tres mapas de amenazas más: deslizamientos, peligro de erosión e incendios forestales.

### 6.2.1 Amenaza por sequías

Para realizar este mapa se utilizó la información climática proveniente de 238 estaciones meteorológicas del registro histórico del INSIVUMEH distribuidas en todo el país, con una serie de registros del periodo 1970 a 2011. Se utilizó la metodología utilizada para el estudio de la vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria (MAGA y PMA, 2002).

El mapa de amenaza por sequías (Figura 13) se realizó con base en la combinación del comportamiento de dos fenómenos: la *aridez climática*, que es una condición estructural de una región, y la *probabilidad de ocurrencia de sequías* como fenómeno anómalo y temporal.

El *índice de aridez climática* se obtuvo dividiendo la precipitación anual entre la evapotranspiración potencial anual. Las categorías fueron clasificadas según la terminología indicada en el Cuadro 3. Seguidamente, se calculó la probabilidad de sequía con los datos del Cuadro 4.

Con respecto a la *probabilidad de sequía*, el *raster* de lluvia fue estandarizado mediante la media y la desviación estándar, con la fórmula utilizada por MAGA y PMA (2002):

Donde:

P= valores de precipitación

Pm= precipitación media

Psd= desviación estándar de la precipitación

$$Z = \frac{P - Pm}{Psd}$$

**Cuadro 3.** Categorías del *índice de aridez climática*

Índice de aridez (Precipitación/ Evapotranspiración)	Clasificación	Codificación
0.227 – 0.317	Semiárido	1
0.317 – 0.406	Semiárido	2
0.406 – 0.500	Semiárido	3
0.500 – 0.585	Subhúmedo seco	4
0.585 – 0.650	Subhúmedo seco	5
0.650 – 0.765	Subhúmedo seco	6
0.765 – 1.000	Húmedo	7
1.000 – 1.250	Húmedo	8
1.250 – 5.600	Húmedo	9

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 4.** Probabilidad de ocurrencia de sequías

Valor estandarizado (Z)	Probabilidad de ocurrencia (%)	Codificación
1.977 – 3.016	1	100
1.485 – 1.977	5	500
1.047 – 1.485	10	1,000
0.391 – 1.047	20	2,000
-0.491 – 0.391	50	5,000
-1.030 – -0.491	70	7,000
-1.359 – -1.030	90	9,000
< -1.359	99	9,900

Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo de la amenaza por sequías, se realizó una combinación del *raster* de probabilidad de sequía y el índice de aridez, mediante una suma. El resultado se clasificó conforme a los datos que muestran en el Cuadro 5.



Una de las amenazas incluidas en el *índice de amenazas climáticas actuales* es la sequía.

**Cuadro 5. Calificación de la amenaza por sequías**

Amenaza por sequías	Clasificación	Codificación
9901	Extremadamente alta	1
9902	Muy alta	2
9006, 9903	Alta	3
9007, 9904	Media	4
9008, 9905, 9906, 9907	Media baja	5
7008, 7009, 9009, 9908	Baja	6
101, 509, 1009, 2009, 5009, 9909	Muy baja	7

Fuente: Elaboración propia.

La información resultante fue calculada a nivel municipal, a través de la aplicación de la siguiente fórmula (MAGA y PMA, 2002):

$$IPAS = \sum_{i=i+1}^n \left[ Pseq_i \left( \frac{A_i}{AREAm} \right) \right]$$

Donde:

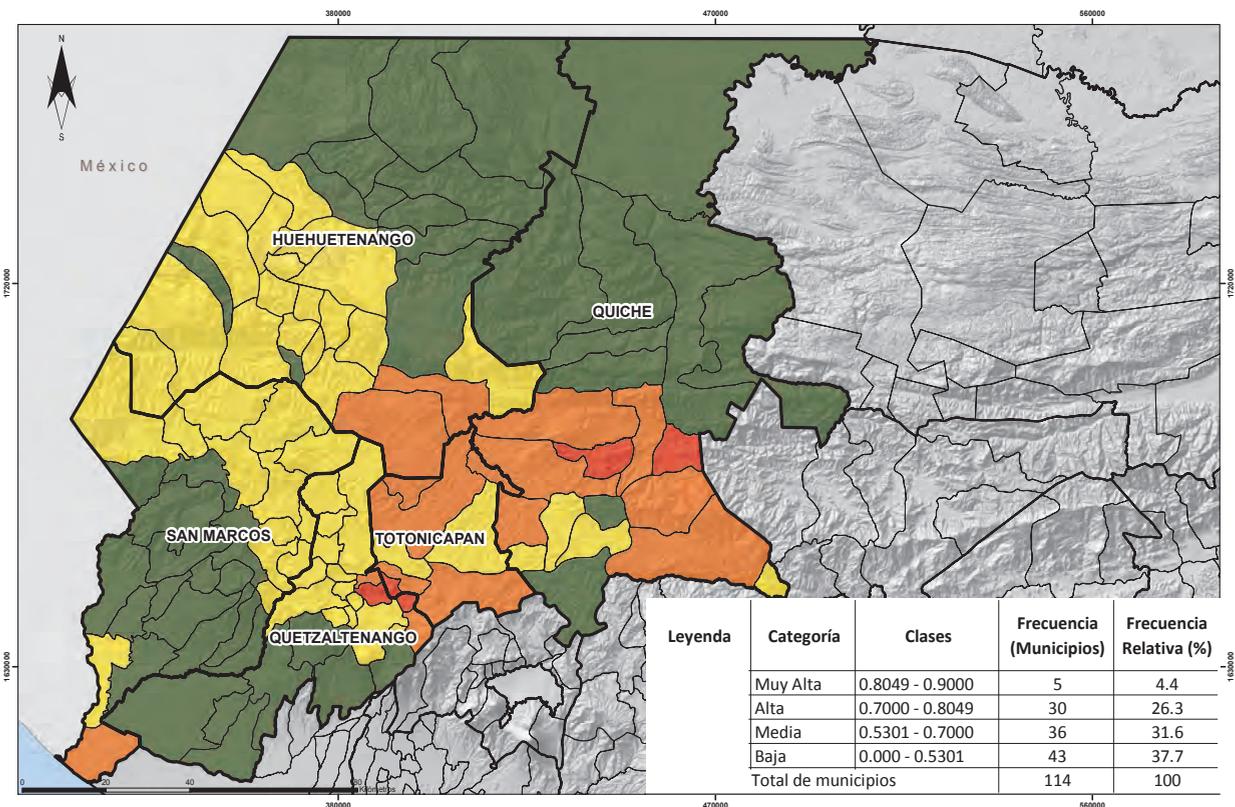
IPAS= Índice de probabilidad de ocurrencia de sequías

Pseq= Amenaza por sequía en porcentaje de probabilidad

A<sub>i</sub>= Área del municipio en el rango de amenaza por sequía

AREAm= Superficie del municipio en km<sup>2</sup>

**Figura 13. Mapa de amenaza por sequías a nivel municipal**



Fuente: Elaboración propia.

Los departamentos con **muy alta amenaza** por sequías son:

- Totonicapán (12.5% de sus municipios),
- Quiché (9.5% de sus municipios) y
- Quetzaltenango (8.3% de sus municipios).

En el Cuadro 6 se muestran los departamentos y el número de municipios por cada categoría.

**Cuadro 6. Municipios con amenaza actual por sequías**

Departamento	Municipios por categoría y porcentaje respecto al departamento			
	Muy alta	Alta	Media	Baja
Huehuetenango		Huehuetenango	Santiago Chimaltenango	Barillas
		Malacatancito	Aguacatán	Chiantla
			Colotenango	La Libertad
			Concepción Huista	Nentón
			Cuilco	San Gaspar Ixchil
			Jacaltenango	San Juan Ixcoy
			La Democracia	San Mateo Ixtatán
			San Antonio Huista	San Miguel Acatán
			San Idelfonso Ixtahuacán	San Rafael Independencia
			San Juan Atitán	San Sebastián Coatán
			San Pedro Necta	Santa Eulalia
			San Rafael Pétzal	Soloma
			San Sebastián Huehuetenango	
			Santa Ana Huista	
			Santa Bárbara	
		Tectitán		
		Todos Santos Cuchumatán		
		Unión Cantinil		
Porcentaje	0.0	6.3	56.3	37.5
Quetzaltenango	Olintepeque	Cantel	Almolonga	Coatepeque
	Salcajá	San Francisco La Unión	Cabricán	Colomba
			Cajolá	El Palmar
			Concepción Chiquirichapa	Flores Costa Cuca
			Huitán	Génova
			La Esperanza	San Martín Sacatepéquez
			Palestina de los Altos	Zunil
			Quetzaltenango	
			San Carlos Sija	
			San Juan Ostuncalco	
			San Mateo	
			San Miguel Sigüilá	
			Sibilia	
Porcentaje	8.3	8.3	54.2	29.2
Quiché	Canillá	Joyabaj	Chiché	Chajul
	San Bartolomé Jocotenango	Sacapulas	Pachalum	Chicamán
		San Andrés Sajcabajá	Patzitá	Chichicastenango
		San Antonio Ilotenango	Santa Cruz del Quiché	Chinique
		San Pedro Jocopilas		Cunén
		Zacualpa		Nebaj
				Playa Grande-Ixcán
			San Juan Cotzal	
			Uspantán	
Porcentaje	9.5	28.6	19.0	42.9

Departamento	Municipios por categoría y porcentaje respecto al departamento			
	Muy alta	Alta	Media	Baja
San Marcos		Ocós	Ayutla	Catarina
			Comitancillo	El Quetzal
			Concepción Tutuapa	El Rodeo
			Río Blanco	El Tumbador
			San Antonio Sacatepéquez	Esquipulas Palo Gordo
			San Cristóbal Cucho	Ixchiguán
			San José Ojetenam	La Reforma
			San Lorenzo	Malacatán
			San Miguel Ixtahuacán	Nuevo Progreso
			San Pedro Sacatepéquez	Pajapita
			Sipacapa	San Marcos
			Tacaná	San Pablo
			Tejutla	San Rafael Pie de la Cuesta
				Sibinal
			Tajumulco	
Porcentaje	0.0	3.4	44.8	51.7
Totonicapán	San Andrés Xecul	Momostenango	San Francisco El Alto	
		San Bartolo	Santa María Chiquimula	
		San Cristóbal Totonicapán		
		Santa Lucía La Reforma		
		Totonicapán		
Porcentaje	12.5	62.5	25.0	0.0

Fuente: Elaboración propia.

## 6.2.2 Amenaza por heladas

La probabilidad de ocurrencia de heladas es una estimación derivada de la elevación sobre el nivel del mar (msnm) y la relación entre la temperatura mínima y la elevación.

Los datos de temperatura provienen de 90 estaciones meteorológicas del INSIVUMEH, ubicadas sobre los 900 msnm, y con más de 40 años de registro (1971-2011).

El mapa en raster fue elaborado con base en la *probabilidad empírica de Weibull*, según la siguiente fórmula:

$$\frac{n}{N+1}$$

Donde:

N= Total de datos observados

n = Número de eventos de heladas

Esta probabilidad se obtuvo a partir de la medición de los eventos ocurridos durante noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo, que son los meses con mayor número de eventos durante el año.

Posteriormente, los datos se interpolaron relacionando la probabilidad de ocurrencia con el modelo de elevación. Las heladas fueron clasificadas por categoría, acorde al Cuadro 7.

**Cuadro 7.** Clasificación de las heladas por categoría

Categoría	Rango de probabilidad
Muy alta	0.1823 - 0.9864
Alta	0.0202 - 0.1823
Media	0.000001 - 0.0202
Baja	0 - 0.000001

Fuente: Elaboración propia.

Con base en las elevaciones y su probabilidad de heladas, se trazaron las zonas geográficas que fueron intersectadas con las superficies municipales. El índice ponderado municipal de amenaza por heladas fue calculado según la siguiente fórmula (MAGA y PMA, 2002):

$$IPAH = \sum_{i=1}^n = \left[ Phel_i \left( \frac{A_i}{AREAm} \right) \right]$$

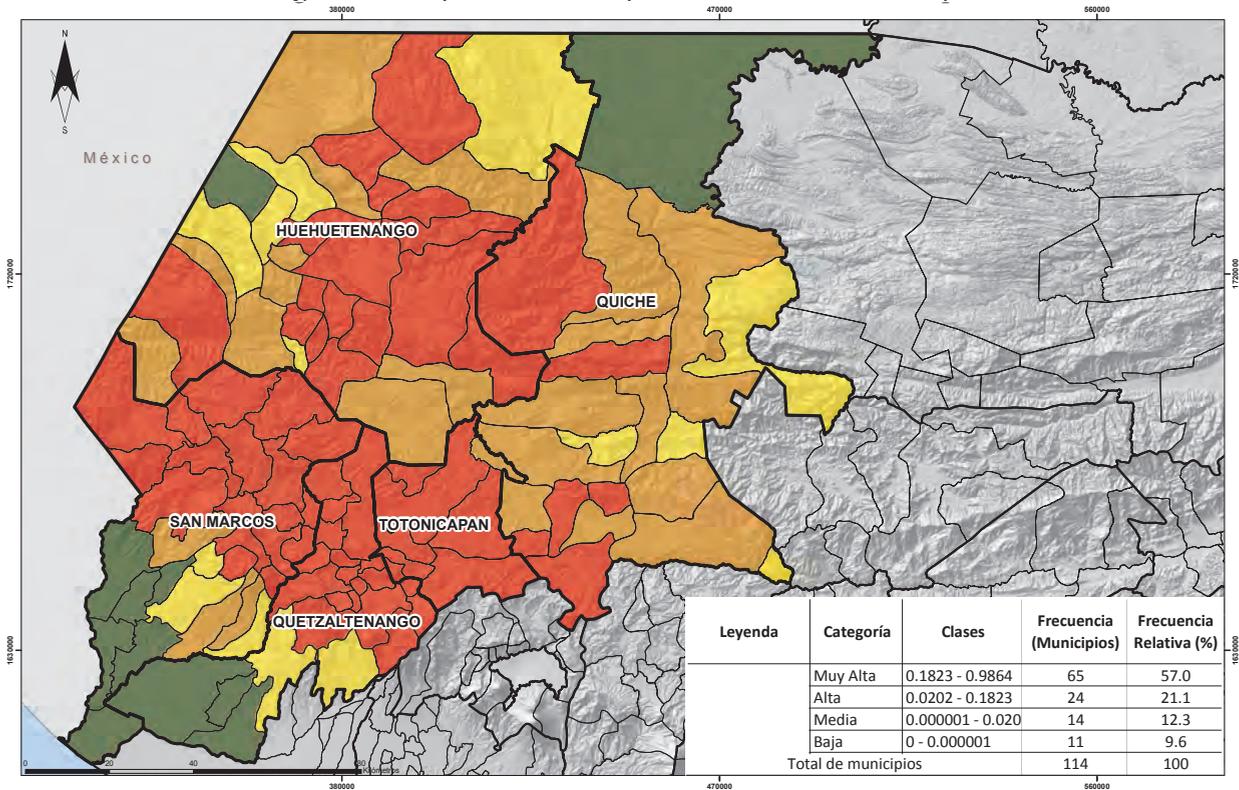
Donde:

IPAH= Índice de probabilidad de ocurrencia de heladas  
 Phel<sub>i</sub>= Porcentaje de probabilidad de heladas, según rango de altitud

A= Área por categoría del municipio con amenaza por heladas  
 AREAm = Superficie del municipio en km<sup>2</sup>

Como se observa en la Figura 14, la amenaza por heladas es muy fuerte en la región, ocupa el norte de los departamentos de San Marcos y Quetzaltenango, casi todo el departamento de Totonicapán, el centro de Huehuetenango y las partes altas de Quiché.

Figura 14. Mapa de amenaza por heladas a nivel municipal



Fuente: Elaboración propia.

Los departamentos con **muy alta amenaza** por heladas son:

- Quetzaltenango (79.2% de sus municipios),
- Totonicapán (87.5% de sus municipios),
- San Marcos (58.6% de sus municipios),
- Huehuetenango (50.0% de sus municipios) y
- Quiché (28.6% de sus municipios).

En el Cuadro 8 se muestran los departamentos y municipios con amenaza por heladas.

**Cuadro 8.** Municipios con amenaza actual por heladas

Departamento	Municipios por categoría y porcentaje respecto al departamento			
	Muy alta	Alta	Media	Baja
Huehuetenango	Colotenango	Unión Cantinil	San Antonio Huista	Santa Ana Huista
	Santa Bárbara	Nentón	Barillas	
	San Rafael Pétzal	Tectitán	La Democracia	
	Concepción Huista	San Idelfonso Ixtahuacán	Jacaltenango	
	San Sebastián Coatán	Santa Eulalia	San Gaspar Ixchil	
	Cuilco	Huehuetenango		
	San Mateo Ixtatán	La Libertad		
	Aguacatán	Malacatancito		
	Santiago Chimaltenango	San Miguel Acatán		
	San Juan Ixcoy	San Pedro Necta		
	San Sebastián Huehuetenango			
	Soloma			
	Todos Santos Cuchumatán			
	Chiantla			
	San Juan Atitán			
San Rafael Independencia				
Porcentaje	50.0	31.3	15.6	3.1
Quetzaltenango	San Martín Sacatepéquez		Colomba	Coatepeque
	Zunil		El Palmar	Flores Costa Cuca
	San Juan Ostuncalco			Génova
	Salcajá			
	San Carlos Sija			
	Almolonga			
	Cabricán			
	Quetzaltenango			
	Cantel			
	Olintepeque			
	La Esperanza			
	San Miguel Sigüilá			
	San Mateo			
	Cajolá			
	Huitán			
	Palestina de los Altos			
	Concepción Chiquirichapa			
Sibilia				
San Francisco La Unión				
Porcentaje	79.2	0.0	8.3	12.5

Continuación del Cuadro 8

Departamento	Municipios por categoría y porcentaje respecto al departamento			
	Muy alta	Alta	Media	Baja
Quiché	Nebaj	Sacapulas	Pachalum	Playa Grande-Ixcán
	Chinique	San Andrés Sajcabajá	Canillá	
	Santa Cruz del Quiché	Joyabaj	San Bartolomé Jocotenango	
	Patzité	Uspantán	Chicamán	
	Chichicastenango	Chajul		
	Cunén	Zacualpa		
		San Pedro Jocopilas		
		San Juan Cotzal		
		San Antonio Ilotenango		
	Chiché			
Porcentaje	28.6	47.6	19.0	4.8
San Marcos	San Cristóbal Cucho	Nuevo Progreso	San Rafael Pie de la Cuesta	Malacatán
	Tajumulco	San Pablo	El Quetzal	El Rodeo
	Sipacapa	La Reforma	El Tumbador	Catarina
	San Miguel Ixtahuacán			Pajapita
	Esquipulas Palo Gordo			Ayutla
	Tacaná			Ocós
	Sibinal			
	San Pedro Sacatepéquez			
	San Marcos			
	Concepción Tutuapa			
	Comitancillo			
	Río Blanco			
	San Antonio Sacatepéquez			
	San José Ojetenam			
	Tejutla			
	Ixchiguán			
San Lorenzo				
Porcentaje	58.6	10.3	10.3	20.7
Totonicapán	San Bartolo	Santa Lucía La Reforma		
	Momostenango			
	Santa María Chiquimula			
	San Cristóbal Totonicapán			
	Totonicapán			
	San Andrés Xecul			
San Francisco El Alto				
Porcentaje	87.5	12.5	0.0	0.0

Fuente: Elaboración propia.

### 6.2.3 Amenaza por inundaciones

El mapa de municipios amenazados por inundaciones, es el resultado del análisis de la frecuencia de ocurrencia de los eventos y su probabilidad de inundación a nivel de municipio. Se utilizó la metodología del estudio elaborado por MAGA y PMA (2002).

La base de información utilizada son 3,389 registros de inundación entre los años 1996 al 2011 proporcionada por CONRED. La fórmula utilizada fue la siguiente:

$$P_{Inu} = \left( \frac{\sum A_e}{A} \right) * \left( \frac{\sum_{i=1}^5 (E_i * i)}{\sum i} \right)$$

Donde:

$P_{Inu}$  = Probabilidad de inundaciones

$A_e$  = Años con eventos de inundación en el municipio

$E$  = Número de eventos de inundación en el municipio

$i$  = Número de orden del año

$A$  = Total de años en el período

Posteriormente, se estimó la superficie de las zonas inundables por municipio, que provienen de los estudios: PEDN-MAGA (2002) e INSIVUMEH-JICA (2002). Una vez estimadas la probabilidad de inundaciones y las zonas inundables, se calculó el *índice ponderado de amenaza por inundación*, según la siguiente fórmula:

$$IMPAI = ((Pinu * Ami) / Atm)$$

Donde:

$Pinu$  = Probabilidad de inundaciones por municipio

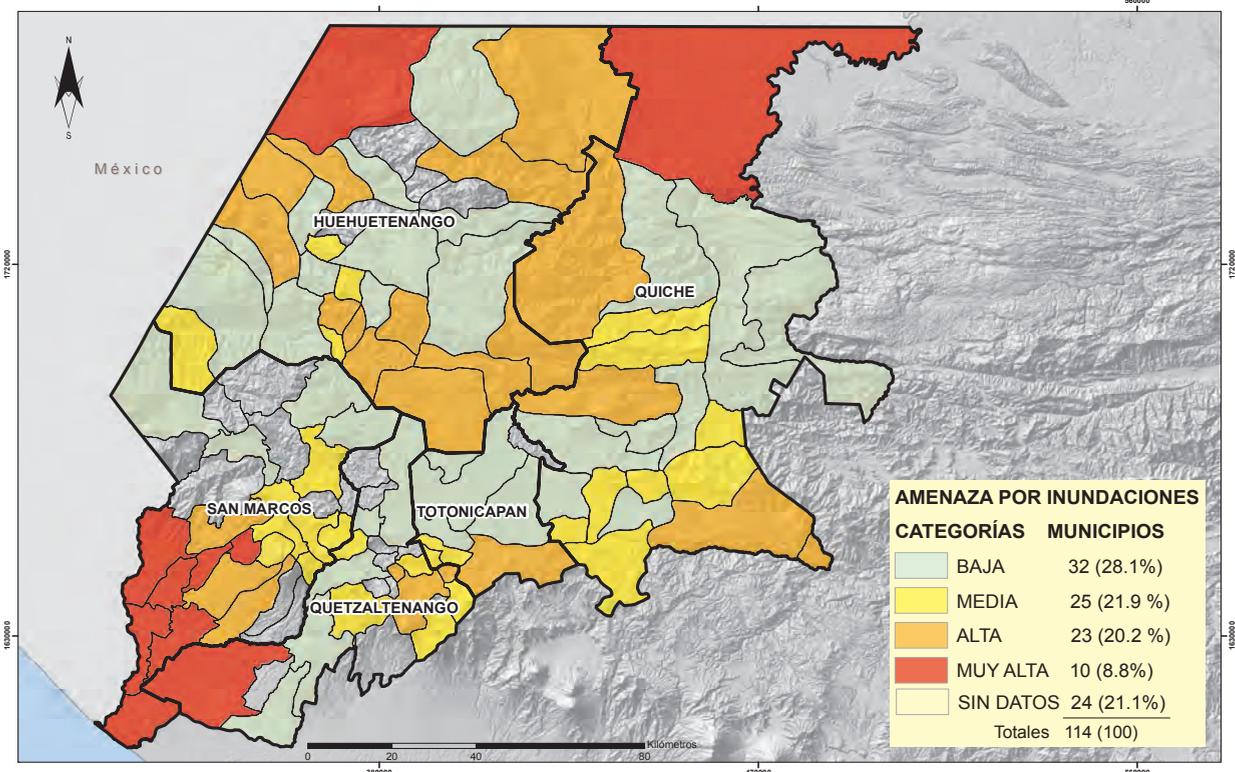
$Ami$  = Superficie inundable del municipio

$Atm$  = Superficie total del municipio

Durante el proceso de construcción de los cuadros, se colocó valor cero a los municipios que no tenían puntos de inundación ni áreas inundables en la base de datos.

Los resultados del análisis anterior se observan geográficamente en la Figura 15, y el listado de los municipios con su respectiva categoría en el Cuadro 9. La categoría “sin datos”, indica que no existen registros de eventos en esos municipios.

Figura 15. Amenaza por inundaciones a nivel municipal



Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Figura 15, las inundaciones no están generalizadas en la región, sino que se ubican en ciertas áreas geográficas, como el sur de los departamentos de San Marcos y Quetzaltenango, y el norte de los departamentos de Huehuetenango y Quiché.

Los principales municipios con **alta amenaza** de inundación son:

- Huehuetenango (37.5% de sus municipios) y
- Quiché (19% de sus municipios).

A partir de la Tormenta Stan del 2006, aparecen inundaciones en los márgenes de los ríos de la parte central de Quiché y el sur de Huehuetenango, motivo por el cual los datos del Cuadro 9 indican que el 24% de los municipios de San Marcos está en muy alta amenaza.



Una de las amenazas incluidas en el *índice de amenazas climáticas* actuales son las inundaciones.

**Cuadro 9. Municipios con amenaza actual por inundaciones**

Departamento	Municipios por categoría y porcentaje respecto al departamento			
	Muy alta	Alta	Media	Baja
Huehuetenango	Nentón	Colotenango	San Gaspar Ixchil	Chiantla
		Jacaltenango	Unión Cantinil	Cuilco
		Barillas	Santiago Chimaltenango	San Juan Atitán
		Santa Bárbara	Tectitán	San Juan Ixcoy
		Aguacatán		La Libertad
		San Rafael Pétzal		San Idelfonso Ixtahuacán
		San Sebastián Huehuetenango		San Pedro Necta
		La Democracia		San Antonio Huista
		Huehuetenango		San Miguel Acatán
		Santa Ana Huista		Todos Santos Cuchumatán
		Santa Eulalia		San Mateo Ixtatán
		Malacatancito		
Porcentaje	3.1	37.5	12.5	34.4
Quetzaltenango	Coatepeque	Quetzaltenango	Palestina de los Altos	Génova
		La Esperanza	Zunil	Sibilia
		Salcajá	Cantel	Colomba
			San Martín Sacatepéquez	San Juan Ostuncalco
			Olintepeque	San Carlos Sija
Porcentaje	4.2	12.5	20.8	20.8
Quiché	Playa Grande-Ixcán	Sacapulas	San Juan Cotzal	Chiché
		Joyabaj	Santa Cruz del Quiché	San Antonio Ilotenango
		Pachalum	Cunén	San Bartolomé Jocotenango
		Nebaj	Chichicastenango	San Andrés Sajcabajá
			Zacualpa	San Pedro Jocopilas
			Patzité	Chajul
			Chinique	Chicamán
			Canillá	Uspantán
Porcentaje	4.8	19.0	38.1	38.1

Departamento	Municipios por categoría y porcentaje respecto al departamento			
	Muy alta	Alta	Media	Baja
San Marcos	Ocos	San Pablo	San Marcos	Ixchiguán
	Catarina	Nuevo Progreso	San Pedro Sacatepéquez	Sipacapa
	Ayutla	El Tumbador	San Antonio Sacatepéquez	San Miguel Ixtahuacán
	Malacatán		Esquipulas Palo Gordo	Tacaná
	El Rodeo		San Cristóbal Cucho	
	Pajapita		Comitancillo	
	San Rafael Pie de la Cuesta			
Porcentaje	24.1	10.3	20.7	13.8
Totonicapán		Totonicapán	San Cristóbal Totonicapán	San Bartolo
			San Andrés Xecul	San Francisco El Alto
				Santa María Chiquimula
				Momostenango
Porcentaje	0.0	12.5	25.0	50.0

Fuente: Elaboración propia.

### 6.2.4 Amenaza por deslizamientos

El mapa de amenaza por deslizamientos se realizó con base en la metodología utilizada en el estudio semidetallado de los suelos del departamento de Sololá (MAGA-DIGEGR-IGAC, 2013), el cual considera que las zonas susceptibles a deslizamientos están relacionadas con las siguientes causas:

- Relieve,
- Textura de los suelos,
- Acción antrópica en su relación con la cobertura y usos de la tierra,
- Clima, sobre todo la distribución de la precipitación a través del año y las épocas de concentración de las lluvias.

Para determinar las zonas susceptibles a deslizamientos, se utilizaron los mapas correspondientes con las variables indicadas, y se realizaron los análisis espaciales y reclasificaciones mediante el *software* ArcGis 9.3. Los pesos asignados a las variables fueron extraídos del estudio de suelos del departamento de Sololá (MAGA, DIGEGR e IGAC, 2013.)

El relieve se representó por medio de las pendientes, que a su vez se derivaron del modelo de elevación digital (MED), y se agruparon según los rangos de pendiente y pesos que se observan en el Cuadro 10.

**Cuadro 10.** Pesos asignados según pendiente

Intervalos de pendiente (%)	Peso
0 - 7	0
7 - 25	5
25 - 50	10
> 50	20
Total	35

Fuente: MAGA, DIGEGR e IGAC (2013).

Las texturas de los suelos fueron extraídas y reclasificadas a partir del mapa de series de suelos de Simmons, Tárano y Pinto (1959), editado por la DIGEGR y MAGA (2000), y se les asignó un peso según el Cuadro 11.

**Cuadro 11.** Pesos asignados según tipo de suelo

Tipo de suelo	Peso
Suelos de origen volcánico (bajos en materia orgánica/grupo textural medio)	10
Grupos texturales finos	3
Grupos texturales gruesos	2
Total	15

Fuente: MAGA, DIGEGR e IGAC (2013).

Los aspectos antrópicos se tipificaron a partir del mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra (MAGA-UPGGR, 2005), del cual se reclasificaron los usos y se asignaron pesos, según se observa en el Cuadro 12.

**Cuadro 12.** Pesos asignados según cobertura vegetal y uso de la tierra

Cobertura y uso de la tierra	Pesos
Cultivos limpios intensivos y tierras desprovistas de vegetación	10
Cultivos densos, pastos naturales y vegetación arbustiva	4
Cobertura forestal, agroforestal y vegetación natural	1
Total	15

Fuente: MAGA, DIGEGR e IGAC (2013).

En cuanto a los aspectos vinculados al clima, se utilizó la distribución y agresividad de la lluvia, a lo que se asignó un peso del 35% restante. Este es el valor máximo en los pesos, tal como se indica en la metodología de MAGA, DIGEGR e IGAC (2013).

La ecuación utilizada para determinar las áreas susceptibles a amenaza por deslizamientos es la siguiente:

$$Csd = \left( \frac{Ge + Pe + Su + Cv + Cl}{5} \right)$$

Donde:

Csd= Categoría de susceptibilidad a deslizamientos

Ge= Material geológico

Pe= Pendiente (%)

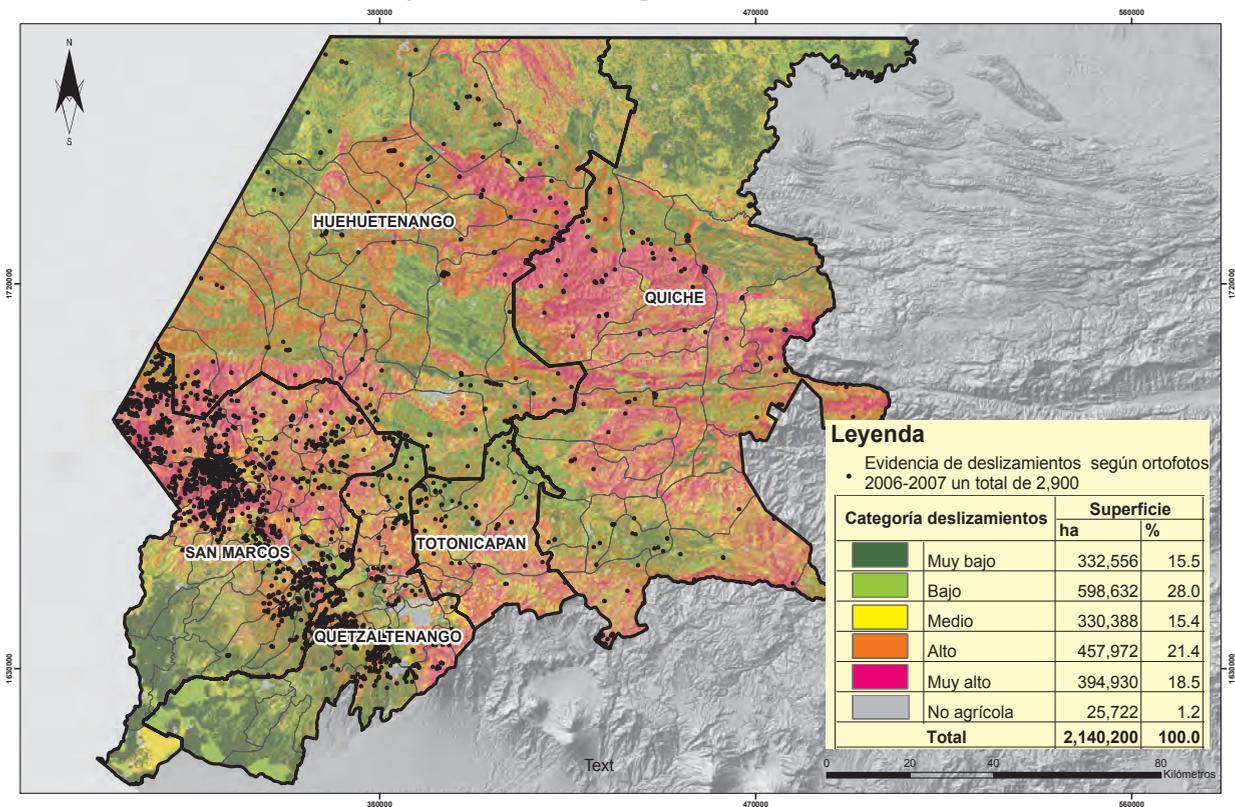
Su= Suelo (tipo)

Cv= Cobertura vegetal y uso de la tierra

Cl= Clima (distribución y agresividad de la lluvia)

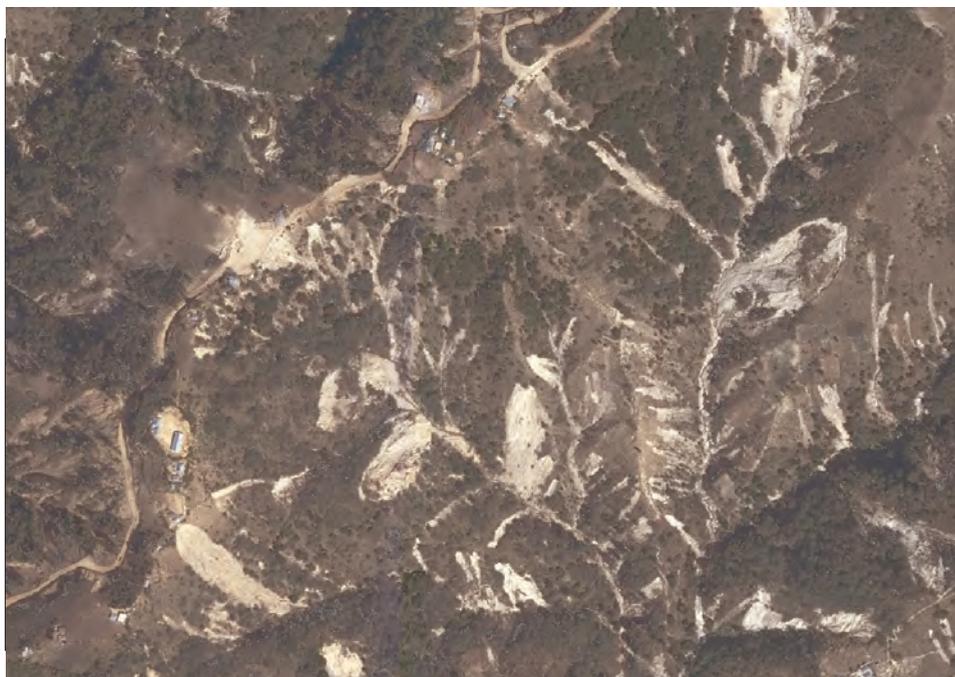
El resultado del análisis se presenta en la Figura 16. Como elemento de comprobación del modelo de deslizamientos, se trazaron las evidencias físicas de deslizamientos que provocaron “cicatrices” en ortofotos del año 2006-2007 obtenidas por el MAGA-UPGGR (2007), en época posterior a la tormenta “Stan”, tal como se muestra en la Figura 17.

**Figura 16.** Amenaza por deslizamientos



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 17.** Zona con “cicatrices” de deslizamiento (ortofoto del año 2006-2007).  
Aldea San Andrés Cheoj, Sibinal, San Marcos



**Fuente:** Elaboración propia.

El mapa de municipios amenazados es el resultado de la intersección de la superficie municipal con cada categoría del mapa de deslizamientos, lo cual se multiplicó por el peso asignado, que fue calculado a partir de la relación entre la ubicación de los puntos de deslizamientos y las áreas amenazadas, según se observa en el Cuadro 13.

Las categorías utilizadas provienen del estudio citado (DIGEGR-IGAC, 2013), donde se indica que las categorías de *muy alto* y *alto*, deben considerarse críticas en cuanto a la población y al ambiente. Respecto al cálculo de los pesos, se realizó dividiendo el número de deslizamientos de cada categoría dentro de la sumatoria de todos los deslizamientos registrados.

En la Figura 18 se observa la distribución geográfica de los municipios con amenaza por deslizamientos y en el Cuadro 14 se listan los municipios correspondientes.

**Cuadro 13.** Pesos asignados a las áreas de deslizamientos

Categoría de deslizamiento	No. de deslizamientos	Peso
Muy bajo	97	0.0048
Bajo	387	0.1336
Medio	403	0.1391
Alto	861	0.2972
Muy alto	1,135	0.3918
Total	2,897	1

**Fuente:** Elaboración propia.

La fórmula para el cálculo del índice estimado para cada municipio, es la siguiente:

$$IDes = \sum_{i=1}^n = \left[ PDes_i \left( \frac{A_i}{AREAm} \right) \right]$$

Donde:

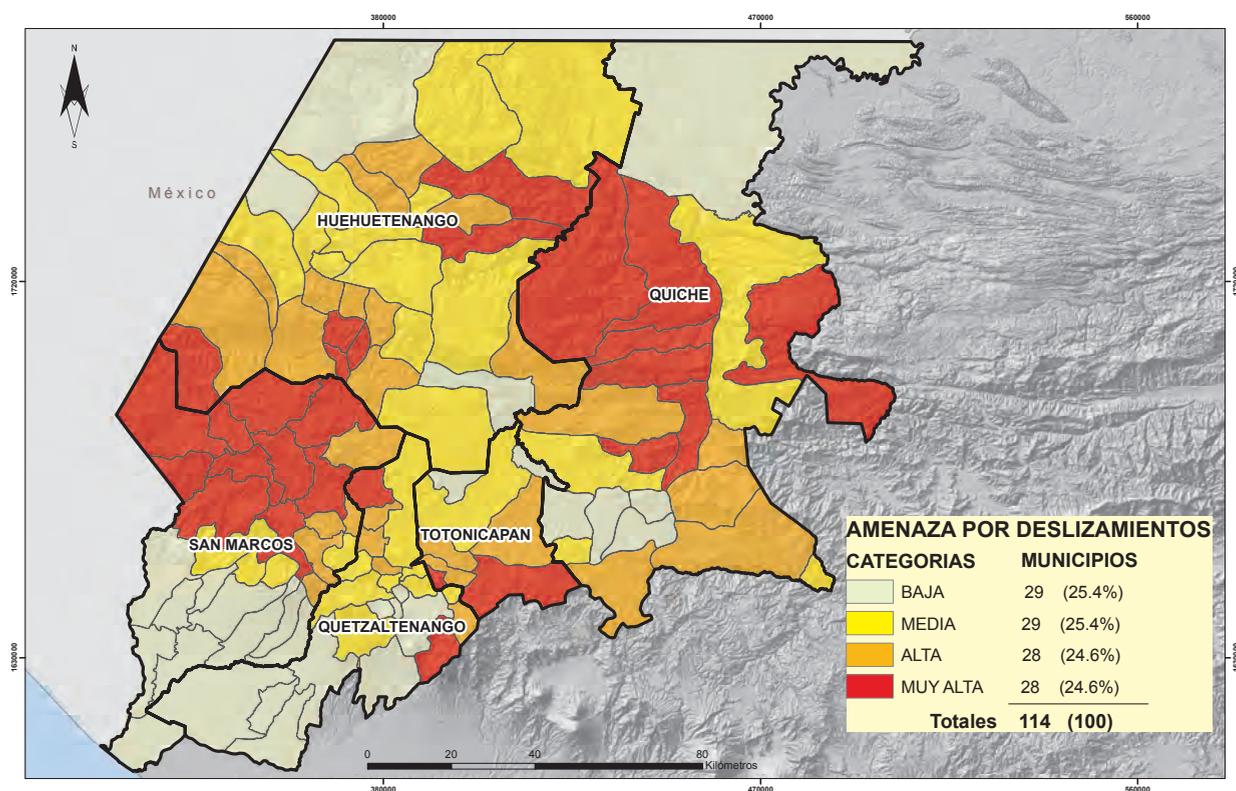
*IDes*= Índice de amenaza por deslizamiento

*PDes*= Peso de la categoría de amenaza por deslizamiento

*A*= Superficie de la categoría de amenaza por deslizamiento

*AREAm*= Superficie del municipio

**Figura 18.** Amenaza por deslizamientos a nivel municipal



Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Figura 18, los deslizamientos son una amenaza ambiental importante para la región, ya que casi el 50% de la superficie se encuentra en la categoría de muy alta y alta amenaza.

Los departamentos con **muy alta amenaza** por deslizamientos son:

- San Marcos (34.5% de sus municipios), principalmente al norte del departamento.
- Quiché (33.3% de sus municipios) y
- Totonicapán (25% de sus municipios).



Una de las amenazas incluidas en el índice de amenazas climáticas actuales son los deslizamientos.

**Cuadro 14. Municipios con amenaza actual por deslizamientos**

Departamento	Municipios por categoría y porcentaje respecto al departamento			
	Muy alta	Alta	Media	Baja
Huehuetenango	Santa Eulalia	San Idelfonso Ixtahuacán	San Rafael Independencia	Huehuetenango
	San Rafael Pétzal	San Sebastián Coatán	Concepción Huista	Nentón
	Tectitán	Santa Bárbara	La Democracia	Santa Ana Huista
	San Juan Ixcoy	Santiago Chimaltenango	Chiantla	
	San Gaspar Ixchil	Aguacatán	Jacaltenango	
	Colotenango	Cuilco	Unión Cantinil	
		Soloma	San Sebastián Huehuetenango	
		San Miguel Acatán	San Antonio Huista	
		San Pedro Necta	Barillas	
		San Juan Atitán	Todos Santos Cuchumatán	
		La Libertad	San Mateo Ixtatán	
		Malacatancito		
Porcentaje	18.8	34.4	37.5	9.4
Quetzaltenango	Zunil	Sibilia	San Francisco La Unión	Concepción Chiquirichapa
	Almolonga	Huitán	San Carlos Sija	Quetzaltenango
	Cabricán	Cajolá	San Martín Sacatepéquez	La Esperanza
		Cantel	San Juan Ostuncalco	El Palmar
			Salcajá	Colomba
			Olintepeque	San Mateo
			Palestina de los Altos	Coatepeque
			San Miguel Sigüilá	Génova
				Flores Costa Cuca
Porcentaje	12.5	16.7	33.3	37.5
Quiché	Nebaj	Sacapulas	San Pedro Jocopilas	Chinique
	San Bartolomé Jocotenango	Zacualpa	Patzité	Santa Cruz del Quiché
	San Juan Cotzal	Chichicastenango	Úspantán	San Antonio Ilotenango
	Chajul	Canillá	Pachalum	Chiché
	Cunén	Joyabaj		Playa Grande-Ixcán
	San Andrés Sajcabajá			
	Chicamán			
Porcentaje	33.3	23.8	19	23.8
San Marcos	Sibinal	San Lorenzo	Esquipulas Palo Gordo	La Reforma
	San José Ojetenam	Río Blanco	San Antonio Sacatepéquez	Nuevo Progreso
	Tacaná	Sipacapa	San Rafael Pie de la Cuesta	El Quetzal
	Ixchiguán	San Pedro Sacatepéquez	San Pablo	El Tumbador
	Tajumulco	San Cristóbal Cucho		El Rodeo
	Comitancillo			Malacatán
	Concepción Tutuapa			Ocós
	Tejutla			Pajapita
	San Miguel Ixtahuacán			Catarina
San Marcos			Ayutla	
Porcentaje	34.5	17.2	13.8	34.5

Continuación del Cuadro 14

Departamento	Municipios por categoría y porcentaje respecto al departamento			
	Muy alta	Alta	Media	Baja
Totonicapán	San Andrés Xecul	San Francisco El Alto	Momostenango	San Bartolo
	Totonicapán	Santa María Chiquimula		Santa Lucía La Reforma
		San Cristóbal Totonicapán		
Porcentaje	25	37.5	12.5	25

Fuente: Elaboración propia.

## 6.2.5 Amenaza por peligro de erosión

El mapa de amenaza por peligro de erosión se realizó a partir de la capa de series de suelos del estudio de Simmons, Tárano y Pinto (1959).

De los atributos de esta capa se extrajeron las categorías de peligro de erosión, que están asociadas a las limitantes de la profundidad del suelo, por lo que se elaboró el Cuadro 15 en el que, a su vez, se asignó un peso, el cual fue de utilidad para la construcción del índice ponderado por municipio.

**Cuadro 15. Categorías de peligro de erosión y pesos asignados**

Peligro de erosión	Restricciones en el suelo	Peso
Muy alto	Capa endurecida a menos de 60 cm	0.25
	Capa endurecida a más de 60 cm	0.21
	Sin capa endurecida	0.18
Alto	Capa endurecida a menos de 60 cm	0.14
	Capa endurecida a más de 60 cm	0.11
	Sin capa endurecida	0.07
Sin clase	Sin restricciones	0.04

Fuente: Simmons, Tárano y Pinto (1959).

Con las categorías diferenciadas según sus respectivos pesos, se efectuó una intersección del mapa de peligro

de erosión con los límites municipales, para calcular un índice ponderado, según la siguiente fórmula:

$$IPel = ((Per \times Ami) / Atm)$$

Donde:

*Per*= Peso según categoría de peligro de erosión por municipio

*Ami*= Superficie por categorías de peligro de erosión del municipio

*Atm*= Superficie total del municipio

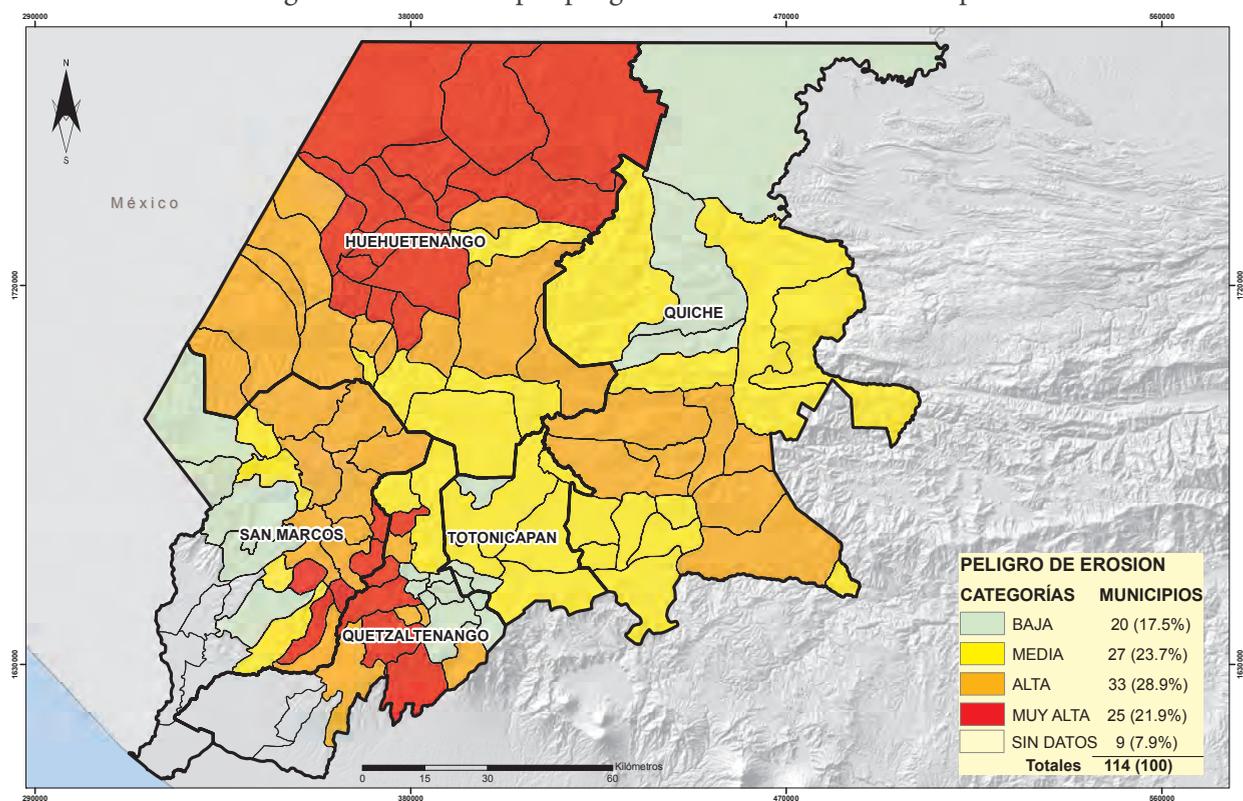
Los resultados del análisis anterior se observan geográficamente en la Figura 19 y el listado de los municipios con su respectiva categoría en el Cuadro 16. La categoría “sin datos”, indica que no hay registros de peligro de erosión en estos municipios.

Como se observa en la Figura 19, la erosión es una amenaza relativamente importante, ya que afecta al 50% de los municipios que están en la categoría de muy alta y alta amenaza, sobre todo el norte de Huehuetenango.



Una de las amenazas incluidas en el índice de amenazas climáticas actuales es la erosión.  
Fotografía: Raúl Maas.

Figura 19. Amenaza por peligro de erosión a nivel municipal



Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 16. Municipios con amenaza actual por erosión

Departamento	Municipios por categoría y porcentaje respecto al departamento			
	Muy alta	Alta	Media	Baja
Huehuetenango	Concepción Huista	La Libertad	San Juan Ixcoy	
	Unión Cantinil	San Rafael Pétzal	San Gaspar Ixchil	
	Santiago Chimaltenango	La Democracia	Santa Bárbara	
	Jacaltenango	Santa Ana Huista	Huehuetenango	
	San Miguel Acatán	Tectitán	Malacatancito	
	San Juan Atitán	Cuilco		
	Santa Eulalia	Colotenango		
	Todos Santos Cuchumatán	San Sebastián Huehuetenango		
	Barillas	Chiantla		
	San Mateo Ixtatán	San Idelfonso Ixtahuacán		
	San Antonio Huista	Aguacatán		
	San Sebastián Coatán	Soloma		
	Nentón			
	San Pedro Necta			
San Rafael Independencia				
Porcentaje	46.9	37.5	15.60	0

Continuación del Cuadro 16

Departamento	Municipios por categoría y porcentaje respecto al departamento			
	Muy alta	Alta	Media	Baja
Quetzaltenango	Huitán	Sibilia	Cabricán	Quetzaltenango
	Palestina de los Altos	Concepción Chiquirichapa	San Carlos Sija	Almolonga
	San Martín Sacatepéquez	Zunil		Cantel
	El Palmar	San Mateo		San Miguel Sigüilá
	San Juan Ostuncalco	Colomba		Olintepeque
				Cajolá
			La Esperanza	
			San Francisco La Unión	
			Salcajá	
Porcentaje	20.8	20.8	8.3	37.5
Quiché		San Bartolomé Jocotenango	Santa Cruz del Quiché	San Juan Cotzal
		Canillá	San Antonio Ilotenango	Chajul
		San Andrés Sajcabajá	Chicamán	Playa Grande-Ixcán
		San Pedro Jocopilas	Chinique	
		Sacapulas	Patzité	
		Zacualpa	Uspantán	
		Joyabaj	Nebaj	
			Chiché	
			Chichicastenango	
			Pachalum	
		Cunén		
Porcentaje	0	33.3	52.4	14.3
San Marcos	Río Blanco	El Quetzal	Ixchiguán	El Tumbador
	San Cristóbal Cucho	Concepción Tutuapa	Nuevo Progreso	Tacaná
	La Reforma	San Miguel Ixtahuacán	San José Ojetenam	Sibinal
	San Antonio Sacatepéquez	Sipacapa	San Rafael Pie de la Cuesta	San Pablo
	Esquipulas Palo Gordo	Tejutla		Tajumulco
		San Pedro Sacatepéquez		
		San Lorenzo		
		Comitancillo		
	San Marcos			
Porcentaje	17.2	31	13.8	17.2
Totonicapán			Santa Lucía La Reforma	San Bartolo
			San Francisco El Alto	San Cristóbal Totonicapán
			Momostenango	San Andrés Xecul
			Totonicapán	
		Santa María Chiquimula		
Porcentaje	0	0	62.5	37.5

Fuente: Elaboración propia.

## 6.2.6 Amenazas por incendios forestales

El mapa de amenaza por incendios forestales se realizó con información del Instituto Nacional de Bosques (INAB), a partir de una base de datos georreferenciada con 8,965 registros entre los años 2001 a 2011.

Se estimó la probabilidad de ocurrencia de incendios forestales a nivel municipal, para lo cual se tomó en cuenta la frecuencia de su repetición, así como la tendencia a incrementar en el período de tiempo evaluado. Para ello, se utilizó la siguiente fórmula:

$$P_{Inc} = \left( \frac{\sum A_e}{A} \right) * \left[ \frac{\sum_{i=1}^{12} (E_i * i)}{\sum_i} \right]$$

Donde:

$P_{Inc}$  = Probabilidad de ocurrencia de incendios forestales

$A_e$  = Años con eventos de incendios forestales

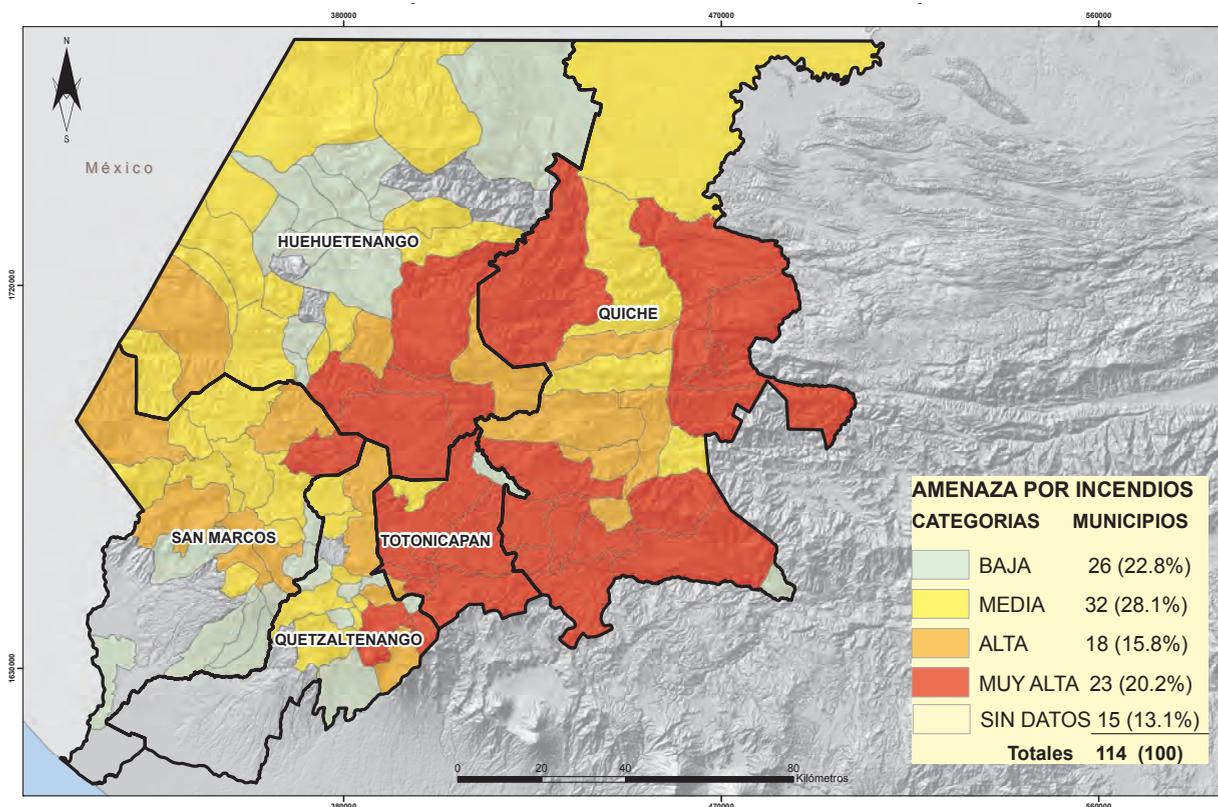
$A$  = Total de años en el período

$E$  = Número de eventos de incendios en el municipio

$i$  = Número de orden del año

En la Figura 20 se muestra la distribución geográfica de los municipios según la probabilidad de ocurrencia de incendios forestales, y en el Cuadro 17 se listan los municipios según la categoría de amenaza correspondiente. La categoría “sin datos”, indica que no hay registros de eventos en estos municipios.

Figura 20. Amenaza por incendios forestales



Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 17. Municipios con amenaza actual por incendios forestales**

Departamento	Municipios por categoría y porcentaje respecto al departamento			
	Muy alta	Alta	Media	Baja
Huehuetenango	Malacatancito	San Sebastián Huehuetenango	Tectitán	Colotenango
	Huehuetenango	Aguacatán	San Idelfonso Ixtahuacán	Todos Santos Cuchumatán
	Santa Bárbara	Cuilco	San Rafael Pétzal	San Gaspar Ixchil
	Chiantla		San Juan Ixcoy	San Miguel Acatán
			La Democracia	Barillas
			San Juan Atitán	Concepción Huista
			San Mateo Ixtatán	San Rafael Independencia
			Soloma	Jacaltenango
			Santa Ana Huista	San Sebastián Coatán
			La Libertad	San Antonio Huista
			Nentón	
			San Pedro Necta	
Porcentaje	12.5	9.4	37.5	31.3
Quetzaltenango	Quetzaltenango	Zunil	Cabricán	Concepción Chiquirichapa
	Cantel	San Carlos Sija	Cajolá	San Francisco La Unión
		Almolonga	San Martín Sacatepéquez	San Miguel Sigüilá
		Olintepeque	La Esperanza	Palestina de los Altos
			San Mateo	Salcajá
			San Juan Ostuncalco	El Palmar
			Huitán	
Porcentaje	8.3	16.7	29.2	25.00
Quiché	San Antonio Ilostenango	San Juan Cotzal	Cunén	Pachalum
	Chicamán	Sacapulas	Canillá	
	Santa Cruz del Quiché	Chinique	Chajul	
	Nebaj	San Andrés Sajcabajá	Playa Grande-Ixcán	
	Chichicastenango	San Bartolomé Jocotenango		
	Chiché			
	Patzité			
	San Pedro Jocopilas			
	Joyabaj			
	Uspantán			
Zacualpa				
Porcentaje	52.4	23.8	19	4.8
San Marcos	Sipacapa	San Pedro Sacatepéquez	Sibinal	San Antonio Sacatepéquez
		Tacaná	Concepción Tutuapa	Nuevo Progreso
		San Miguel Ixtahuacán	Ixchiguán	La Reforma
		Tajumulco	Esquipulas Palo Gordo	San Pablo
		San Marcos	San José Ojetenam	El Quetzal
			Tejutla	Río Blanco
			Comitancillo	San Cristóbal Cucho
		San Lorenzo	Ayutla	
Porcentaje	3.4	17.2	27.6	27.6

Departamento	Municipios por categoría y porcentaje respecto al departamento			
	Muy alta	Alta	Media	Baja
Tonicapán	Tonicapán	San Andrés Xecul	San Bartolo	Santa Lucía La Reforma
	Santa María Chiquimula			
	Momostenango			
	San Francisco El Alto			
	San Cristóbal Tonicapán			
Porcentaje	62.5	12.5	12.5	12.5

Fuente: Elaboración propia.

Una de las amenazas incluidas en el *índice de amenazas climáticas actuales* son los incendios forestales.



Los departamentos con **muy alta amenaza** por incendios forestales son:

- Tonicapán (62.5% de sus municipios) y
- Quiché (52.4% de sus municipios).

## 6.2.7 Determinación de la exposición: La integración en el *índice de amenazas climáticas actuales* (IACA)

El *índice de amenazas climáticas actuales* se construyó a partir de las seis amenazas discutidas anteriormente. La asignación de los pesos de las variables se realizó mediante el *método de jerarquías analíticas* (AHP) de Saaty, que permite procesar matemáticamente los factores subjetivos que subyacen en las preferencias de los expertos sobre un tema dado.

A pesar de contener conceptos matemáticos relativamente complejos, su ejecución práctica es extremadamente sencilla. Su única dificultad consiste en la cantidad de comparaciones binarias a realizar, que puede ser muy elevada.

Estas características se reflejan en el alto número de referencias existentes en la literatura internacional y la alta difusión alcanzada en múltiples campos del saber (Bender, Dukhovny, *et al.*, 2002; Delgado, 2004; Forman, 1997; Saaty y Vargas, 2000).

El método se basa en siete principios básicos, llamados “pilares” por Saaty (2000):

- Comparaciones recíprocas por pares.

- Escalas proporcionales, proporcionalidad y escalas proporcionales normalizadas.
- Sensibilidad del vector propio principal derecho a las perturbaciones.
- Homogeneidad y agrupamiento (*clustering*).
- Síntesis que pueden extenderse a dependencias y retroalimentación.
- Preservación y reversibilidad de los rangos.
- Juicios de grupo.

La descripción detallada de estos pilares puede encontrarse en Saaty y Vargas (2000), el método completo, incluido su fundamento matemático puede consultarse en Saaty (1990).

La ejecución del método con la utilización de SIG se divide en dos etapas básicas: Definición de criterios y construcción de las jerarquías. En esta etapa se define el conjunto de las alternativas posibles que darían solución al problema planteado, así como los criterios que intervendrán en el análisis, que son estructurados en forma jerárquica.

Posteriormente, se realizan los juicios comparativos. En esta etapa se comparan entre sí las alternativas y criterios con respecto a sus superiores en jerarquía. Las comparaciones se realizan de forma pareada, utilizando una escala fundamental propuesta por Saaty (2000) y cuya validez se analiza extensivamente en Saaty (1990).

Este proceso es interactivo y se continúa hasta alcanzar un grado razonable de coherencia en los juicios de los expertos, usando las propiedades del álgebra matricial (Saaty, 2000; Saaty y Busacker, 1965).

Posteriormente, se realiza una síntesis de los resultados y un análisis de sensibilidad. En esta etapa se sintetizan las jerarquías hasta alcanzar el ordenamiento de las alternativas y se utilizan las operaciones de álgebra matricial necesarias para obtener los mapas finales de las preferencias de los expertos (Saaty y Vargas, 2000).

Luego, se analizan las consecuencias de las variaciones de los juicios de los expertos sobre las decisiones propuestas en el análisis de sensibilidad. Esta etapa constituye una poderosa herramienta dentro del proceso para la toma de decisiones en general, y no se limita al método AHP (Solomon y Montevechi, 2001).

En términos prácticos, el método se resume en dos preguntas: Para un objetivo dado se cuestiona: ¿qué es más importante? y ¿cuánto más importante?, según la escala que se presenta en el Cuadro 18.

**Cuadro 18.** Escala de comparaciones binarias Saaty

Grado	Definición	Explicación
1	Igual importancia entre A y B.	Ambos elementos contribuyen de igual manera al logro del objetivo.
3	Débil predominancia de A en relación con B.	La experiencia y el juicio favorecen levemente un elemento con relación al otro.
5	Fuerte o determinante predominancia de A respecto de B.	La experiencia y el juicio favorecen más claramente un elemento con relación al otro.
7	Importante predominancia de A respecto de B.	Un elemento domina ampliamente y esta dominación puede ser evidenciada en la práctica.
9	Absoluta predominancia de A respecto de B.	Puede demostrarse que la dominación de un elemento con relación al otro es absoluta.
2, 4, 6 y 8	Valores intermediarios entre dos apreciaciones vecinas.	Son utilizados para afinar el juicio entre dos elementos.
Una vez comparados los del grupo A respecto a los del grupo B, y atribuido un valor según la escala anterior, entonces en la comparación de B con A se atribuirá el valor inverso.		

**Fuente:** Elaboración propia.

Los expertos consultados fueron los mismos que constituyeron el equipo de trabajo de este estudio: un especialista en planificación territorial, amenazas y análisis de vulnerabilidad; un experto en sistemas de información geográfica y análisis de amenazas y vulnerabilidad; un experto en climatología y análisis de escenarios de cambio climático y un experto geógrafo especialista en gestión de riesgo.

Este equipo realizó 21 comparaciones (que implican el 100% de las comparaciones necesarias) en forma iterativa con el método ya indicado hasta obtener un *coeficiente de incoherencia* menor al 10%, que exige el método de Saaty. Finalmente, los pesos del *índice de amenazas climáticas* obtenidos mediante la iteración constante con el *software* (que minimiza la subjetividad de opiniones individuales de los expertos), se muestran en el Cuadro 19.

**Cuadro 19.** Pesos del *índice de amenazas climáticas*

Erosión: 0.3773	Sequía: 0.1098
Deslizamientos: 0.2410	Inundaciones: 0.0641
Heladas: 0.1625	Incendios forestales: 0.0452

**Fuente:** Elaboración propia.

El *coeficiente de incoherencia* dio un valor de 0.091575, que es aceptado como un juicio informado.

Una vez determinados los pesos, el procedimiento utilizado fue el siguiente: cada valor de las amenazas a nivel municipal se multiplicó por el peso obtenido a través del método Saaty y se sumó algebraicamente. El dato resultante fue normalizado a “valores Z” para poder efectuar una distribución normal estandarizada. En el Cuadro 20 se muestra un extracto de la tabla de cálculo, donde se ejemplifica el procedimiento con un municipio.

**Cuadro 20.** Procedimiento para obtener el *índice de amenazas climáticas actuales*

Pesos obtenidos por Saaty	0.372864	0.236575	0.158047	0.105389	0.06	0.040789	0.026692	Suma de los datos por su respectivo peso	Cambio a valores Z	Distribución normal estandarizada	Clasificación
Amenazas	Amenaza por erosión	Amenaza por deslizamientos	Amenaza por heladas	Amenaza por sequía	Amenaza por inundaciones	Amenaza por incendios	Amenaza por sismos				
Municipios	0.094 * peso	0.2423 * peso	0.97160 * peso	0.7 * peso	0.001 * peso	0.5476 * peso	0.365 * peso				
San Francisco El Alto	0.035049216	0.057336223	0.153559824	0.0737723	0.00	0.022337155	0.00974	0.351797895	1.358360866	0.912825397	Muy alto

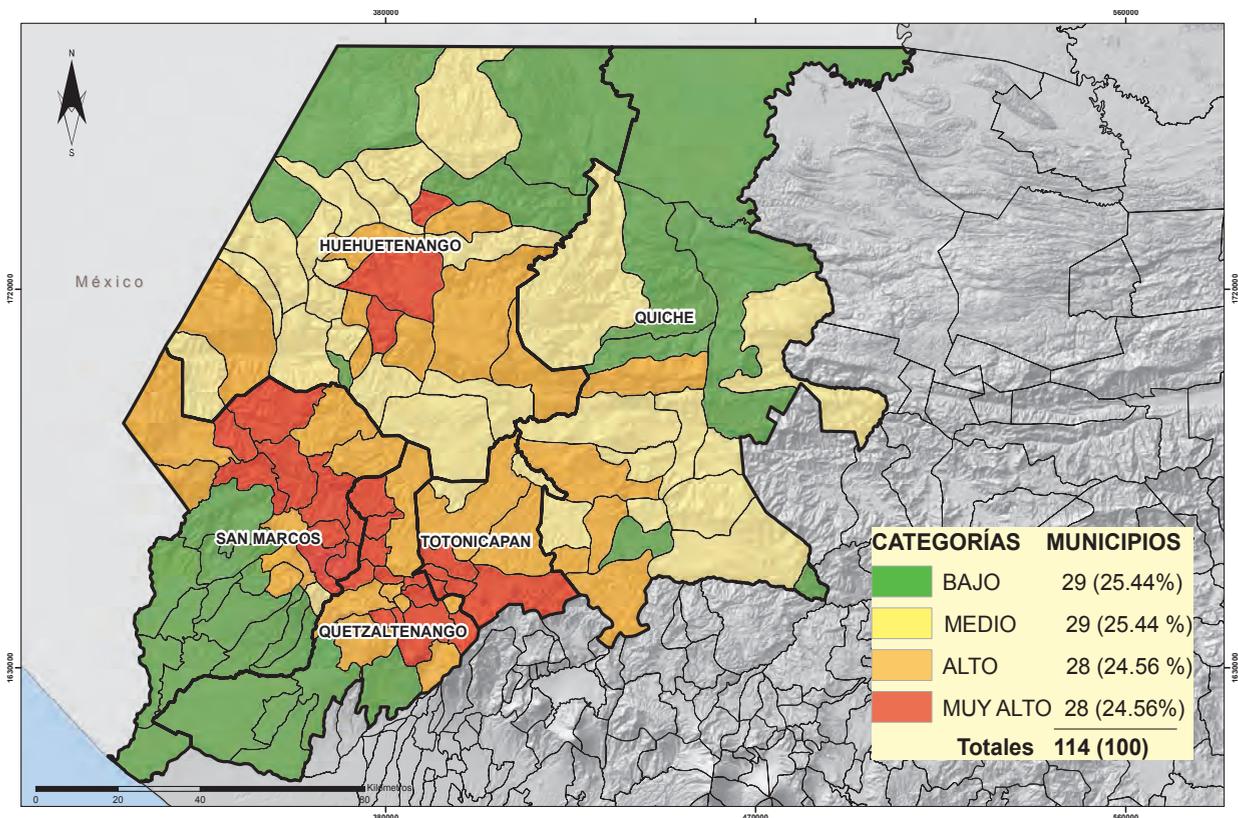
Fuente: Elaboración propia.

Los datos del *índice de amenazas climáticas actuales* en cada municipio fueron distribuidos en cuatro grupos o “cuartiles”. Según los límites de los datos en cada cuartil se calificaron las siguientes categorías: Muy alto, alto, medio y bajo. Los colores utilizados en

el análisis siguen el concepto del semáforo, donde el color rojo indica las condiciones más desfavorables.

En la Figura 21 se observa la distribución geográfica de los municipios con su respectiva categoría.

**Figura 21.** *Índice de amenazas climáticas actuales a nivel municipal*



Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Figura 21, se concluye que la región tiene fuertes amenazas, ya que el 50% de todos los municipios tienen muy alta o alta amenaza; lo cual es muy relevante en la parte alta de los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango y Totonicapán.

Si se analizan los municipios con muy alta amenaza, los departamentos de Totonicapán y Quetzaltenango poseen el 50% de sus municipios en esa categoría; les sigue San Marcos, con 31% de sus municipios. A mayor distancia se encuentra Huehuetenango, con 9.4% y Quiché, que no tiene ningún municipio en esta categoría. Todas las categorías se muestran en el Cuadro 21.

**Cuadro 21.** Listado de municipios según categoría del *índice de amenazas climáticas actuales*

Departamento	Municipios por categoría y porcentaje respecto al departamento			
	Muy alto	Alto	Medio	Bajo
Huehuetenango	San Juan Atitán	Santiago Chimaltenango	San Juan Ixcoy	Santa Ana Huista
	San Rafael Independencia	Chiantla	Tectitán	San Gaspar Ixchil
	Todos Santos Cuchumatán	San Sebastián Huehuetenango	San Sebastián Coatán	Nentón
		Concepción Huista	San Miguel Acatán	Santa Eulalia
		Soloma	Malacatancito	Barillas
		Aguacatán	Santa Bárbara	
		San Rafael Pétzal	Colotenango	
		Cuilco	Huehuetenango	
			San Pedro Necta	
			Jacaltenango	
			San Mateo Ixtatán	
			Unión Cantinil	
			San Idelfonso Ixtahuacán	
			La Libertad	
		San Antonio Huista		
		La Democracia		
Porcentaje	9.4%	25%	50%	15.6%
Quetzaltenango	Huitán	San Miguel Sigüilá		El Palmar
	Palestina de los Altos	San Juan Ostuncalco		Colomba
	Sibilia	San Carlos Sija		Coatepeque
	Concepción Chiquirichapa	Salcajá		Génova
	Cabricán	La Esperanza		Flores Costa Cuca
	Cajolá	Zunil		
	San Mateo	San Martín Sacatepéquez		
	Cantel			
	Quetzaltenango			
	Olintepeque			
	San Francisco La Unión			
	Almolonga			
Porcentaje	50%	29.2%	0%	20.8%

Continuación del Cuadro 21

Departamento	Municipios por categoría y porcentaje respecto al departamento			
	Muy alto	Alto	Medio	Bajo
Quiché		Chichicastenango	San Bartolomé Jocotenango	Chiché
		Patzitè	Zacualpa	Pachalum
		Santa Cruz del Quiché	San Antonio Ilotenango	San Juan Cotzal
		Cunén	Canillá	Uspantán
		San Pedro Jocopilas	San Andrés Sajcabajá	Chajul
			Sacapulas	Playa Grande-Ixcán
			Joyabaj	
			Chinique	
			Chicamán	
			Nebaj	
Porcentaje	0%	23.8%	47.6%	28.6%
San Marcos	Río Blanco	San Marcos	San Cristóbal Cucho	Tajumulco
	Tejutla	Tacaná		La Reforma
	San Lorenzo	San Miguel Ixtahuacán		Ocós
	San Antonio Sacatepéquez	Sibinal		El Quetzal
	Concepción Tutuapa	Sipacapa		San Pablo
	Comitancillo	Esquipulas Palo Gordo		Nuevo Progreso
	San José Ojetenam			Ayutla
	Ixchiguán			San Rafael Pie de la Cuesta
	San Pedro Sacatepéquez			El Tumbador
				Malacatán
			Pajapita	
			El Rodeo	
			Catarina	
Porcentaje	31%	20.7%	3.4%	44.8%
Totonicapán	Totonicapán	Santa María Chiquimula	San Bartolo	
	San Francisco El Alto	Momostenango	Santa Lucía La Reforma	
	San Andrés Xecul			
	San Cristóbal Totonicapán			
Porcentaje	50%	25%	25%	0%

Fuente: Elaboración propia.

## 6.3

# Sensibilidad hídrica y productiva (índice de sensibilidad al año 2011)

### 6.3.1 Índice de escasez hídrica

Para el cálculo del *índice de escasez*, se realizó una modificación a la metodología propuesta por el IDEAM (2004), y se ajustó a los cinco departamentos del occidente de Guatemala.

La metodología del *índice de escasez* modificada se basa en la relación entre la demanda de agua realizada por la población y la oferta hídrica potencial superficial. La ecuación utilizada es la siguiente:

$$Ie = \frac{D}{Op} * 100\%$$

Donde:

$Ie$  = Índice de escasez

$D$  = Demanda del recurso hídrico

$Op$  = Oferta potencial del recurso hídrico

La demanda de agua es el volumen potencial de agua que se requiere para atender las actividades socioeconómicas, en un espacio y tiempo determinado. Incluye la cantidad de agua abastecida y contabilizada, el agua usada no contabilizada y el agua requerida para desarrollar actividades socioeconómicas deprimidas y/o no abastecidas de manera efectiva.

Para determinar la demanda total se utilizó la demanda poblacional y la demanda agropecuaria.

La demanda poblacional se obtuvo multiplicando la proyección poblacional para el año 2011 según el INE, por la dotación de agua por habitante por día. La dotación media para el área, según lo establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS), es de: 200 litros/habitante/día.

$$\text{Demanda poblacional} = \text{Población} * \text{Dotación} * 365 \text{ días}$$

La demanda pecuaria se obtuvo multiplicando cada tipo de ganado (según el IV Censo Agropecuario del INE del año 2003) por su requerimiento diario de agua (Cuadro 22).

En la Figura 22 se observa la distribución geográfica de los municipios con su respectiva categoría de demanda hídrica.

**Cuadro 22.** Dotación media diaria por clase de ganado

Sector pecuario	Dotación diaria (litros)
Bovino	40
Caprino	8
Ovino	8
Porcino	11

**Fuente:** Elaboración propia.

La oferta hídrica potencial superficial es el volumen total de agua que fluye como fuente abastecedora después de haberse precipitado sobre la cuenca y satisfecho las cuotas de evapotranspiración e infiltración del sistema suelo-cobertura vegetal.

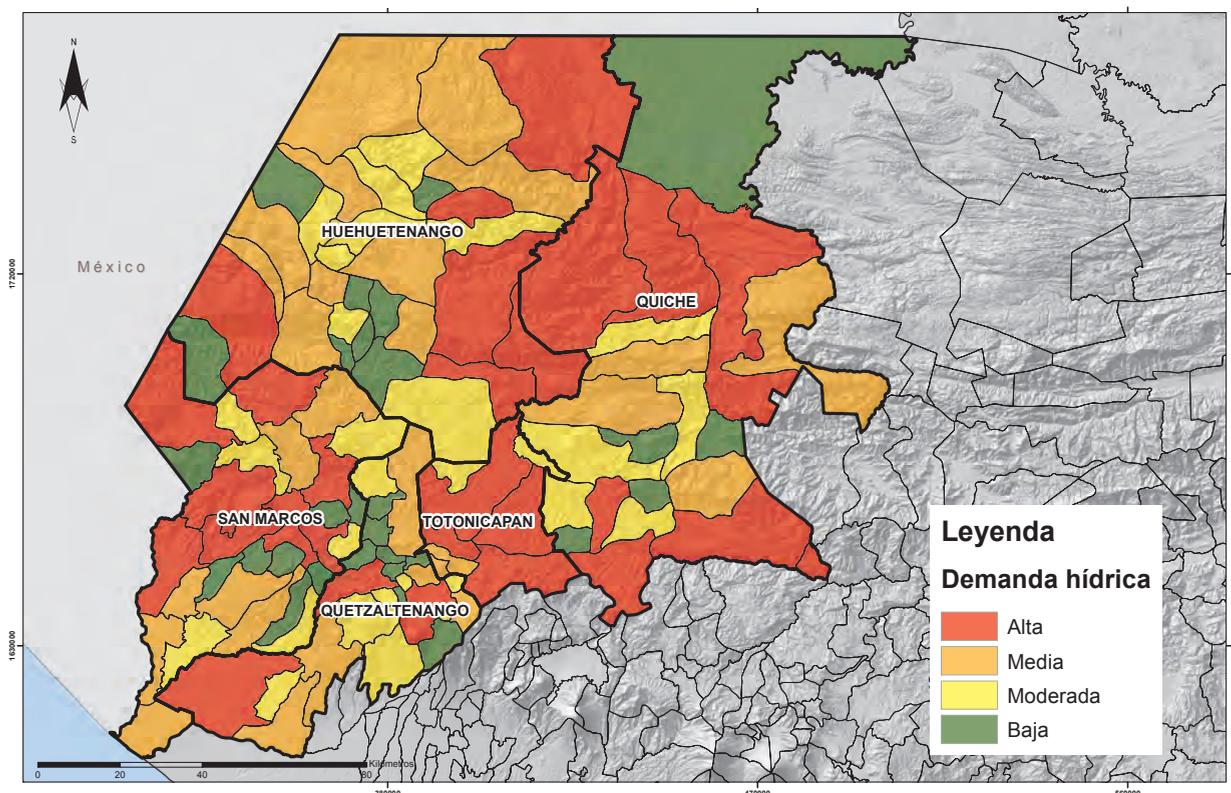
Para determinar la oferta potencial del recurso se realizó el balance hídrico, con la siguiente ecuación:

$$\text{Balance hídrico} = \text{Precipitación} - \text{evapotranspiración} - \text{infiltración}$$

Donde:

- La precipitación se obtuvo del *raster* de lluvia anual;
- La evapotranspiración potencial se calculó con la *ecuación de Hargreaves* a través de los *raster* de temperatura máxima, media y mínima, y de radiación extraterrestre; y
- La infiltración se infirió a través de las clases texturales de la capa de serie de suelos de Simmons, Tárano y Pinto, 1959.

Figura 22. Mapa de demanda hídrica a nivel municipal



Fuente: Elaboración propia.

La ecuación de Hargreaves utilizada se muestra a continuación:

$$ETP = 0.0023 * (Tmed + 17.78) * Re * (Tmax - Tmin)^{0.5}$$

Donde:

ETP= Evapotranspiración

Tmed= Temperatura media mensual (°C)

Tmax= Temperatura máxima promedio mensual (°C)

Tmin= temperatura mínima promedio mensual (°C)

Re= Radiación extraterrestre mensual (mm/día)

La porción de lluvia que se infiltró fue determinada a través de la multiplicación de la lluvia por el coeficiente de infiltración (Kfc), que se obtuvo a través de la ecuación que relaciona la capacidad de infiltración de agua en el suelo (infiltración básica, fc) con la de lluvia mensual generada por Schosinsky y Losilla, que es la siguiente:

$$Kfc = 0.267 \times \ln(fc) - 0.000154 \times (fc) - 0.723$$

Donde:

Kfc= Factor de infiltración de agua en el suelo e intensidad de lluvia

Ln= Logaritmo natural

fc= Valor de infiltración básica en mm/h

Para que la fórmula anterior se pueda utilizar, debe tomarse un rango de funcionamiento de:

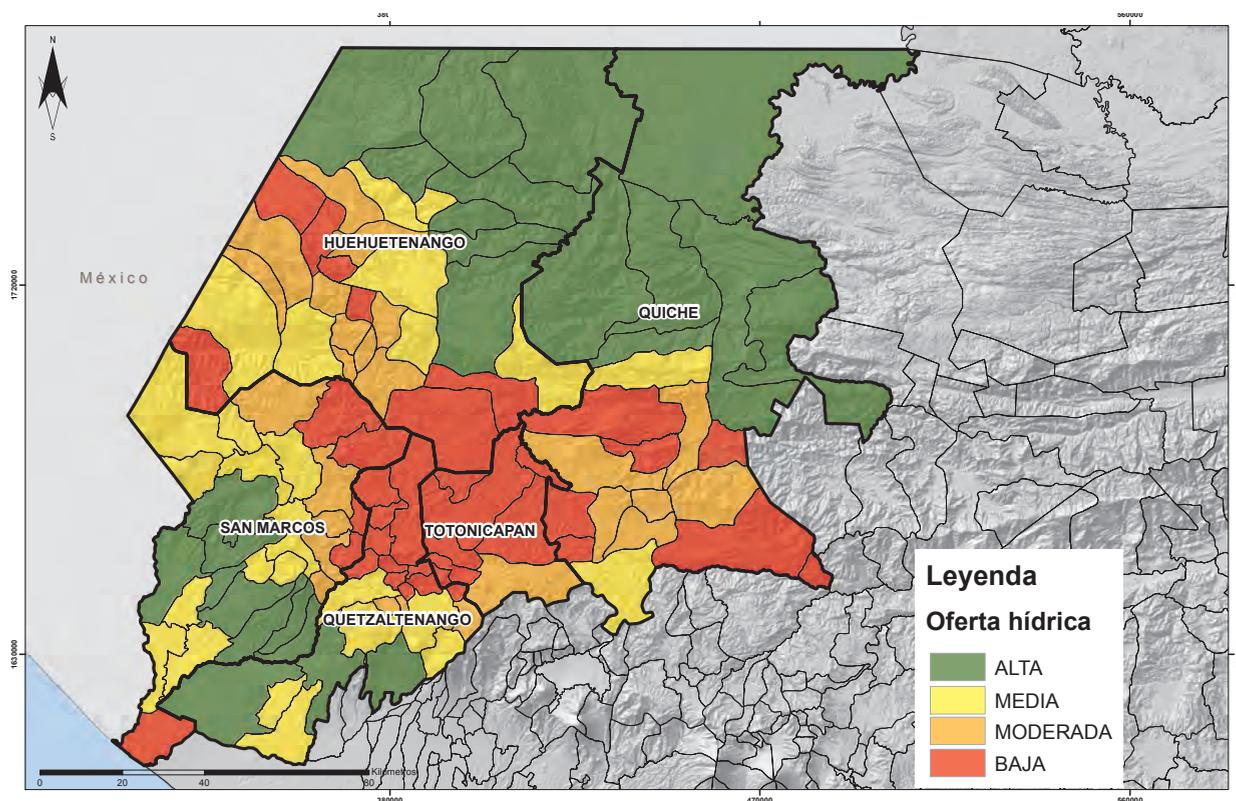
$$16 \leq fc \leq 1,568 \text{ mm/h.}$$

- Para valores de fc menores de 16mm/h se utiliza la siguiente fórmula:  $Kfc = 0.0148 (fc / 16)$ .
- Para valores mayores de 1,568mm/h, el Kfc será inicialmente mayor que uno; por lo tanto,  $Kfc = 1$ .

$$\text{Infiltración} = \text{Lluvia} * Kfc$$

La distribución geográfica a nivel municipal de la oferta hídrica se observa en la Figura 23.

**Figura 23.** Mapa de oferta hídrica a nivel municipal



Fuente: Elaboración propia.

A partir de la ecuación del *índice de escasez* a nivel municipal, que sostiene la relación entre la oferta hídrica potencial disponible y la demanda por parte de las actividades humanas dependientes del recurso,

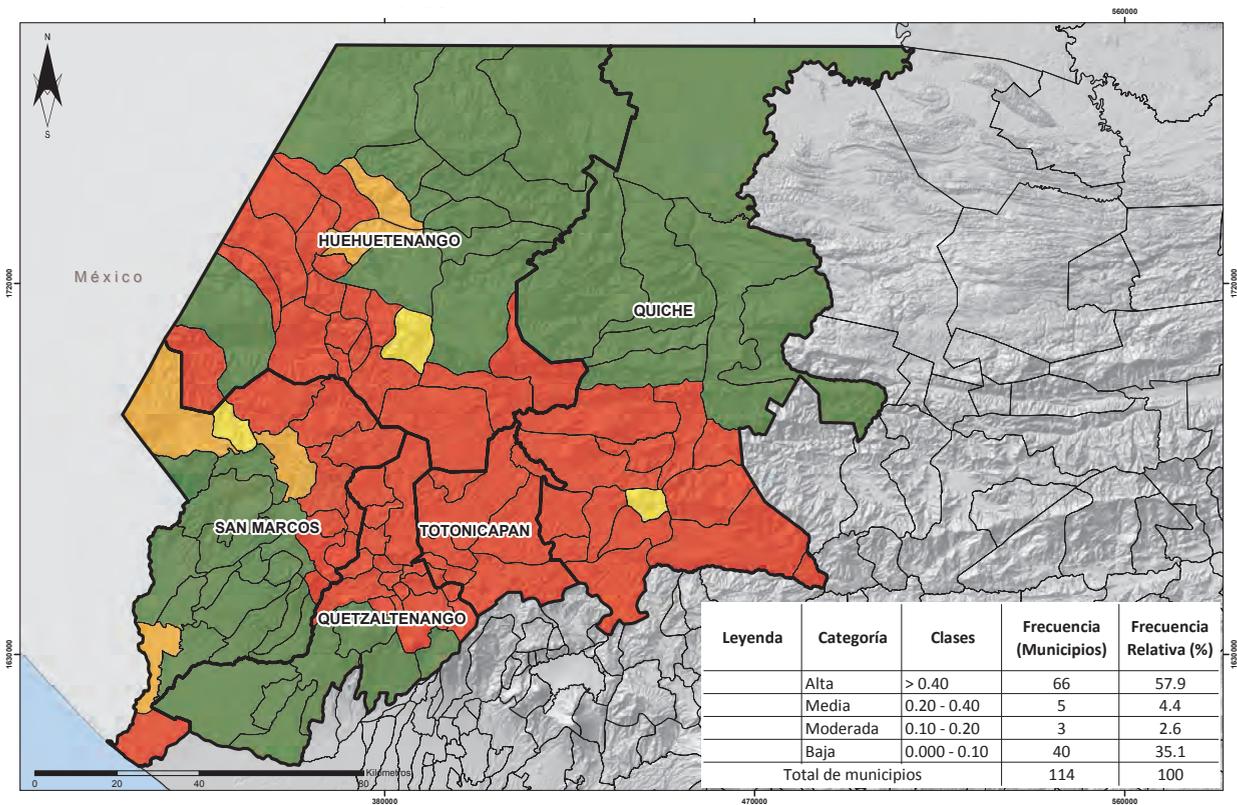
los datos municipales se categorizaron acorde al Cuadro 23. Según esta clasificación, los municipios quedaron distribuidos geográficamente tal como se observa en la Figura 24.

**Cuadro 23.** Categorías del *índice de escasez hídrica*

Categoría del <i>índice de escasez hídrica</i>	Oferta hídrica utilizada	Explicación
Alto	> 0.40	Existe fuerte presión sobre el recurso hídrico. Denota una urgencia máxima para el ordenamiento de la oferta y la demanda. En estos casos, la baja disponibilidad de agua es un factor limitante del desarrollo económico.
Medio	0.20 – 0.40	Cuando los límites de presión de la población exigen entre el 20 y el 40% de la oferta hídrica disponible, es necesario el ordenamiento tanto de la oferta como de la demanda. Es menester asignar prioridades a los distintos usos y prestar particular atención a los ecosistemas acuáticos para garantizar que reciban el aporte hídrico requerido para su existencia. Se necesitan inversiones para mejorar la eficiencia en la utilización de los recursos hídricos.
Moderado	0.10 – 0.20	Indica que la disponibilidad de agua se está convirtiendo en un factor limitador del desarrollo.
Bajo	< 0.10	No se experimentan presiones importantes sobre el recurso hídrico.

Fuente: IDEAM (2004).

Figura 24. Índice de escasez hídrica a nivel municipal



Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Figura 24, actualmente la escasez hídrica es alta en 66 municipios de la parte central de la región. El 40% de los municipios tienen moderado y bajo índice de escasez, lo que indica la riqueza hídrica de la zona. Ahora bien, esta riqueza está en función de la cobertura forestal, lluvia y

evapotranspiración, pero está siendo rápidamente afectada por la presión que ejercen los pobladores sobre los recursos naturales.

El Cuadro 24 muestra el listado de municipios, según su categoría del índice de escasez hídrica.



La riqueza hídrica de la zona está en función de la cobertura forestal, que está siendo rápidamente afectada por la presión sobre este recurso.

**Cuadro 24.** Listado de municipios según categoría del *índice de escasez hídrica actual*

Departamento	Municipios por categoría y porcentaje respecto al departamento			
	Alta	Moderada	Media	Baja
Huehuetenango	Aguacatán	Concepción Huista	San Sebastián Huehuetenango	Barillas
	Colotenango	San Miguel Acatán		Chiantla
	Huehuetenango			Cuilco
	Jacaltenango			Nentón
	La Democracia			San Juan Ixcoy
	La Libertad			San Mateo Ixtatán
	Malacatanquito			San Rafael Independencia
	San Antonio Huista			San Sebastián Coatán
	San Gaspar Ixchil			Santa Eulalia
	San Idelfonso Ixtahuacán			Soloma
	San Juan Atitán			Todos Santos Cuchumatán
	San Pedro Necta			San Antonio Huista
	San Rafael Pétzal			San Gaspar Ixchil
	Santa Ana Huista			San Idelfonso Ixtahuacán
	Santa Bárbara			San Juan Atitán
	Santiago Chimaltenango			San Juan Ixcoy
	Tectitán			San Mateo Ixtatán
	Unión Cantinil			San Miguel Acatán
	Porcentaje	56.3		6.3
Quetzaltenango	Almolonga			Coatepeque
	Cabricán			Colomba
	Cajolá			El Palmar
	Cantel			Flores Costa Cuca
	Concepción Chiquirichapa			Génova
	Huitán			San Martín Sacatepéquez
	La Esperanza			Zunil
	Olintepeque			
	Palestina de los Altos			
	Quetzaltenango			
	Salcajá			
	San Carlos Sija			
	San Francisco La Unión			
	San Juan Ostuncalco			
	San Mateo			
	San Miguel Sigüilá			
Sibilia				
Porcentaje	70.8	0.0	0.0	29.2

Continuación del Cuadro 24

Departamento	Municipios por categoría y porcentaje respecto al departamento			
	Alta	Moderada	Media	Baja
Quiché	Canillá	Chinique		Chajul
	Chiché			Chicamán
	Chichicastenango			Cunén
	Joyabaj			Nebaj
	Pachalum			Playa Grande-Ixcán
	Patzité			San Juan Cotzal
	Sacapulas			Uspantán
	San Andrés Sajcabajá			
	San Antonio Ilotenango			
	San Bartolomé Jocotenango			
	San Pedro Jocopilas			
	Santa Cruz del Quiché			
	Zacualpa			
	Porcentaje	61.9	0.0	4.8
San Marcos	Comitancillo	Ayutla	San José Ojetenam	Catarina
	Concepción Tutuapa	Tacaná		El Quetzal
	Ocos	Tejutla		El Rodeo
	Río Blanco			El Tumbador
	San Antonio Sacatepéquez			Esquipulas Palo Gordo
	San Cristóbal Cucho			Ixchiguán
	San Lorenzo			La Reforma
	San Miguel Ixtahuacán			Malacatán
	San Pedro Sacatepéquez			Nuevo Progreso
	Sipacapa			Pajapita
				San Marcos
				San Pablo
				San Rafael Pie de la Cuesta
				Sibinal
			Tajumulco	
Porcentaje	34.5	10.3	3.4	51.7
Totonicapán	Momostenango			
	San Andrés Xecul			
	San Bartolo			
	San Cristóbal Totonicapán			
	San Francisco El Alto			
	Santa Lucía La Reforma			
	Santa María Chiquimula			
	Totonicapán			
Porcentaje	100.0	0.0	0.0	0.0

Fuente: Elaboración propia.

### 6.3.2 Índice de sensibilidad productiva

Para determinar el rendimiento municipal (producción agrícola en relación con la superficie medida en hectáreas) de maíz, frijol y café, se utilizaron los censos agrícolas nacionales del Instituto Nacional de Estadística (INE) de 1979 y 2003, que ofrecen datos a nivel municipal.

También se emplearon las encuestas nacionales agropecuarias del MAGA e INE de los años 1996, 2005, 2006, 2007 y 2008, que contienen datos a nivel departamental; y la serie anual de la producción nacional y departamental de rendimientos obtenidos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

La serie histórica de rendimientos nacionales fue ajustada a las series municipales a través del uso de índices de producción, para obtener una serie de rendimientos municipales de maíz, frijol y café del año 1979 al 2011. Se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Valor de ajuste: } \left[ \frac{\text{Rendimiento promedio nacional} - (\text{Rendimiento nacional} - \text{Rendimiento municipal})}{\text{Rendimiento departamental}} \right]$$

A partir de la serie de rendimientos municipales se obtuvo una serie estandarizada de rendimientos medios municipales, con la cual se analizaron los efectos regionales de la producción agrícola, determinando los años en los cuales los rendimientos de producción decrecieron drásticamente. La estandarización fue realizada mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Valor Z} = \frac{\text{Valor observado} - \text{Valor medio de la serie}}{\text{Desviación estándar de la serie}}$$

Las series de datos de producción y rendimiento de las estadísticas nacionales de producción tienen contradicciones. Ante esta situación, fue necesario considerar las anomalías que se alejan de la media; en este caso, se determinaron los años en los que los rendimientos de producción decrecieron

drásticamente y se concluyó que la causa fueron anomalías oceano atmosféricas.

En la región occidental, el fenómeno de El Niño se caracteriza por la disminución de las lluvias, provocando sequías; y el de La Niña por presentar mayores acumulados de lluvia e inundaciones.

Posteriormente, se analizaron los rendimientos de producción durante los años con condiciones neutras, con Niño fuerte y con Niña fuerte (Cuadro 25).

**Cuadro 25. Años con Niño fuerte, neutrales y con Niña fuerte**

(con datos de anomalías del valor de temperatura respecto a la media anual, datos ENSO)

Fuerte El Niño	Neutral	Fuerte La Niña
1983 (+2.23)	1953 (+0.28)	1989 (-1.54)
1998 (+1.99)	2004 (+0.19)	1974 (-1.44)
1992 (+1.78)	1990 (+0.17)	1971 (-1.37)
1958 (+1.36)	1982 (+0.14)	2000 (-1.33)
1987 (+1.28)	1979 (+0.14)	1999 (-1.26)
1973 (+1.14)	1954 (+0.14)	1976 (-1.19)
1966 (+1.14)	1994 (+0.12)	1985 (-1.08)
2003 (+0.89)	2002 (+0.07)	1956 (-0.94)
1969 (+0.89)	1957 (+0.05)	1955 (-0.85)
1995 (+0.79)	1960 (-0.06)	1996 (-0.67)
	1961 (-0.11)	2011 (-0.71)
	1997 (-0.22)	2008 (-0.70)
	1981 (-0.23)	
	1972 (-0.28)	
	2005 (+0.08)	
	2006 (+0.13)	
	2012 (-0.08)	

Fuente: INSIVUMEH.

Con base en este análisis se determinaron las anomalías de rendimiento para los años con condiciones de El Niño y La Niña fuerte. Las anomalías de rendimiento de la producción a nivel municipal fueron analizadas contra las anomalías de temperatura y precipitación municipal, encontrándose su relación. La anomalía del rendimiento se obtuvo con la siguiente ecuación:

**Anomalía de rendimiento= Valor medio de rendimiento en condición Niño o Niña- Valor medio de rendimiento en condiciones neutras**

Al analizar las anomalías de rendimiento, se detectó que el fenómeno El Niño fuerte produce los mayores déficits de rendimiento y causan las mayores pérdidas. Por lo tanto, se tomó la decisión de realizar el análisis sobre este fenómeno climático. La sección 6.3.2.1 sobre cultivo de maíz, ejemplifica este proceso.

Los índices de sensibilidad de cada cultivo se construyeron ordenando los datos de anomalías de rendimiento bajo condiciones de El Niño, de mayor a menor. Se aplicó la siguiente ecuación:

**Índice de sensibilidad=  $\frac{\text{Valor observado}-\text{Valor mínimo de la serie}}{\text{Valor máximo}-\text{Valor mínimo}}$**

Con los datos cuantitativos del índice, se construyeron los mapas de sensibilidad de cada cultivo.

### 6.3.2.1 Índice de sensibilidad del cultivo de maíz

Para evaluar la influencia del clima sobre los rendimientos de maíz, se analizó el rendimiento medio de la serie histórica, con el promedio anual de temperatura y precipitación. Se realizaron análisis de correlación, para lo cual se utilizó el *coeficiente de correlación de Pearson (r)*.

La mejor correlación fue obtenida con la variable temperatura, con un valor de 0.607. Todos los valores se observan en el Cuadro 26.

**Cuadro 26. Resultado de las correlaciones entre rendimiento y las variables climáticas**

Variables	Coefficiente de correlación
Rendimiento medio municipal y temperatura media municipal	0.607
Rendimiento medio municipal y precipitación media municipal	0.207
Rendimiento medio municipal, temperatura media municipal y precipitación media municipal	0.188

Fuente: Elaboración propia.

Los rendimientos del cultivo de maíz y la temperatura media municipal presentan la tendencia de una función cuadrática, mientras que en los datos de precipitación media la tendencia no es marcada en su distribución (Figura 25).

La serie de rendimientos de producción fue estandarizada a través de la media y la desviación estándar del rendimiento municipal. Posteriormente, se obtuvo la media de rendimientos de producción estandarizados y se detectaron sus decrementos, que fueron comparados con los fenómenos océano-atmosféricos.

En la Figura 26 se presentan los rendimientos municipales estandarizados y la serie de tiempo analizada, donde se observan los años con fuertes anomalías climáticas.

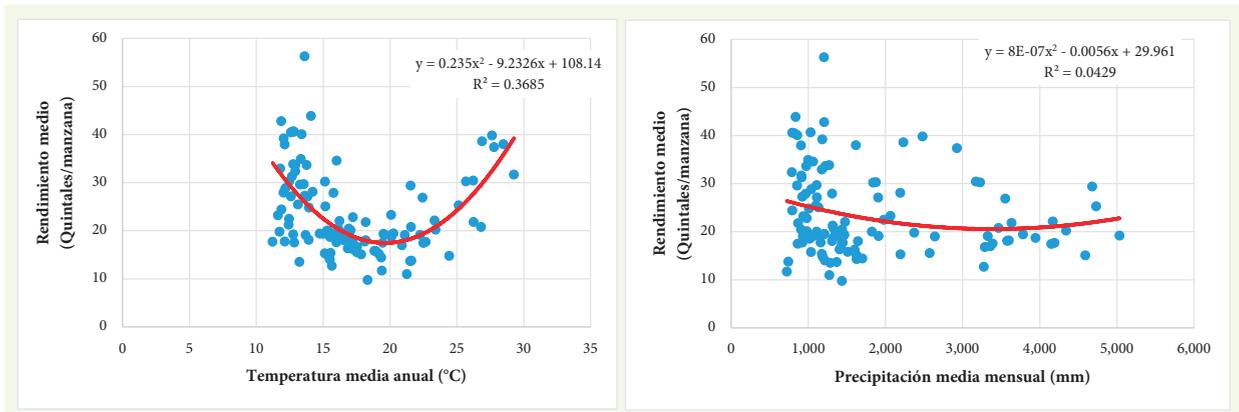
Seguidamente, se compararon los rendimientos de maíz bajo las condiciones de los años de La Niña, neutros y El Niño identificados por el INSIVUMEH en la serie de años analizados. En la Figura 27 se observan las comparaciones, donde se verifica que los rendimientos anuales de maíz disminuyen en un año bajo condiciones de El Niño, causando pérdidas en el cultivo.

Este análisis concluye entonces, en que la sensibilidad del cultivo de maíz se determina a través del efecto que causa el fenómeno El Niño en el rendimiento del cultivo. La Figura 27 muestra los rendimientos medios municipales de cada departamento de la región occidental.

También se realizó una comparación del rendimiento anómalo del maíz por la influencia del fenómeno El Niño en la precipitación.

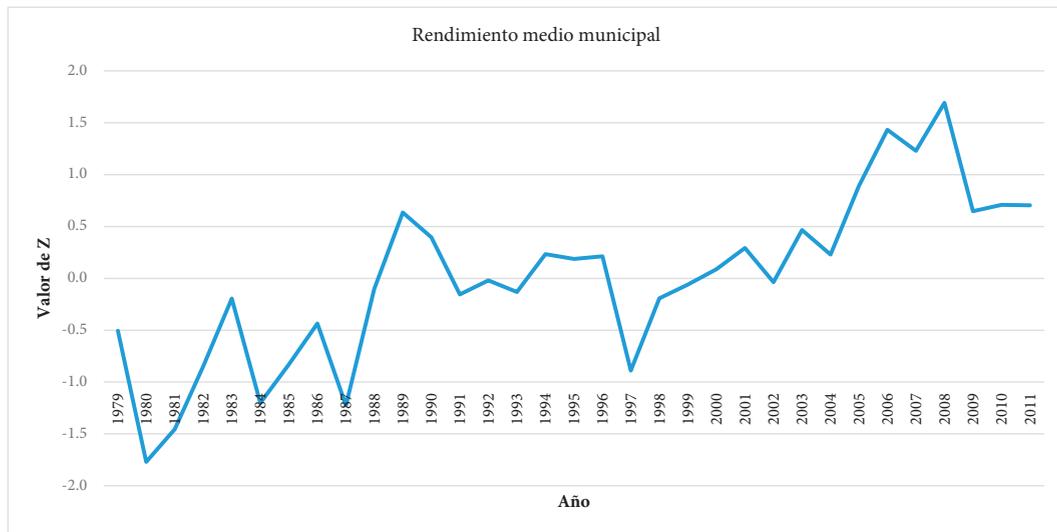
Como se observa en la Figura 28 (donde se muestra un agrupamiento de las anomalías de producción versus las anomalías de rendimiento), en las regiones más secas del occidente, una reducción de la precipitación de 200 mm anuales puede causar la disminución del rendimiento de maíz de hasta dos quintales por manzana. En las zonas muy húmedas se pueden tener descensos en la lluvia de hasta de 500 mm, y únicamente se reduciría un quintal por manzana.

**Figura 25.** Relaciones entre las variables climáticas y los rendimientos de maíz



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 26.** Rendimientos estandarizados del maíz de 1979 a 2011



Fuente: Elaboración propia.



Técnico Esvin López de la Reserva Comunitaria de Semillas de Quilínco, Huehuetenango, mostrando la agrobiodiversidad de granos básicos.

Fotografía: Jorge Cardona, TNC.

**Figura 27.** Comparación de los rendimientos del maíz a nivel municipal: años neutros, con efecto de El Niño y con efecto de La Niña



Continuación de la Figura 27

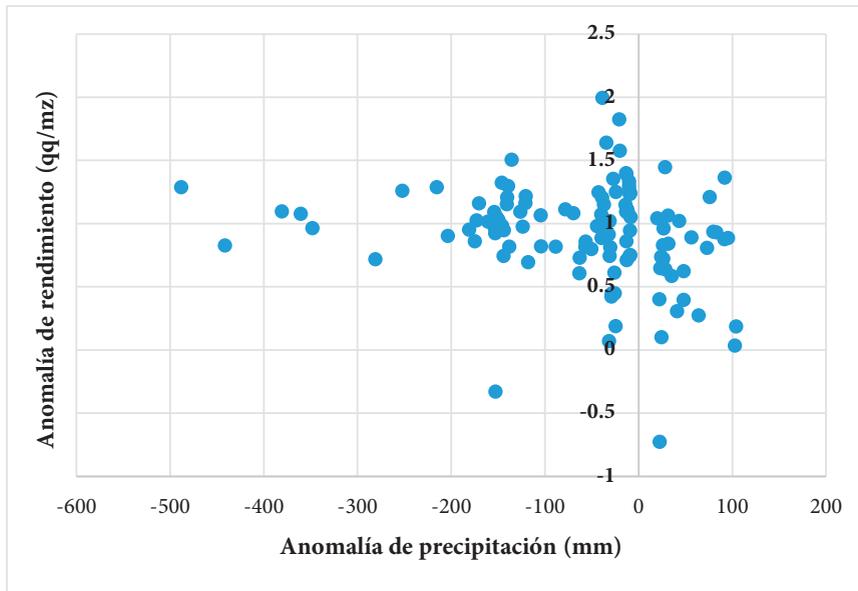


Fuente: Elaboración propia.

Al comparar las anomalías en el rendimiento del maíz bajo la influencia del fenómeno El Niño con la temperatura, se observa que un incremento térmico de 0.5 °C únicamente puede reducir dos quintales por manzana (Figura 29).

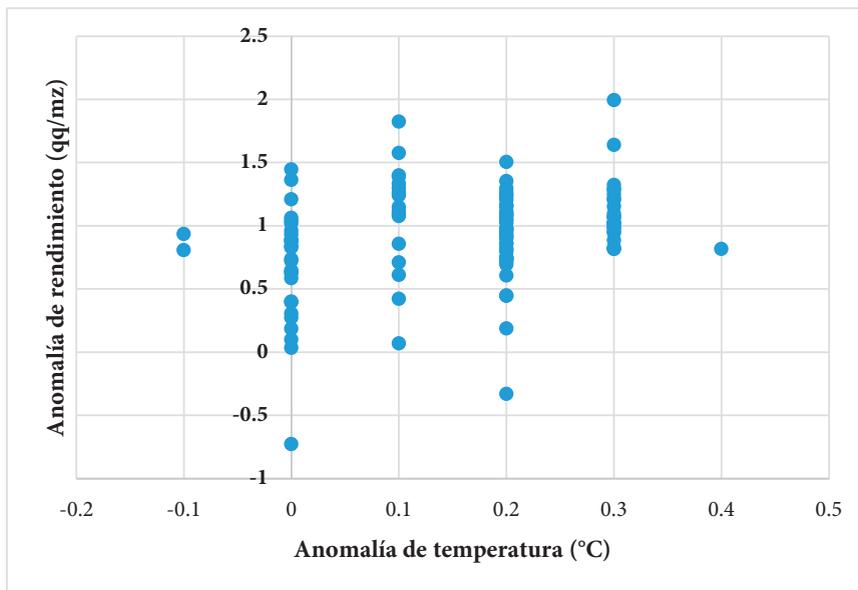
Se calcularon las anomalías de rendimiento en cada municipio durante los años de El Niño y los resultados fueron llevados a índices con el método indicado. Los resultados se muestran en la Figura 30 y en el Cuadro 27.

**Figura 28.** Efectos de las anomalías de precipitación en años de El Niño sobre el rendimiento del maíz



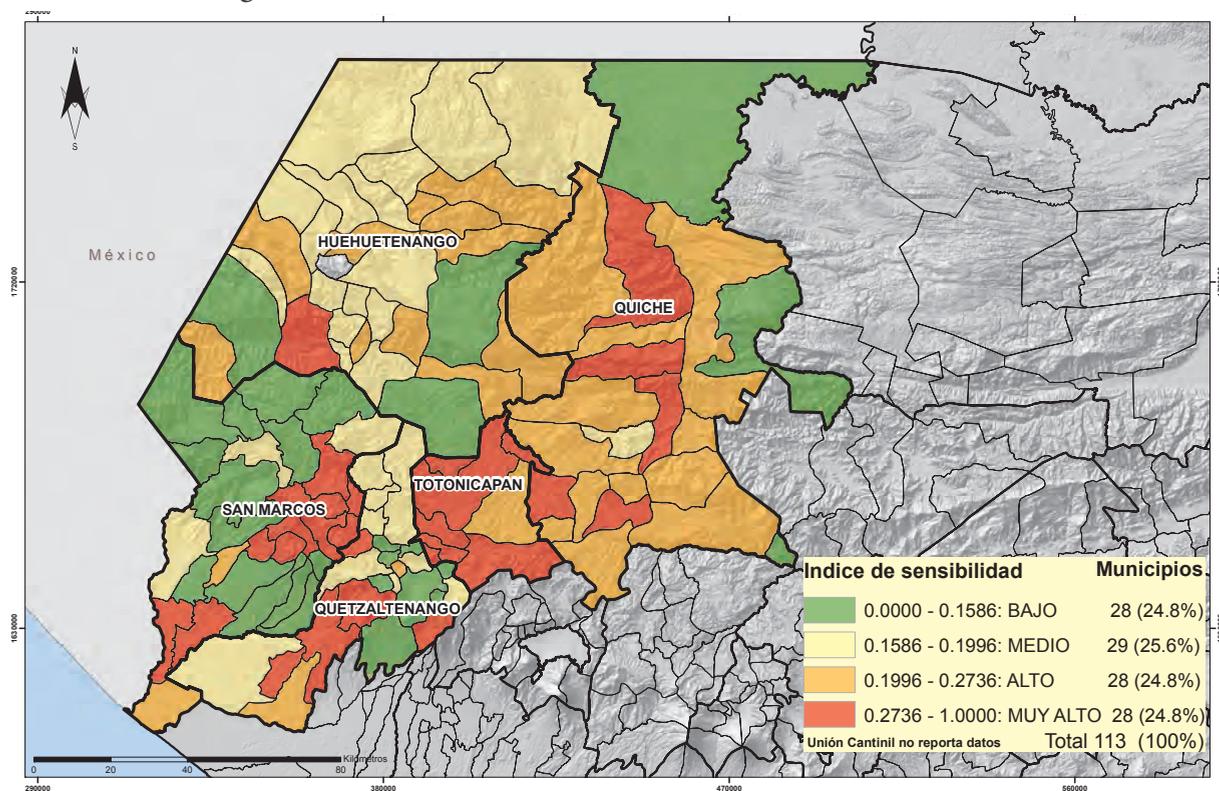
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 29.** Efectos de las anomalías de temperatura en años de El Niño sobre el rendimiento del maíz



Fuente: Elaboración propia.

Figura 30. Índice de sensibilidad del rendimiento del cultivo de maíz



Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 27. Índice de sensibilidad del maíz a nivel municipal

Código	Municipio	Anomalía de rendimiento (qq/mz)	Índice de sensibilidad del maíz	Código	Municipio	Anomalía de rendimiento (qq/mz)	Índice de sensibilidad del maíz
801	Totonicapán	-1.4	0.38	1226	Sipacapa	-0.2	0.16
802	San Cristóbal Totonicapán	-1.3	0.37	1227	Esquipulas Palo Gordo	-1.9	0.50
803	San Francisco El Alto	-1.5	0.42	1228	Río Blanco	-2.0	0.51
804	San Andrés Xecul	-1.8	0.48	1229	San Lorenzo	-2.0	0.50
805	Momostenango	-1.2	0.35	1301	Huehuetenango	-0.5	0.22
806	Santa María Chiquimula	-0.8	0.27	1302	Chiantla	0.5	0.01
807	Santa Lucía La Reforma	-0.9	0.29	1303	Malacatancito	0.5	0.02
808	San Bartolo	-1.4	0.40	1304	Cuilco	0.6	0.00
901	Quetzaltenango	0.2	0.07	1305	Nentón	-0.3	0.17
902	Salcajá	-0.2	0.16	1306	San Pedro Necta	-0.4	0.20
903	Olintepeque	-0.2	0.16	1307	Jacaltenango	-0.3	0.17
904	San Carlos Sija	-0.2	0.16	1308	Soloma	-0.5	0.21
905	Sibilia	-0.2	0.16	1309	Ixtahuacán	-1.5	0.41
906	Cabricán	-0.3	0.16	1310	Santa Bárbara	-0.4	0.19
907	Cajolá	-0.2	0.16	1311	La Libertad	-0.4	0.18

Continuación del Cuadro 27

Código	Municipio	Anomalía de rendimiento (qq/mz)	Índice de sensibilidad del maíz	Código	Municipio	Anomalía de rendimiento (qq/mz)	Índice de sensibilidad del maíz
908	San Miguel Sigüilá	-0.2	0.16	1312	La Democracia	-0.7	0.24
909	Ostuncalco	-0.2	0.16	1313	San Miguel Acatán	-0.4	0.19
910	San Mateo	-0.2	0.16	1314	San Rafael La Independencia	-0.4	0.20
911	Concepción Chiquirichapa	-0.2	0.16	1315	Todos Santos Cuchumatán	-0.4	0.20
912	San Martín Sacatepéquez	-2.4	0.59	1316	San Juan Atitán	-0.4	0.20
913	Almolonga	-0.2	0.15	1317	Santa Eulalia	-0.5	0.21
914	Cantel	-0.2	0.16	1318	San Mateo Ixtatán	-0.2	0.16
915	Huitán	-0.3	0.16	1319	Colotenango	-0.4	0.19
916	Zunil	-3.6	0.84	1320	San Sebastián Huehuetenango	-0.7	0.25
917	Colomba	-4.4	1.00	1321	Tectitán	-0.6	0.23
918	San Francisco La Unión	0.1	0.09	1322	Concepción Huista	-0.6	0.23
919	El Palmar	0.1	0.10	1323	San Juan Ixcoy	-0.5	0.21
920	Coatepeque	-0.2	0.16	1324	San Antonio Huista	-0.4	0.20
921	Génova	-0.7	0.26	1325	San Sebastián Coatán	-0.3	0.18
922	Flores Costa Cuca	-2.7	0.65	1326	Barillas	-0.3	0.18
923	La Esperanza	-0.6	0.24	1327	Aguacatán	-0.8	0.27
924	Palestina de Los Altos	-1.1	0.33	1328	San Rafael Petzal	-0.5	0.21
1201	San Marcos	-2.1	0.53	1329	San Gaspar Ixchil	-0.4	0.19
1202	San Pedro Sacatepéquez	-1.8	0.47	1330	Santiago Chimaltenango	-0.4	0.19
1203	San Antonio Sacatepéquez	-2.6	0.64	1331	Santa Ana Huista	-0.4	0.19
1204	Comitancillo	-1.7	0.44	1332	Unión Cantinil	--	--
1205	San Miguel Ixtahuacán	-0.2	0.16	1401	Santa Cruz del Quiché	-0.7	0.26
1206	Concepción Tutuapa	-0.2	0.15	1402	Chiché	-0.8	0.27
1207	Tacaná	0.2	0.08	1403	Chinique	-0.6	0.23
1208	Sibinal	0.0	0.12	1404	Zacualpa	-0.7	0.25
1209	Tajumulco	0.0	0.10	1405	Chajul	-0.9	0.30
1210	Tejutla	0.4	0.04	1406	Chichicastenango	-0.7	0.26
1211	San Rafael Pie de la Cuesta	-1.9	0.50	1407	Patzité	-0.5	0.22
1212	Nuevo Progreso	-0.2	0.15	1408	San Antonio Ilotenango	-1.0	0.31
1213	El Tumbador	-0.2	0.15	1409	San Pedro Jocopilas	-0.7	0.26
1214	El Rodeo	-0.7	0.26	1410	Cunén	-0.9	0.29
1215	Malacatán	-0.3	0.17	1411	San Juan Cotzal	-0.8	0.26
1216	Catarina	-0.1	0.14	1412	Joyabaj	-0.6	0.24
1217	Ayutla	-1.3	0.37	1413	Nebaj	-0.8	0.27
1218	Ocós	-0.8	0.26	1414	San Andrés Sajcabajá	-0.8	0.28
1219	San Pablo	-0.2	0.15	1415	Uspantán	-0.7	0.25
1220	El Quetzal	0.1	0.09	1416	Sacapulas	-0.8	0.27
1221	La Reforma	-0.1	0.14	1417	San Bartolomé Jocotenango	-0.4	0.20
1222	Pajapita	-2.6	0.64	1418	Canillá	-0.5	0.21
1223	Ixchiguan	-0.3	0.17	1419	Chicamán	0.0	0.11
1224	San José Ojetenam	-0.2	0.15	1420	Ixcán	0.0	0.11
1225	San Cristóbal Cucho	0.0	0.11	1421	Pachalum	0.0	0.11

Fuente: Elaboración propia.

### 6.3.2.2 Índice de sensibilidad del cultivo del frijol

Se procedió de la misma forma que con el cultivo del maíz. En la Figura 31 se observa la comparación de los rendimientos estandarizados para observar los años con anomalías climáticas. La conclusión fue similar al caso del maíz: los descensos drásticos del rendimiento en el frijol se deben a la presencia de condiciones de El Niño.

Como se muestra en la Figura 32, los rendimientos del frijol se ven reducidos por las condiciones océano-atmosféricas de El Niño.

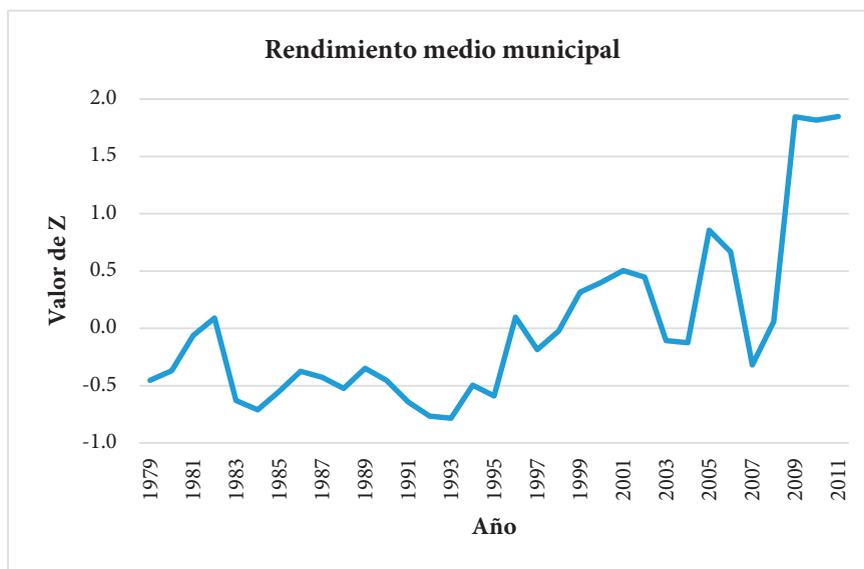
Al comparar la anomalía del rendimiento de frijol bajo la influencia del fenómeno El Niño con la precipitación, se observa que un incremento en la lluvia de 100 mm para algunas regiones del occidente,

causa que el rendimiento del frijol disminuya cuatro quintales por manzana, probablemente por efectos fitosanitarios; mientras que una reducción en la precipitación de 500 mm en otras regiones del occidente causa que el rendimiento disminuya hasta dos quintales por manzana (Figura 33).

Al comparar la anomalía del rendimiento de frijol bajo la influencia del fenómeno El Niño con la temperatura, se observa que un incremento térmico de únicamente 0.5 °C puede reducir el rendimiento en cuatro quintales por manzana (Figura 34).

Al igual que en el cultivo del maíz, se calcularon las anomalías del rendimiento de frijol en cada municipio durante los años de El Niño, y los resultados fueron llevados a índices, que se muestran en la Figura 35 y en el Cuadro 28.

**Figura 31.** Comparación de los rendimientos estandarizados del frijol con la serie de años

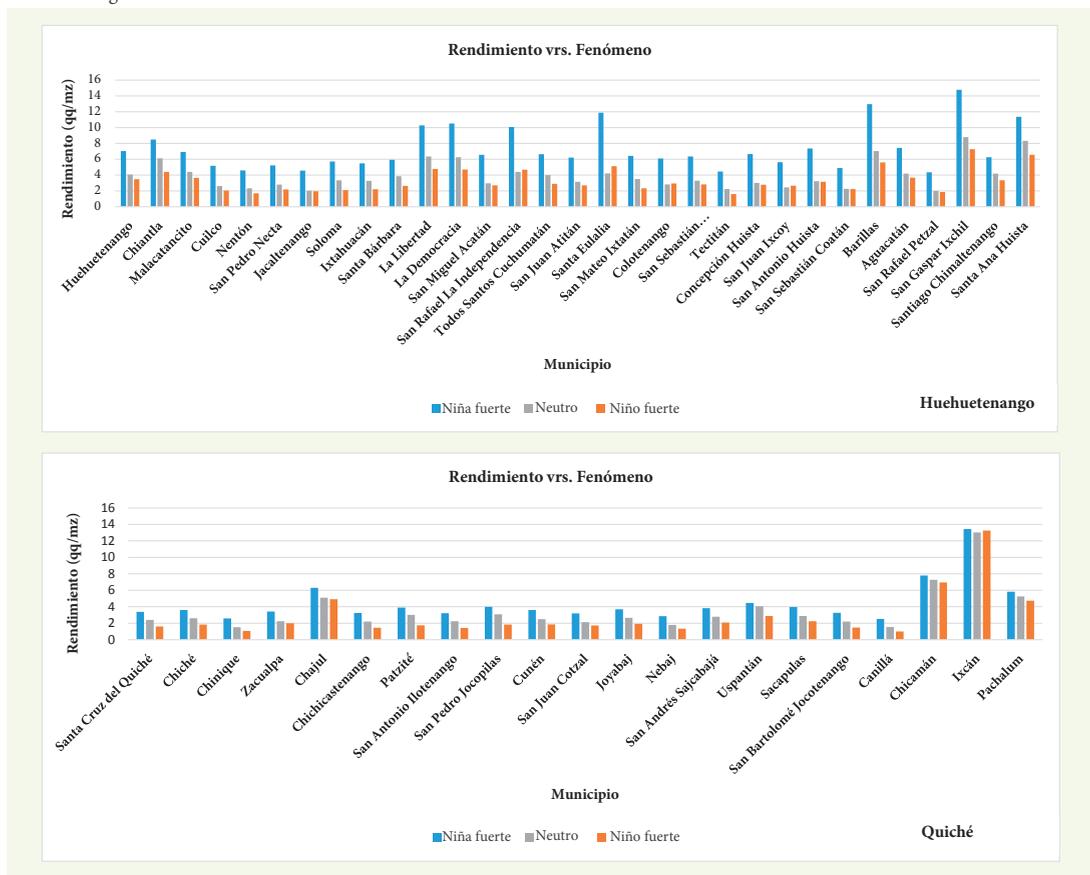


Fuente: Elaboración propia.

**Figura 32.** Comparación de los rendimientos del frijol a nivel municipal: años neutros, con efecto de El Niño y con efecto de La Niña

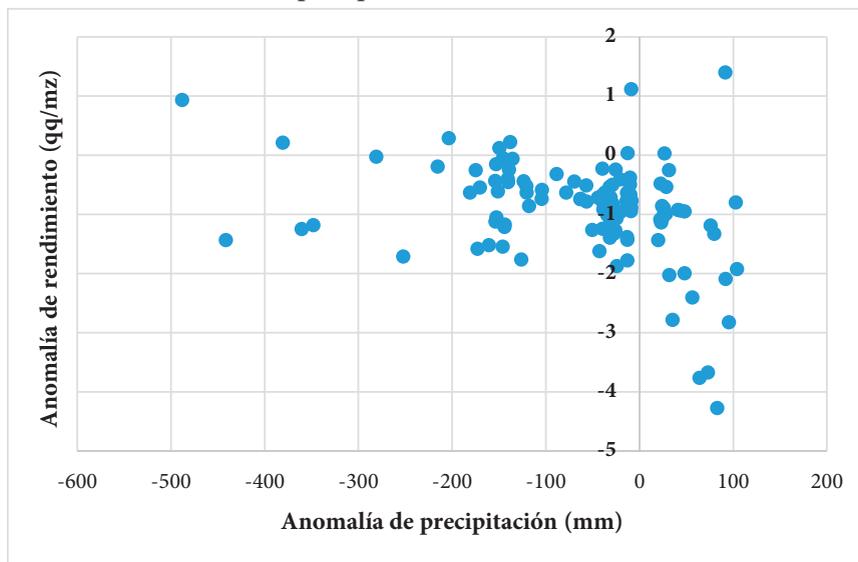


Continuación de la Figura 32



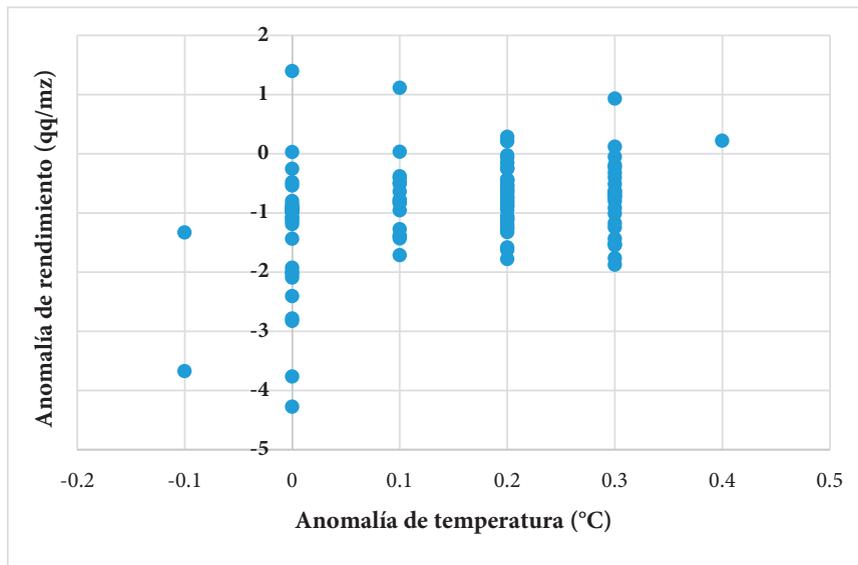
Fuente: Elaboración propia.

Figura 33. Efectos de las anomalías de precipitación en años de El Niño sobre el rendimiento del frijol



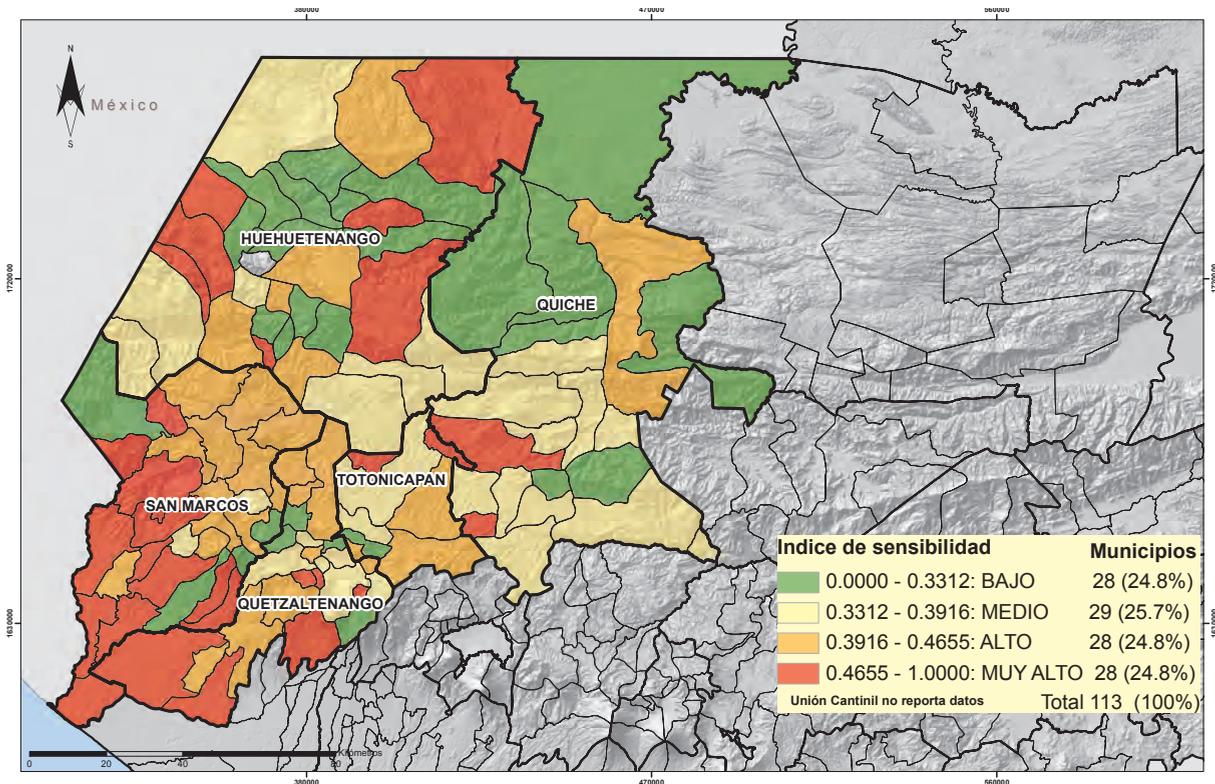
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 34.** Efectos de las anomalías de temperatura en años de El Niño sobre el rendimiento del frijol



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 35.** Índice de sensibilidad del rendimiento del cultivo de frijol



Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 28. Índice de sensibilidad del frijol a nivel municipal**

Código	Municipio	Anomalía de rendimiento (qq/mz)	Índice de sensibilidad del frijol	Código	Municipio	Anomalía de rendimiento (qq/mz)	Índice de sensibilidad del frijol
801	Totonicapán	-1.1	0.44	1226	Sipacapa	-1.1	0.45
802	San Cristóbal Totonicapán	-0.2	0.29	1227	Esquipulas Palo Gordo	-1.0	0.41
803	San Francisco El Alto	-0.5	0.33	1228	Río Blanco	-1.1	0.43
804	San Andrés Xecul	-1.1	0.43	1229	San Lorenzo	-0.5	0.34
805	Momostenango	-0.8	0.39	1301	Huehuetenango	-0.6	0.35
806	Santa María Chiquimula	-1.1	0.44	1302	Chiantla	-1.7	0.55
807	Santa Lucía La Reforma	-1.3	0.47	1303	Malacatancito	-0.7	0.38
808	San Bartolo	-1.4	0.49	1304	Cuilco	-0.6	0.34
901	Quetzaltenango	-0.8	0.38	1305	Nentón	-0.6	0.36
902	Salcá	-0.9	0.41	1306	San Pedro Necta	-0.6	0.35
903	Olintepeque	-0.8	0.38	1307	Jacaltenango	-0.1	0.26
904	San Carlos Sija	-0.8	0.39	1308	Soloma	-1.3	0.47
905	Sibilia	0.0	0.24	1309	Ixtahuacán	-1.1	0.43
906	Cabricán	-0.9	0.40	1310	Santa Bárbara	-1.2	0.46
907	Cajolá	-0.7	0.36	1311	La Libertad	-1.6	0.53
908	San Miguel Sigüilá	-0.9	0.40	1312	La Democracia	-1.6	0.52
909	Ostuncalco	-0.6	0.36	1313	San Miguel Acatán	-0.3	0.29
910	San Mateo	-1.4	0.50	1314	San Rafael La Independencia	0.3	0.20
911	Concepción Chiquirichapa	-1.4	0.49	1315	Todos Santos Cuchumatán	-1.1	0.44
912	San Martín Sacatepéquez	-1.0	0.41	1316	San Juan Atitán	-0.4	0.32
913	Almolonga	-1.8	0.56	1317	Santa Eulalia	0.9	0.08
914	Cantel	-0.5	0.33	1318	San Mateo Ixtatán	-1.2	0.46
915	Huitán	-0.8	0.39	1319	Colotenango	0.1	0.22
916	Zunil	-0.4	0.32	1320	San Sebastián Huehuetenango	-0.5	0.33
917	Colomba	-0.9	0.41	1321	Tectitán	-0.6	0.36
918	San Francisco La Unión	1.1	0.05	1332	Unión Cantinil	--	--
919	El Palmar	-1.6	0.53	1322	Concepción Huista	-0.2	0.29
920	Coatepeque	-1.3	0.48	1323	San Juan Ixcoy	0.2	0.21
921	Génova	-1.9	0.58	1324	San Antonio Huista	-0.1	0.26
922	Flores Costa Cuca	-1.0	0.42	1325	San Sebastián Coatán	0.0	0.25
923	La Esperanza	-0.8	0.39	1326	Barillas	-1.4	0.50
924	Palestina de Los Altos	-0.4	0.31	1327	Aguacatán	-0.5	0.34
1201	San Marcos	-0.9	0.41	1328	San Rafael Petzal	-0.2	0.27
1202	San Pedro Sacatepéquez	-0.9	0.40	1329	San Gaspar Ixchil	-1.5	0.51
1203	San Antonio Sacatepéquez	-0.5	0.33	1330	Santiago Chimaltenango	-0.9	0.40
1204	Comitancillo	-1.1	0.44	1331	Santa Ana Huista	-1.8	0.56
1205	San Miguel Ixtahuacán	-1.0	0.42	1401	Santa Cruz del Quiché	-0.8	0.38
1206	Concepción Tutuapa	-0.9	0.40	1402	Chiché	-0.7	0.38
1207	Tacaná	0.0	0.24	1403	Chinique	-0.4	0.32
1208	Sibinal	-2.0	0.60	1404	Zacualpa	-0.2	0.29
1209	Tajumulco	-2.4	0.67	1405	Chajul	-0.2	0.28

Código	Municipio	Anomalía de rendimiento (qq/mz)	Índice de sensibilidad del frijol	Código	Municipio	Anomalía de rendimiento (qq/mz)	Índice de sensibilidad del frijol
1210	Tejutla	-1.0	0.42	1406	Chichicastenango	-0.7	0.38
1211	San Rafael Pie de la Cuesta	-0.8	0.39	1407	Patzitè	-1.3	0.47
1212	Nuevo Progreso	1.4	0.00	1408	San Antonio Ilotenango	-0.8	0.39
1213	El Tumbador	-2.8	0.74	1409	San Pedro Jocopilas	-1.2	0.47
1214	El Rodeo	-1.9	0.59	1410	Cunén	-0.6	0.36
1215	Malacatán	-1.3	0.48	1411	San Juan Cotzal	-0.4	0.32

Fuente: Elaboración propia.

### 6.3.2.3 Índice de sensibilidad del cultivo del café

Se procedió de la misma forma que con el cultivo del maíz y frijol. En la Figura 36 se muestra la comparación de los rendimientos estandarizados para observar los años con anomalías climáticas. La conclusión fue similar al maíz y frijol: los descensos drásticos del rendimiento de café se deben a la presencia de condiciones de año Niño.

La Figura 37 muestra la comparación de los rendimientos de café por cada fenómeno climático.

Al comparar la anomalía en el rendimiento de café bajo la influencia del fenómeno El Niño con la precipitación, se observa que un incremento en la lluvia de 100 mm para algunas regiones del occidente, causa que el rendimiento disminuya cuatro quintales cereza por manzana; mientras que una reducción de 500 mm causa que el rendimiento baje hasta seis quintales cereza por manzana.

En las zonas muy húmedas se pueden tener descensos de hasta de 100 mm de lluvia, lo cual favorece al cultivo con el incremento de dos quintales cereza por manzana. En zonas semi húmedas, el incremento de 100 mm de lluvia favorece el aumento de la producción de café en dos quintales cereza por manzana (Figura 38).

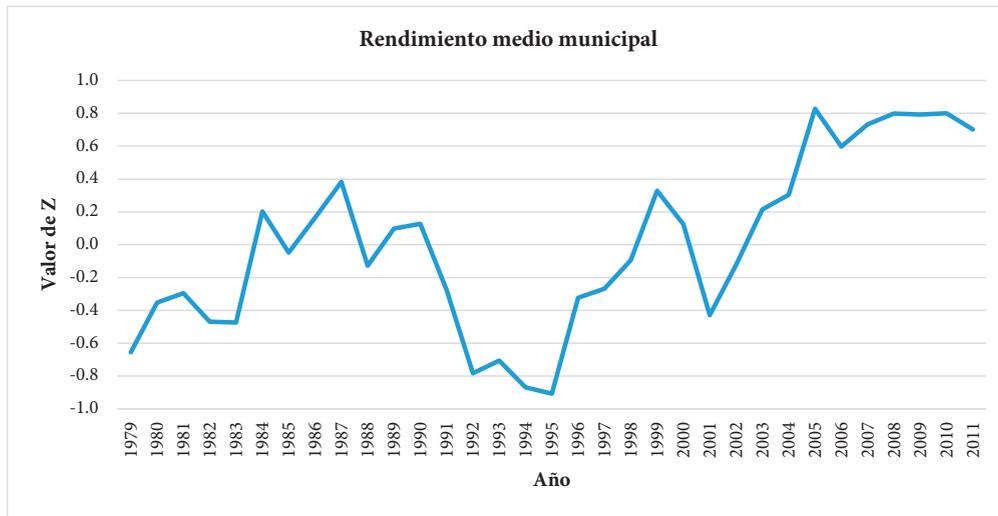
Al subir la temperatura 0.5 °C en la zona templada, se reduce el rendimiento hasta en cuatro quintales cereza por manzana; mientras que este mismo incremento en la zona fría, favorece el aumento de la producción en dos quintales cereza por manzana (Figura 39).

Al igual que en el cultivo de maíz y frijol, se calcularon las anomalías de rendimiento en cada municipio durante los años de El Niño, y los resultados fueron llevados a índices (Cuadro 29). El mapa del *índice de sensibilidad* se muestra en la Figura 40.



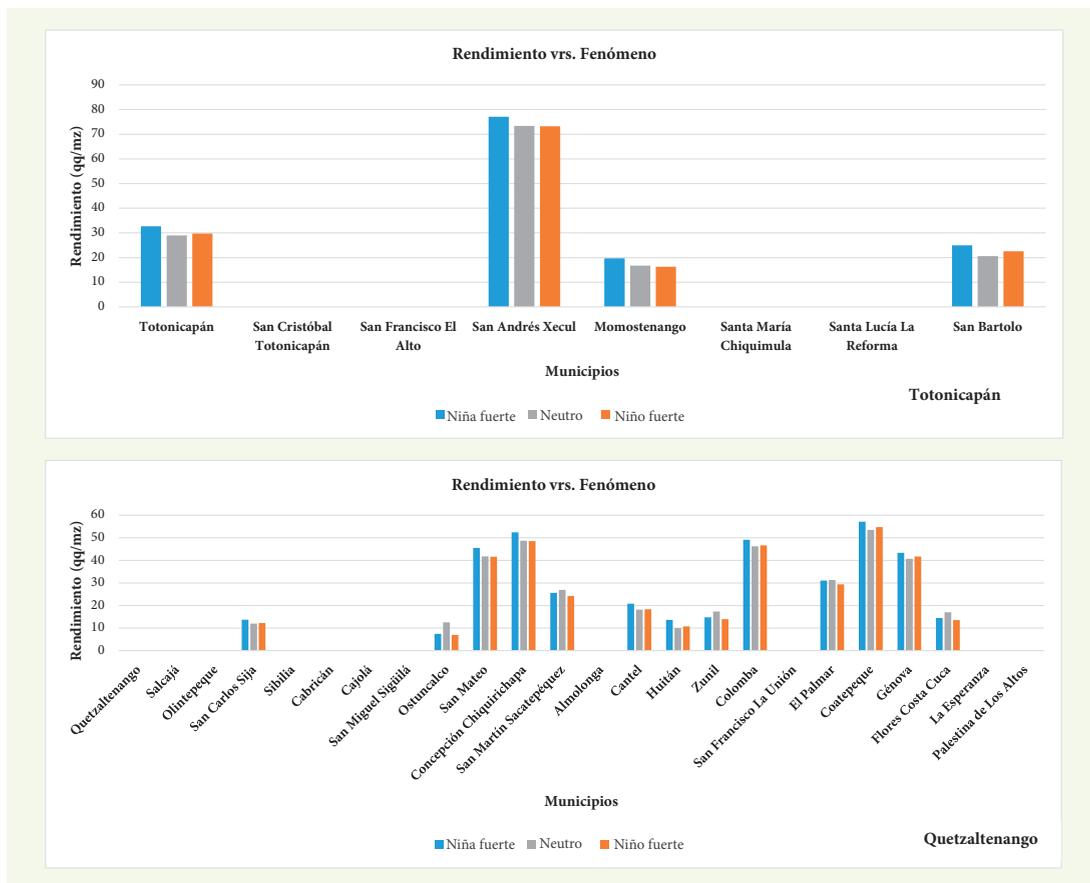
Los descensos drásticos del rendimiento del café se deben a condiciones de año El Niño.

**Figura 36.** Comparación de los rendimientos estandarizados de café con la serie de años



Fuente: Elaboración propia.

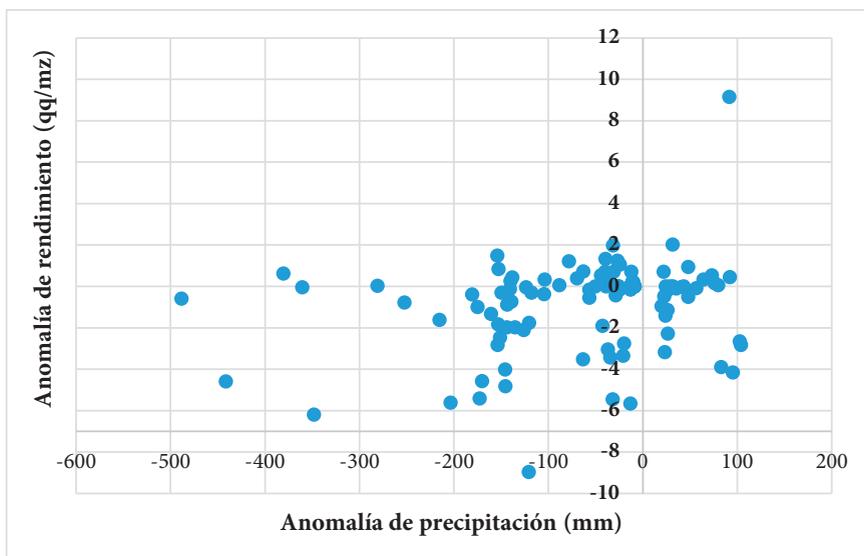
**Figura 37.** Comparación de los rendimientos del café en los municipios con producción del cultivo: años neutros, con efecto de El Niño y con efecto de La Niña





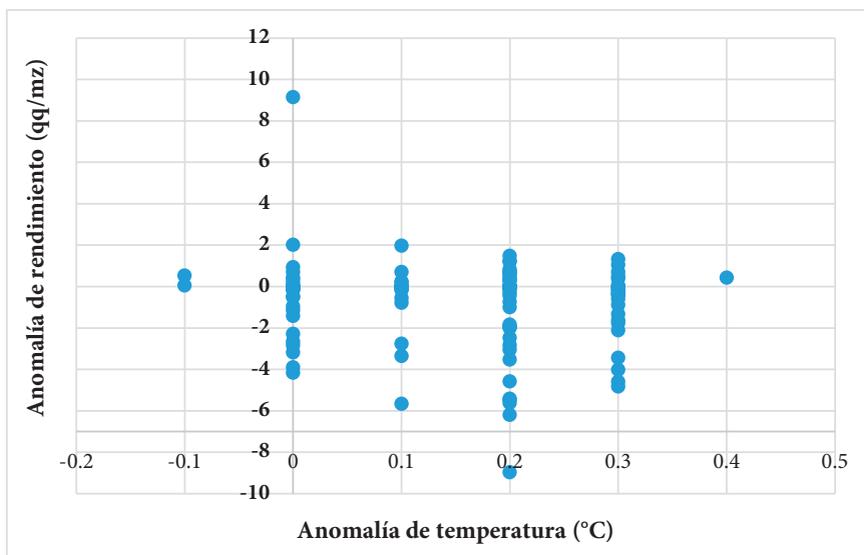
Fuente: Elaboración propia.

**Figura 38.** Efectos de las anomalías de precipitación en años de El Niño sobre el rendimiento de café



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 39.** Efectos de las anomalías de temperatura en los años de El Niño sobre el rendimiento de café



Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 29. Índice de sensibilidad de café a nivel municipal**

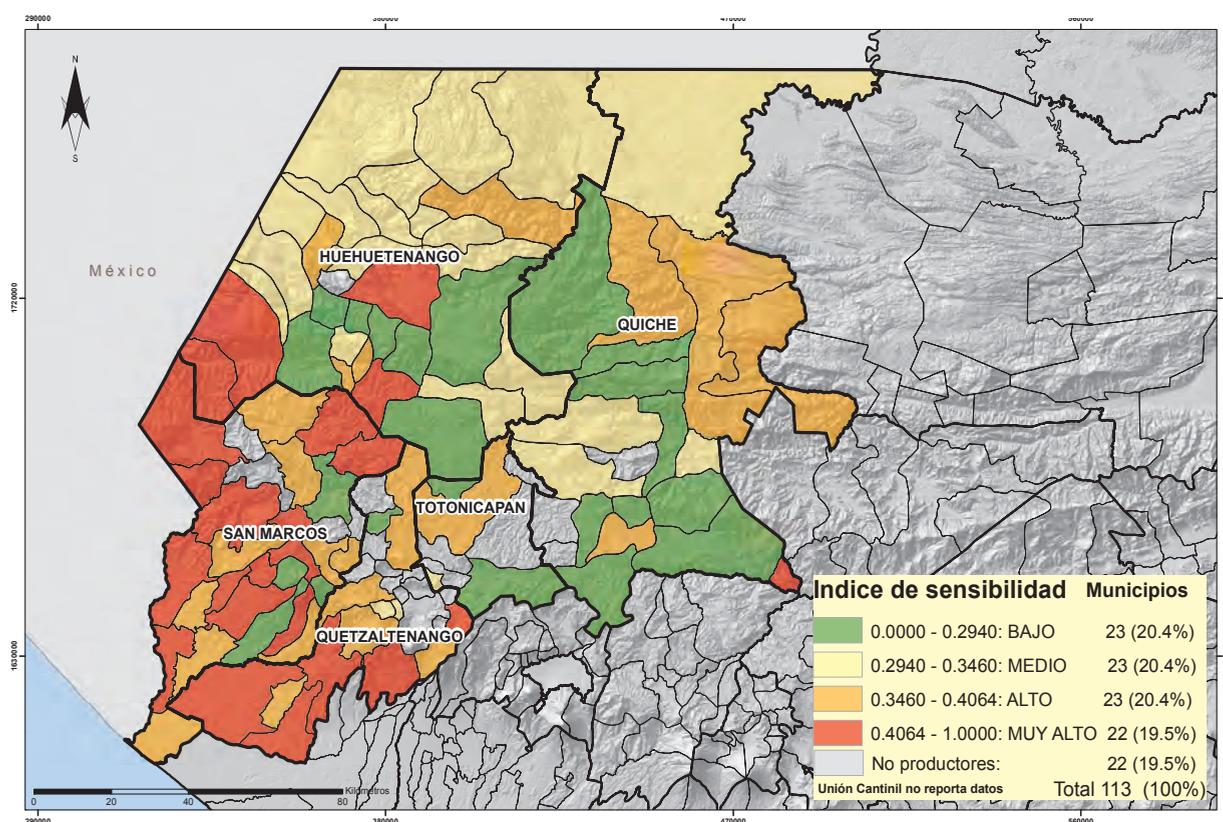
Código	Municipio	Anomalía (qq/mz)	Índice de sensibilidad del café	Código	Municipio	Anomalía (qq/mz)	Índice de sensibilidad del café
1212	Nuevo Progreso	9.6	0.00	1415	Uspantán	0.3	0.35
1410	Cunén	7.0	0.10	1222	Pajapita	0.3	0.35
1225	San Cristóbal Cucho	7.0	0.10	1317	Santa Eulalia	0.2	0.35
1413	Nebaj	5.8	0.14	1219	San Pablo	0.0	0.36
1303	Malacatancito	5.6	0.15	1210	Tejutla	-0.1	0.37
1401	Santa Cruz del Quiché	5.3	0.16	909	Ostuncalco	-0.2	0.37
1306	San Pedro Necta	4.8	0.18	805	Momostenango	-0.3	0.37
808	San Bartolo	4.6	0.19	1402	Chiché	-0.3	0.37
1302	Chiantla	4.5	0.19	1324	San Antonio Huista	-0.4	0.37
1309	Ixtahuacán	4.4	0.19	1220	El Quetzal	-0.4	0.37
1316	San Juan Atitán	4.0	0.21	1203	San Antonio Sacatepéquez	-0.4	0.38
1320	San Sebastián Huehuetenango	4.0	0.21	1405	Chajul	-0.5	0.38
1412	Joyabaj	3.5	0.23	1329	San Gaspar Ixchil	-0.5	0.38
1406	Chichicastenango	3.5	0.23	922	Flores Costa Cuca	-0.5	0.38
1403	Chinique	3.0	0.25	916	Zunil	-0.6	0.38
1227	Esquipulas Palo Gordo	2.7	0.26	1419	Chicamán	-0.6	0.38
1411	San Juan Cotzal	2.7	0.26	1202	San Pedro Sacatepéquez	-0.7	0.39
1404	Zacualpa	2.4	0.27	1216	Catarina	-0.9	0.40
801	Totonicapán	2.0	0.28	1328	San Rafael Petzal	-1.0	0.40
1204	Comitancillo	2.0	0.28	1218	Ocós	-1.1	0.40
1414	San Andrés Sajcabajá	2.0	0.28	912	San Martín Sacatepéquez	-1.1	0.40
915	Huitán	2.0	0.28	1206	Concepción Tutuapa	-1.2	0.41
1330	Santiago Chimaltenango	1.8	0.29	904	San Carlos Sija	-1.2	0.41
1323	San Juan Ixcay	1.7	0.30	1310	Santa Bárbara	-1.2	0.41
1322	Concepción Huista	1.6	0.30	1315	Todos Santos Cuchumatán	-1.3	0.41
1325	San Sebastián Coatán	1.6	0.30	1321	Tectitán	-1.4	0.41
1319	Colotenango	1.4	0.31	919	El Palmar	-1.4	0.41
1308	Soloma	1.3	0.31	1421	Pachalum	-1.5	0.42
1311	La Libertad	1.2	0.32	921	Génova	-1.5	0.42
910	San Mateo	1.2	0.32	1217	Ayutla	-1.6	0.42
1409	San Pedro Jocopilas	1.2	0.32	1215	Malacatán	-1.6	0.42
1418	Canillá	1.2	0.32	1201	San Marcos	-1.8	0.43
1416	Sacapulas	1.2	0.32	914	Cantel	-2.2	0.44
804	San Andrés Xecul	1.2	0.32	920	Coatepeque	-2.3	0.45
911	Concepción Chiquirichapa	1.2	0.32	917	Colomba	-2.4	0.45
1331	Santa Ana Huista	0.9	0.33	1209	Tajumulco	-2.5	0.46
1420	Ixcán	0.9	0.33	1304	Cuilco	-2.6	0.46
1314	San Rafael La Independencia	0.8	0.33	1214	El Rodeo	-3.2	0.48
1307	Jacaltenango	0.7	0.34	1207	Tacaná	-3.7	0.50
1312	La Democracia	0.6	0.34	1208	Sibinal	-3.7	0.50
1305	Nentón	0.5	0.34	1221	La Reforma	-3.8	0.50

Continuación del Cuadro 29

Código	Municipio	Anomalía (qq/mz)	Índice de sensibilidad del café	Código	Municipio	Anomalía (qq/mz)	Índice de sensibilidad del café
1313	San Miguel Acatán	0.5	0.34	1211	San Rafael Pie de la Cuesta	-4.6	0.53
1301	Huehuetenango	0.5	0.34	1213	El Tumbador	-5.3	0.56
1318	San Mateo Ixtatán	0.5	0.34	1205	San Miguel Ixtahuacán	-12.2	0.82
1326	Barillas	0.4	0.34	1226	Sipacapa	-16.9	1.00
1327	Aguacatán	0.4	0.35				

Fuente: Elaboración propia.

Figura 40. Índice de sensibilidad del rendimiento del cultivo de café



Fuente: Elaboración propia.

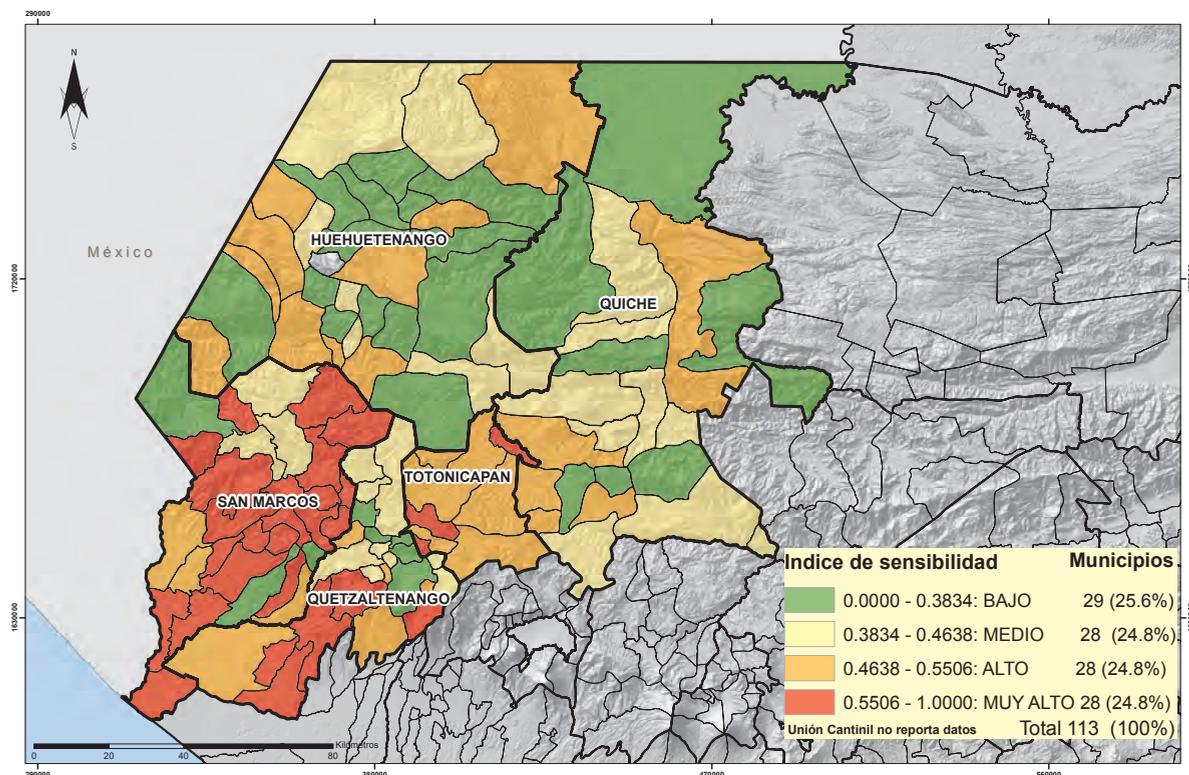
#### 6.3.2.4 Integración en el índice de sensibilidad de la producción

Dado que los índices se trabajaron con el mismo método, simplemente fueron sumados aritméticamente. El resultado fue transformado a índice con el método ya indicado y los valores

resultantes fueron utilizados para realizar el mapa de la Figura 41.

Es de hacer notar que la tendencia del rendimiento fue hacia la baja, aunque en algunos municipios ocurrió lo contrario.

**Figura 41.** Índice de sensibilidad de los rendimientos de los cultivos de maíz, frijol y café



Fuente: Elaboración propia.

### 6.3.3 Integración en el índice de sensibilidad hídrica y productiva actual (ISHP)

Los resultados de los dos índices de cada municipio se sumaron aritméticamente y luego se estandarizaron mediante valores Z.

$$\text{Valor Z} = \frac{\text{Valor observado} - \text{Valor medio de la serie}}{\text{Desviación estándar de la serie}}$$

Los resultados se observan en el Cuadro 30 y en el mapa de la Figura 42.

El departamento de Totonicapán es el territorio con mayor sensibilidad agregada, seguido del departamento de San Marcos. Las partes central y sur del departamento de Quiché muestran un alto número de municipios en la categoría de alta sensibilidad agregada.

**Cuadro 30. Municipios clasificados por categorías según el índice de sensibilidad hídrica y productiva (ISHP)**

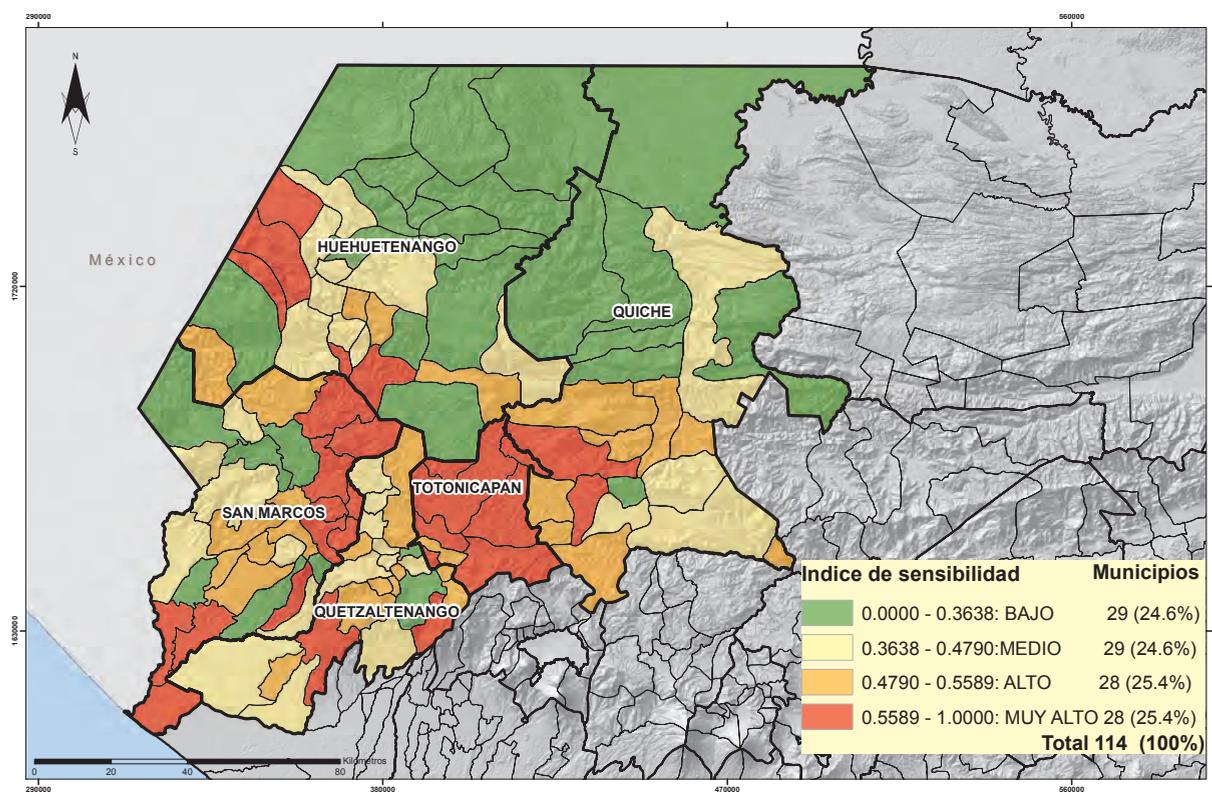
Departamento	Municipios por categoría y porcentaje respecto al departamento			
	Muy alto	Alto	Medio	Bajo
Huehuetenango	Santa Bárbara	Tectitán	San Antonio Huista	Barillas
	La Libertad	Huehuetenango	San Idelfonso Ixtahuacán	Malacatancito
	La Democracia	Santiago Chimaltenango	Jacaltenango	Concepción Huista
	San Gaspar Ixchil	San Juan Atitán	Aguacatán	Soloma
	Santa Ana Huista		San Pedro Necta	San Mateo Ixtatán
			Colotenango	San Miguel Acatán
			San Rafael Pétzal	Nentón
			Unión Cantinil	San Sebastián Huehuetenango
			Todos Santos Cuchumatán	Cuilco
				Chiantla
				San Rafael Independencia
				San Sebastián Coatán
				San Juan Ixcoy
			Santa Eulalia	
Porcentaje	15.63	12.50	28.13	43.75
Quetzaltenango	Colomba	Flores Costa Cuca	Cabricán	Quetzaltenango
	Zunil	San Mateo	Huitán	San Francisco La Unión
	Almolonga	San Martín Sacatepéquez	San Miguel Sigüilá	
		Palestina de los Altos	Génova	
		Concepción Chiquirichapa	Olintepeque	
		San Carlos Sija	Cajolá	
		La Esperanza	Coatepeque	
		Cantel	San Juan Ostuncalco	
		Salcajá	Sibilia	
			El Palmar	
Porcentaje	12.50	37.50	41.67	8.33
Quiché	Santa Cruz del Quiché	San Antonio Ilotenango	Joyabaj	Chajul
	San Pedro Jocopilas	Patzité	Zacualpa	Chinique
		Sacapulas	Chiché	San Juan Cotzal
		San Andrés Sajcabajá	Uspantán	Chicamán
		Chichicastenango		Cunén
		Canillá		Nebaj
		Pachalum		Playa Grande-Ixcán
		San Bartolomé Jocotenango		
Porcentaje	9.52	38.10	19.05	33.33
Totonicapán	San Andrés Xecul	San Cristóbal Totonicapán		
	Santa Lucía La Reforma			
	San Francisco El Alto			
	Momostenango			
	Totonicapán			
	San Bartolo			
Santa María Chiquimula				
Porcentaje	87.50	12.50	0.00	0.00

Continuación del Cuadro 30

Departamento	Municipios por categoría y porcentaje respecto al departamento			
	Muy alto	Alto	Medio	Bajo
San Marcos	Sipacapa	El Tumbador	Tajumulco	Catarina
	San Lorenzo	San Rafael Pie de la Cuesta	Sibinal	Tacaná
	Pajapita	San Pablo	Esquipulas Palo Gordo	Tejutla
	Río Blanco	San Marcos	San José Ojetenam	Ixchiguan
	San Miguel Ixtahuacán	El Rodeo	El Quetzal	San Cristóbal Cucho
	San Antonio Sacatepéquez	Concepción Tutuapa	Malacatán	Nuevo Progreso
	San Pedro Sacatepéquez			
	Ayutla			
	La Reforma			
	Comitancillo			
	Ocós			
Porcentaje	37.93	20.69	20.69	20.69

Fuente: Elaboración propia.

Figura 42. Índice de sensibilidad hídrica y productiva actual (ISHP)



Fuente: Elaboración propia.

## 6.4 Índice de capacidad de adaptación de la región al año 2011

### 6.4.1 Cálculo de los índices de densidad de población, servicios ecosistémicos e inseguridad alimentaria y nutricional

Para estimar la capacidad de adaptación de la región, se construyeron los siguientes índices:

1. Índice de densidad de población,
2. Índice de servicios ecosistémicos por la presencia de bosque denso, e
3. Índice de inseguridad alimentaria y nutricional.

Los dos primeros índices fueron calculados con base en los datos municipales de cada variable; estas series de datos contienen valores máximos y mínimos. Por lo tanto, la ecuación utilizada fue la siguiente:

$$\text{Índice} = \frac{Vo - Vmin}{Vmax - Vmin}$$

Donde:

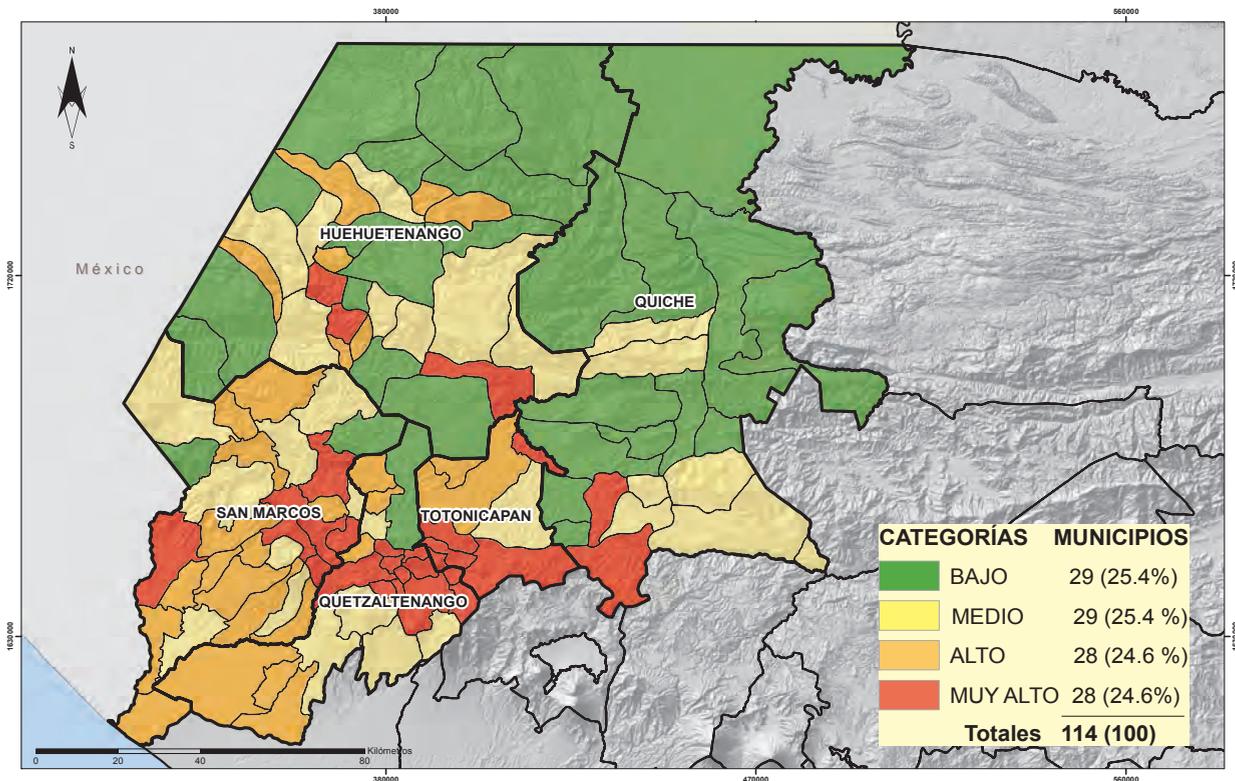
$V_o$  = Valor observado en el municipio (número de habitantes por superficie del municipio, porcentaje de superficie municipal con cobertura forestal)

$V_{min}$  = Valor mínimo observado de la serie de datos municipal

$V_{max}$  = Valor máximo observado de la serie de datos municipal

El índice de densidad de población se calculó con base en los datos de proyección de población del INE al 2010. En la Figura 43 se puede observar la distribución geográfica de los municipios, y en el Cuadro 31 el listado de municipios según la categoría.

Figura 43. Índice de densidad poblacional a nivel municipal



Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 31.** Listado de municipios, según categoría del índice de densidad poblacional

Departamento	Municipios por categoría y porcentaje respecto al departamento			
	Muy alto	Alto	Medio	Bajo
Huehuetenango	Huehuetenango	Unión Cantinil	San Sebastián Huehuetenango	Barillas
	San Pedro Necta	La Libertad	Aguacatán	Santiago Chimaltenango
	Colotenango	Soloma	San Juan Atitán	Concepción Huista
		Jacaltenango	San Miguel Acatán	San Juan Ixcoy
		San Gaspar Ixchil	La Democracia	San Sebastián Coatán
		San Rafael Independencia	San Idelfonso Ixtahuacán	Cuilco
		San Rafael Pétzal	Chiantla	Santa Eulalia
			San Antonio Huista	Todos Santos Cuchumatán
				Santa Bárbara
				San Mateo Ixtatán
				Nentón
				Santa Ana Huista
				Malacatancito
			Tectitán	
Porcentaje	9.38	21.90	25.00	43.75
Quetzaltenango	La Esperanza	Huitán	Colomba	San Carlos Sija
	Almolonga	Flores Costa Cuca	Sibilia	
	Quetzaltenango	Palestina de los Altos	San Martín Sacatepéquez	
	Salcá	Coatepeque	Zunil	
	Olintepeque	Cabricán	El Palmar	
	San Mateo	Génova		
	Cantel			
	Concepción Chiquirichapa			
	San Miguel Sigüilá			
	Cajolá			
	San Juan Ostuncalco			
San Francisco La Unión				
Porcentaje	50.00	25.00	20.83	4.17
Quiché	Santa Cruz del Quiché		Chiché	Patzitè
	Chichicastenango		Joyabaj	San Antonio Ilotenango
			Zacualpa	San Andrés Sajcabajá
			Chinique	San Bartolomé Jocotenango
			San Juan Cotzal	Sacapulas
			Cunén	Canillá
			Pachalum	Chajul
				San Pedro Jocopilas
				Nebaj
				Uspantán
				Chicamán
			Playa Grande-Ixcán	
Porcentaje	9.52	0.00	33.33	57.14

Continuación del Cuadro 31

Departamento	Municipios por categoría y porcentaje respecto al departamento			
	Muy alto	Alto	Medio	Bajo
San Marcos	San Pedro Sacatepéquez	Catarina	Tejutla	Sibinal
	San Cristóbal Cucho	San Pablo	Esquipulas Palo Gordo	Sipacapa
	Malacatán	San Rafael Pie de la Cuesta	Tajumulco	
	Comitancillo	El Rodeo	Tacaná	
	San Marcos	Ayutla	La Reforma	
	San Antonio Sacatepéquez	Ocós	San Miguel Ixtahuacán	
		Ixchiguán	Pajapita	
		El Quetzal	Río Blanco	
		San Lorenzo		
		Concepción Tutuapa		
		Nuevo Progreso		
		El Tumbador		
		San José Ojetenam		
Porcentaje	20.70	44.80	27.60	6.90
Totonicapán	San Andrés Xecul	Momostenango	Santa María Chiquimula	
	San Francisco El Alto	San Bartolo		
	San Cristóbal Totonicapán			
	Totonicapán			
	Santa Lucía La Reforma			
Porcentaje	62.50	25.00	12.50	0.00

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados, se observa que los departamentos con mayor número de municipios bajo la categoría **muy alta densidad** son:

- Totonicapán (62.5% de sus municipios), y
- Quetzaltenango (50% de sus municipios).

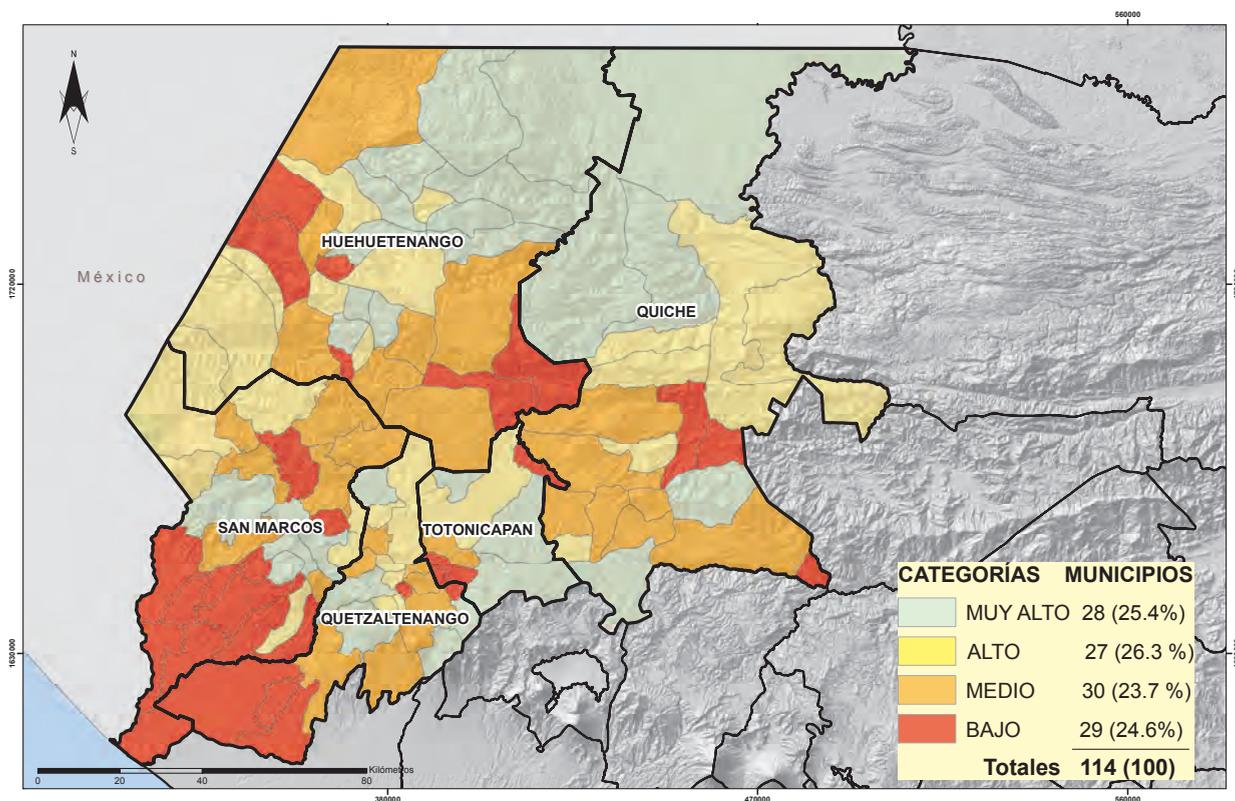
El *índice de servicios ecosistémicos* con base en el bosque se calculó a través de la superficie de cobertura boscosa a nivel municipal (INAB, 2010). En la Figura

44 se puede observar la distribución geográfica de los municipios, y en el Cuadro 32 el listado de municipios según la categoría.

Los departamentos con mayor cantidad de municipios con **muy alto índice de servicios ecosistémicos** con base en los bosques son:

- Totonicapán (37.5% de sus municipios), y
- Huehuetenango (34.38 de sus municipios).

Figura 44. Índice de servicios ecosistémicos con base en la presencia de bosque a nivel municipal



Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 32. Listado de municipios según categoría del índice de servicios ecosistémicos

Departamento	Municipios por categoría y porcentaje respecto al departamento			
	Muy alto	Alto	Medio	Bajo
Huehuetenango	San Mateo Ixtatán	Cuilco	San Antonio Huista	La Democracia
	San Juan Ixcoy	San Rafael Independencia	Chiantla	Huehuetenango
	Soloma	Tectitán	San Sebastián Huehuetenango	Unión Cantinil
	San Sebastián Coatán	Jacaltenango	Nentón	San Gaspar Ixchil
	San Miguel Acatán	San Pedro Necta	Santa Bárbara	Aguacatán
	Santa Eulalia	San Rafael Pétzal	San Idelfonso Ixtahuacán	Santa Ana Huista
	Santiago Chimaltenango	Todos Santos Cuchumatán	Malcatancito	
	San Juan Atitán	La Libertad		
	Concepción Huista			
	Barillas			
Porcentaje	34.38	25.00	21.88	18.75

Continuación del Cuadro 32

Departamento	Municipios por categoría y porcentaje respecto al departamento			
	Muy alto	Alto	Medio	Bajo
Quetzaltenango	Zunil	Concepción Chiquirichapa	San Carlos Sija	Coatepeque
	San Martín Sacatepéquez	San Miguel Sigüilá	El Palmar	La Esperanza
	Cabricán	San Mateo	Palestina de los Altos	Génova
	San Juan Ostuncalco	Cajolá	Quetzaltenango	Flores Costa Cuca
	Cantel	Almolonga	San Francisco La Unión	Salcajá
		Huitán	Olintepeque	
		Sibilia		
		Colomba		
Porcentaje	20.83	25.00	33.33	20.83
Quiché	Chajul	San Juan Cotzal	San Pedro Jocopilas	Canillá
	Zacualpa	Chicamán	Santa Cruz del Quiché	San Andrés Sajcabajá
	Nebaj	San Bartolomé Jocotenango	Chinique	Pachalum
	Playa Grande-Ixcán	Cunén	San Antonio Ilotenango	
	Chichicastenango	Uspantán	Chiché	
		Patzité	Joyabaj	
		Sacapulas		
Porcentaje	23.81	28.57	33.33	14.29
San Marcos	Esquipulas Palo Gordo	Tacaná	San Pablo	San Lorenzo
	Tajumulco	Concepción Tutuapa	San José Ojetenam	Nuevo Progreso
	San Marcos	Sibinal	Sipacapa	Tejutla
	San Pedro Sacatepéquez	Río Blanco	San Cristóbal Cucho	El Quetzal
		La Reforma	San Miguel Ixtahuacán	El Tumbador
		San Antonio Sacatepéquez	Ixchiguán	Pajapita
			Comitancillo	Malacatán
				San Rafael Pie de la Cuesta
				El Rodeo
				Ocós
			Catarina	
			Ayutla	
Porcentaje	13.79	20.69	24.14	41.38
Tonicapán	Tonicapán	Momostenango	San Francisco El Alto	San Andrés Xecul
	San Bartolo			Santa Lucía La Reforma
	Santa María Chiquimula			San Cristóbal Tonicapán
Porcentaje	37.50	12.50	12.50	37.50

Fuente: Elaboración propia.

Para construir el *índice de inseguridad alimentaria y nutricional* se utilizaron las variables que se muestran en el Cuadro 33.

Los pesos asignados a las variables para construir el *índice de inseguridad alimentaria* se tomaron del estudio de IVISAN (MAGA y SESAN, 2012), y el procedimiento utilizado se ejemplifica en el Cuadro 34.

Los datos del *índice de inseguridad alimentaria* de cada municipio fueron distribuidos en cuatro grupos o “cuartiles”. Según los límites de los datos en cada

cuartil se calificaron las siguientes categorías: Muy alto, alto, medio y bajo. Los colores utilizados en el análisis siguen el concepto del semáforo, donde el color rojo indica las condiciones más desfavorables.

En la Figura 45 se observa la distribución geográfica de los municipios con su respectiva categoría, y en el Cuadro 35, el listado municipal.

El mayor porcentaje de municipios con muy alta inseguridad alimentaria y nutricional se encuentra en el departamento de Quiché, y en los departamentos de Huehuetenango y Totonicapán.

**Cuadro 33. Variables para el cálculo del *índice de inseguridad alimentaria***

Variables / Indicadores	Datos originales	Fuente y año	Actualización y/o creación
Déficit de granos básicos	Producción de maíz y frijol (en quintales).	IV Censo Nacional Agropecuario (INE, 2003).	Actualizado al 2011 por comparación de censos agropecuarios y crecimiento de población.
	Total de la población por municipio.	XI Censo de población y VI de habitación (INE, 2002).	Actualizado al 2010 a partir de proyecciones del INE.
	Necesidades alimentarias diarias: 282 gramos (222 gr de maíz y 60 gr de frijol).	La canasta básica de alimentos (Menchú, M. 2003, INCAP).	Actualizado al 2011.
Pobreza extrema	Porcentaje de la población en pobreza extrema.	XI Censo de población y VI de habitación (INE, 2002).	IVISAN (2011).
Índice de precariedad ocupacional	Relaciona variables de ocupación principal, categoría ocupacional, rama de actividad y escolaridad en años.	Elaborado por Gustavo Arriola del INDH, con datos del XI Censo de población y VI de habitación (INE, 2002).	IVISAN (2011).
Analfabetismo	Porcentaje de la población analfabeta mayor de 15 años.	XI Censo de población y VI de habitación (INE, 2002).	CONALFA (2011).
Índice de saneamiento ambiental	Porcentaje de hogares por municipio conectados a la red de agua y drenajes, hacinamiento y quema de basura.	XI Censo de población y VI de habitación (INE, 2002).	IVISAN (2011).

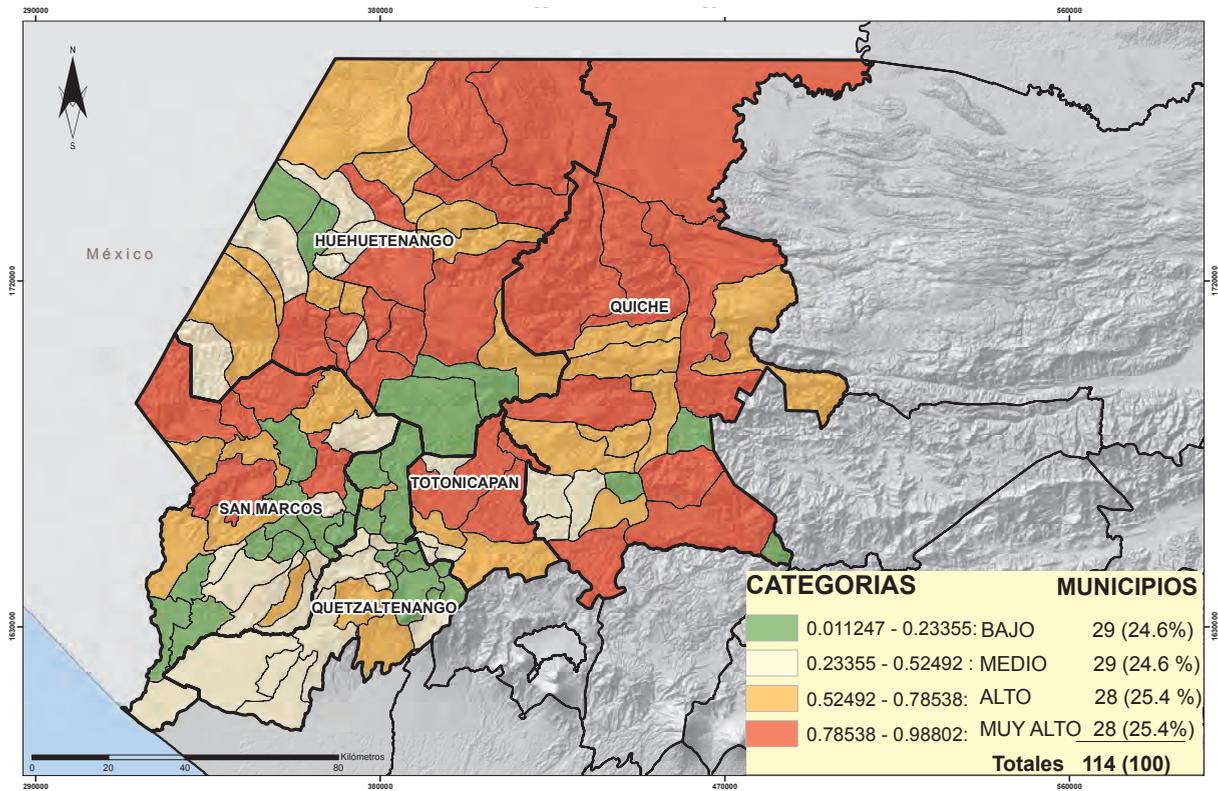
Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 34. Procedimiento para obtener el *índice de inseguridad alimentaria***

Pesos según estudio IVISAN	0.068882	0.271969944	0.23791636	0.308736758	0.112494892	Suma de los datos por su respectivo peso	Cambio a valores Z	Distribución normal estandarizada	Clasificación
Variables	Déficit de granos básicos	Pobreza extrema	Precariedad ocupacional	Analfabetismo	Saneamiento ambiental				
Municipios	0.5132 * peso	0.6747 * peso	0.7718 * peso	0.3996 * peso	0.3189 * peso				
Comitancillo	0.035351649	0.1835137	0.18364182	0.123390888	0.04	0.561774969	1.229332064	0.8905	Muy alto

Fuente: Elaboración propia.

Figura 45. Índice integrado de inseguridad alimentaria



Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 35. Listado de municipios según categoría del índice de inseguridad alimentaria

Departamento	Municipios por categoría y porcentaje respecto al departamento			
	Muy alto	Alto	Medio	Bajo
Huehuetenango	Barillas	Nentón	Jacaltenango	Santa Ana Huista
	San Mateo Ixtatán	San Sebastián Coatán	La Democracia	San Antonio Huista
	Santa Eulalia	San Rafael Independencia	San Rafael Pétzal	Huehuetenango
	San Miguel Acatán	Soloma	Tectitán	Malacatancito
	Chiantla	San Juan Ixcoy	Unión Cantinil	
	San Juan Atitán	La Libertad	Concepción Huista	
	San Idelfonso Ixtahuacán	Cuilco		
	San Sebastián Huehuetenango	Aguacatán		
	Colotenango	Santiago Chimaltenango		
	San Gaspar Ixchil	San Pedro Necta		
Santa Bárbara				
Todos Santos Cuchumatán				
Porcentaje	37.5	31.25	18.8	12.5

Departamento	Municipios por categoría y porcentaje respecto al departamento			
	Muy alto	Alto	Medio	Bajo
Quetzaltenango		Huitán	Palestina de los Altos	San Carlos Sija
		San Martín Sacatepéquez	Cajolá	Cabricán
		El Palmar	San Juan Ostuncalco	Sibilia
			Concepción Chiquirichapa	San Francisco La Unión
			Colomba	San Miguel Sigüilá
			Zunil	Olintepeque
			Coatepeque	La Esperanza
			Flores Costa Cuca	Salcajá
			Génova	Quetzaltenango
				San Mateo
			Cantel	
			Almolonga	
Porcentaje	0.0	12.5	37.5	50.0
Quiché	Playa Grande-Ixcán	Chicamán	San Antonio Ilotenango	Canillá
	Nebaj	San Juan Cotzal	Santa Cruz del Quiché	Chinique
	Chajul	Cunén	Patzité	Pachalum
	Uspantán	San Andrés Sajcabajá		
	Sacapulas	San Pedro Jocopilas		
	Zacualpa	San Bartolomé Jocotenango		
	Joyabaj	Chiché		
	Chichicastenango			
Porcentaje	38.1	33.3	14.3	14.3
San Marcos	Tacaná	San Miguel Ixtahuacán	Sipacapa	Tejutla
	Concepción Tutuapa	Ixchiguán	San Lorenzo	Río Blanco
	San José Ojetenam	Sibinal	El Rodeo	San Marcos
	Comitancillo	San Pablo	San Cristóbal Cucho	San Pedro Sacatepéquez
	Tajumulco	Malacatán	El Tumbador	San Antonio Sacatepéquez
		La Reforma	Nuevo Progreso	San Rafael Pie de la Cuesta
			El Quetzal	Esquipulas Palo Gordo
			Ocós	Catarina
				Pajapita
			Ayutla	
Porcentaje	17.2	20.7	27.6	34.5
Totonicapán	Momostenango	San Francisco El Alto	San Bartolo	
	Santa Lucía La Reforma	Totonicapán	San Cristóbal Totonicapán	
	Santa María Chiquimula		San Andrés Xecul	
Porcentaje	37.5	25.0	37.5	0.0

Fuente: Elaboración propia.

## 6.4.2

### Integración del índice de capacidad de adaptación

El índice de capacidad de adaptación se construyó a partir de tres índices que han sido discutidos anteriormente:

- Densidad de población,
- Servicios ecosistémicos con base en el bosque, e
- Índice de inseguridad alimentaria y nutricional.

Para poder integrarlos en un solo índice fue necesario asignarles pesos, lo cual fue realizado por el equipo de expertos mediante el método de jerarquías analíticas (AHP), descrito ampliamente en el numeral 6.2.7.

El resultado del análisis se muestra en el siguiente recuadro:

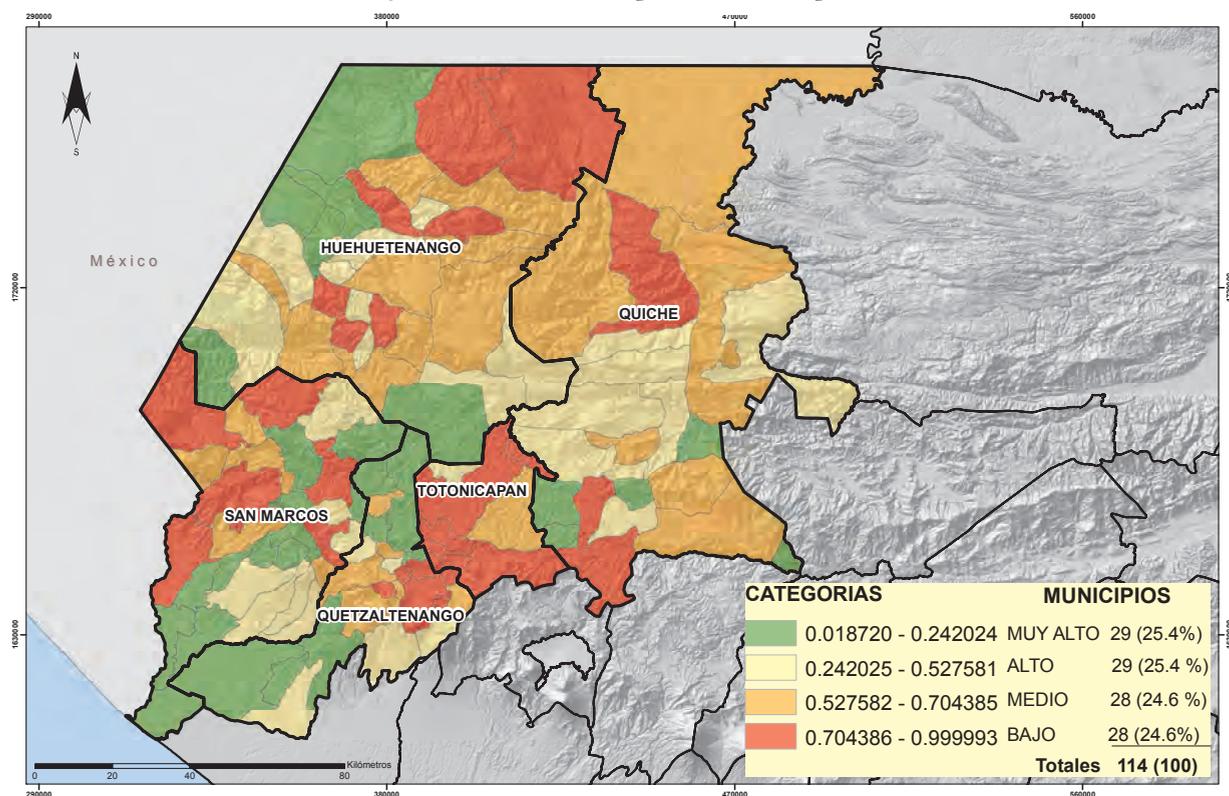
[0.636986] ..... Densidad población  
 [0.258253] ..... Inseguridad alimentaria  
 [0.104729] ..... Servicios ecosistémicos

Como resultado de la aplicación del método, el coeficiente de incoherencia tuvo un valor muy bajo de 0.047725, lo cual es aceptado como un juicio informado. En este análisis, la densidad de población juega un papel preponderante, ya que el aumento de población incrementa la presión sobre los recursos naturales de los territorios analizados.

El mapa resultante se muestra en la Figura 46, un ejemplo del método de cálculo por municipio en el Cuadro 36 y el listado de los municipios según su categoría de capacidad de adaptación en el Cuadro 37.

Acorde a los resultados, el departamento con los peores valores del índice es Totonicapán, donde el 75% de sus municipios tiene una baja capacidad de adaptación climática.

Figura 46. Índice de capacidad de adaptación



Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 36.** Procedimiento para obtener el *índice de capacidad de adaptación*

Pesos obtenidos por Saaty	0.636986	0.104729	0.25829	Suma de los datos por su respectivo peso	Cambio a valores Z	Distribución normal estandarizada	Clasificación
Índices	Densidad de población	Servicios ecosistémicos	INSAN				
Municipios (valor del índice por el peso)	0.113716 * 0.636986	0.5 * 0.104729	0.26496 * 0.258285				
Jacaltenango	0.0724356	0.052386284	0.0684354	0.19325732	-0.7102	0.238781939	Muy alto

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 37.** Listado de municipios según categoría del *índice de capacidad de adaptación*

Departamento	Municipios por categoría y porcentaje respecto al departamento			
	Muy alto	Alto	Medio	Bajo
Huehuetenango	Nentón	San Rafael Independencia	San Sebastián Coatán	Barillas
	Jacaltenango	La Democracia	Santa Eulalia	San Mateo Ixtatán
	Santa Ana Huista	Cuilco	San Juan Ixcoy	San Miguel Acatán
	San Antonio Huista	Aguacatán	Chiantla	Soloma
	Tectitán	San Rafael Pézcal	La Libertad	San Juan Atitán
	Malacatancito	Huehuetenango	San Idelfonso Ixtahuacán	Colotenango
		Unión Cantinil	San Sebastián Huehuetenango	San Pedro Necta
		Concepción Huista	San Gaspar Ixchil	
		Santiago Chimaltenango	Santa Bárbara	
			Todos Santos Cuchumatán	
Porcentaje	18.8	28.1	31.3	21.9
Quetzaltenango	San Carlos Sija	Palestina de los Altos	Huitán	Olintepeque
	Cabricán	San Miguel Sigüilá	Cajolá	La Esperanza
	Sibilia	Zunil	San Juan Ostuncalco	Salcajá
	San Francisco La Unión	El Palmar	San Mateo	Quetzaltenango
	Colomba	Génova	Cantel	Concepción Chiquirichapa
	Coatepeque		San Martín Sacatepéquez	Almolonga
	Flores Costa Cuca			
Porcentaje	29.2	20.8	25.0	25.0
Quiché	Canillá	Chicamán	Playa Grande-Ixcán	Chajul
	San Antonio Ilotenango	San Juan Cotzal	Nebaj	Santa Cruz del Quiché
	Chinique	Cunén	Uspantán	Chichicastenango
	Patzité	San Andrés Sajcabajá	San Bartolomé Jocotenango	
	Pachalum	Sacapulas	Zacualpa	
		San Pedro Jocopilas	Joyabaj	
		Chiché		
Porcentaje	23.8	33.3	28.6	14.3

Departamento	Municipios por categoría y porcentaje respecto al departamento			
	Muy alto	Alto	Medio	Bajo
San Marcos	Sipacapa	San Miguel Ixtahuacán	San José Ojetenam	Tacaná
	Tejutla	San Lorenzo	Ixchiguán	Concepción Tutuapa
	Río Blanco	San Antonio Sacatepéquez	Sibinal	Comitancillo
	San Marcos	El Tumbador	San Pablo	Tajumulco
	San Rafael Pie de la Cuesta	Nuevo Progreso	San Cristóbal Cucho	Malacatán
	Esquipulas Palo Gordo	La Reforma		San Pedro Sacatepéquez
	El Rodeo	El Quetzal		
	Catarina			
	Pajapita			
	Ayutla			
Ocós				
Porcentaje	37.9	24.1	17.2	20.7
Tonicapán		San Bartolo	Santa María Chiquimula	Momostenango
				Santa Lucía La Reforma
				San Francisco El Alto
				San Cristóbal Tonicapán
				Tonicapán
Porcentaje	0.0	12.5	12.5	75.0

Fuente: Elaboración propia.

## 6.5 La vulnerabilidad climática actual

En este capítulo se integran los tres índices sintéticos elaborados y se calcula la vulnerabilidad climática actual. Se procedió a darle peso a cada índice con el *método de jerarquías analíticas* (AHP). El resultado se muestra en el siguiente recuadro:

[0.3873]..... Índice de exposición  
 [0.1692] .....Índice de sensibilidad (H+P)  
 [0.4434]..... Índice de capacidad de adaptación

El *coeficiente de incoherencia* dio un valor muy bajo (0.01718), lo que indica un juicio experto informado. El resultado obtenido indica que la capacidad de adaptación tiene el mayor peso de los tres índices.

Los valores municipales de los índices fueron multiplicados por su peso correspondiente. El Cuadro 38 muestra un ejemplo.

Con los valores obtenidos se elaboró el mapa que se muestra en la Figura 47, y el listado de los municipios con sus categorías, que se incluye en el Cuadro 39. Se observa que el departamento con mayor vulnerabilidad climática es Tonicapán, casi con el 100% de sus municipios en esa categoría.

Asimismo, existe una franja aproximadamente horizontal en las tierras altas de Quetzaltenango y San Marcos que son muy vulnerables y conectan con un eje vertical que sube hasta el centro del departamento de Huehuetenango.

El sur de Quiché también presenta municipios con muy alta y alta vulnerabilidad.

Por último, se hizo un análisis de correlación entre el *índice de vulnerabilidad* y el *índice de capacidad*

de adaptación. El valor del coeficiente de Pearson dio  $-0.7959$ , lo cual indica que están fuertemente correlacionados. El signo negativo muestra que al subir la capacidad adaptativa baja la vulnerabilidad.

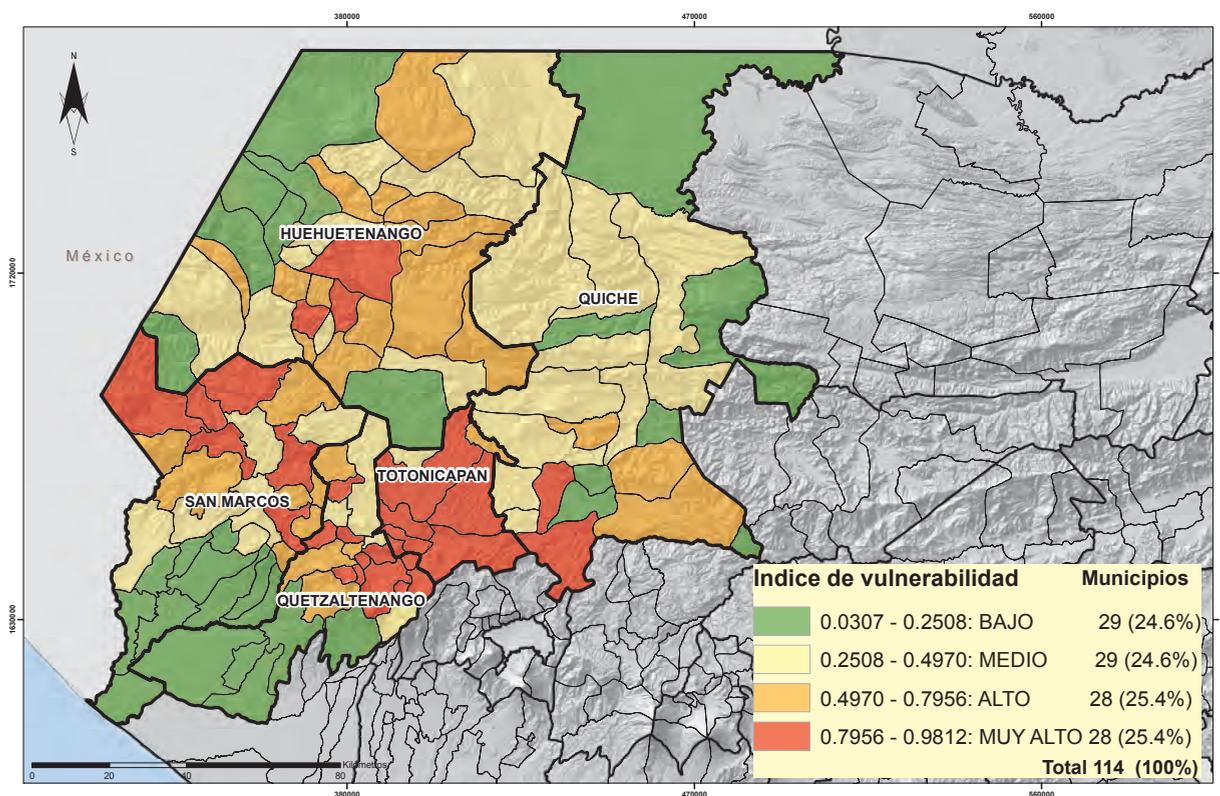
Esto quiere decir que las medidas de adaptación que la población pueda efectuar en estos territorios son la clave para que puedan enfrentar la vulnerabilidad climática.

**Cuadro 38.** Procedimiento para obtener el *índice de vulnerabilidad climática actual*

Pesos obtenidos por Saaty	0.3873	0.1692	0.4434	Suma de los datos según fórmula de la vulnerabilidad (exposición + sensibilidad) - capacidad de adaptación	Cambio a valores Z	Distribución normal estandarizada	Clasificación
Índices	Exposición	Sensibilidad	Capacidad de adaptación				
Municipios (valor del índice por el peso)	$0.2150 * 0.3873$	$0.2862 * 0.1692$	$0.6047 * 0.4434$				
San Juan Cotzal	0.08330364	0.048432898	0.268138914	-0.136402378	-0.97368	0.16510871	Bajo

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 47.** Índice de vulnerabilidad climática actual



Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 39.** Listado de municipios, según categoría del *índice de vulnerabilidad al cambio climático*

Departamento	Municipios por categoría y porcentaje respecto al departamento			
	Muy alto	Alto	Medio	Bajo
Huehuetenango	San Juan Atitán	Soloma	San Sebastián Coatlán	Tectitán
	Todos Santos Cuchumatán	Santiago Chimaltenango	San Idelfonso Ixtahuacán	La Democracia
	Colotenango	Chiantla	Barillas	Jacaltenango
		San Sebastián Huehuetenango	Concepción Huista	Malacatancito
		San Pedro Necta	Cuilco	Nentón
		San Rafael Independencia	Unión Cantinil	San Antonio Huista
		Santa Bárbara	Santa Eulalia	Santa Ana Huista
		San Miguel Acatán	San Rafael Pétzal	
		San Mateo Ixtatán	Huehuetenango	
		San Juan Ixcoy		
		La Libertad		
		Aguacatán		
	San Gaspar Ixchil			
Porcentaje	9.40	40.60	28.13	21.88
Quetzaltenango	Almolonga	San Juan Ostuncalco	Zunil	El Palmar
	Concepción Chiquirichapa	San Miguel Sigüilá	San Francisco La Unión	Colomba
	La Esperanza	San Martín Sacatepéquez	Sibilia	Génova
	Quetzaltenango	Cabricán	San Carlos Sija	Flores Costa Cuca
	Huitán			Coatepeque
	Olintepeque			
	Cantel			
	San Mateo			
	Cajolá			
	Salcajá			
Palestina de los Altos				
Porcentaje	45.80	16.70	16.70	20.83
Quiché	Santa Cruz del Quiché	Zacualpa	Cunén	Chicamán
	Chichicastenango	San Bartolomé Jocotenango	San Pedro Jocopilas	Playa Grande-Ixcán
		Joyabaj	Sacapulas	Chiché
			Nebaj	San Juan Cotzal
			Chajul	Canillá
			San Andrés Sajcabajá	Chinique
			Uspantán	Pachalum
			San Antonio Ilotenango	
		Patzité		
Porcentaje	9.52	14.29	42.86	33.33

Departamento	Municipios por categoría y porcentaje respecto al departamento			
	Muy alto	Alto	Medio	Bajo
San Marcos	Comitancillo	San Lorenzo	San Marcos	La Reforma
	San Pedro Sacatepéquez	Sibinal	Tejutla	El Quetzal
	Concepción Tutuapa	San Antonio Sacatepéquez	Sipacapa	El Tumbador
	San José Ojetenam	San Miguel Ixtahuacán	Esquipulas Palo Gordo	Ocós
	Tacaná	Tajumulco	Malacatán	El Rodeo
	Ixchiguán	Río Blanco	San Pablo	San Rafael Pie de la Cuesta
		San Cristóbal Cucho		Nuevo Progreso
			Ayutla	
			Pajapita	
			Catarina	
Porcentaje	20.69	24.14	20.69	34.48
Totonicapán	San Andrés Xecul	Santa Lucía La Reforma	San Bartolo	
	San Francisco El Alto			
	Totonicapán			
	San Cristóbal Totonicapán			
	Momostenango			
	Santa María Chiquimula			
Porcentaje	75.00	12.50	12.50	0.00

Fuente: Elaboración propia.

### 6.5.1 Municipios ordenados según el índice de vulnerabilidad climática actual

En el Cuadro 40 se observa el listado de municipios ordenados de mayor a menor conforme su valor

del *índice de vulnerabilidad* (que es un índice cuantitativo).

**Cuadro 40.** Listado de municipios según el orden descendente del *índice de vulnerabilidad climática*

Índice de vulnerabilidad	Municipio	Departamento
0.981252	San Andrés Xecul	Totonicapán
0.971805	San Francisco El Alto	Totonicapán
0.963927	Almolonga	Quetzaltenango
0.958732	Totonicapán	Totonicapán
0.957279	Concepción Chiquirichapa	Quetzaltenango
0.955923	Comitancillo	San Marcos
0.950829	La Esperanza	Quetzaltenango
0.945990	Santa Cruz del Quiché	Quiché
0.936978	San Pedro Sacatepéquez	San Marcos
0.928063	Concepción Tutuapa	San Marcos

Continuación del Cuadro 40

Índice de vulnerabilidad	Municipio	Departamento
0.920856	Chichicastenango	Quiché
0.920736	Quetzaltenango	Quetzaltenango
0.916243	San Juan Atitán	Huehuetenango
0.904540	San Cristóbal Totonicapán	Totonicapán
0.891465	Huitán	Quetzaltenango
0.891248	Olintepeque	Quetzaltenango
0.882348	Cantel	Quetzaltenango
0.871375	San Mateo	Quetzaltenango
0.863505	Momostenango	Totonicapán
0.858921	San José Ojetenam	San Marcos
0.841052	Todos Santos Cuchumatán	Huehuetenango
0.835195	Cajolá	Quetzaltenango
0.829227	Salcajá	Quetzaltenango
0.824574	Tacaná	San Marcos
0.815762	Palestina de los Altos	Quetzaltenango
0.812721	Santa María Chiquimula	Totonicapán
0.798726	Ixchiguán	San Marcos
0.796338	Colotenango	Huehuetenango
0.795681	San Juan Ostuncalco	Quetzaltenango
0.758816	San Lorenzo	San Marcos
0.748196	Soloma	Huehuetenango
0.742799	Santiago Chimaltenango	Huehuetenango
0.733459	Chiantla	Huehuetenango
0.732715	San Sebastián Huehuetenango	Huehuetenango
0.683976	San Miguel Sigüilá	Quetzaltenango
0.682842	Sibinal	San Marcos
0.681423	San Antonio Sacatepéquez	San Marcos
0.669509	San Miguel Ixtahuacán	San Marcos
0.660750	Santa Lucía La Reforma	Totonicapán
0.654395	San Pedro Necta	Huehuetenango
0.651234	San Rafael Independencia	Huehuetenango
0.650639	San Martín Sacatepéquez	Quetzaltenango
0.638606	Santa Bárbara	Huehuetenango
0.636057	Zacualpa	Quiché
0.623302	San Miguel Acatán	Huehuetenango
0.613857	San Mateo Ixtatán	Huehuetenango
0.599018	Tajumulco	San Marcos
0.561004	San Bartolomé Jocotenango	Quiché
0.555582	San Juan Ixcoy	Huehuetenango
0.554134	Río Blanco	San Marcos
0.544540	La Libertad	Huehuetenango
0.543173	Cabricán	Quetzaltenango
0.542239	San Cristóbal Cucho	San Marcos
0.532743	Joyabaj	Quiché

Continuación del Cuadro 40

Índice de vulnerabilidad	Municipio	Departamento
0.502663	San Gaspar Ixchil	Huehuetenango
0.499985	Aguacatán	Huehuetenango
0.497010	San Sebastián Coatán	Huehuetenango
0.480130	San Marcos	San Marcos
0.468263	San Idelfonso Ixtahuacán	Huehuetenango
0.450369	Cunén	Quiché
0.449552	San Pedro Jocopilas	Quiché
0.431711	Tejutla	San Marcos
0.430160	Sipacapa	San Marcos
0.425015	Barillas	Huehuetenango
0.414297	Sacapulas	Quiché
0.413779	San Francisco La Unión	Quetzaltenango
0.411267	Zunil	Quetzaltenango
0.387738	Concepción Huista	Huehuetenango
0.379550	Sibilia	Quetzaltenango
0.374484	San Bartolo	Totonicapán
0.370571	Cuilco	Huehuetenango
0.370463	Unión Cantinil	Huehuetenango
0.367467	Nebaj	Quiché
0.343224	Chajul	Quiché
0.339332	Santa Eulalia	Huehuetenango
0.334971	San Carlos Sija	Quetzaltenango
0.320412	Esquipulas Palo Gordo	San Marcos
0.319981	San Rafael Pétzal	Huehuetenango
0.306299	San Andrés Sajcabajá	Quiché
0.300201	Uspantán	Quiché
0.298296	Malacatán	San Marcos
0.292330	Huehuetenango	Huehuetenango
0.288745	San Pablo	San Marcos
0.286720	San Antonio Ilotenango	Quiché
0.277333	Patzité	Quiché
0.250896	La Reforma	San Marcos
0.226542	Chicamán	Quiché
0.222433	Tectitán	Huehuetenango
0.209255	Chiché	Quiché
0.206004	Playa Grande-Ixcán	Quiché
0.205049	La Democracia	Huehuetenango
0.200680	Jacaltenango	Huehuetenango
0.165109	San Juan Cotzal	Quiché
0.136793	Canillá	Quiché
0.115170	El Palmar	Quetzaltenango
0.108342	Malacatancito	Huehuetenango

Continuación del Cuadro 40

Índice de vulnerabilidad	Municipio	Departamento
0.103081	Nentón	Huehuetenango
0.099649	El Quetzal	San Marcos
0.099086	San Antonio Huista	Huehuetenango
0.092041	Chinique	Quiché
0.089954	El Tumbador	San Marcos
0.087930	Ocós	San Marcos
0.073388	Colomba	Quetzaltenango
0.066695	Santa Ana Huista	Huehuetenango
0.065063	Génova	Quetzaltenango
0.061096	Flores Costa Cuca	Quetzaltenango
0.056243	Pachalum	Quiché
0.054458	El Rodeo	San Marcos
0.047824	Coatepeque	Quetzaltenango
0.046527	San Rafael Pie de la Cuesta	San Marcos
0.044431	Nuevo Progreso	San Marcos
0.043532	Ayutla	San Marcos
0.038638	Pajapita	San Marcos
0.030791	Catarina	San Marcos

Fuente: Elaboración propia.



Un ejemplo de vulnerabilidad en el altiplano occidental de Guatemala son los derrumbes.

## 6.6 La vulnerabilidad climática futura (al año 2050)

En esta parte del estudio se estimó la vulnerabilidad climática de la región de occidente al año 2050. Se utilizaron los mismos métodos empleados para el cálculo de la vulnerabilidad actual, agregándose algunos procedimientos que se especifican en cada apartado.

Al referirse a escenarios, modelos y análisis a futuro se coincide con las conclusiones de las iniciativas “La economía del cambio climático en Centroamérica” (ECCA) e “Impactos potenciales del cambio climático sobre los granos básicos en Centroamérica” (CEPAL, 2014), que indican que: ...“por tratarse de escenarios a largo plazo que integran diversas capas de análisis con incertidumbres y dificultades metodológicas, los resultados deben interpretarse como tendencias y magnitudes relativas, no como predicciones ni como magnitudes exactas”.

### 6.6.1 Climatología base y escenarios de emisiones

Se utilizó el registro histórico de las estaciones climáticas, con el fin de obtener los mapas de temperatura y precipitación (línea base de este estudio), con los métodos ya descritos en este documento.

Se analizaron las familias de líneas evolutivas y los escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI): los denominados menos pesimistas (familia B1 y B2) y los más pesimistas (A1 y A2), definidos por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2007).

Se utilizaron los siguientes cortes: años 2030, 2050, 2070 y 2090, que correspondieron a los promedios de una década de análisis a partir del corte del año, o sea: 2030 (promedio 2026 al 2035), 2050 (promedio de

2046 al 2055), 2070 (promedio 2066 al 2075) y 2090 (promedio 2086 al 2095).

Los mapas de los indicadores de la fórmula de vulnerabilidad fueron realizados con los datos del corte al año 2050, y con ello se construyó el análisis de vulnerabilidad al año indicado.

### 6.6.2 Modelos regionales de cambio climático

Las proyecciones del clima mediante modelos computacionales se aventuran en un futuro que sólo puede ser atisbado haciendo suposiciones importantes en cuanto al desarrollo socioeconómico global, lo cual les confiere un carácter tentativo.

Aun así, la metodología seguida en la mayoría de estudios de impacto por cambio climático representa el estado del arte para la evaluación de futuros impactos asociados al cambio climático originado en la intensificación del efecto invernadero por causas de origen antrópico.

Alrededor de una veintena de modelos numéricos de circulación general de la atmósfera y de los océanos han sido desarrollados y aplicados con el propósito de evaluar los cambios climáticos a nivel global, y su información ha sido puesta a disposición de la comunidad internacional (Alvarado, 2005).

Sin embargo, la mayor desventaja de los modelos globales deriva de su baja resolución espacial (centenas de kilómetros), que los hace inapropiados para estudios de impacto, particularmente en regiones costeras o con importantes variaciones de relieve, como en el caso de Guatemala, que es atravesada por las cordilleras de la Sierra Madre y los Cuchumatanes.

Para construir los escenarios de una zona concreta a mayor resolución, se parte de modelos climáticos globales que son adaptados a las características

propias de cada país. Para ello, se aplican técnicas de reducción de escala o *downscaling*, que permiten incorporar las características fisiográficas regionales, tales como topografía, vegetación y línea de costa, entre otras.

La obtención de proyecciones o escenarios regionales de cambio climático está sujeta a una serie de fuentes de incertidumbre que afectan todos los pasos del proceso de su generación, entre las cuales cabe destacar: a) las relacionadas con el establecimiento de los escenarios alternativos de posibles evoluciones en las emisiones de gases de efecto invernadero y aerosoles, b) las asociadas a los modelos globales de circulación general, y c) las debidas a los propios métodos de regionalización.

El marco natural para evaluar las incertidumbres asociadas a las proyecciones de cambio climático, es la aproximación probabilística, en la que se explora un conjunto representativo de métodos de regionalización, modelos globales y emisiones de gases de efecto invernadero, entre otras.

Estos métodos, modelos y emisiones definen un conjunto de miembros o “ensemble”, que permiten realizar una exploración de las distintas incertidumbres.

El grupo de trabajo II del Cuarto informe de evaluación del IPCC señala que, pese a que el modelado climático regional aún no se ha desarrollado plenamente, muchos países han comenzado a incorporar la mejor información climatológica actualmente disponible en las evaluaciones de los probables impactos y en sus planes estratégicos para hacer frente a ellos.

En el caso de Guatemala, en su primera comunicación nacional publicada en el año 2001, se seleccionaron escenarios de emisiones y se estimó el calentamiento global y el ascenso del nivel del mar utilizando el programa MAGICC (*Model for the assessment of greenhouse -gas induced climate change*); mientras que los patrones temporales y espaciales del clima se realizaron por medio del programa SCENGEN (*Global and regional climate change scenario generator*), utilizando los píxeles que corresponden al país.

En el presente estudio, que expresa en mapas la vulnerabilidad para la región occidental de Guatemala, se han utilizado los resultados del modelo climático regional PRECIS (*Providing regional climates for impacts studies*), puesto a libre disposición en el sitio web del Instituto de Meteorología de Cuba.

Este es un sistema de modelado regional derivado del Modelo de circulación global (GCM) de tercera generación del Hadley Centre en el Reino Unido, el cual puede ser configurado para correr sobre cualquier área del globo, en ordenadores personales relativamente potentes. El modelo PRECIS está disponible para ser usado por científicos de países en desarrollo involucrados en estudios de vulnerabilidad y adaptación.

Este modelo usa como condiciones de frontera los datos suministrados por el GCM del Hadley Centre, correspondientes a un rango de escenarios de emisión; y produce enormes cantidades de datos climáticos, incluidas variables estándares, como la temperatura y la precipitación para períodos futuros (2070-2100).

Debido a su alta resolución, se pueden recrear escenarios de cambio climático nacionales para países pequeños, como los que componen el área del Caribe y Centro América.

#### 6.6.2.1 Patrón de escalamiento

Los escenarios disponibles en la página web del Servicio Meteorológico de Cuba fueron generados a partir de las simulaciones realizadas con PRECIS para dos “time slices”, 1961-1990 y 2071-2100. En el caso del segundo período, la corrida se realizó utilizando el escenario de emisiones de gases de efecto invernadero SRES A2.

Una vez obtenidos los resultados, se calcularon las diferencias entre las salidas de control (1961-1990) y las perturbadas (2071-2100).

Tomando en cuenta que los resultados actualmente disponibles se refieren únicamente al escenario SRES A2 para el período 2071-2100, se estimaron los patrones de cambio para el escenario de emisiones B1 y para el período 2010-2070.

Para realizar las estimaciones de otros períodos y escenarios, se escalaron los patrones obtenidos a partir de los factores del modelo climático global. Este procedimiento es descrito en el manual de PRECIS, incluyendo los factores de escala que fueron utilizados en las estimaciones.

En esencia, la aplicación de los factores de escala es muy simple. Solo se dividieron los campos originales de las variables salidas de la corrida de PRECIS para 2070-2100 con SRES A2 dentro del valor de calentamiento global del HadAM3P, y se multiplicaron después por los valores del Cuadro 41. Así, se estimaron los campos para los años de periodos anteriores y para el escenario B1.

La decisión de estimar los patrones climáticos para el escenario B1 se basó en dos elementos. El primero corresponde al escenario SRES B1, con menor calentamiento global y cuyo empleo puede permitir la consideración de un extremo del abanico de proyecciones bajo el criterio optimista.

Y el segundo, y más determinante, es la consideración de los resultados de los índices de cambio climático generados en un estudio del INSIVUMEH, realizado a partir de datos históricos de temperatura máxima y

**Cuadro 41.** Factores de incremento de la temperatura (°C)

Escenarios	Década		
	2020	2050	2080
Emisiones SRES B1	0.79	1.41	2
Emisiones SRES B2	0.88	1.64	2.34
Emisiones SRES A2	0.88	1.87	3.29
Emisiones SRES A1FI	0.94	2.24	3.88

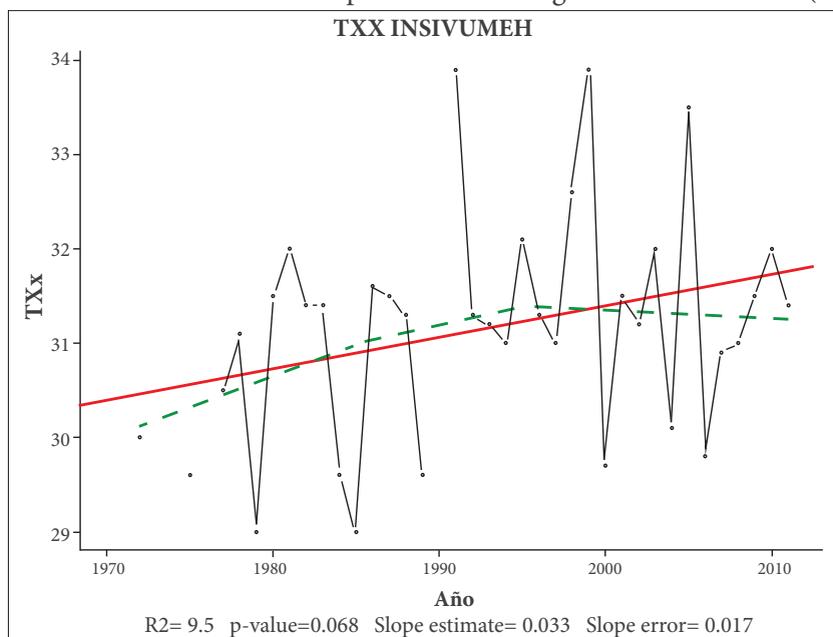
Fuente: Modelo PRECIS.

por medio del *software* Rclimindex (Gómez, 2012), los cuales muestran que la tendencia de la temperatura se ajusta al escenario SRES B1.

Este estudio logró demostrar, a partir de los datos de las estaciones más confiables de la institución, que el incremento anual de temperatura es de 0.033 °C/año. Con esta tendencia se esperaría que el cambio en la temperatura fuera de 1.3 °C al año 2050, motivo por el cual el escenario más idóneo es el B1, ya que muestra un incremento de 1.41 °C para la década de 2050.

En la Figura 48 se observa la tendencia de aumento de la temperatura en la estación central del INSIVUMEH en un período de tiempo de 1970 a 2011.

**Figura 48.** Tendencia de aumento de la temperatura anual según el INSIVUMEH (0.033 °C por año)



Fuente: Gómez (2012).

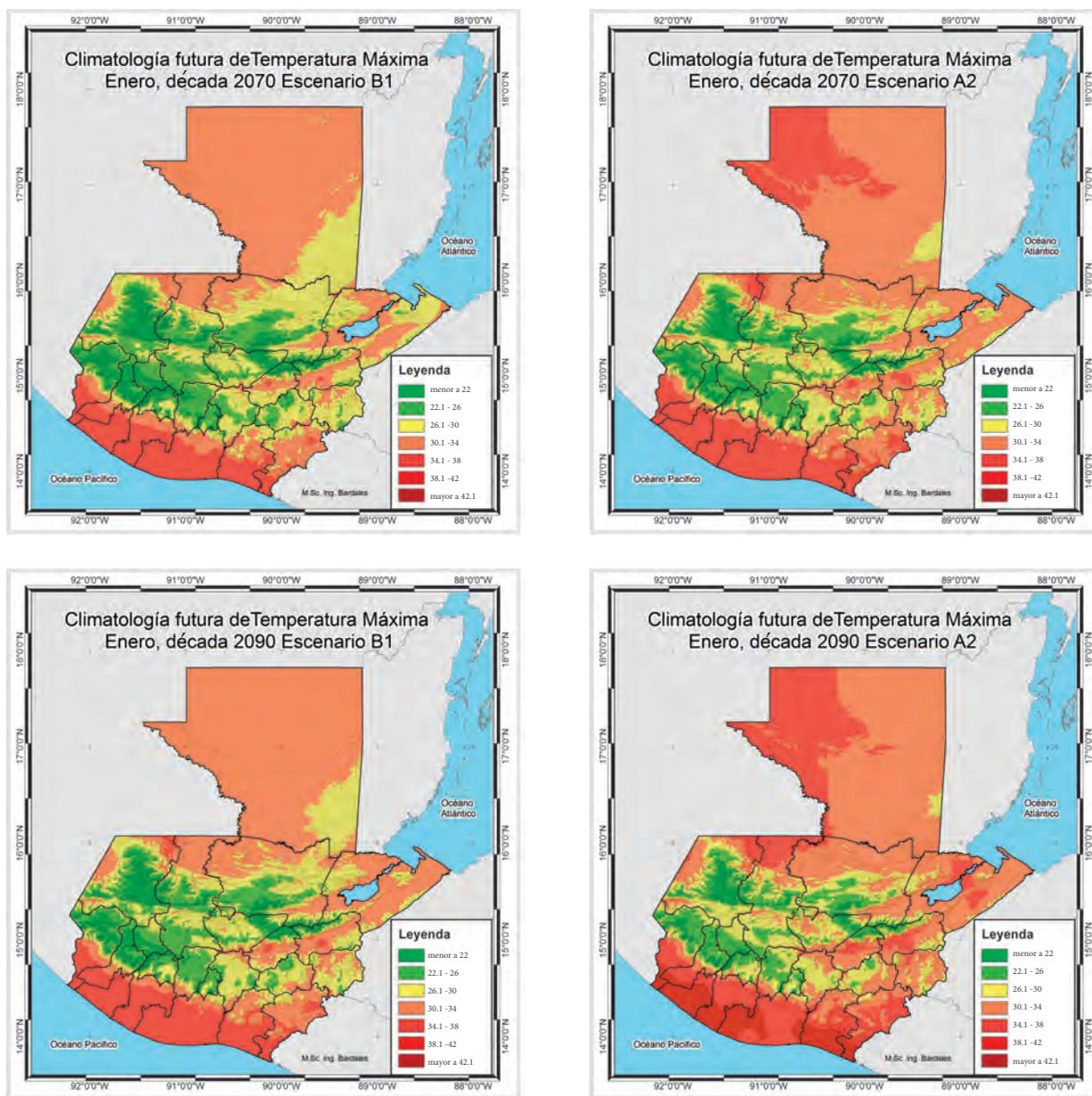
### 6.6.2.2 Corrida de datos: años 2030, 2050, 2070 y 2090

En la Figura 49 se observa la climatología futura con base en los análisis de temperaturas realizadas por PRECIS para las décadas de 2030, 2050, 2070 y 2090. Se muestra la distribución espacial de la temperatura máxima y mínima para el mes de enero bajo los

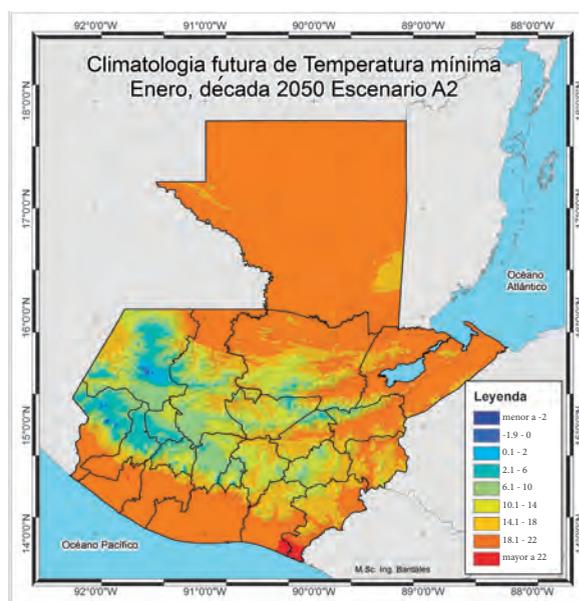
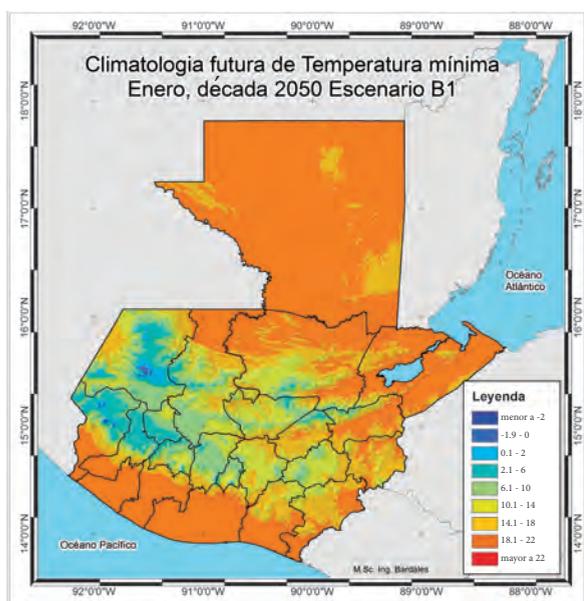
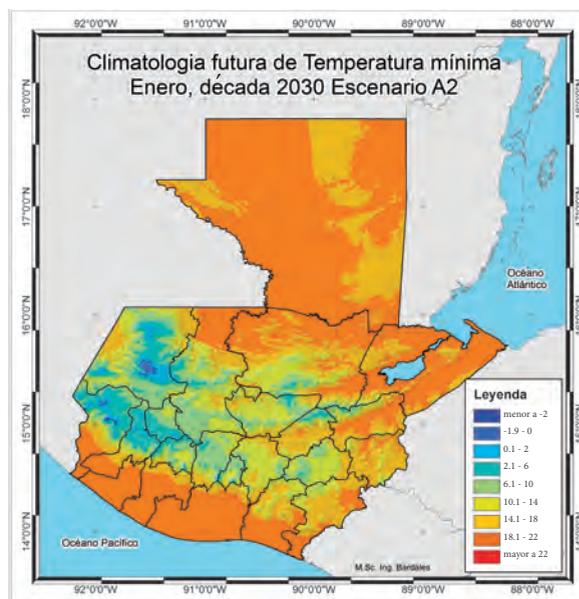
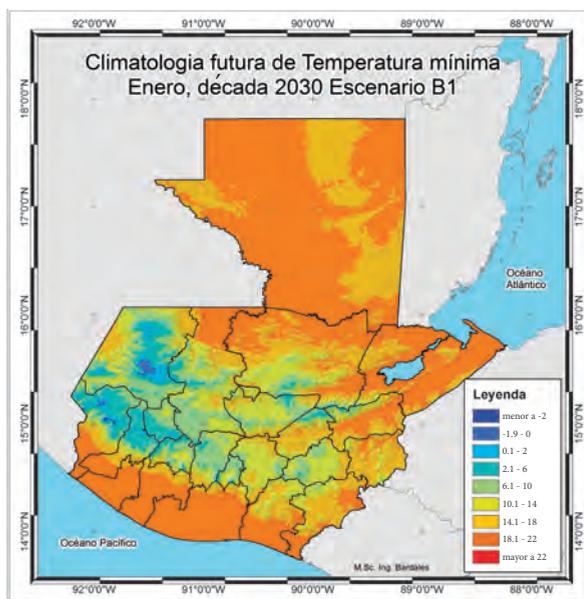
escenarios A2 y B1. Este mes fue seleccionado por tener las menores temperaturas.

En esta figura se puede apreciar el impacto del cambio climático en la temperatura, pudiéndose obtener un incremento de hasta 2 °C para la década de 2050 bajo el escenario B1.

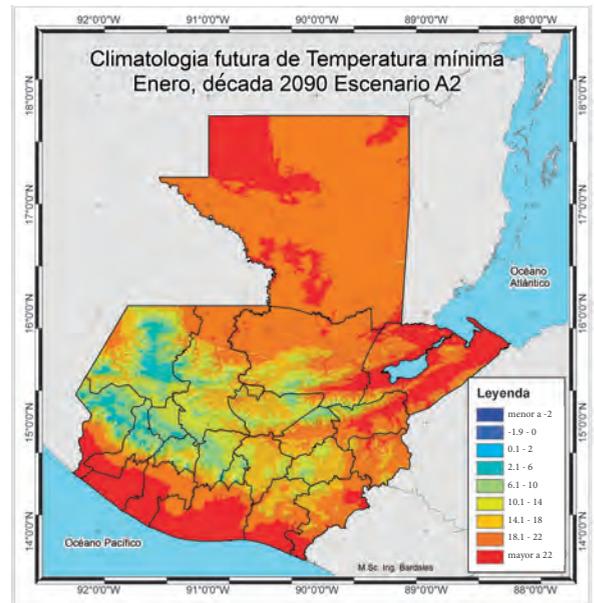
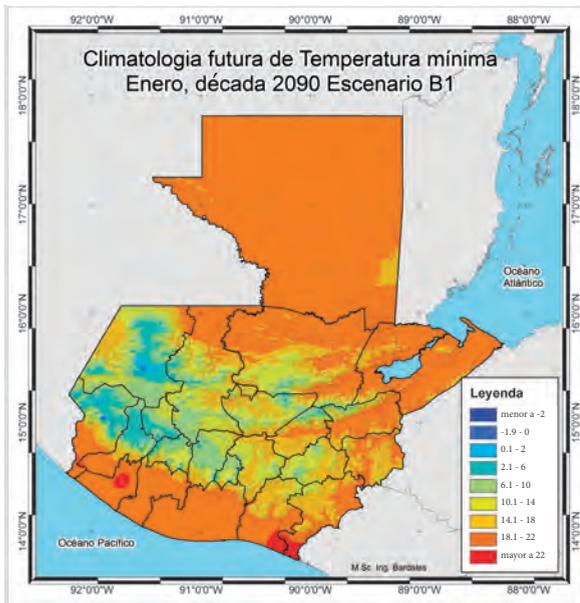
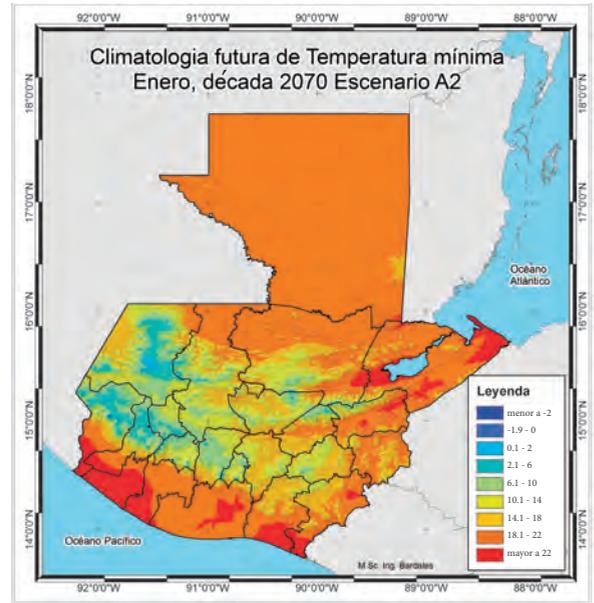
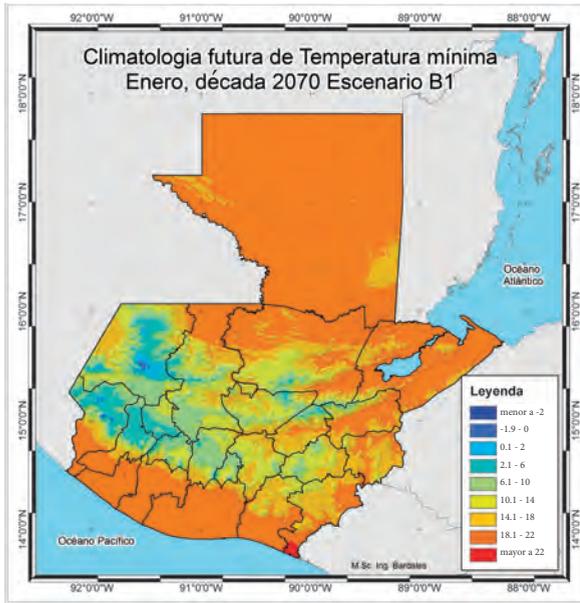
**Figura 49.** Climatología futura según PRECIS. Temperaturas



Continuación de la Figura 49



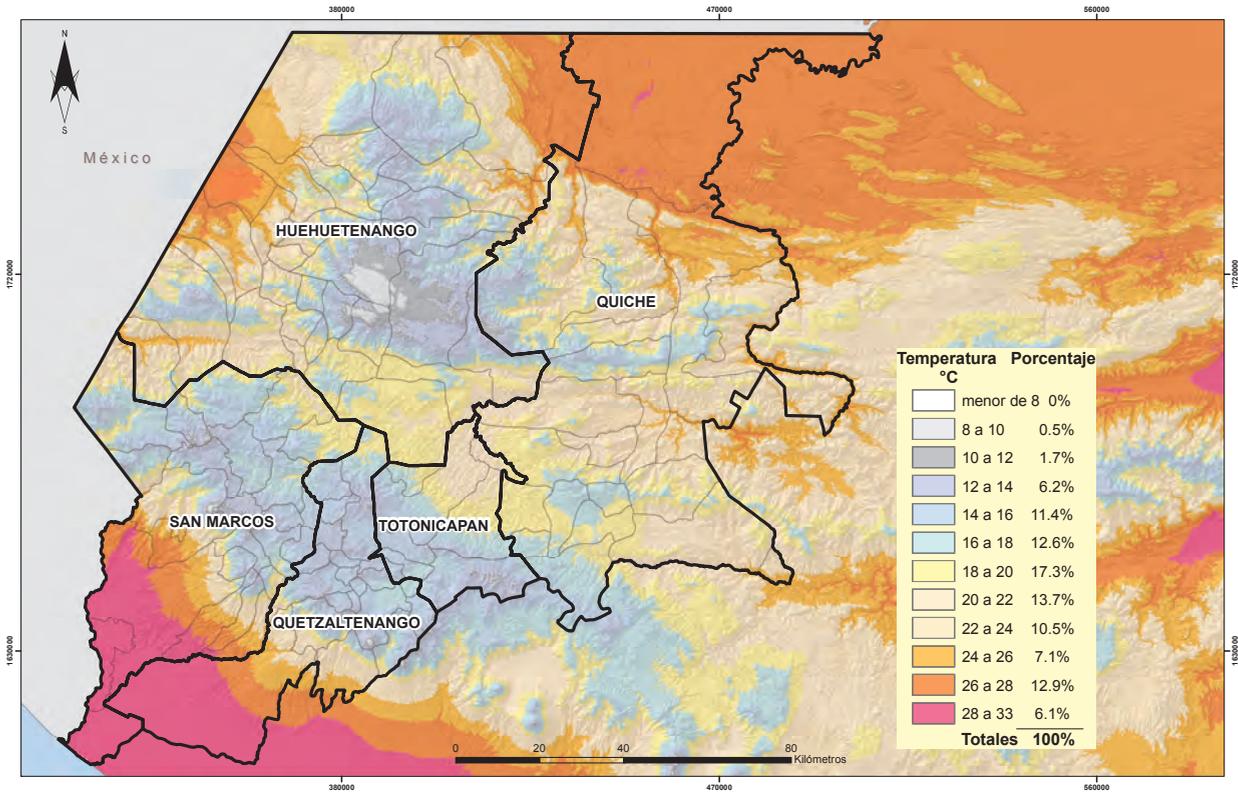
Continuación de la Figura 49



Fuente: Elaboración propia.

De la corrida de datos, se extrajo el mapa de temperatura promedio anual de la región de occidente que se muestra en la Figura 50.

**Figura 50.** Mapa de temperatura promedio anual al año 2050 de la región de occidente



Fuente: Elaboración propia.



Paisaje actual de Quetzaltenango, en el altiplano occidental de Guatemala.

En el Cuadro 42 se puede observar la variación del incremento de la temperatura para cada municipio de los departamentos de Totonicapán y Quetzaltenango.

En estos dos departamentos, la anomalía en la temperatura corresponde al aumento de dos grados en promedio. El rango de valores es de 1.99 °C a 2.06 °C.

**Cuadro 42. Anomalías de temperatura para la década 2050. Departamentos de Totonicapán y Quetzaltenango**

Código	Municipio	Anomalía de temperatura década 2050 (°C)												
		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
801	Totonicapán	1.81	1.74	1.69	2.03	2.71	1.81	2.13	2.11	2.05	1.75	2.23	1.72	1.99
802	San Cristóbal Totonicapán	1.86	1.76	1.64	1.96	2.70	1.86	2.17	2.15	2.14	1.84	2.27	1.76	2.03
803	San Francisco El Alto	1.86	1.74	1.64	1.96	2.68	1.86	2.17	2.13	2.14	1.86	2.27	1.75	2.03
804	San Andrés Xecul	1.87	1.77	1.63	1.95	2.74	1.87	2.18	2.17	2.13	1.85	2.28	1.75	2.04
805	Momostenango	1.89	1.71	1.61	1.92	2.55	1.89	2.19	2.10	2.25	1.96	2.29	1.78	2.03
806	Santa María Chiquimula	1.87	1.72	1.63	1.94	2.57	1.87	2.17	2.10	2.21	1.90	2.27	1.78	2.02
807	Santa Lucía La Reforma	1.89	1.71	1.60	1.90	2.50	1.89	2.18	2.09	2.28	1.97	2.29	1.80	2.02
808	San Bartolo	1.90	1.71	1.60	1.89	2.49	1.90	2.20	2.10	2.31	2.00	2.30	1.81	2.04
901	Quetzaltenango	1.84	1.77	1.66	1.99	2.76	1.84	2.16	2.16	2.08	1.78	2.26	1.74	2.03
902	Salcajá	1.87	1.78	1.63	1.94	2.70	1.87	2.18	2.17	2.16	1.85	2.28	1.78	2.04
903	Olintepeque	1.88	1.78	1.62	1.94	2.74	1.88	2.19	2.18	2.14	1.86	2.29	1.76	2.04
904	San Carlos Sija	1.87	1.72	1.63	1.94	2.64	1.87	2.17	2.11	2.17	1.90	2.28	1.75	2.03
905	Sibilia	1.85	1.73	1.65	1.98	2.75	1.85	2.17	2.14	2.09	1.83	2.27	1.71	2.03
906	Cabricán	1.87	1.73	1.62	1.92	2.65	1.87	2.16	2.11	2.16	1.89	2.28	1.75	2.02
907	Cajolá	1.85	1.75	1.65	1.99	2.77	1.85	2.17	2.15	2.08	1.81	2.27	1.72	2.03
908	San Miguel Sigüilá	1.85	1.76	1.65	1.98	2.76	1.85	2.17	2.16	2.10	1.82	2.27	1.73	2.03
909	San Juan Ostuncalco	1.85	1.75	1.64	1.97	2.78	1.85	2.17	2.16	2.09	1.81	2.27	1.72	2.03
910	San Mateo	1.84	1.76	1.66	2.00	2.79	1.84	2.16	2.15	2.06	1.78	2.26	1.71	2.02
911	Concepción Chiquirichapa	1.83	1.75	1.67	2.02	2.81	1.83	2.16	2.15	2.03	1.77	2.26	1.69	2.02
912	San Martín Sacatepéquez	1.84	1.76	1.65	1.99	2.78	1.85	2.17	2.16	2.08	1.79	2.26	1.72	2.03
913	Almolonga	1.82	1.78	1.68	2.00	2.71	1.82	2.13	2.13	2.07	1.74	2.23	1.75	2.02
914	Cantel	1.81	1.77	1.69	2.02	2.75	1.81	2.13	2.13	2.04	1.73	2.23	1.72	2.01
915	Huitán	1.86	1.72	1.63	1.94	2.69	1.86	2.17	2.12	2.14	1.87	2.28	1.73	2.02
916	Zunil	1.82	1.78	1.68	2.00	2.73	1.82	2.14	2.14	2.06	1.74	2.24	1.74	2.02
917	Colomba	1.89	1.78	1.60	1.91	2.72	1.90	2.20	2.20	2.19	1.87	2.29	1.78	2.05
918	San Francisco La Unión	1.86	1.76	1.64	1.97	2.76	1.86	2.17	2.16	2.10	1.83	2.27	1.73	2.03
919	El Palmar	1.88	1.80	1.62	1.92	2.68	1.88	2.18	2.18	2.18	1.86	2.28	1.80	2.04
920	Coatepeque	1.91	1.73	1.51	1.88	2.83	1.99	2.28	2.28	2.31	1.92	2.30	1.74	2.06
921	Génova	1.91	1.78	1.57	1.88	2.71	1.93	2.22	2.22	2.26	1.91	2.30	1.80	2.06
922	Flores Costa Cuca	1.90	1.77	1.56	1.89	2.74	1.94	2.24	2.24	2.26	1.91	2.30	1.78	2.06
923	La Esperanza	1.86	1.78	1.64	1.96	2.74	1.86	2.18	2.17	2.12	1.83	2.28	1.75	2.03
924	Palestina de los Altos	1.84	1.74	1.65	1.99	2.81	1.84	2.17	2.15	2.06	1.80	2.27	1.70	2.03

Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro 43 se puede observar la variación del incremento de la temperatura para cada municipio del departamento de San Marcos.

En este departamento, la amplitud de la anomalía en las temperaturas es un poco más elevada que en los dos departamentos anteriores, ya que va de 1.91 °C a 2.07 °C.

**Cuadro 43. Anomalías de temperatura para la década 2050. Departamento de San Marcos**

Código	Municipio	Anomalía de temperatura década 2050 (°C)												
		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
1201	San Marcos	1.85	1.73	1.61	1.93	2.83	1.86	2.18	2.18	2.09	1.82	2.27	1.69	2.03
1202	San Pedro Sacatepéquez	1.87	1.77	1.61	1.92	2.75	1.88	2.19	2.18	2.15	1.86	2.28	1.75	2.05
1203	San Antonio Sacatepéquez	1.86	1.75	1.62	1.94	2.76	1.86	2.18	2.17	2.12	1.84	2.28	1.73	2.04
1204	Comitancillo	1.85	1.72	1.61	1.89	2.73	1.86	2.15	2.13	2.11	1.84	2.27	1.71	2.01
1205	San Miguel Ixtahuacán	1.86	1.73	1.61	1.82	2.65	1.86	2.11	2.09	2.13	1.85	2.27	1.74	1.99
1206	Concepción Tutuapa	1.81	1.68	1.62	1.85	2.82	1.81	2.09	2.08	1.98	1.75	2.24	1.64	1.94
1207	Tacaná	1.76	1.58	1.58	1.79	2.93	1.77	2.10	2.10	1.92	1.69	2.20	1.56	1.91
1208	Sibinal	1.75	1.57	1.57	1.81	2.97	1.77	2.11	2.11	1.91	1.68	2.19	1.55	1.92
1209	Tajumulco	1.79	1.62	1.56	1.81	2.89	1.82	2.15	2.15	2.02	1.75	2.22	1.61	1.96
1210	Tejutla	1.81	1.67	1.62	1.90	2.88	1.82	2.13	2.13	1.99	1.75	2.24	1.62	1.97
1211	San Rafael Pie de la Cuesta	1.88	1.71	1.53	1.82	2.77	1.92	2.22	2.22	2.23	1.89	2.28	1.74	2.03
1212	Nuevo Progreso	1.89	1.72	1.53	1.87	2.83	1.95	2.25	2.25	2.25	1.89	2.29	1.73	2.05
1213	El Tumbador	1.88	1.70	1.52	1.86	2.84	1.95	2.25	2.25	2.24	1.88	2.28	1.71	2.04
1214	El Rodeo	1.88	1.69	1.50	1.83	2.84	1.95	2.25	2.25	2.26	1.88	2.28	1.71	2.04
1215	Malacatán	1.88	1.68	1.49	1.80	2.82	1.95	2.25	2.25	2.27	1.89	2.28	1.72	2.03
1216	Catarina	1.90	1.70	1.50	1.88	2.88	1.99	2.29	2.29	2.30	1.90	2.30	1.71	2.07
1217	Ayutla	1.91	1.71	1.49	1.88	2.87	2.01	2.30	2.30	2.33	1.92	2.30	1.72	2.07
1218	Ocos	1.92	1.72	1.49	1.87	2.84	2.01	2.30	2.30	2.35	1.93	2.31	1.74	2.07
1219	San Pablo	1.85	1.67	1.53	1.81	2.82	1.89	2.20	2.20	2.17	1.84	2.26	1.69	2.00
1220	El Quetzal	1.90	1.77	1.57	1.88	2.73	1.93	2.22	2.22	2.24	1.90	2.29	1.78	2.06
1221	La Reforma	1.88	1.75	1.57	1.89	2.77	1.91	2.22	2.22	2.20	1.88	2.29	1.75	2.05
1222	Pajapita	1.90	1.70	1.49	1.88	2.87	2.00	2.30	2.30	2.32	1.91	2.30	1.72	2.07
1223	Ixchiguan	1.76	1.61	1.61	1.91	3.01	1.79	2.13	2.13	1.90	1.68	2.22	1.54	1.94
1224	San José Ojetenam	1.76	1.60	1.62	1.88	2.98	1.77	2.09	2.09	1.87	1.67	2.21	1.54	1.92
1225	San Cristóbal Cucho	1.89	1.78	1.59	1.89	2.71	1.89	2.20	2.19	2.19	1.88	2.29	1.78	2.05
1226	Sipacapa	1.88	1.73	1.61	1.86	2.60	1.88	2.15	2.10	2.20	1.90	2.28	1.77	2.02
1227	Esquipulas Palo Gordo	1.88	1.76	1.59	1.91	2.77	1.89	2.20	2.20	2.16	1.86	2.29	1.75	2.05
1228	Río Blanco	1.86	1.73	1.62	1.92	2.70	1.87	2.17	2.14	2.15	1.87	2.28	1.74	2.03
1229	San Lorenzo	1.85	1.73	1.62	1.93	2.79	1.86	2.17	2.16	2.09	1.82	2.27	1.71	2.03

Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro 44 se puede observar la variación del incremento de la temperatura para cada municipio del departamento de Huehuetenango. En este departamento,

la amplitud de la anomalía en las temperaturas es menos elevada que en los otros departamentos analizados, ya que el rango de valores va de 1.88 °C a 2.03 °C.

**Cuadro 44. Anomalías de temperatura para la década 2050. Departamento de Huehuetenango**

Código	Municipio	Anomalía de temperatura década 2050 (°C)												
		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
1301	Huehuetenango	1.88	1.72	1.61	1.88	2.56	1.88	2.16	2.09	2.22	1.94	2.29	1.77	2.02
1302	Chiantla	1.81	1.69	1.64	1.85	2.65	1.81	2.07	2.01	1.98	1.73	2.21	1.66	1.94
1303	Malacatancito	1.89	1.73	1.60	1.86	2.55	1.89	2.16	2.10	2.24	1.94	2.29	1.79	2.03
1304	Cuilco	1.82	1.71	1.63	1.83	2.77	1.82	2.07	2.07	2.00	1.76	2.25	1.66	1.93
1305	Nentón	1.84	1.69	1.58	1.60	2.45	1.80	1.96	1.94	2.02	1.74	2.21	1.77	1.89
1306	San Pedro Necta	1.87	1.77	1.61	1.79	2.63	1.87	2.08	2.08	2.14	1.85	2.28	1.76	1.96
1307	Jacaltenango	1.84	1.72	1.57	1.60	2.49	1.83	2.01	2.00	2.09	1.78	2.22	1.77	1.91
1308	Soloma	1.79	1.69	1.62	1.73	2.50	1.79	2.01	1.93	1.89	1.61	2.13	1.67	1.88
1309	San Idelfonso Ixtahuacán	1.87	1.76	1.61	1.79	2.63	1.87	2.09	2.08	2.14	1.85	2.27	1.76	1.96
1310	Santa Bárbara	1.87	1.75	1.60	1.79	2.59	1.87	2.10	2.07	2.16	1.86	2.27	1.77	1.99
1311	La Libertad	1.82	1.71	1.61	1.74	2.68	1.82	2.04	2.04	2.02	1.75	2.23	1.69	1.92
1312	La Democracia	1.83	1.73	1.60	1.67	2.59	1.83	2.03	2.03	2.06	1.77	2.23	1.73	1.92
1313	San Miguel Acatán	1.81	1.70	1.60	1.63	2.59	1.80	2.00	1.99	2.00	1.70	2.20	1.70	1.90
1314	San Rafael Independencia	1.78	1.68	1.63	1.72	2.64	1.78	2.00	1.97	1.89	1.63	2.17	1.64	1.89
1315	Todos Santos Cuchumatán	1.78	1.68	1.64	1.75	2.70	1.78	2.01	1.99	1.90	1.65	2.19	1.63	1.91
1316	San Juan Atitán	1.80	1.70	1.62	1.69	2.66	1.80	2.02	2.01	1.98	1.70	2.21	1.67	1.94
1317	Santa Eulalia	1.84	1.72	1.58	1.69	2.40	1.84	2.05	1.97	2.08	1.76	2.18	1.77	1.92
1318	San Mateo Ixtatán	1.82	1.70	1.60	1.67	2.43	1.81	2.00	1.93	1.96	1.66	2.15	1.73	1.90
1319	Colotenango	1.86	1.76	1.61	1.77	2.62	1.86	2.08	2.07	2.12	1.83	2.27	1.75	1.96
1320	San Sebastián Huehuetenango	1.82	1.71	1.63	1.78	2.68	1.82	2.05	2.03	2.01	1.75	2.23	1.68	1.96
1321	Tectitán	1.82	1.68	1.58	1.76	2.75	1.83	2.09	2.09	2.06	1.79	2.24	1.68	1.93
1322	Concepción Huista	1.81	1.71	1.61	1.69	2.62	1.81	2.02	2.01	1.99	1.71	2.21	1.69	1.91
1323	San Juan Ixcoy	1.81	1.70	1.61	1.74	2.48	1.81	2.03	1.95	1.95	1.66	2.15	1.70	1.90
1324	San Antonio Huista	1.85	1.74	1.58	1.65	2.52	1.85	2.04	2.03	2.12	1.80	2.23	1.77	1.93
1325	San Sebastián Coatán	1.80	1.69	1.61	1.68	2.58	1.79	2.00	1.97	1.96	1.68	2.19	1.69	1.90
1326	Barillas	1.89	1.75	1.53	1.60	2.23	1.87	2.05	1.97	2.20	1.82	2.19	1.87	1.93
1327	Aguacatán	1.86	1.69	1.62	1.92	2.58	1.86	2.16	2.07	2.17	1.90	2.27	1.73	1.99
1328	San Rafael Pétzal	1.85	1.74	1.61	1.75	2.60	1.85	2.07	2.05	2.10	1.81	2.25	1.74	1.96
1329	San Gaspar Ixchil	1.88	1.76	1.59	1.74	2.55	1.88	2.09	2.08	2.19	1.87	2.27	1.79	1.98
1330	Santiago Chimaltenango	1.84	1.74	1.61	1.74	2.63	1.84	2.05	2.04	2.06	1.78	2.24	1.72	1.95
1331	Santa Ana Huista	1.83	1.72	1.57	1.59	2.51	1.83	2.01	2.01	2.08	1.77	2.22	1.76	1.91
1332	Unión Cantinil	1.86	1.76	1.59	1.70	2.56	1.86	2.07	2.05	2.14	1.83	2.25	1.77	1.95

Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro 45 se puede observar la variación del incremento de la temperatura para cada municipio del departamento de Quiché.

Este departamento es similar a Huehuetenango, ya que el rango de anomalías en las temperaturas va de 1.8 °C a 2.0 °C.

**Cuadro 45. Anomalías de temperatura para la década 2050. Departamento de Quiché**

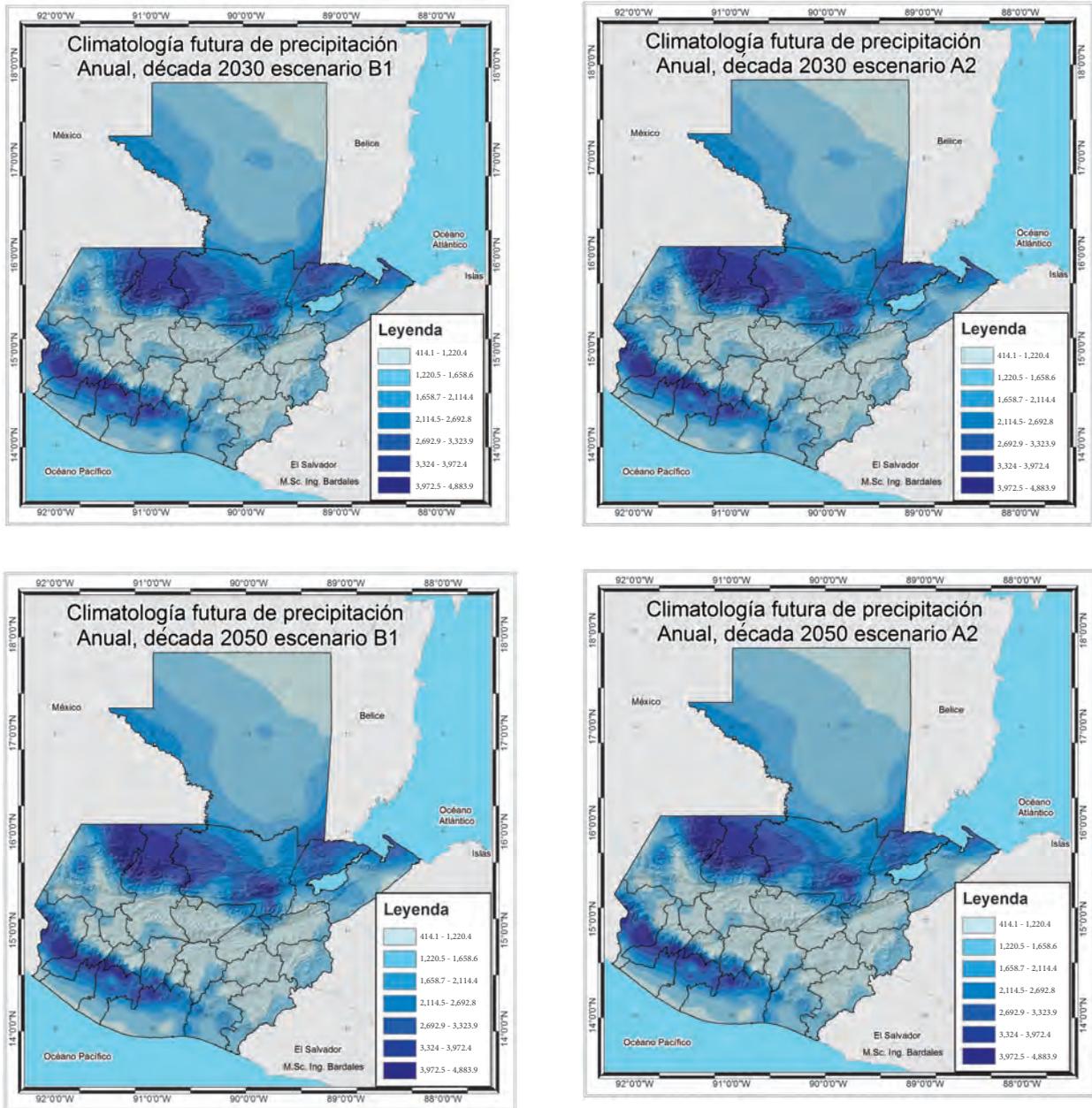
Código	Municipio	Anomalía de temperatura década 2050 (°C)												
		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Annual
1401	Santa Cruz del Quiché	1.83	1.73	1.65	1.96	2.57	1.83	2.12	2.06	2.14	1.81	2.23	1.76	1.97
1402	Chiché	1.85	1.72	1.63	1.94	2.53	1.85	2.14	2.07	2.20	1.86	2.25	1.78	1.98
1403	Chinique	1.86	1.68	1.61	1.93	2.52	1.86	2.14	2.05	2.20	1.91	2.27	1.76	1.97
1404	Zacualpa	1.73	1.63	1.56	1.89	2.38	1.74	1.93	1.83	1.96	1.67	2.15	1.69	1.85
1405	Chajul	1.84	1.68	1.56	1.84	2.38	1.84	2.07	1.97	2.18	1.87	2.23	1.78	1.95
1406	Chichicastenango	1.79	1.76	1.68	2.00	2.60	1.79	2.10	2.07	2.09	1.71	2.20	1.76	1.96
1407	Patzitè	1.82	1.75	1.67	1.98	2.59	1.82	2.12	2.09	2.13	1.78	2.23	1.78	1.98
1408	San Antonio Ilotenango	1.86	1.73	1.63	1.93	2.53	1.86	2.15	2.08	2.21	1.88	2.26	1.79	2.00
1409	San Pedro Jocopilas	1.85	1.69	1.61	1.92	2.51	1.85	2.13	2.05	2.19	1.90	2.26	1.76	1.98
1410	Cunén	1.80	1.64	1.61	1.94	2.53	1.80	2.07	1.97	2.06	1.81	2.23	1.69	1.93
1411	San Juan Cotzal	1.85	1.67	1.59	1.90	2.47	1.85	2.11	2.01	2.18	1.89	2.25	1.76	1.96
1412	Joyabaj	1.73	1.67	1.57	1.90	2.38	1.75	1.97	1.88	2.05	1.66	2.16	1.73	1.87
1413	Nebaj	1.86	1.69	1.60	1.85	2.48	1.86	2.12	2.03	2.18	1.88	2.25	1.76	1.97
1414	San Andrés Sajcabajá	1.75	1.62	1.53	1.84	2.30	1.75	1.91	1.81	1.99	1.69	2.15	1.72	1.85
1415	Uspantán	1.74	1.63	1.51	1.80	2.24	1.74	1.89	1.79	2.01	1.69	2.15	1.74	1.84
1416	Sacapulas	1.86	1.68	1.59	1.90	2.48	1.86	2.13	2.04	2.21	1.92	2.27	1.77	1.98
1417	San Bartolomé Jocotenango	1.79	1.65	1.56	1.87	2.38	1.79	2.00	1.91	2.08	1.78	2.20	1.74	1.91
1418	Canillá	1.73	1.62	1.51	1.81	2.24	1.73	1.86	1.76	1.96	1.66	2.13	1.72	1.83
1419	Chicamán	1.70	1.62	1.49	1.80	2.23	1.68	1.83	1.73	1.93	1.60	2.12	1.71	1.80
1420	Playa Grande-Ixcán	1.84	1.74	1.50	1.67	2.17	1.82	1.99	1.95	2.22	1.82	2.15	1.86	1.90
1421	Pachalum	1.70	1.70	1.54	1.89	2.32	1.74	1.99	1.88	2.14	1.62	2.15	1.77	1.86

Fuente: Elaboración propia.

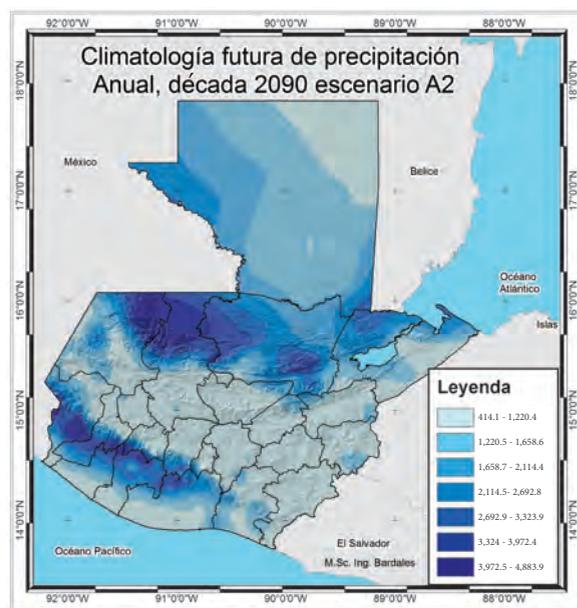
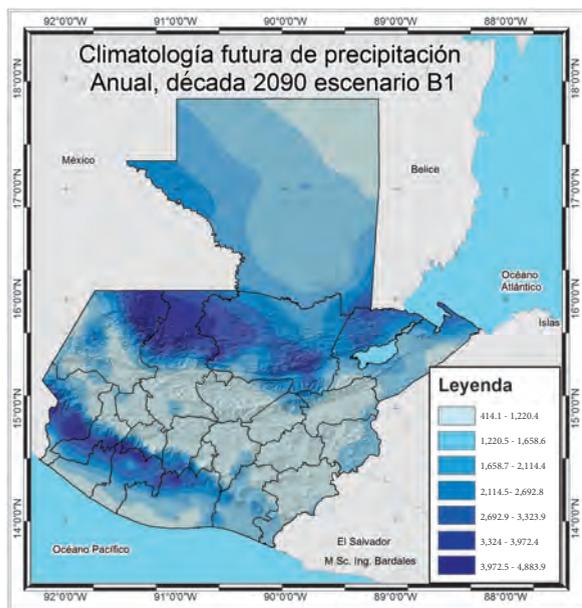
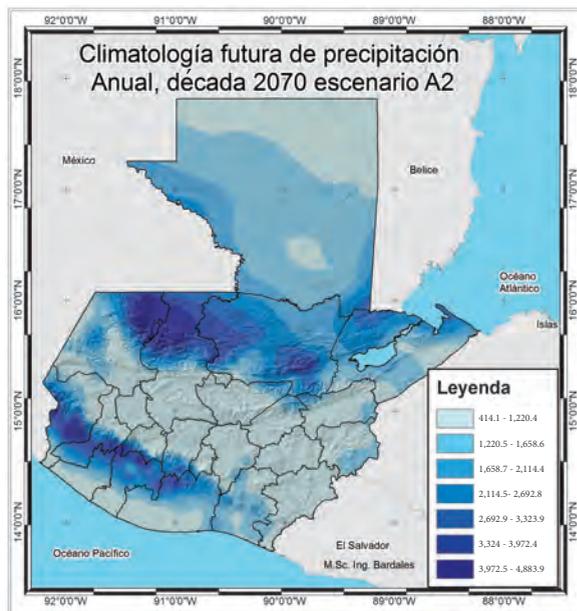
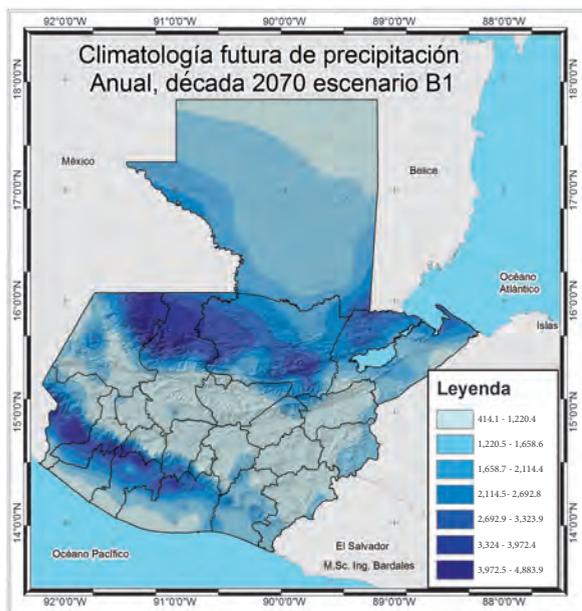
Con respecto a la evolución de las precipitaciones, en la Figura 51 se observan las precipitaciones para las mismas décadas de análisis.

Se muestra la distribución espacial de la lluvia y su acumulado anual bajo los escenarios A2 y B1 para las décadas de 2030, 2050, 2070 y 2090.

Figura 51. Climatología futura según PRECIS. Precipitaciones



Continuación de la Figura 51



Fuente: Elaboración propia.

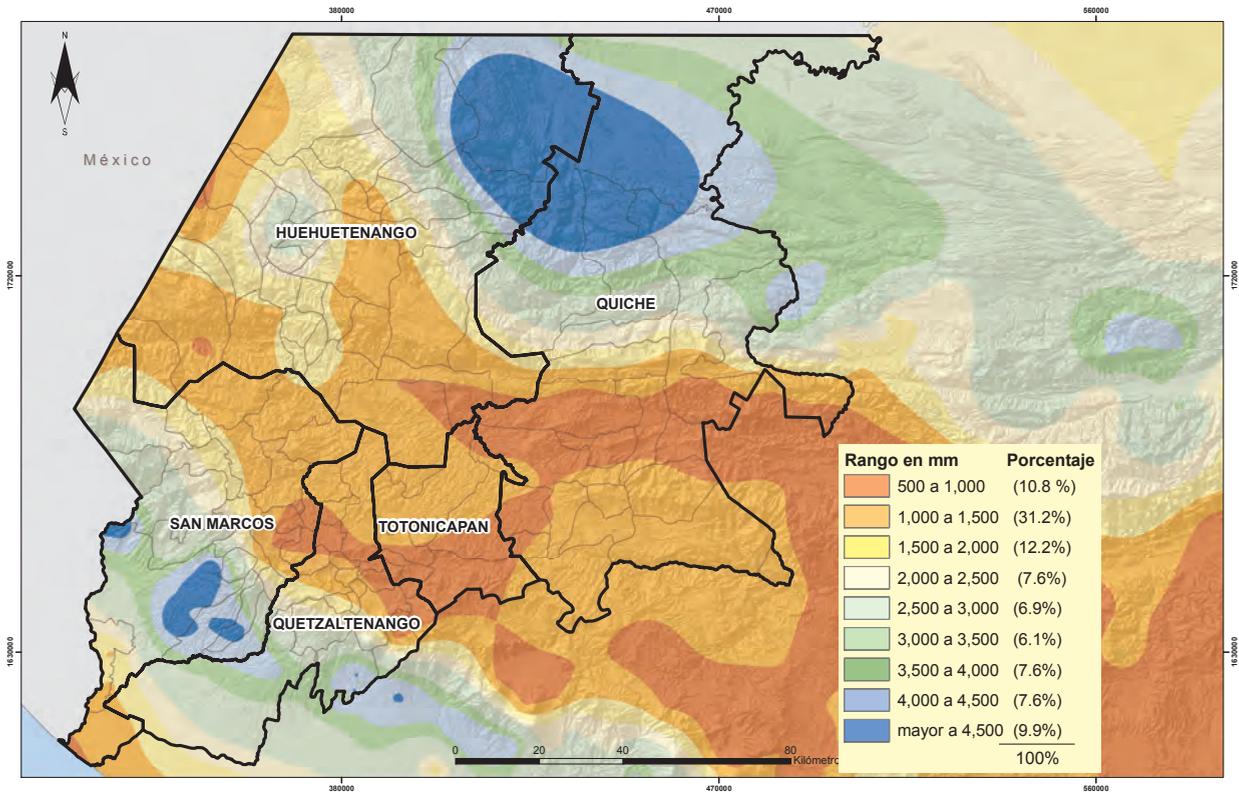
En la Figura 52 se presenta el mapa de la región de occidente, que ha sido extraído de la corrida de datos para la década 2050.

Se puede observar que, debido al cambio climático, las distribuciones de lluvia van a cambiar, aumentando

las áreas con déficit hídrico. Sin embargo, también se observa el incremento de la lluvia en algunas zonas.

Esto se ve con mayor claridad en el Cuadro 46, que muestra las anomalías por municipio.

**Figura 52.** Mapa de precipitaciones promedio anuales para la década 2050 en la región de occidente



Fuente: Elaboración propia.



Sistema de cosecha de agua para la época seca.  
 Todos Santos Cuchumatán, Huehuetenango.  
 Fotografía: Jorge Cardona, TNC.

**Cuadro 46.** Anomalías de precipitaciones en la década 2050, por municipio

Código	Municipio	Anomalía de lluvia década 2050 (mm)
801	Totonicapán	-138.4
802	San Cristóbal Totonicapán	25.1
803	San Francisco El Alto	19.2
804	San Andrés Xecul	34.2
805	Momostenango	190.7
806	Santa María Chiquimula	-32.4
807	Santa Lucía La Reforma	153.8
808	San Bartolo	300.0
901	Quetzaltenango	180.9
902	Salcajá	-64.9
903	Olintepeque	144.9
904	San Carlos Sija	158.4
905	Sibilia	-225.6
906	Cabricán	179.2
907	Cajolá	107.5
908	San Miguel Sigüilá	310.6
909	San Juan Ostuncalco	456.0
910	San Mateo	299.6
911	Concepción Chiquirichapa	421.5
912	San Martín Sacatepéquez	567.3
913	Almolonga	-390.1
914	Cantel	-53.3
915	Huitán	-85.3
916	Zunil	172.4
917	Colomba	-17.1
918	San Francisco La Unión	148.1
919	El Palmar	-172.8
920	Coatepeque	181.4
921	Génova	553.9
922	Flores Costa Cuca	149.8
923	La Esperanza	287.9
924	Palestina de los Altos	176.2
1201	San Marcos	111.2
1202	San Pedro Sacatepéquez	62.6
1203	San Antonio Sacatepéquez	-35.0
1204	Comitancillo	133.7
1205	San Miguel Ixtahuacán	122.9
1206	Concepción Tutuapa	90.3
1207	Tacaná	939.4
1208	Sibinal	846.3
1209	Tajumulco	186.9
1210	Tejutla	135.8
1211	San Rafael Pie de la Cuesta	-293.8

Continuación del Cuadro 46

Código	Municipio	Anomalia de lluvia década 2050 (mm)
1212	Nuevo Progreso	20.6
1213	El Tumbador	145.5
1214	El Rodeo	-625.7
1215	Malacatán	-15.4
1216	Catarina	-24.0
1217	Ayutla	245.4
1218	Ocós	283.1
1219	San Pablo	-184.3
1220	El Quetzal	-382.2
1221	La Reforma	116.6
1222	Pajapita	-47.2
1223	Ixchiguán	-20.2
1224	San José Ojetenam	307.5
1225	San Cristóbal Cucho	564.1
1226	Sipacapa	156.5
1227	Esquipulas Palo Gordo	1016.6
1228	Río Blanco	-157.3
1229	San Lorenzo	-309.7
1301	Huehuetenango	21.7
1302	Chiantla	-683.9
1303	Malacatancito	155.7
1304	Cuilco	-334.6
1305	Nentón	197.0
1306	San Pedro Necta	403.0
1307	Jacaltenango	714.7
1308	Soloma	-970.3
1309	San Idelfonso Ixtahuacán	-83.8
1310	Santa Bárbara	95.4
1311	La Libertad	-96.2
1312	La Democracia	237.1
1313	San Miguel Acatán	-77.8
1314	San Rafael Independencia	-303.8
1315	Todos Santos Cuchumatán	-49.1
1316	San Juan Atitán	281.4
1317	Santa Eulalia	-484.7
1318	San Mateo Ixtatán	350.4
1319	Colotenango	258.3
1320	San Sebastián Huehuetenango	-120.4
1321	Tectitán	285.0
1322	Concepción Huista	834.8
1323	San Juan Ixcoy	-981.6
1324	San Antonio Huista	1266.3
1325	San Sebastián Coatán	-767.7

Código	Municipio	Anomalia de lluvia década 2050 (mm)
1326	Barillas	795.7
1327	Aguacatán	239.8
1328	San Rafael Pétzal	337.6
1329	San Gaspar Ixchil	173.5
1330	Santiago Chimaltenango	611.6
1331	Santa Ana Huista	293.6
1332	Unión Cantinil	1069.1
1401	Santa Cruz del Quiché	-240.8
1402	Chiché	-152.9
1403	Chinique	-353.5
1404	Zacualpa	189.0
1405	Chajul	-1029.3
1406	Chichicastenango	-212.8
1407	Patzité	-171.2
1408	San Antonio Ilotenango	73.5
1409	San Pedro Jocopilas	23.8
1410	Cunén	-263.6
1411	San Juan Cotzal	-1040.9
1412	Joyabaj	172.7
1413	Nebaj	26.5
1414	San Andrés Sajcabajá	67.6
1415	Uspantán	-471.7
1416	Sacapulas	15.6
1417	San Bartolomé Jocotenango	150.6
1418	Canillá	149.9
1419	Chicamán	371.3
1420	Playa Grande-Ixcán	844.2
1421	Pachalum	-215.1

Fuente: Elaboración propia.

### 6.6.3 El índice de amenazas climáticas (la exposición) al año 2050

El índice de amenazas climáticas (exposición) para la década del 2050, fue construido con las mismas seis amenazas ambientales que se utilizaron en la determinación de la vulnerabilidad actual. Para ello, se emplearon las anomalías detectadas en los modelos bajo el escenario B1 (menos pesimista) al corte del año 2050.

#### 6.6.3.1 Amenazas futuras por heladas y sequías

##### a. Amenazas futuras por heladas

La probabilidad futura de heladas es una estimación derivada de la temperatura mínima media promedio de la década 2050; y de la relación entre temperatura

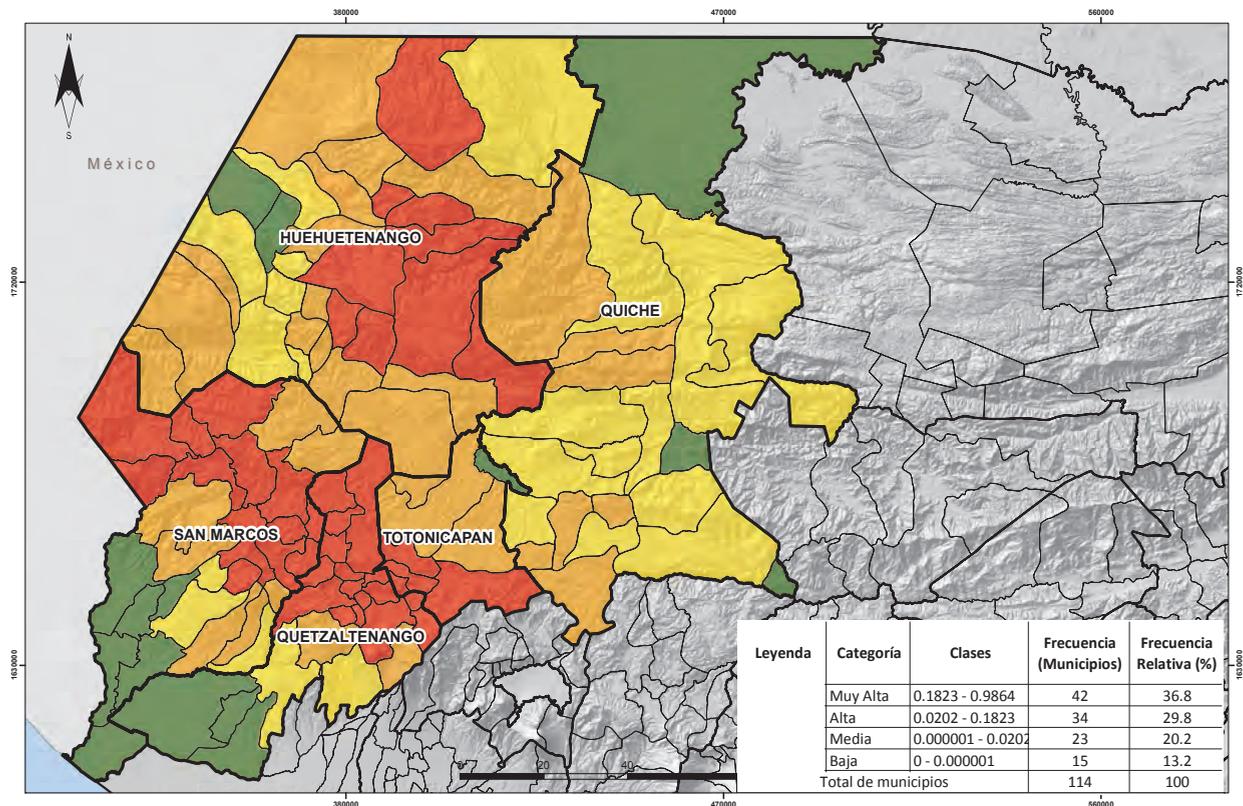
mínima y elevación, que fue explicada en el estudio de la vulnerabilidad actual (parte 1).

Los datos de temperatura provienen de la corrida con el modelo PRECIS y la anomalía detectada se sumó al valor medio de las estaciones meteorológicas del INSIVUMEH utilizadas en este estudio. De esta

forma, se encontraron las variaciones diferenciales por municipio.

A partir de estos cambios se aplicó la misma metodología ya explicada en la vulnerabilidad actual. Con los datos de los índices por heladas a nivel municipal se construyó el mapa que se muestra en la Figura 53.

**Figura 53.** Mapa de amenazas por heladas al año 2050



Fuente: Elaboración propia.

Debido a las anomalías climáticas detectadas al año 2050, con el aumento de la temperatura media anual, lógicamente disminuye el riesgo a heladas en la región. En efecto, si se comparan los dos mapas de amenazas por heladas –el actual y el futuro–, se observa que en el primero, el número de municipios con muy alta amenaza a heladas alcanza la cifra de 65, lo cual representa el 57% del total.

En el mapa futuro de amenazas esta cantidad disminuye a 42 municipios, que representan el 37%

del total de la región. Esto quiere decir que hay una reducción del 20% del total de municipios con muy alta amenaza, que se distribuye en categorías de menor amenaza.

Geográficamente, esto implica una fuerte reducción de los municipios con alto riesgo en los departamentos de Huehuetenango y Quiché. Lo mismo ocurre en la franja central que abarca el norte de los departamentos de San Marcos y Quetzaltenango. Totonicapán se mantiene como el departamento con mayor riesgo.

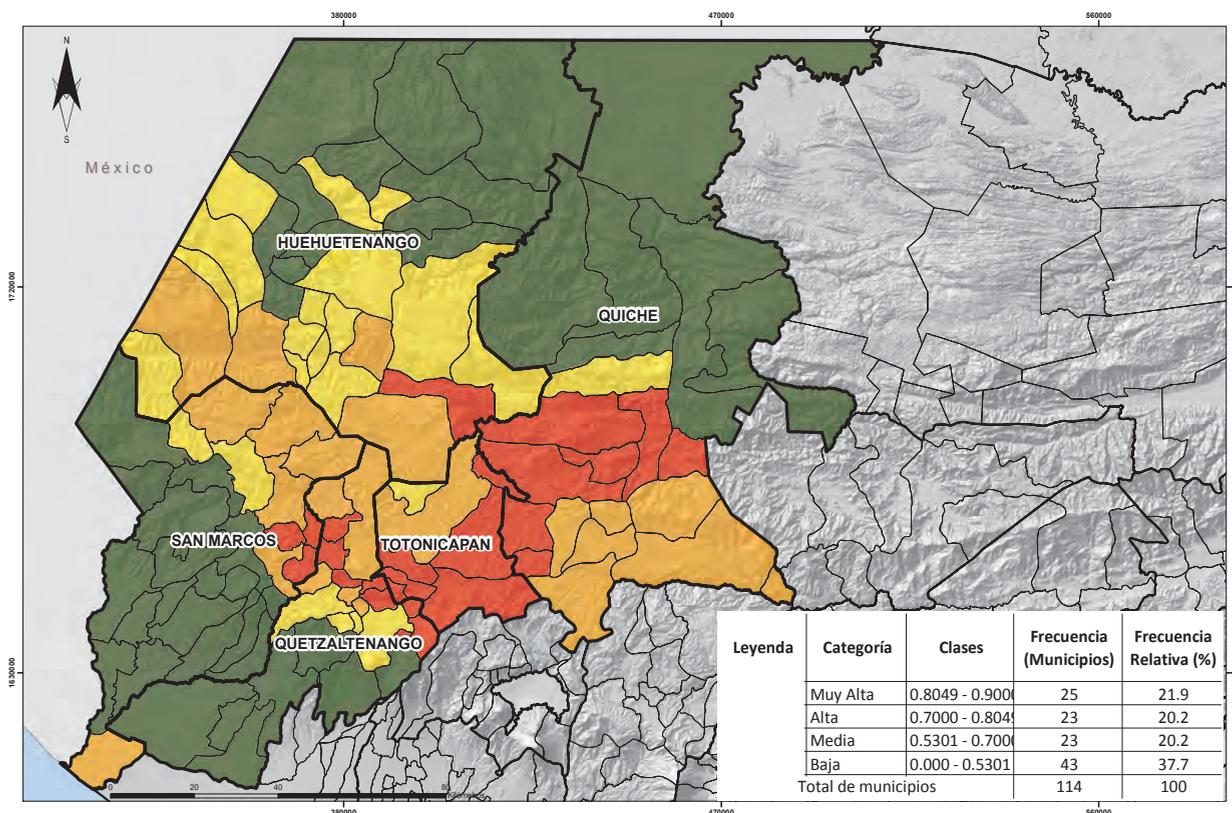
## b. Amenazas futuras por sequías

El mapa de amenazas por sequía futura se realizó en forma similar al de sequía actual, con base en la combinación del comportamiento de dos fenómenos: la aridez climática (que indica la condición estructural de una región), la cual fue calculada para el año 2050 con los datos de anomalías de precipitación estimadas para la década 2050 bajo el escenario B1;

y la probabilidad futura de sequías como fenómeno anómalo y temporal. Al combinar estos dos fenómenos, los datos fueron normalizados mediante el uso de logaritmos.

Por último, el índice de probabilidad futura de sequías a nivel municipal se calculó con la fórmula explicada en el mapa de amenazas por sequía actual. El resultado se muestra en la Figura 54.

**Figura 54.** Mapa de amenazas por sequías al año 2050



Fuente: Elaboración propia.

Las anomalías climáticas en la precipitación y temperatura al año 2050, detectadas en los análisis realizados, predice el aumento del riesgo a sequías en la región.

Si se comparan ambos mapas (amenaza actual y futura), al año 2050 existe un incremento de 18% de municipios en la categoría de muy alta amenaza (20 municipios más) en comparación con la amenaza actual.

Asimismo, en la categoría de alta amenaza existe un aumento del 6% (siete municipios).

A nivel geográfico, se observa que el riesgo a sequías avanza en el sur del Quiché, casi todo Totonicapán, el norte de los departamentos de Quetzaltenango y San Marcos, y el sur de Huehuetenango, especialmente el área de la cuenca del Río Cuilco.

### 6.6.3.2 Otras amenazas ambientales a futuro

Se realizaron los análisis de las amenazas por inundaciones, incendios forestales, deslizamientos y erosión.

#### a. Amenazas por inundaciones e incendios forestales

Con base en el registro de incendios forestales e inundaciones se realizó un análisis de distribución de frecuencias, para establecer el número de eventos a un determinado periodo de retorno.

El número de eventos se calculó conforme el siguiente modelo:

$$X = X_{med} + Z * S_x$$

Modelo matemático del número de eventos:

Donde:

X = valor de la variable

Xmed = media de los valores de eventos

Sx = Desviación estándar de los eventos

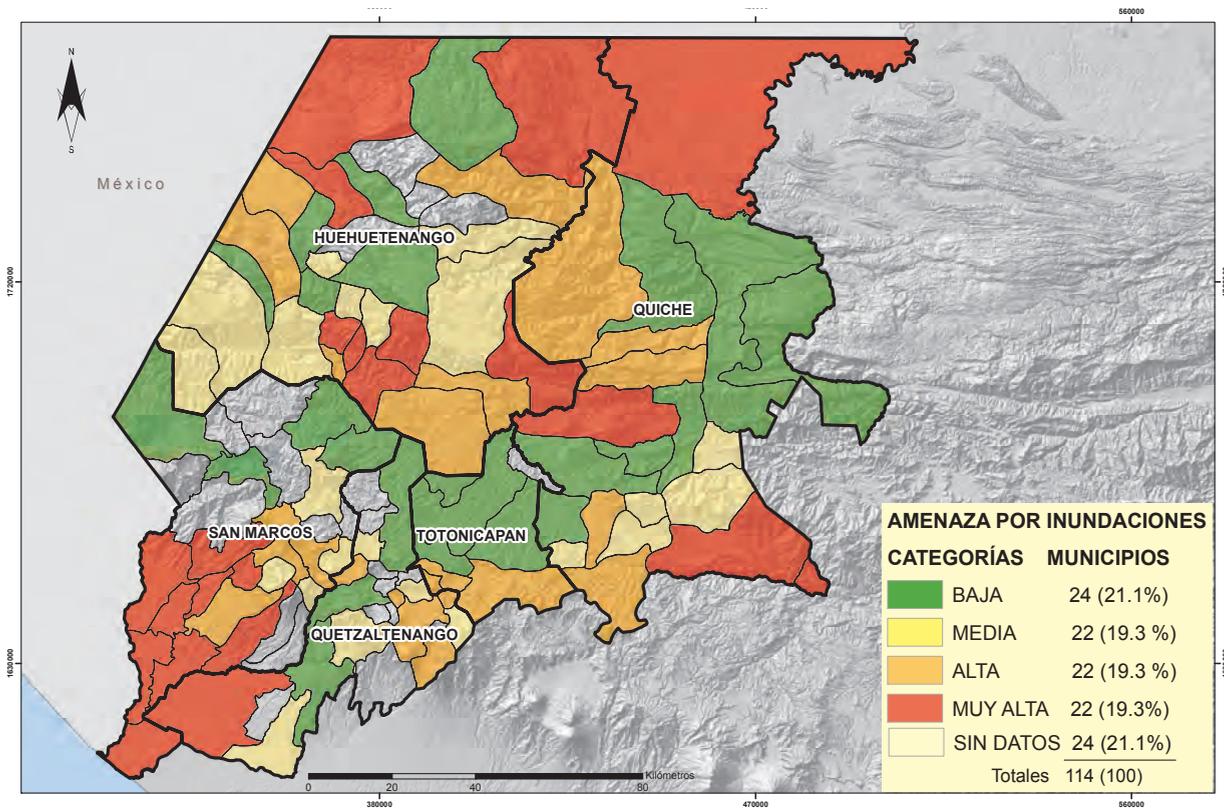
Z = Valor de Z

Los valores fueron llevados a índices a nivel municipal, y se obtuvieron los mapas de las Figuras 55 y 56.

Debido a las anomalías climáticas al año 2050 ya indicadas, el riesgo a incendios forestales aumenta ligeramente. Al comparar ambos mapas (amenazas actuales y a futuro), se observa que la cantidad de municipios con muy alta y alta amenaza por incendios forestales aumenta en 6% (7 municipios más).

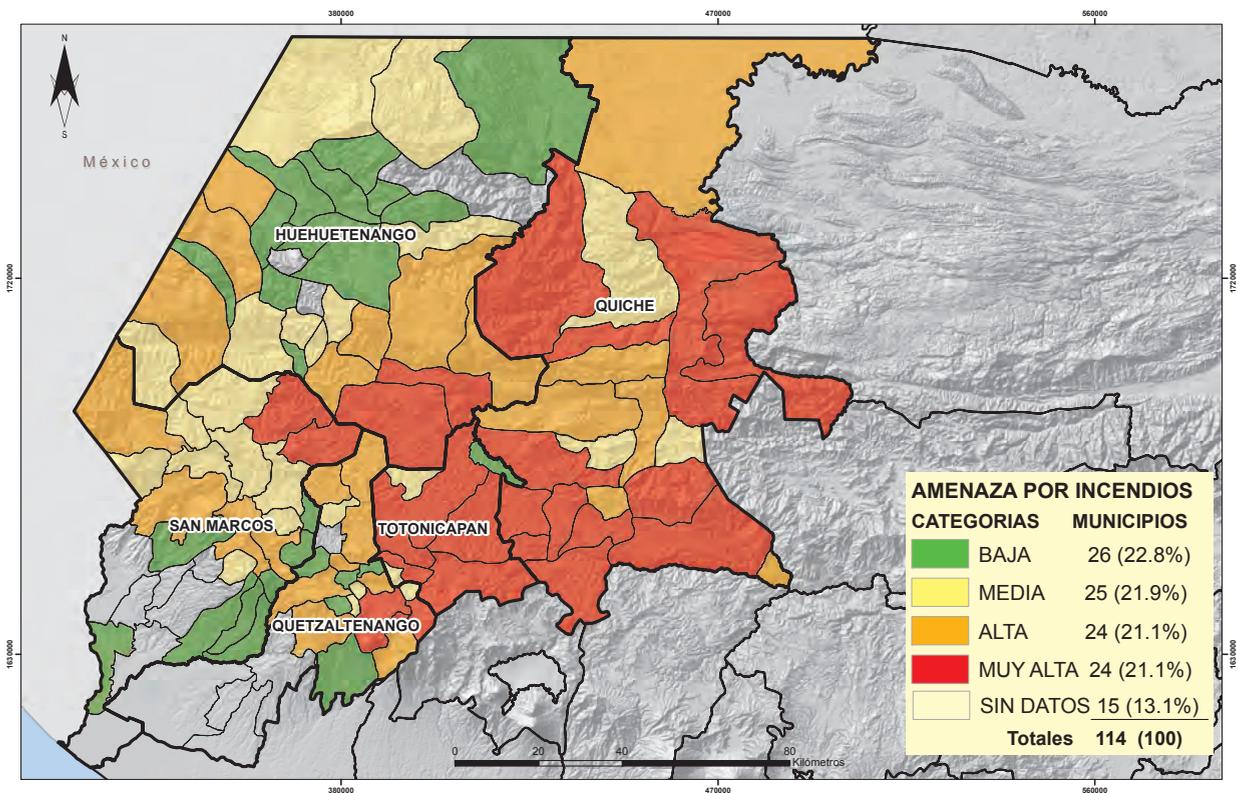
En el mapa de amenazas actuales se tuvieron 23 municipios con muy alta amenaza a incendios forestales, mientras que al 2050 se obtuvieron 24. Por otro lado, el mapa actual muestra 18 municipios con alta amenaza, mientras que al 2050 son 24.

**Figura 55.** Mapa de amenazas por inundaciones a nivel municipal al año 2050



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 56.** Mapa de amenazas por incendios forestales a nivel municipal al año 2050



Fuente: Elaboración propia.

Geográficamente, el aumento del riesgo se verifica en el centro del departamento de Quiché y en el noreste de Huehuetenango. El departamento de Totonicapán continúa como el departamento con mayor riesgo a incendios forestales.

Con respecto a las inundaciones, se mantiene que no es una amenaza significativa en la región, ya que se reducen por la disminución de la lluvia.

La vulnerabilidad actual y futura por inundaciones es una amenaza poco significativa en la región, salvo en las zonas bajas de los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango, Quiché y Huehuetenango.

#### **b. Amenazas por erosión y deslizamientos**

El mapa actual de amenazas por erosión del suelo, tal y como se explicó en la metodología, fue realizado

con base en un levantamiento de suelos (proceso de clasificar e inventariar los suelos existentes), que calificó el riesgo a la erosión en función de aspectos estructurales de cada serie de suelos, lo cual significa que son condiciones estructurales derivadas de su propia formación y evolución.

El levantamiento de suelos fue publicado en 1959 por Simmons, Tárano y Pinto a una escala de reconocimiento (1:250,000). Desde entonces no se han realizado nuevos estudios que permitan estimar proyecciones; por lo tanto, esta amenaza quedó con los mismos valores.

Con respecto al mapa de deslizamientos, los valores no se proyectaron y quedaron con sus valores actuales pues, tal como se indicó en la metodología, el factor climático recibió el máximo peso en la fórmula utilizada para los mapas actuales (MAGA, DIGEGR e IGAC, 2013), por lo que no se puede dar un valor

superior. Estas amenazas se mantienen tal y como fueron calculadas.

### 6.6.3.3 Integración del índice de amenazas climáticas al año 2050

El *índice de amenazas climáticas* a futuro (que conforma la exposición a futuro), se construyó a partir de las seis amenazas discutidas anteriormente. La asignación de los pesos de las variables se realizó mediante el *método de jerarquías analíticas* (AHP) de Saaty, que ya fue explicado en la sección de vulnerabilidad actual. Se prefirió mantener los pesos en ambos análisis para permitir la comparación entre los mapas actuales y futuros.

Como se observa en la Figura 57 y en el Cuadro 47, al integrar las seis amenazas analizadas, se puede observar que el 50% de todos los municipios de la región tiene muy alta o alta amenaza.

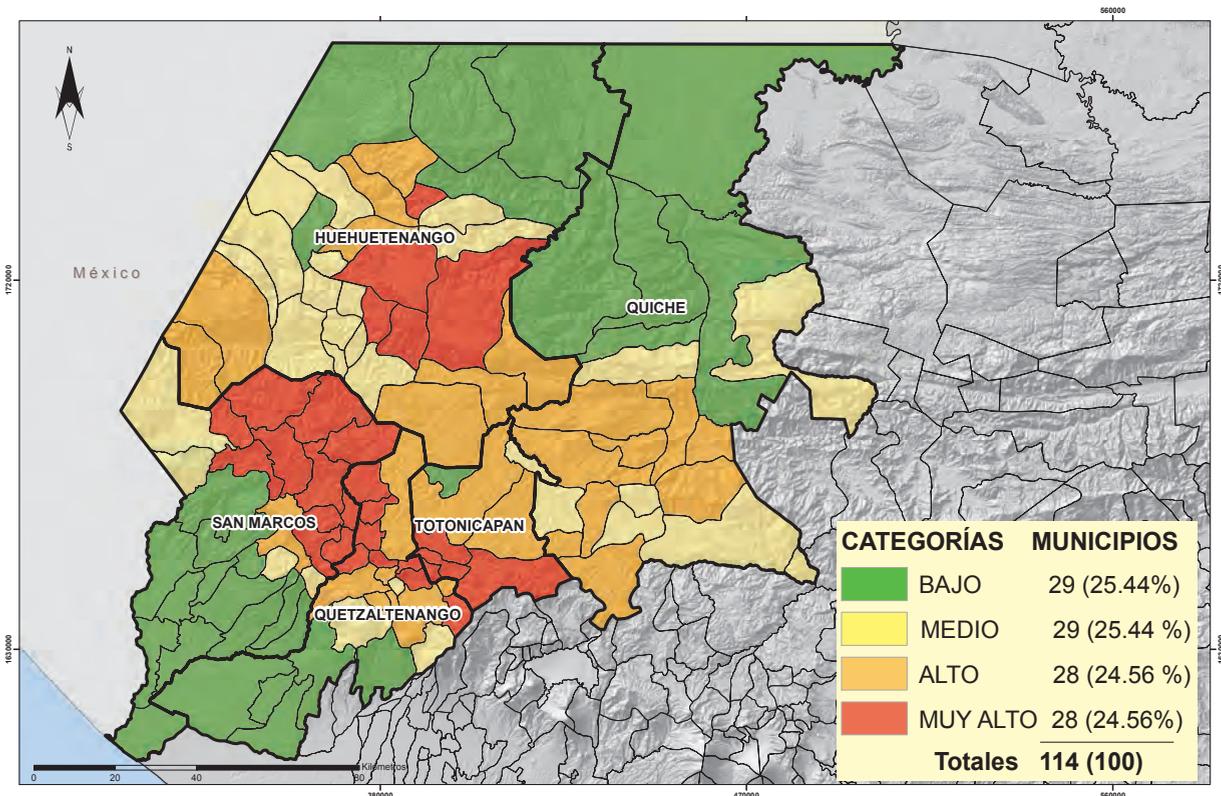
Los cambios más relevantes en la categoría de **muy alta amenaza**, con respecto al mapa actual son los siguientes:

- Quetzaltenango pasó del 33% de sus municipios en esta categoría, al 50%.
- Huehuetenango pasó del 9.4% de sus municipios al 15.6%.
- San Marcos pasó del 31% de sus municipios al 38%.
- Totonicapán continúa con los mismos valores altos (50% de sus municipios).

Respecto a la categoría de **alta amenaza**, los cambios son los siguientes:

- Quiché pasó del 23.8% de sus municipios en esta categoría, al 43%.
- Huehuetenango y Quetzaltenango quedan con valores similares.
- Totonicapán mantiene los mismos valores.
- San Marcos pasó del 20.7% de sus municipios, al 3.4%.

Figura 57. Índice de amenazas climáticas al año 2050, a nivel municipal



Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 47.** Listado de municipios según categoría del *índice de amenazas climáticas* al año 2050

Departamento	Municipios por categoría y porcentaje respecto al departamento			
	Muy alto	Alto	Medio	Bajo
Huehuetenango	Todos Santos Cuchumatán	Cuilco	Santiago Chimaltenango	Nentón
	San Juan Atitán	Aguacatán	San Rafael Pétzal	San Mateo Ixtatán
	San Sebastián Huehuetenango	Malacatancito	Santa Bárbara	Santa Eulalia
	Chiantla	Huehuetenango	San Idelfonso Ixtahuacán	San Antonio Huista
	San Rafael Independencia	San Miguel Acatán	La Libertad	Barillas
		Tectitán	Colotenango	
		Concepción Huista	Soloma	
		San Sebastián Coatán	La Democracia	
			San Pedro Necta	
			Jacaltenango	
			San Juan Ixcoy	
			San Gaspar Ixchil	
			Santa Ana Huista	
		Unión Cantinil		
Porcentaje	15.63	25.00	43.75	15.62
Quetzaltenango	Huitán	Almolonga	La Esperanza	El Palmar
	Palestina de los Altos	San Carlos Sija	Zunil	Colomba
	Sibilia	San Juan Ostuncalco	San Martín Sacatepéquez	Coatepeque
	Cabricán	Quetzaltenango		Génova
	Cajolá	Concepción Chiquirichapa		Flores Costa Cuca
	Olintepeque	San Mateo		
	San Francisco La Unión	San Miguel Sigüilá		
	Cantel	Salcájá		
Porcentaje	33.33	33.33	12.50	20.83
Quiché		San Bartolomé Jocotenango	Joyabaj	San Juan Cotzal
		Sacapulas	San Antonio Ilotenango	Nebaj
		San Pedro Jocopilas	Cunén	Uspantán
		Chichicastenango	Chinique	Chajul
		Zacualpa	Chiché	Playa Grande-Ixcán
		San Andrés Sajcabajá	Pachalum	
		Santa Cruz del Quiché	Chicamán	
		Patzité		
		Canillá		
Porcentaje	0.00	42.86	33.33	23.81
Totonicapán	Totonicapán	Santa María Chiquimula	Santa Lucía La Reforma	San Bartolo
	San Francisco El Alto	Momostenango		
	San Andrés Xecul			
	San Cristóbal Totonicapán			
Porcentaje	50.00	25.00	12.50	12.50

Departamento	Municipios por categoría y porcentaje respecto al departamento			
	Muy alto	Alto	Medio	Bajo
San Marcos	San Lorenzo	San Marcos	Tacaná	Tajumulco
	Río Blanco		San Cristóbal Cucho	La Reforma
	San Antonio Sacatepéquez		Esquipulas Palo Gordo	Ocós
	Tejutla		Sibinal	El Quetzal
	Comitancillo			San Pablo
	San Pedro Sacatepéquez			Nuevo Progreso
	Concepción Tutuapa			Ayutla
	San José Ojetenam			San Rafael Pie de la Cuesta
	Ixchiguán			El Tumbador
	San Miguel Ixtahuacán			Malacatán
	Sipacapa			Pajapita
				El Rodeo
			Catarina	
Porcentaje	37.93	3.45	13.79	44.82

Fuente: Elaboración propia.

## 6.6.4 Índice de sensibilidad al año 2050

Tal y como se realizó en el análisis de la vulnerabilidad actual, este índice se integra por dos subíndices: escasez hídrica y sensibilidad de la producción de granos básicos y café. Los procedimientos son similares, y se utilizaron las anomalías climáticas detectadas al año 2050 para realizar las proyecciones.

### 6.6.4.1 Índice de escasez hídrica al año 2050

La demanda poblacional se obtuvo multiplicando la proyección poblacional para la década (cuyo promedio es el año 2050) por el consumo medio indicado por la Organización Mundial de la Salud. El método de proyección se explica en el *índice demográfico* de la capacidad de adaptación. La demanda de la población y la oferta hídrica se calcularon tal y como se explicó en el *índice de escasez hídrica* a nivel actual.

El cambio operado en el balance hídrico (Balance hídrico = Precipitación – evapotranspiración – infiltración) proviene del análisis climático realizado a futuro, donde la precipitación se obtuvo del *raster* de lluvia anual de la década 2050.

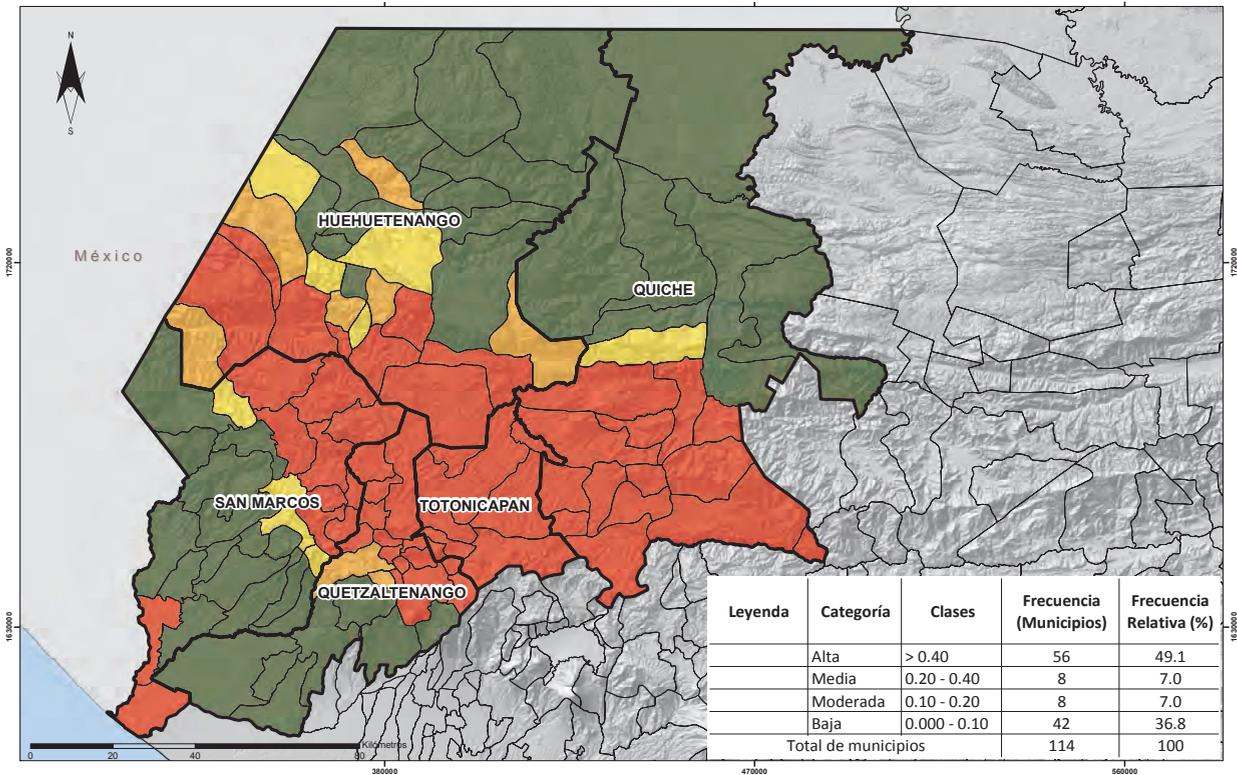
La evapotranspiración potencial se calculó con la *ecuación de Hargreaves*, a través de los *raster* de temperatura máxima, media y mínima de la década 2050.

La radiación extraterrestre y la infiltración se infirieron a través de las clases texturales de la capa de serie de suelos de Simmons, Tárano y Pinto (1959) para la región. Se aplicaron las fórmulas y métodos ya explicados. El índice fue graficado y se obtuvo el mapa que se muestra en la Figura 58.

A partir de esta ecuación, se estableció el *índice de escasez hídrica futura* a nivel municipal para categorizar la relación entre la oferta hídrica potencial disponible y la demanda por parte de las actividades humanas dependientes del recurso. A partir de la definición del índice se categorizó el rango en el que se encuentran los municipios.

La escasez hídrica se concentra en el área central de la región, con un fuerte impacto al sur de Quiché, todo el departamento de Totonicapán, el norte de los departamentos de Quetzaltenango y San Marcos, y el sur de Huehuetenango; formando una especie de corredor de escasez hídrica.

Figura 58. Índice de escasez hídrica a futuro (año 2050)



Fuente: Elaboración propia.

#### 6.6.4.2 Índice de sensibilidad de la producción al año 2050

Para determinar el rendimiento municipal futuro de maíz, frijol y café se construyeron modelos que relacionan el rendimiento con la temperatura media municipal y la lluvia media municipal, seleccionando el primero (temperatura), por presentar mejor coeficiente de correlación de Pearson.

Posteriormente, se utilizaron los escenarios de temperatura de la década de 2050 para estimar los rendimientos futuros del cultivo de maíz, frijol y café.

**Modelo para maíz:**  
 Rendimiento (qq/mz) =  
 $0.235 * \text{Temp}^2 - 9.2326 * \text{Temp} + 108.14$

**Modelo para frijol:**  
 Rendimiento (qq/mz) =  
 $0.0079 * \text{Temp}^2 - 0.05 * \text{Temp} + 3.5169$

**Modelo para café:**  
 Rendimiento (qq/mz) =  
 $0.0433 * \text{Temp}^2 + 1.8938 * \text{Temp} - 12.17$

La anomalía de rendimiento futuro se calculó con las estimaciones de rendimiento, y el rendimiento medio bajo condiciones oceano atmosféricas neutras. Se aplicaron los mismos métodos ya explicados en la vulnerabilidad actual.

En el Cuadro 48 se observan las anomalías del rendimiento de los tres cultivos analizados, que fueron utilizadas para realizar el mapa de la Figura 59.

El ordenamiento de los datos fue realizado con base en el cultivo de maíz. Los valores negativos indican pérdidas en relación al presente.

**Cuadro 48.** Diferencia del rendimiento de los cultivos maíz, frijol y café en los escenarios actual y futuro, respecto al cambio climático

Departamento	Municipio	Futuro 2050 (quintales por manzana)			Actual (quintales por manzana)			Diferencias de anomalías (Futuro - Actual)		
		Maíz	Frijol	Café	Maíz	Frijol	Café	Maíz	Frijol	Café
Quetzaltenango	Almolonga	21.2	4.7		55.5	5.9		-34.3	-1.2	
Quetzaltenango	Salcajá	20.4	4.8		43.3	4.7		-22.9	0.1	
San Marcos	San Antonio Sacatepéquez	23	4.5	8.9	44.3	3.0	3.6	-21.3	1.5	5.3
Totonicapán	San Andrés Xecul	23.4	4.5	16.1	41.2	3.1	19.0	-17.8	1.4	-2.9
Totonicapán	San Bartolo	18.1	5.2	19.9	35.9	3.9	13.9	-17.8	1.3	6.0
Quetzaltenango	San Miguel Sigüilá	22.8	4.5		40.5	2.8		-17.7	1.7	
Quetzaltenango	La Esperanza	21.6	4.6		38.9	2.3		-17.3	2.3	
Quetzaltenango	Concepción Chiquirichapa	25.2	4.3	5.9	41.9	6.8	12.8	-16.7	-2.5	-6.9
Quetzaltenango	Cajolá	24.5	4.4	15.3	38.0	3.2	9.4	-13.5	1.2	5.9
Quetzaltenango	San Mateo	24.7	4.4	6.1	37.7	3.9	11.1	-13.0	0.5	-5.0
Quetzaltenango	San Carlos Sija	21.7	4.6	8.1	34.3	2.6	3.6	-12.6	2.0	4.5
Totonicapán	San Francisco El Alto	22.6	4.5		34.1	2.1		-11.5	2.4	
Quetzaltenango	San Juan Ostuncalco	20.9	4.7	11.4	32.3	3.3	13.1	-11.4	1.4	-1.7
San Marcos	San Rafael Pie de la Cuesta	21.1	6.7	17.9	31.6	5.5	14.5	-10.5	1.2	3.4
San Marcos	Río Blanco	21.3	4.7		31.7	4.2		-10.4	0.5	
Totonicapán	Momostenango	18.2	5.1	8.4	28.6	3.6	4.0	-10.4	1.5	4.4
Quetzaltenango	Quetzaltenango	23	4.5		33.0	3.2		-10.0	1.3	
Quetzaltenango	San Martín Sacatepéquez	18.9	5	14.9	28.6	4.8	12.2	-9.7	0.2	2.7
San Marcos	Esquipulas Palo Gordo	20.1	4.8	19.9	29.5	4.3	5.8	-9.4	0.5	14.1
Quetzaltenango	Olintepeque	22.6	4.5		31.8	2.7		-9.2	1.8	
Totonicapán	San Cristóbal Totonicapán	21.9	4.6		30.2	4.3		-8.3	0.3	
San Marcos	San Marcos	23.6	4.5	6	31.9	4.0	5.5	-8.3	0.5	0.5
Quetzaltenango	Sibilia	25.4	4.3		33.1	2.9		-7.7	1.4	
Quetzaltenango	Cantel	23.2	4.5	3.3	30.2	3.2	2.4	-7.0	1.3	0.9
San Marcos	Comitancillo	20.6	4.7	8.1	26.3	4.7	6.4	-5.7	0.0	1.7
Quetzaltenango	Cabricán	21.2	4.7		26.4	2.9		-5.2	1.8	
Quiché	Chiché	17.9	5.2	6.4	22.8	2.6	7.8	-4.9	2.6	-1.4
Quiché	Chicamán	18.7	6.2	8.7	23.5	7.3	6.4	-4.8	-1.1	2.3
Totonicapán	Santa Lucía La Reforma	17.5	5.7		22.3	4.3		-4.8	1.4	
Huehuetenango	Huehuetenango	17.5	5.5	9	22.1	4.1	12.1	-4.6	1.4	-3.1
Huehuetenango	Aguacatán	18.9	5	26.5	23.2	4.2	19.1	-4.3	0.8	7.4
Totonicapán	Totonicapán	24.5	4.4	6.4	28.7	3.0	7.9	-4.2	1.4	-1.5
Quetzaltenango	Zunil	20.8	4.7	17.4	25.0	4.2	10.4	-4.2	0.5	7.0
San Marcos	San Lorenzo	24.8	4.4	7.2	28.8	3.3	5.9	-4.0	1.1	1.3
San Marcos	San Pedro Sacatepéquez	22.2	4.6	12.2	26.2	3.7	4.6	-4.0	0.9	7.6

Continuación del Cuadro 48

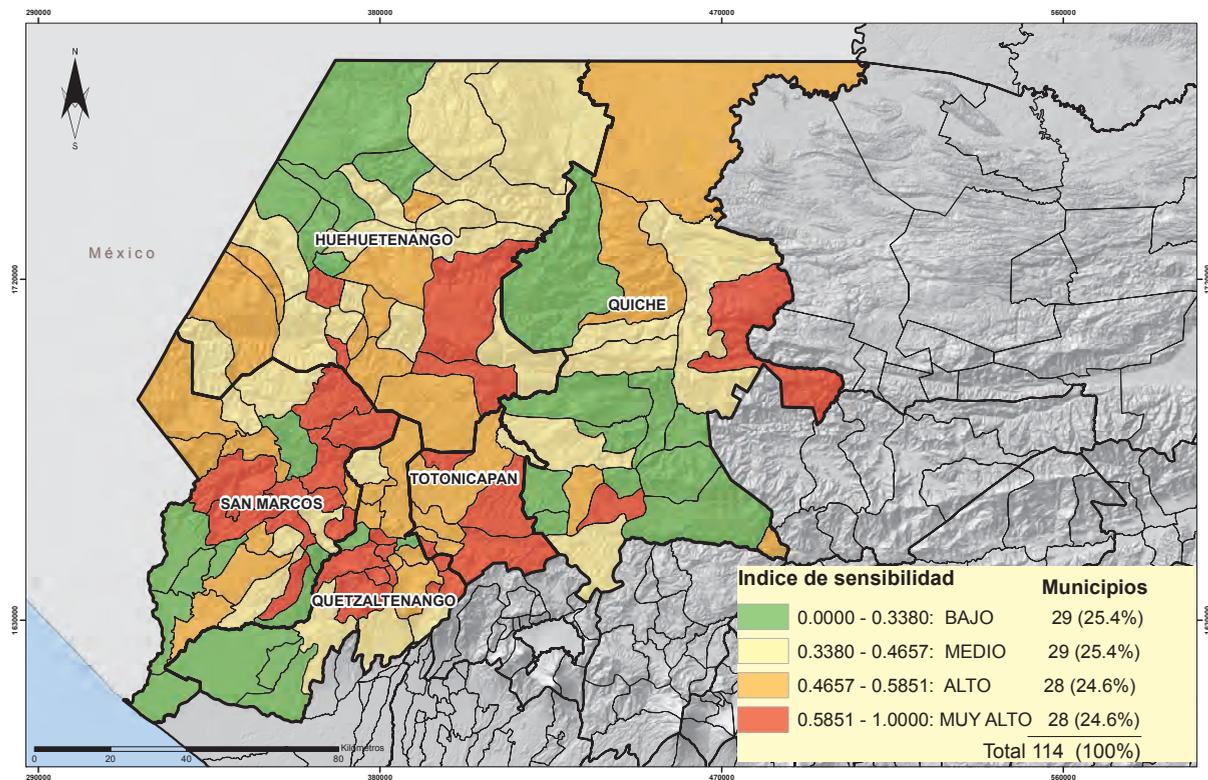
Departamento	Municipio	Futuro 2050 (quintales por manzana)			Actual (quintales por manzana)			Diferencias de anomalías (Futuro - Actual)		
		Maíz	Frijol	Café	Maíz	Frijol	Café	Maíz	Frijol	Café
San Marcos	Nuevo Progreso	25.2	7.3	19	28.5	8.1	8.6	-3.3	-0.8	10.4
Quetzaltenango	Huitán	23.4	4.5	7.8	26.6	2.7	3.1	-3.2	1.8	4.7
San Marcos	San Miguel Ixtahuacán	18.1	5.2	2	20.4	5.1	2.7	-2.3	0.1	-0.7
Quiché	San Antonio Ilotenango	17.6	5.4		19.8	2.2		-2.2	3.2	
San Marcos	Sipacapa	18.2	5.2	3.1	20.1	5.0	6.4	-1.9	0.2	-3.3
Huehuetenango	San Rafael Pétzal	18	5.2	3.8	19.6	2.0	2.6	-1.6	3.2	1.2
Huehuetenango	Santa Bárbara	17.7	5.3	5.8	19.2	3.9	3.9	-1.5	1.4	1.9
Huehuetenango	Malacatancito	17.5	5.4	16.1	18.9	4.4	13.0	-1.4	1.0	3.1
Quetzaltenango	Colomba	23	7	15.9	24.4	4.9	12.3	-1.4	2.1	3.6
Huehuetenango	Santiago Chimaltenango	18.8	5	10.2	19.9	4.2	4.7	-1.1	0.8	5.5
Quiché	Cunén	18.7	5	18.1	19.7	2.5	13.1	-1.0	2.5	5.0
Huehuetenango	San Sebastián Coatán	18.1	5.2	12.3	18.9	2.3	3.6	-0.8	2.9	8.7
San Marcos	La Reforma	19.1	6.3	20	19.9	17.8	15.4	-0.8	-11.5	4.6
Quiché	Chichicastenango	19.2	4.9	12.4	19.9	2.2	6.9	-0.7	2.7	5.5
San Marcos	Concepción Tutuapa	19.5	4.9	11	20.0	4.5	5.0	-0.5	0.4	6.0
Totonicapán	Santa María Chiquimula	18.2	5.1	4.2	18.7	2.9	1.9	-0.5	2.2	2.3
Quiché	Zacualpa	17.5	5.7	13.4	18.0	2.2	5.3	-0.5	3.5	8.1
Quiché	Santa Cruz del Quiché	18.5	5.1	7.9	19.0	4.2	7.3	-0.5	0.9	0.6
Quiché	Nebaj	17.6	5.4	21.8	17.9	1.8	10.2	-0.3	3.6	11.6
Quiché	San Pedro Jocopilas	17.5	5.5	10.2	17.8	3.1	4.5	-0.3	2.4	5.7
Quiché	Pachalum	20.8	6.7	9.6	21.1	5.2	8.5	-0.3	1.5	1.1
Quiché	Chajul	18.3	6.1	6.6	18.4	5.1	3.6	-0.1	1.0	3.0
Quiché	San Andrés Sajcabajá	18.7	6.2		18.8	2.8		-0.1	3.4	
Huehuetenango	San Miguel Acatán	17.5	5.7	8.4	17.6	3.0	3.8	-0.1	2.7	4.6
Quetzaltenango	Génova	37.7	8.7	20.5	37.4	5.6	10.6	0.3	3.1	9.9
San Marcos	San Cristóbal Cucho	18.1	5.2	23.5	17.7	3.6	12.8	0.4	1.6	10.7
Huehuetenango	Tectitán	18.2	6.1	6.5	17.8	2.2	3.0	0.4	3.9	3.5
San Marcos	San Pablo	20.3	6.6	19.4	19.8	14.2	12.2	0.5	-7.6	7.2
Quetzaltenango	El Palmar	18.9	6.3	19.4	18.1	5.9	11.9	0.8	0.4	7.5
Quiché	San Juan Cotzal	17.5	5.5	12.3	16.4	2.1	7.1	1.1	3.4	5.2
Quiché	Sacapulas	18.2	6.1	21.9	17.1	2.9	9.9	1.1	3.2	12.0
San Marcos	Ixchigán	23.9	4.4		22.6	7.9		1.3	-3.5	
San Marcos	Tajumulco	17.5	5.5	10.7	16.1	9.4	8.4	1.4	-3.9	2.3
Quetzaltenango	San Francisco La Unión	25.1	4.4		23.7	2.9		1.4	1.5	
Huehuetenango	Concepción Huista	17.8	5.3	10	16.4	3.0	5.5	1.4	2.3	4.5
Huehuetenango	San Pedro Necta	17.5	5.5	12.1	15.8	2.8	16.6	1.7	2.7	-4.5
Quiché	Joyabaj	17.8	5.9	17.2	15.9	2.7	7.4	1.9	3.2	9.8
Quiché	Playa Grande-Ixcán	32.3	8.1	13.6	30.3	13.0	2.5	2.0	-4.9	11.1
Huehuetenango	Colotenango	17.6	5.4	10.8	15.5	2.8	3.8	2.1	2.6	7.0
Huehuetenango	Cuilco	17.5	5.4	6.5	15.1	2.6	9.0	2.4	2.8	-2.5
Quiché	Uspantán	19.7	6.5	8.9	17.1	4.0	3.8	2.6	2.5	5.1
Quiché	Patzité	18.5	5.1		15.9	3.0		2.6	2.1	

Continuación del Cuadro 48

Departamento	Municipio	Futuro 2050 (quintales por manzana)			Actual (quintales por manzana)			Diferencias de anomalías (Futuro - Actual)		
		Maíz	Frijol	Café	Maíz	Frijol	Café	Maíz	Frijol	Café
San Marcos	Sibinal	19.1	5	4	16.4	6.2	2.6	2.7	-1.2	1.4
Huehuetenango	San Gaspar Ixchil	17.8	5.9	5.7	15.1	8.8	2.5	2.7	-2.9	3.2
Quetzaltenango	Coatepeque	41.2	9	21.1	38.4	3.8	13.7	2.8	5.2	7.4
Huehuetenango	San Rafael Independencia	21.4	4.7	14.5	18.5	4.4	13.6	2.9	0.3	0.9
San Marcos	Pajapita	41.9	9.1	13.3	39.0	15.7	2.6	2.9	-6.6	10.7
San Marcos	San José Ojetenam	23.2	4.5		19.8	6.2		3.4	-1.7	
Quetzaltenango	Palestina de los Altos	25.9	4.3		22.4	2.6		3.5	1.7	
Huehuetenango	La Libertad	18	6	18.3	14.4	6.4	14.5	3.6	-0.4	3.8
San Marcos	El Rodeo	30.8	8	25.9	27.2	5.5	12.2	3.6	2.5	13.7
Huehuetenango	Santa Eulalia	17.5	5.6	7.1	13.6	4.2	2.2	3.9	1.4	4.9
Huehuetenango	San Juan Ixcay	20.9	4.7	7.5	17.0	2.4	2.9	3.9	2.3	4.6
Huehuetenango	Nentón	18.1	6	11.8	14.0	2.3	2.9	4.1	3.7	8.9
San Marcos	Tacaná	18.6	5	9.5	14.4	1.4	14.5	4.2	3.6	-5.0
Quiché	Chinique	18.6	5.1	11.6	14.2	1.5	6.6	4.4	3.6	5.0
Huehuetenango	San Sebastián Huehuetenango	24	4.4	11.3	19.6	3.3	8.1	4.4	1.1	3.2
San Marcos	El Tumbador	25.4	7.4	22.6	20.7	8.6	18.8	4.7	-1.2	3.8
Huehuetenango	La Democracia	22.3	6.9	17.1	17.3	6.3	10.0	5.0	0.6	7.1
Huehuetenango	Barillas	22.9	7	18	17.2	7.0	10.6	5.7	0.0	7.4
Huehuetenango	San Mateo Ixtatán	18.5	5.1	19.3	12.3	3.5	13.8	6.2	1.6	5.5
San Marcos	El Quetzal	23.5	7.1	20.9	17.2	6.9	11.6	6.3	0.2	9.3
Quiché	San Bartolomé Jocotenango	18.1	6		11.8	2.2		6.3	3.8	
Quetzaltenango	Flores Costa Cuca	35	8.4	15.2	28.6	4.3	10.5	6.4	4.1	4.7
San Marcos	Ayutla	45.4	9.4	12.9	38.9	8.7	2.4	6.5	0.7	10.5
Huehuetenango	Soloma	23.1	4.5	7.8	16.5	3.3	3.1	6.6	1.2	4.7
Quiché	Canillá	20.8	6.7	29.3	14.1	1.5	14.7	6.7	5.2	14.6
Huehuetenango	Jacaltenango	20.8	6.7	20.1	13.2	2.0	11.7	7.6	4.7	8.4
Huehuetenango	Chiantla	25.8	4.3	7.8	18.1	6.1	11.6	7.7	-1.8	-3.8
Huehuetenango	San Juan Atitán	24.8	4.4	9.6	17.0	3.1	8.8	7.8	1.3	0.8
San Marcos	Tejutla	22.1	4.6	12.8	12.9	4.1	3.6	9.2	0.5	9.2
Huehuetenango	San Idelfonso Ixtahuacán	17.6	5.8	9.7	8.4	3.3	7.4	9.2	2.5	2.3
Huehuetenango	Todos Santos Cuchumatán	27.4	4.2	3.1	17.0	4.0	5.6	10.4	0.2	-2.5
Huehuetenango	San Antonio Huista	20.4	6.6	8.3	8.9	3.2	4.4	11.5	3.4	3.9
San Marcos	Malacatán	35	8.4	17.5	22.2	6.9	7.3	12.8	1.5	10.2
Huehuetenango	Santa Ana Huista	28	7.7	14	13.9	8.3	7.5	14.1	-0.6	6.5
Huehuetenango	Unión Cantinil	18	6	14.1	2.4	2.4	13.1	15.6	3.6	1.0
San Marcos	Catarina	37.5	8.7	19.7	20.6	5.3	5.4	16.9	3.4	14.3
San Marcos	Ocós	49.6	9.7		31.7	6.9		17.9	2.8	

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 59.** Índice de sensibilidad de la producción de granos básicos y café sobre la base de los cambios en la disponibilidad de agua y temperatura al año 2050



Fuente: Elaboración propia.

Los cambios más notables en este mapa, con relación al mapa actual, son:

- Mayor sensibilidad de la producción de granos básicos y café del departamento de Totonicapán,
- Mayor sensibilidad del centro y sur del departamento de Huehuetenango,
- Menor sensibilidad en el norte de los departamentos de San Marcos y Quetzaltenango, y
- El departamento de Quiché se muestra como el menos afectado.



Granos básicos que forman parte de la agrobiodiversidad del bosque, como recurso para la adaptación al cambio climático.

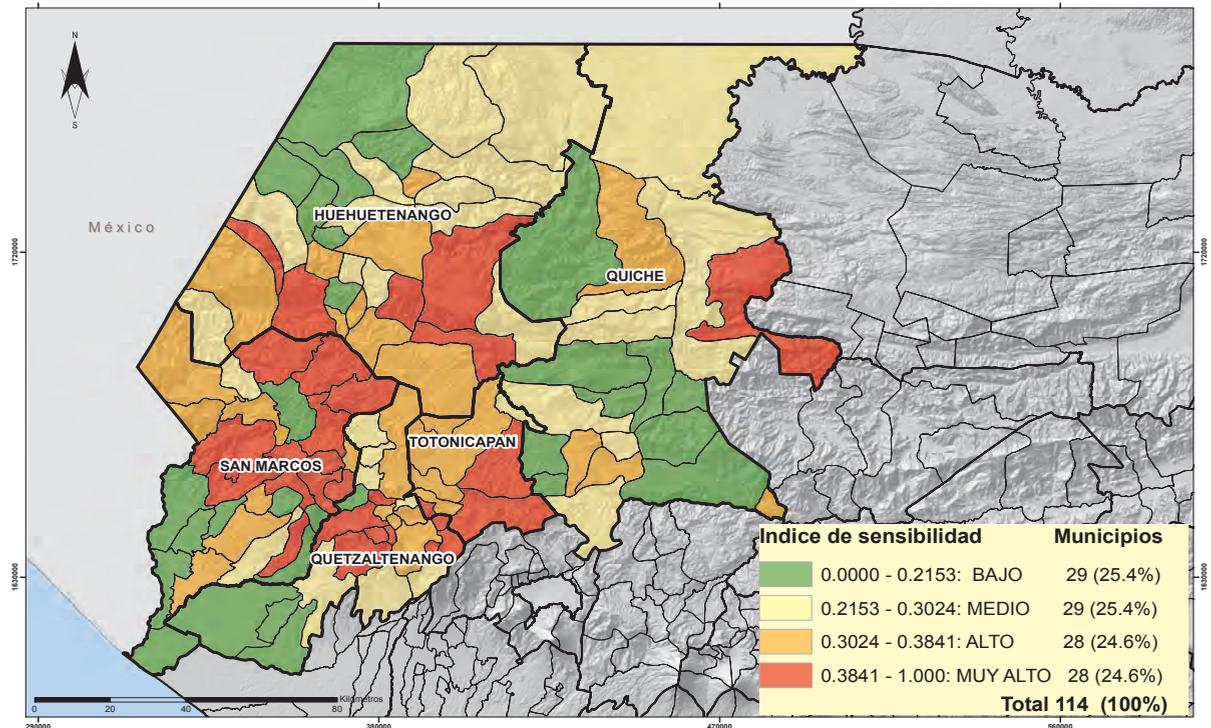
Fotografía: Jorge Cardona, TNC.

### 6.6.4.3 Integración del índice de sensibilidad al año 2050

El índice de sensibilidad a futuro se calculó agregando el índice de escasez hídrica y el índice de sensibilidad

de la producción. En la Figura 60 y Cuadro 49, se muestra el resultado del análisis.

**Figura 60.** Índice de sensibilidad (producción más hídrica) sobre la base de los cambios en la disponibilidad de agua y temperatura al año 2050



Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 49.** Listado de municipios según categoría del índice de sensibilidad al año 2050

Departamento	Municipios por categoría y porcentaje respecto al departamento			
	Muy alto	Alto	Medio	Bajo
Huehuetenango	San Idelfonso Ixtahuacán	San Pedro Necta	San Juan Atitán	Colotenango
	San Sebastián Huehuetenango	San Gaspar Ixchil	Santiago Chimaltenango	Santa Ana Huista
	La Libertad	Cuilco	Aguacatán	Unión Cantinil
	Huehuetenango	Todos Santos Cuchumatán	San Miguel Acatán	San Sebastián Coatán
	Chiantla	San Rafael Independencia	Concepción Huista	San Antonio Huista
		Santa Bárbara	Santa Eulalia	Nentón
		Malacatancito	Tectitán	Jacaltenango
		San Rafael Pétzal	Soloma	
			San Juan Ixcoy	
			Barillas	
		La Democracia		
		San Mateo Ixtatán		
Porcentaje	15.60	25.00	37.50	21.90

Continuación del Cuadro 49

Departamento	Municipios por categoría y porcentaje respecto al departamento			
	Muy alto	Alto	Medio	Bajo
Quetzaltenango	Cantel	San Miguel Sigüilá	Sibilia	Palestina de los Altos
	Concepción Chiquirichapa	La Esperanza	Huitán	Flores Costa Cuca
	Almolonga	San Carlos Sija	Colomba	Génova
	Cajolá	Quetzaltenango	Zunil	Coatepeque
	San Mateo	Olintepeque	Cabricán	
	Salcajá		El Palmar	
	San Juan Ostuncalco		San Francisco La Unión	
	San Martín Sacatepéquez			
Porcentaje	33.30	20.80	29.20	16.70
Quiché	Chicamán	Chiché	Playa Grande-Ixcán	San Antonio Ilotenango
		Santa Cruz del Quiché	Cunén	Zacualpa
		Pachalum	Chichicastenango	Patzitit
		Chajul	San Pedro Jocopilas	Joyabaj
			Uspantán	Sacapulas
			San Juan Cotzal	Nebaj
			Chinique	San Bartolomé Jocotenango
				San Andrés Sajcabajá
			Canillá	
Porcentaje	4.80	19.00	33.30	42.90
San Marcos	San Lorenzo	San Rafael Pie de la Cuesta	San José Ojetenam	Esquipulas Palo Gordo
	La Reforma	Sibinal	Nuevo Progreso	El Quetzal
	Sipacapa	Tacaná		San Cristóbal Cucho
	San Pablo	Río Blanco		Tejutla
	San Marcos	Ixchiguán		Ayutla
	San Pedro Sacatepéquez	Pajapita		Malacatán
	San Miguel Ixtahuacán	El Tumbador		El Rodeo
	Tajumulco			Ocós
	San Antonio Sacatepéquez			Catarina
	Concepción Tutuapa			
	Comitancillo			
Porcentaje	37.94	24.14	6.90	31.02
Totonicapán	San Andrés Xecul	San Bartolo	Santa Lucía La Reforma	
	Santa María Chiquimila	Momostenango		
	Totonicapán	San Cristóbal Totonicapán		
		San Francisco El Alto		
Porcentaje	37.50	50.00	12.50	0.00

Fuente: Elaboración propia.

Los cambios más relevantes en la categoría de **muy alta sensibilidad**, con respecto al mapa actual son los siguientes:

- Quetzaltenango, que pasa de tener el 12.5% de sus municipios en esa categoría, al 33.3%.
- Huehuetenango queda con valores similares.
- Los departamentos que bajan su sensibilidad (lo cual se considera como un aspecto positivo) son:
  - Quiché, que baja del 9% de sus municipios a 4.8%.
  - San Marcos baja ligeramente.
  - Totonicapán, que baja del 87.5% de sus municipios al 37.5%.

En la categoría de **alta sensibilidad**, los cambios son los siguientes:

- Totonicapán tiene un fuerte incremento, ya que pasa del 12.5% al 50% de sus municipios en esa categoría, lo cual es preocupante.
- El departamento de Huehuetenango tiene un fuerte incremento, ya que pasa del 12.5% al 25% de sus municipios en esa categoría, lo cual también es preocupante.
- San Marcos empeora ligeramente, ya que pasa del 20% al 24% de sus municipios en esa categoría.
- El departamento de Quiché tuvo una mejora, ya que pasa del 38% al 19% de sus municipios en esta categoría.

## 6.6.5 Índice de capacidad de adaptación al año 2050

Tal y como se realizó con la vulnerabilidad actual, se estimó la capacidad de adaptación de la región a futuro, construyendo los siguientes índices:

1. De densidad de población,
2. De servicios ecosistémicos por la presencia de bosque denso; y
3. De inseguridad alimentaria y nutricional.

### 6.6.5.1 Índice de densidad de población al año 2050

La proyección de la población para la década de 2050 se estimó con base en la función logística, la cual constituye un refinamiento del modelo exponencial para el crecimiento de población de cada municipio. Este método fue seleccionado por las siguientes razones: a) El crecimiento poblacional es exponencial inicialmente; b) Al cabo de un tiempo aparece la competencia entre los miembros de la población por algún recurso crítico; y c) La tasa de crecimiento disminuye hasta alcanzar la madurez donde el crecimiento se detiene.

En el Cuadro 50 se puede observar el crecimiento de la población del año 2010 al 2050. La población total de la región crece drásticamente al año 2050, ya que pasa de 4,265,000 millones de habitantes en el año 2010 a una población total de 8,654,200 millones en el año 2050. Esto implica un 103% de crecimiento en promedio.

Al ver estas cifras por medio de la densidad de población por km<sup>2</sup>, se observa que los departamentos con mayor densidad poblacional son Totonicapán y San Marcos (Figura 61). Este aumento de población es muy preocupante, por la necesidad futura de satisfacer su demanda de bienes y servicios.

**Cuadro 50. Crecimiento de la población a nivel municipal al año 2050**

Departamento	Municipio	Población año 2010	Población año 2050	Diferencia 2050 y 2010	Crecimiento en % de la población
Totonicapán	San Bartolo Aguas Calientes	16,389	62,677	46,288	282
Quetzaltenango	San Mateo	9,145	34,416	25,271	276
Quiché	Zacualpa	41,337	148,649	107,313	260
Quetzaltenango	La Esperanza	24,512	80,869	56,357	230
Huehuetenango	Santa Cruz Barillas	127,168	384,817	257,649	203
Quiché	San Bartolomé Jocotenango	13,996	41,921	27,925	200
Quiché	Chajul	48,864	133,370	84,506	173
Totonicapán	Santa Lucía La Reforma	20,519	54,864	34,345	167
Quiché	Santa Cruz del Quiché	94,702	252,632	157,929	167
Quiché	Joyabaj	91,210	233,267	142,057	156
Quiché	Uspantán	61,946	157,298	95,352	154
Quiché	Pachalum	79,036	199,506	120,470	152
Totonicapán	San Andrés Xecul	32,663	80,891	48,228	148
Quetzaltenango	San Miguel Sigüilá	9,143	21,684	12,541	137
Quetzaltenango	Olintepeque	31,591	74,485	42,893	136
Quetzaltenango	Huitán	13,633	31,892	18,259	134
Huehuetenango	Santa Eulalia	43,711	101,898	58,187	133
San Marcos	Malacatán	98,320	228,682	130,361	133
Quiché	Nebaj	74,150	172,321	98,171	132
San Marcos	Ocós	40,445	93,325	52,880	131
San Marcos	Pajapita	22,807	51,992	29,184	128
Huehuetenango	Nentón	41,614	94,856	53,243	128
San Marcos	San Pablo	49,694	111,030	61,336	123
Totonicapán	Momostenango	120,742	268,718	147,976	123
San Marcos	San Marcos	48,919	107,115	58,197	119
Quetzaltenango	Flores Costa Cuca	26,078	56,551	30,473	117
Huehuetenango	Unión Cantinil	17,408	37,743	20,335	117
Totonicapán	San Francisco El Alto	61,656	133,342	71,686	116
Huehuetenango	Chiantla	87,441	188,830	101,389	116
San Marcos	Ixchiguán	27,171	58,627	31,456	116
San Marcos	Catarina	32,757	70,326	37,569	115
San Marcos	Nuevo Progreso	34,742	74,062	39,320	113
Quiché	Chicamán	34,133	72,396	38,263	112
Quiché	Cunén	34,389	72,196	37,807	110
Quetzaltenango	Coatepeque	124,373	260,113	135,740	109
San Marcos	Ayutla	35,977	74,580	38,604	107
San Marcos	San Antonio Sacatepéquez	19,103	39,094	19,991	105
San Marcos	Tajumulco	53,791	109,885	56,095	104
Quetzaltenango	Cantel	40,267	81,968	41,701	104
Quiché	Chiché	26,135	53,057	26,921	103
Totonicapán	Totonicapán	127,190	257,319	130,129	102

Continuación del Cuadro 50

Departamento	Municipio	Población año 2010	Población año 2050	Diferencia 2050 y 2010	Crecimiento en % de la población
Quiché	San Juan Cotzal	26,469	53,534	27,065	102
Huehuetenango	San Idelfonso Ixtahuacán	41,233	83,202	41,970	102
Huehuetenango	San Antonio Huista	17,149	34,585	17,435	102
San Marcos	Esquipulas Palo Gordo	11,143	22,456	11,313	102
Quiché	Chichicastenango	141,113	283,648	142,535	101
Totonicapán	Santa María Chiquimula	46,003	91,500	45,497	99
San Marcos	Comitancillo	59,359	116,910	57,551	97
Quiché	Canillá	11,824	23,253	11,429	97
Huehuetenango	San Juan Ixcay	25,847	50,611	24,764	96
Huehuetenango	Soloma	47,686	93,161	45,475	95
Quetzaltenango	Génova	38,867	75,189	36,323	93
Quetzaltenango	Cabricán	24,474	47,048	22,574	92
Quiché	Chinique	10,309	19,739	9,430	91
Quiché	San Andrés Sajcabajá	24,449	46,579	22,130	91
Huehuetenango	San Sebastián Huehuetenango	27,792	52,325	24,533	88
San Marcos	Sipacapa	17,554	32,829	15,275	87
Quiché	San Pedro Jocopilas	27,711	51,676	23,964	86
Huehuetenango	Huehuetenango	105,849	196,219	90,371	85
Huehuetenango	San Sebastián Coatán	23,462	43,483	20,020	85
Quiché	Sacapulas	45,229	83,519	38,291	85
Huehuetenango	Malacatancito	20,145	36,976	16,831	84
Quetzaltenango	Almolonga	17,186	31,265	14,079	82
Huehuetenango	Todos Santos Cuchumatán	33,619	60,730	27,110	81
Huehuetenango	La Libertad	36,528	65,002	28,474	78
Quetzaltenango	San Juan Ostuncalco	50,393	89,386	38,993	77
Huehuetenango	San Rafael Pétzal	8,190	14,496	6,306	77
Quetzaltenango	San Martín Sacatepéquez	25,213	44,107	18,894	75
Huehuetenango	San Mateo Ixtatán	38,049	66,448	28,400	75
Quetzaltenango	El Palmar	27,756	47,991	20,234	73
Quetzaltenango	San Carlos Sija	34,246	58,662	24,416	71
Quetzaltenango	Salcujá	17,883	30,607	12,724	71
Quiché	Playa Grande -Ixcán	5,753	9,841	4,088	71
San Marcos	El Quetzal	22,627	37,974	15,347	68
Huehuetenango	San Pedro Necta	32,430	54,308	21,878	67
Huehuetenango	Jacaltenango	42,853	71,717	28,865	67
San Marcos	San Miguel Ixtahuacán	35,276	58,871	23,595	67
San Marcos	San Lorenzo	11,539	19,197	7,658	66
Huehuetenango	Aguacatán	51,687	85,593	33,907	66
San Marcos	Tacaná	74,241	122,931	48,690	66
San Marcos	Sibinal	15,706	25,911	10,205	65
Totonicapán	San Cristóbal Totonicapán	36,675	59,842	23,166	63
Huehuetenango	Cuilco	57,067	92,551	35,484	62

Continuación del Cuadro 50

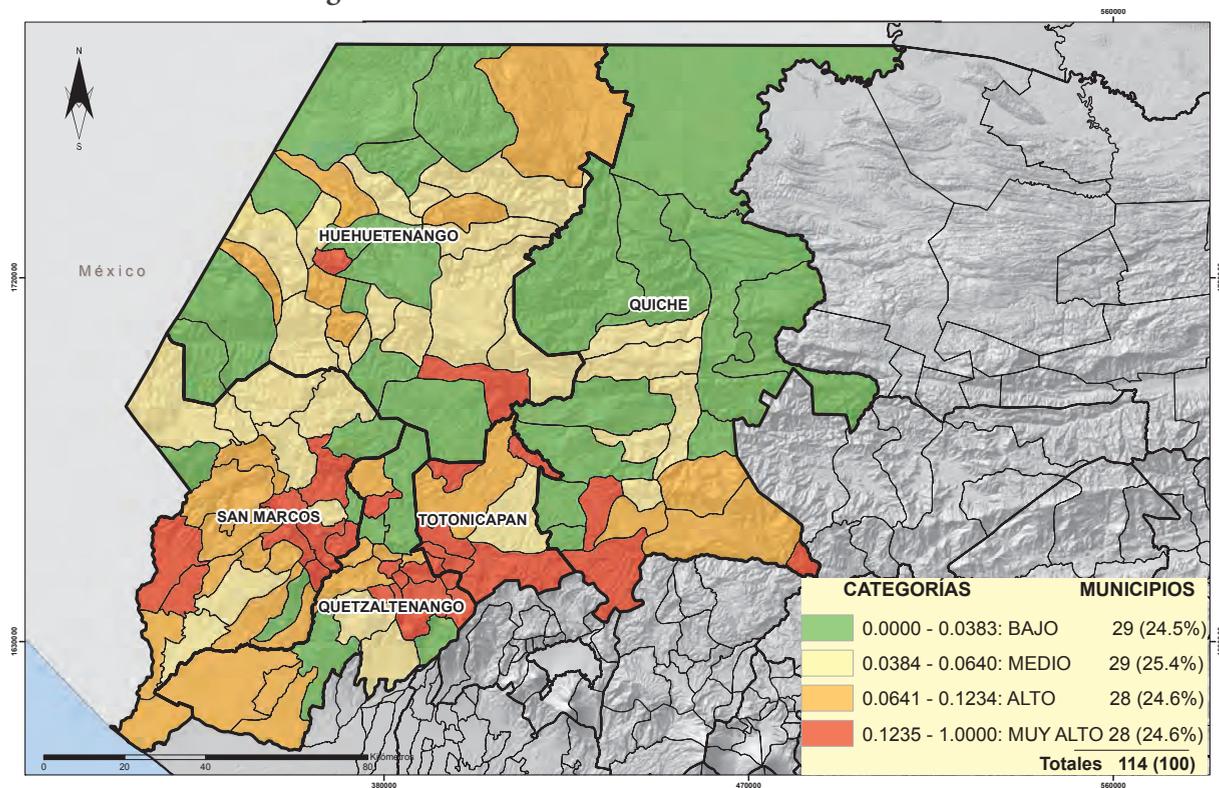
Departamento	Municipio	Población año 2010	Población año 2050	Diferencia 2050 y 2010	Crecimiento en % de la población
San Marcos	El Rodeo	16,454	26,119	9,665	59
San Marcos	San Rafael Pie de la Cuesta	15,207	24,063	8,856	58
San Marcos	Tejutla	32,123	50,553	18,429	57
San Marcos	San José Ojetenam	19,192	30,165	10,973	57
San Marcos	San Cristóbal Cucho	16,158	25,384	9,226	57
Quiché	San Antonio Ilotenango	20,326	31,810	11,483	56
Quiché	Patzité	8,307	12,973	4,666	56
San Marcos	San Pedro Sacatepéquez	67,075	104,537	37,462	56
Quetzaltenango	Quetzaltenango	147,968	230,578	82,610	56
San Marcos	Concepción Tutuapa	57,060	88,847	31,787	56
Huehuetenango	Santa Ana Huista	8,890	13,757	4,867	55
Huehuetenango	Santiago Chimaltenango	7,011	10,849	3,838	55
San Marcos	El Tumbador	40,517	61,088	20,571	51
Huehuetenango	La Democracia	43,185	64,546	21,361	49
Huehuetenango	Colotenango	25,904	38,410	12,505	48
San Marcos	Río Blanco	5,468	7,909	2,441	45
Huehuetenango	San Gaspar Ixchil	6,779	9,630	2,851	42
Quetzaltenango	Concepción Chiquirichapa	17,774	25,160	7,386	42
Quetzaltenango	Zunil	12,499	17,346	4,847	39
Huehuetenango	San Miguel Acatán	24,939	33,541	8,601	34
Huehuetenango	San Juan Atitán	15,221	20,236	5,015	33
Quetzaltenango	Palestina de los Altos	12,721	16,810	4,089	32
Huehuetenango	Tectitán	8,019	10,051	2,032	25
Huehuetenango	Santa Bárbara	16,980	20,903	3,923	23
Huehuetenango	Concepción Huista	18,708	22,697	3,989	21
San Marcos	La Reforma	15,314	18,298	2,984	19
Huehuetenango	San Rafael la Independencia	11,824	13,917	2,093	18
Quetzaltenango	Colomba	40,254	46,450	6,196	15
Quetzaltenango	San Francisco la Unión	7,596	8,446	850	11
Quetzaltenango	Cajolá	10,114	11,201	1,087	11
Quetzaltenango	Sibilia	7,986	8,828	842	11
Totales		4,265,034	8,654,242	4,389,208	103

Fuente: Elaboración propia.



Restauración de ecosistemas forestales para la adaptación al cambio climático en el altiplano guatemalteco.  
Fotografía: Jorge Cardona, TNC.

Figura 61. Índice de densidad de población al año 2050



Fuente: Elaboración propia.

### 6.6.5.2 Índice de servicios ecosistémicos con base en el bosque

Para analizar la presencia de bosque para el año 2050, se tomó como referencia la tasa de cambio anual del mapa de cobertura forestal de Guatemala 2006 y dinámica de la cobertura forestal (INAB, 2012). Los datos de estos estudios se presentan en el Cuadro 51.

Las tasas con valores negativos implican una deforestación, y la tasa positiva indica que ese departamento se encuentra en proceso de reforestación. Sin embargo, para el presente estudio se consideraron únicamente las tasas negativas, ya que según lo observado en cuanto al crecimiento de la población, a futuro se demandarán más recursos vinculados al bosque.

Asimismo, si se asumen las tasas positivas y se aplican al año 2050 resultarán situaciones irreales, como que un departamento (por ejemplo Huehuetenango) haya logrado reforestar más del 80% de su superficie, lo cual no es lógico.

Las tasas de deforestación se multiplicaron por un total de 40 años, debido a que los resultados del estudio de la cobertura forestal se realizaron en el 2010, quedando las tasas de pérdida de cobertura forestal de la siguiente manera:

- Quetzaltenango (-5.6 %),
- San Marcos (-6.4%), y
- Totonicapán (-1.6%).

Esto indica una tendencia que se mantendrá si no existen cambios en la política de uso de la tierra.

La tasa a la que se pierde la cobertura se multiplicó por la superficie de bosque actual de cada municipio, con lo que se calculó el *índice de servicios ecosistémicos del bosque* con el mismo método utilizado en la vulnerabilidad actual.

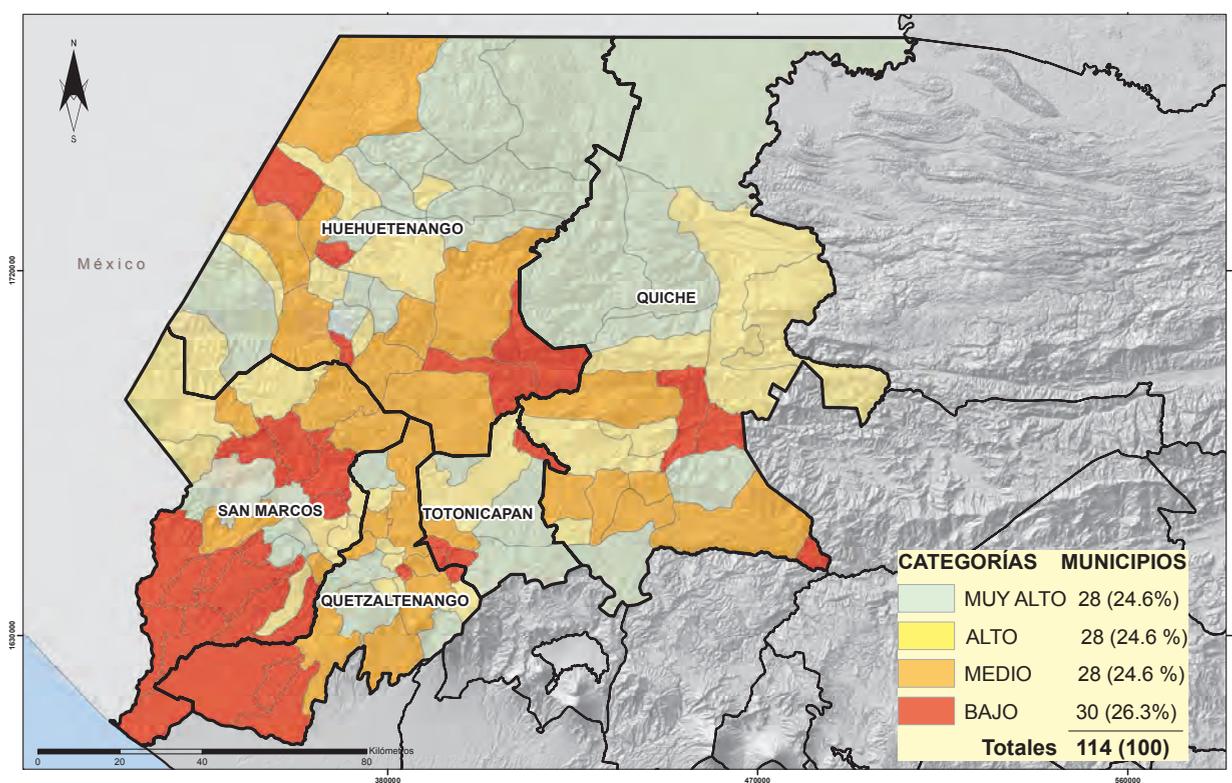
En la Figura 62 se observa que los departamentos con mayor porcentaje de sus municipios con **muy alto** índice de servicios ecosistémicos son: Huehuetenango y Totonicapán (37.5% de sus municipios), Quiché (28%), y Quetzaltenango y San Marcos (menos del 17%).

**Cuadro 51. Tasa de cambio anual de la cobertura forestal por departamento**

Departamento	Cobertura 2006 (ha)	Cobertura 2010 (ha)	Cambio neto 2006- 2010 (ha)	Cambio anual (ha/año)	Tasa de cambio anual %
Quetzaltenango	56,061	55,730	-331	-82.75	-0.14
San Marcos	87,246	86,673	-573	-143.25	-0.16
Totonicapán	39,778	39,721	-57	-14.25	-0.04
Huehuetenango	243,523	263,470	19,947	4,986.75	2.61
Quiché	257,704	264,732	7,028	1,757	0.68

Fuente: INAB (2012).

**Figura 62. Índice de servicios ecosistémicos del bosque al año 2050**



Fuente: Elaboración propia.

### 6.6.5.3 Índice de inseguridad alimentaria y nutricional al año 2050

Se emplearon los mismos indicadores que en la vulnerabilidad actual. En el caso del déficit de granos básicos, se utilizó la proyección de población calculada al año 2050 y se usaron las necesidades alimentarias indicadas en el Cuadro 32.

Se calculó el aumento de la producción futura de granos básicos, considerando el avance de la frontera agrícola, que está definido por el bosque existente en el mapa de los servicios ecosistémicos a futuro con base en la cobertura vegetal.

Asimismo, se utilizó la capacidad de cada municipio para intensificar y diversificar la producción agrícola,

utilizando los terrenos que actualmente se mantienen con pastos naturales y con arbustos y matorrales.

El indicador de pobreza extrema se calculó con base en el porcentaje de pobreza extrema que se mantiene en la actualidad. El porcentaje de analfabetismo de mujeres de 15 años y más edad fue proyectado según datos de CONALFA, que consideran el abatimiento de este indicador.

Los dos indicadores restantes se mantuvieron sin cambios. Los pesos que se utilizaron son los mismos

del análisis de vulnerabilidad actual, con el fin de facilitar las comparaciones entre ambos análisis.

En el Cuadro 52 se muestra un ejemplo de la tabla generada, que fue la base para la elaboración del mapa que se muestra en la Figura 63.

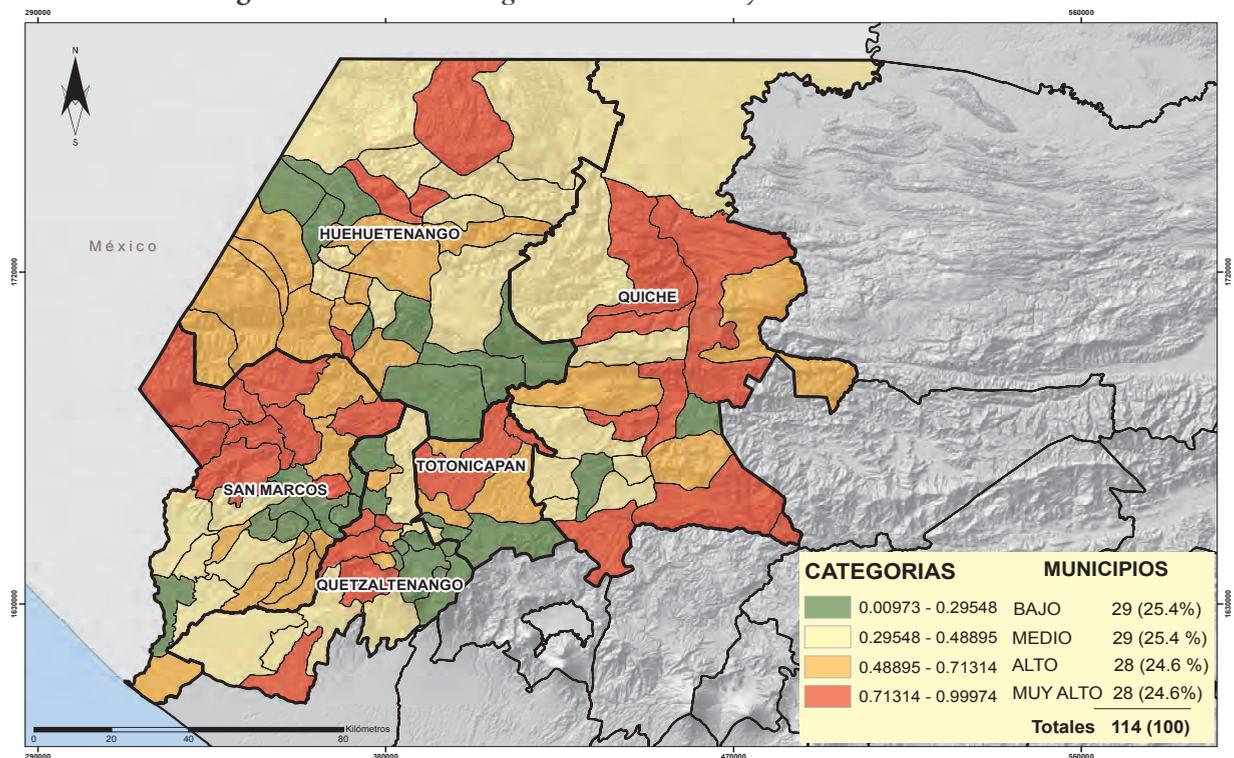
Como se observa en el mapa, el mayor porcentaje de municipios con **muy alta** inseguridad alimentaria y nutricional se encuentra en el departamento de Quiché y Tonicapán, seguido de San Marcos.

**Cuadro 52.** Procedimiento para obtener el índice de inseguridad alimentaria

Pesos según estudio de IVISAN	0.068882	0.271969944	0.23791636	0.308736758	0.112494892	Suma de los datos por su respectivo peso	Cambio a valores Z	Distribución normal estandarizada	Clasificación
Variables	Déficit de granos básicos	Pobreza extrema	Precariedad ocupacional	Analfabetimo	Saneamiento ambiental				
Municipios	0.943 * peso	0.3209 * peso	0.7718 * peso	0.3996 * peso	0.3189 * peso				
San Miguel Acatán	0.064959039	0.087294205	0.216221843	0.055100714	0.03	0.451505161	0.992493934	0.839521682	Muy alto

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 63.** Índice de inseguridad alimentaria y nutricional al año 2050



Fuente: Elaboración propia.

#### 6.6.5.4 Integración en el Índice de capacidad de adaptación al año 2050

Tal y como se realizó para la vulnerabilidad actual, el índice de capacidad de adaptación se construyó a partir de tres índices, que ya fueron detallados anteriormente:

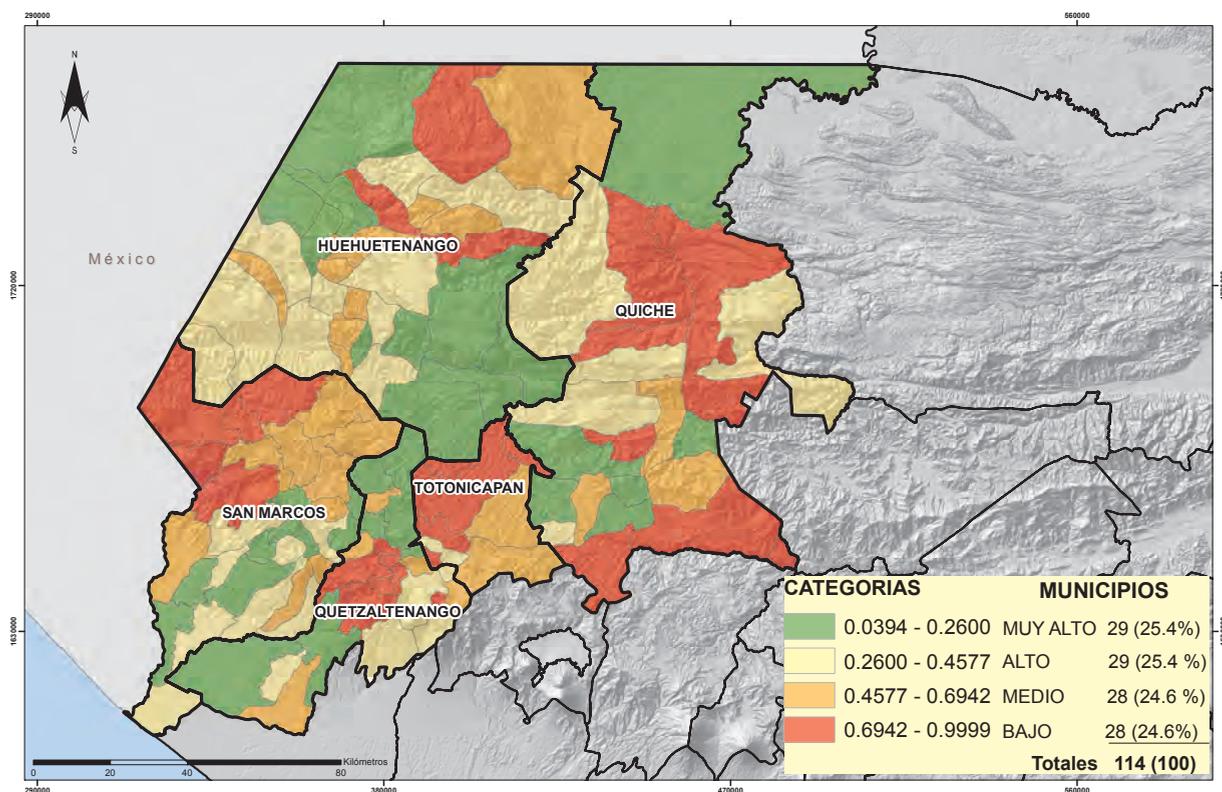
- Densidad de población,
- Servicios ecosistémicos del bosque, e
- Inseguridad alimentaria y nutricional.

Para poder ser integrados en un solo índice, se les aplicaron los mismos pesos obtenidos mediante el método de jerarquías analíticas (AHP), para facilitar las comparaciones entre ambos análisis. De la integración se obtuvo el mapa que se muestra en la Figura 64, con su respectivo listado de municipios en el Cuadro 53.

Los cambios más relevantes con respecto a la categoría de **muy alta** capacidad de adaptación del mapa actual son los siguientes:

- Huehuetenango, que sube del 18.8% al 31.3% de sus municipios en esa categoría,
- Quiché, que aumenta del 23.8% al 28% de sus municipios.
- San Marcos, que baja del 37.9% al 24.1% de sus municipios.
- Quetzaltenango, que disminuye del 29.2% al 25% de sus municipios.
- El departamento de Totonicapán sigue siendo el departamento con menor capacidad de adaptación.

Figura 64. Índice de capacidad de adaptación



Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 53.** Listado de municipios según categoría del *índice de capacidad de adaptación* al año 2050

Departamento	Municipios por categoría y porcentaje respecto al departamento			
	Muy alto	Alto	Medio	Bajo
Huehuetenango	Nentón	Cuilco	San Rafael Independencia	San Mateo Ixtatán
	Jacaltenango	Todos Santos Cuchumatán	La Libertad	San Miguel Acatán
	Chiantla	San Juan Atitán	Colotenango	San Juan Ixcoy
	San Antonio Huista	San Idelfonso Ixtahuacán	Soloma	
	San Sebastián Huehuetenango	San Sebastián Coatán	Santiago Chimaltenango	
	Huehuetenango	Santa Bárbara	Concepción Huista	
	Aguacatán	Santa Eulalia	San Gaspar Ixchil	
	San Rafael Pétzal	San Pedro Necta	Unión Cantinil	
	Malacatancito	Tectitán	Barillas	
	Santa Ana Huista	La Democracia		
Porcentaje	31.3	31.3	28.1	9.4
Quetzaltenango	San Francisco La Unión	Quetzaltenango	Cantel	La Esperanza
	Coatepeque	Flores Costa Cuca	Huitán	San Mateo
	San Carlos Sija	El Palmar	Palestina de los Altos	Cajolá
	Cabricán	Zunil	Génova	San Miguel Sigüilá
	Colomba	Salcajá	Olinstepeque	Almolonga
	Sibilia			San Juan Ostuncalco
				San Martín Sacatepéquez
			Concepción Chiquirichapa	
Porcentaje	25.0	20.8	20.8	33.3
Quiché	Chinique	Sacapulas	Santa Cruz del Quiché	Pachalum
	Playa Grande-Ixcán	Chicamán	Zacualpa	Chichicastenango
	San Antonio Ilotenango	Cunén	San Andrés Sajcabajá	San Bartolomé Jocotenango
	Chiché	Nebaj		San Juan Cotzal
	San Pedro Jocopilas	Patztité		Joyabaj
	Canillá			Chajul
			Uspantán	
Porcentaje	28.6	23.8	14.3	33.3
San Marcos	Catarina	Ocós	Comitancillo	San José Ojetenam
	San Antonio Sacatepéquez	San Pablo	Ixchiguán	Sibinal
	Río Blanco	El Quetzal	San Cristóbal Cucho	Tacaná
	San Marcos	Nuevo Progreso	San Lorenzo	Concepción Tutuapa
	El Tumbador	San Pedro Sacatepéquez	Tejutla	Tajumulco
	San Rafael Pie de la Cuesta	El Rodeo	San Miguel Ixtahuacán	
	Ayutla	Pajapita	Malacatán	
		Esquipulas Palo Gordo	La Reforma	
		Sipacapa		
Porcentaje	24.1	27.6	31.0	17.2

Departamento	Municipios por categoría y porcentaje respecto al departamento			
	Muy alto	Alto	Medio	Bajo
Totonicapán		San Cristóbal Totonicapán	Santa María Chiquimula	San Andrés Xecul
			Totonicapán	Santa Lucía La Reforma
				San Bartolo
				Momostenango
Porcentaje	0.0	12.5	25.0	62.5

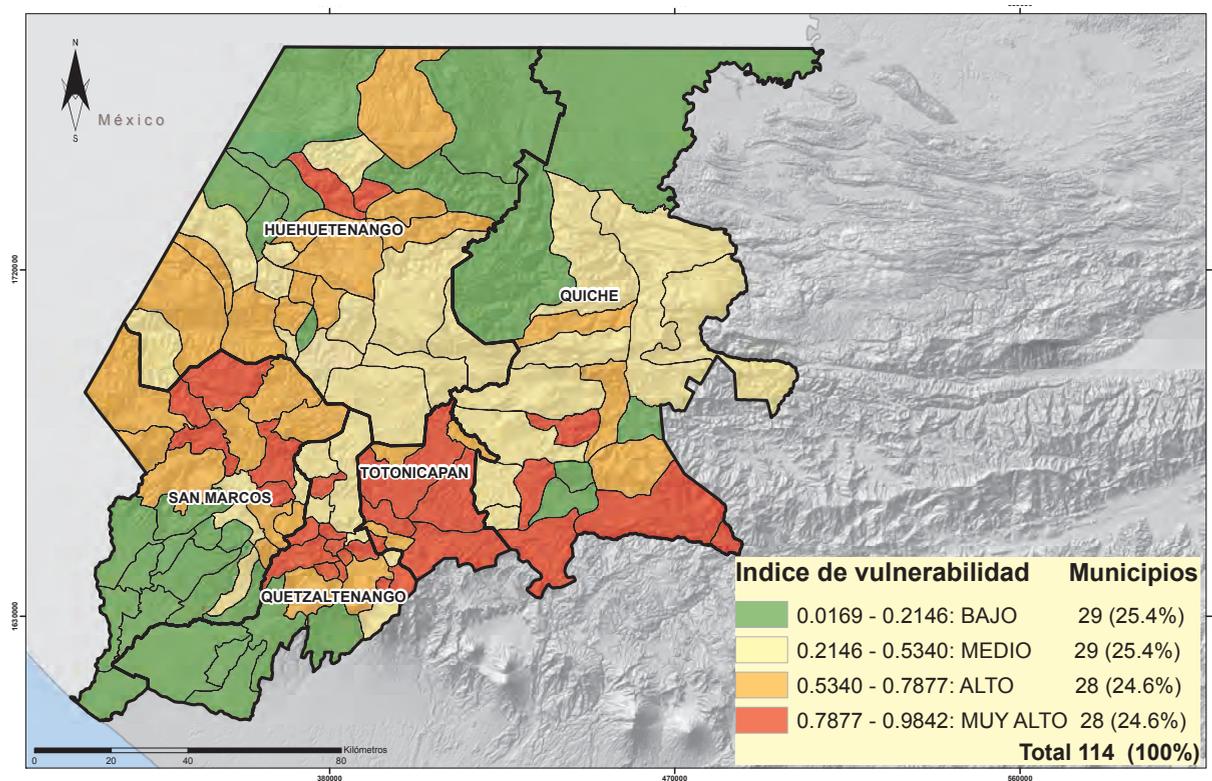
Fuente: Elaboración propia.

### 6.6.6 Índice de vulnerabilidad climática al año 2050

En este capítulo se integran los tres índices sintéticos elaborados, y se calcula la vulnerabilidad climática al año 2050. Para ello, se dieron los mismos pesos a cada índice con el Método de jerarquías analíticas

(AHP), que ya fue explicado anteriormente, y que facilita la comparación entre ambos análisis. Con los valores obtenidos se realizó el mapa de la Figura 65 y el Cuadro 54.

Figura 65. Índice de vulnerabilidad climática al año 2050



Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 54.** Listado de municipios según categoría del índice de vulnerabilidad al cambio climático al año 2050

Departamento	Municipios por categoría y porcentaje respecto al departamento			
	Muy alto	Alto	Medio	Bajo
Huehuetenango	San Miguel Acatán	Todos Santos Cuchumatán	San Sebastián Huehuetenango	San Rafael Pézcal
	San Rafael Independencia	La Libertad	Chiantla	Santa Eulalia
		San Juan Atitán	San Gaspar Ixchil	Barillas
		Santiago Chimaltenango	San Sebastián Coatán	Jacaltenango
		Cuilco	Santa Bárbara	Nentón
		Concepción Huista	Tectitán	Santa Ana Huista
		San Idelfonso Ixtahuacán	Huehuetenango	San Antonio Huista
		San Mateo Ixtatán	San Pedro Necta	
		San Juan Ixcoy	Unión Cantinil	
		Colotenango	Aguacatán	
		Soloma	La Democracia	
		Malacatancito		
Porcentaje	6.3	34.4	37.5	21.9
Quetzaltenango	Cajolá	San Martín Sacatepéquez	Salcajá	Génova
	Cantel	Quetzaltenango	San Francisco La Unión	El Palmar
	Almolonga		Cabricán	Flores Costa Cuca
	San Mateo		Sibilia	Colomba
	La Esperanza		San Carlos Sija	Coatepeque
	Huitán		Zunil	
	San Juan Ostuncalco			
	Concepción Chiquirichapa			
	San Miguel Sigüilá			
	Palestina de los Altos			
	Olintepeque			
Porcentaje	45.8	8.3	25.0	20.9
Quiché	Chichicastenango	Zacualpa	Sacapulas	Chinique
	San Bartolomé Jocotenango	San Juan Cotzal	Chajul	Chiché
	Pachalum	San Andrés Sajcabajá	Uspantán	Canillá
	Joyabaj		Patzité	Nebaj
	Santa Cruz del Quiché		Cunén	Playa Grande-Ixcán
			Chicamán	
			San Pedro Jocopilas	
		San Antonio Ilotenango		
Porcentaje	23.8	14.3	38.1	23.8
Totonicapán	San Andrés Xecul	Santa Lucía La Reforma		
	San Francisco El Alto	San Bartolo		
	Momostenango	San Cristóbal Totonicapán		
	Santa María Chiquimula			
	Totonicapán			
Porcentaje	62.5	37.5	0.0	0.0

Departamento	Municipios por categoría y porcentaje respecto al departamento			
	Muy alto	Alto	Medio	Bajo
San Marcos	Concepción Tutuapa	Tacaná	Río Blanco	Esquipulas Palo Gordo
	San José Ojetenam	San Miguel Ixtahuacán	San Marcos	San Pablo
	San Lorenzo	Tejutla	La Reforma	Ocós
	Comitancillo	Sipacapa		El Quetzal
	Ixchiguán	San Pedro Sacatepéquez		Malacatán
			Sibinal	Nuevo Progreso
			San Antonio Sacatepéquez	Pajapita
			San Cristóbal Cucho	El Rodeo
			Tajumulco	El Tumbador
				San Rafael Pie de la Cuesta
			Catarina	
			Ayutla	
Porcentaje	17.3	31.0	10.3	41.4

Fuente: Elaboración propia.

Los cambios más relevantes en la categoría de **muy alta** vulnerabilidad, con respecto al mapa actual son los siguientes:

- Quiché pasó del 9.52% de sus municipios en esa categoría al 23.8%.
- Huehuetenango, Quetzaltenango y San Marcos bajan ligeramente en esa categoría.
- Totonicapán baja del 75% de sus municipios en esa categoría, al 62.5%.

En conclusión, a futuro se observa que el orden de mayor a menor vulnerabilidad (agregando los municipios en las categorías de **muy alta y alta** vulnerabilidad), es el siguiente:

- Departamento de Totonicapán, con el 100% de sus municipios con muy alta y alta vulnerabilidad.
- Departamento de Quetzaltenango, con el 54.1% de sus municipios con muy alta y alta vulnerabilidad.
- Departamento de San Marcos, con el 48.3% de sus municipios con muy alta y alta vulnerabilidad.
- Departamento de Huehuetenango, con el 40.7% de sus municipios con muy alta y alta vulnerabilidad.
- Departamento de Quiché, con el 38.1% de sus municipios con muy alta y alta vulnerabilidad.

### 6.6.7 Clasificación de los municipios con base al *índice de vulnerabilidad climática* al año 2050

Los municipios se ordenaron de mayor a menor, conforme su valor del *índice de vulnerabilidad*. El resultado se muestra en el Cuadro 55.

El 50% de los municipios del listado de los diez más afectados actualmente, se mantienen en el listado futuro:

- San Andrés Xecul (Totonicapán);
- San Francisco El Alto (Totonicapán);
- Almolonga (Quetzaltenango);
- La Esperanza (Quetzaltenango); y
- Concepción Tutuapa (San Marcos).

El 50% restante de los municipios cambia de posición, pero siempre se encuentran entre los más vulnerables.

**Cuadro 55.** Listado de municipios según el orden descendente del índice de vulnerabilidad climática al año 2050

Índice de vulnerabilidad	Municipio	Departamento
0.984201	San Andrés Xecul	Totonicapán
0.949839	Cajolá	Quetzaltenango
0.948199	Cantel	Quetzaltenango
0.945684	San Francisco El Alto	Totonicapán
0.939568	Almolonga	Quetzaltenango
0.935780	San Mateo	Quetzaltenango
0.926828	Chichicastenango	Quiché
0.919128	La Esperanza	Quetzaltenango
0.918185	Concepción Tutuapa	San Marcos
0.915913	San José Ojetenam	San Marcos
0.900801	Huitán	Quetzaltenango
0.900675	San Juan Ostuncalco	Quetzaltenango
0.898899	San Lorenzo	San Marcos
0.891678	Comitancillo	San Marcos
0.889203	Concepción Chiquirichapa	Quetzaltenango
0.879264	Momostenango	Totonicapán
0.876791	San Bartolomé Jocotenango	Quiché
0.875560	San Miguel Sigüilá	Quetzaltenango
0.871454	Palestina de los Altos	Quetzaltenango
0.863663	Pachalum	Quiché
0.856748	Ixchiguán	San Marcos
0.850505	Santa María Chiquimula	Totonicapán
0.845768	Totonicapán	Totonicapán
0.840612	San Miguel Acatán	Huehuetenango
0.816549	Joyabaj	Quiché
0.805304	San Rafael Independencia	Huehuetenango
0.799902	Santa Cruz del Quiché	Quiché
0.794808	Olintepeque	Quetzaltenango
0.787751	Santa Lucía La Reforma	Totonicapán
0.783054	Tacaná	San Marcos
0.773764	San Miguel Ixtahuacán	San Marcos
0.771822	Tejutla	San Marcos
0.747627	Sipacapa	San Marcos
0.744383	Zacualpa	Quiché
0.720697	Todos Santos Cuchumatán	Huehuetenango
0.717967	San Martín Sacatepéquez	Quetzaltenango
0.714184	San Bartolo	Totonicapán
0.695097	San Cristóbal Totonicapán	Totonicapán
0.688650	La Libertad	Huehuetenango
0.688361	San Pedro Sacatepéquez	San Marcos
0.671376	Sibinal	San Marcos
0.663991	San Juan Atitán	Huehuetenango

Continuación del Cuadro 55

Índice de vulnerabilidad	Municipio	Departamento
0.661561	San Juan Cotzal	Quiché
0.657055	Santiago Chimaltenango	Huehuetenango
0.631166	Cuilco	Huehuetenango
0.619279	Concepción Huista	Huehuetenango
0.617998	San Idelfonso Ixtahuacán	Huehuetenango
0.616346	San Mateo Ixtatán	Huehuetenango
0.602179	San Antonio Sacatepéquez	San Marcos
0.602158	San Andrés Sajcabajá	Quiché
0.592720	San Juan Ixcoy	Huehuetenango
0.574265	Quetzaltenango	Quetzaltenango
0.569432	Colotenango	Huehuetenango
0.566975	San Cristóbal Cucho	San Marcos
0.545979	Soloma	Huehuetenango
0.542121	Tajumulco	San Marcos
0.534041	Río Blanco	San Marcos
0.513845	Sacapulas	Quiché
0.503148	San Sebastián Huehuetenango	Huehuetenango
0.481673	Chiantla	Huehuetenango
0.447338	San Gaspar Ixchil	Huehuetenango
0.444784	Salcajá	Quetzaltenango
0.442448	Chajul	Quiché
0.438649	San Sebastián Coatán	Huehuetenango
0.433747	San Marcos	San Marcos
0.430709	Uspantán	Quiché
0.427774	Santa Bárbara	Huehuetenango
0.423939	San Francisco La Unión	Quetzaltenango
0.416812	Cabricán	Quetzaltenango
0.411404	Tectitán	Huehuetenango
0.389382	Sibilia	Quetzaltenango
0.389157	San Carlos Sija	Quetzaltenango
0.350114	Patzité	Quiché
0.346930	Cunén	Quiché
0.333988	Huehuetenango	Huehuetenango
0.328744	San Pedro Necta	Huehuetenango
0.324869	Chicamán	Quiché
0.319074	Zunil	Quetzaltenango
0.317439	San Pedro Jocopilas	Quiché
0.307531	Unión Cantinil	Huehuetenango
0.305181	La Reforma	San Marcos
0.281318	San Antonio Ilotenango	Quiché
0.280962	Aguacatán	Huehuetenango
0.269236	La Democracia	Huehuetenango
0.229333	Malacatancito	Huehuetenango
0.214675	Chinique	Quiché

Continuación del Cuadro 55

Índice de vulnerabilidad	Municipio	Departamento
0.214264	Chiché	Quiché
0.208465	San Rafael Pétzal	Huehuetenango
0.205921	Santa Eulalia	Huehuetenango
0.186477	Esquipulas Palo Gordo	San Marcos
0.183396	Barillas	Huehuetenango
0.181124	Génova	Quetzaltenango
0.163307	San Pablo	San Marcos
0.156279	Canillá	Quiché
0.130771	Jacaltenango	Huehuetenango
0.120908	Nebaj	Quiché
0.119399	Ocós	San Marcos
0.118646	Nentón	Huehuetenango
0.117075	El Quetzal	San Marcos
0.113638	Malacatán	San Marcos
0.102580	Nuevo Progreso	San Marcos
0.073181	El Palmar	Quetzaltenango
0.071863	Santa Ana Huista	Huehuetenango
0.070386	San Antonio Huista	Huehuetenango
0.069193	Flores Costa Cuca	Quetzaltenango
0.052993	Pajapita	San Marcos
0.050568	El Rodeo	San Marcos
0.050026	Playa Grande-Ixcán	Quiché
0.035857	Colomba	Quetzaltenango
0.033223	El Tumbador	San Marcos
0.027274	Coatepeque	Quetzaltenango
0.026302	San Rafael Pie de la Cuesta	San Marcos
0.026029	Catarina	San Marcos
0.016983	Ayutla	San Marcos

Fuente: Elaboración propia.



A futuro, se podría esperar que el aumento de las amenazas climáticas provoque un incremento en la vulnerabilidad de las poblaciones de la región.

## 6.7

# Análisis de correlaciones sobre la vulnerabilidad actual y futura. Explicaciones adicionales

Con el objetivo de ofrecer explicaciones adicionales a los análisis efectuados, se hizo un análisis de correlación lineal bivariada (coeficiente de correlación de Pearson) entre el *índice de vulnerabilidad* y los *índices de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación*; tanto para la vulnerabilidad actual como para la futura.

El método de discusión de resultados utilizado fue tomado del estudio “Indicadores de vulnerabilidad y cambio climático en la agricultura de México” realizado por profesionales del Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma de Chapingo y del Centro de Ciencias de la Atmósfera e Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (Monterroso *et al.*, 2013).

En ese estudio se utilizaron 60 indicadores y se empleó la misma fórmula de vulnerabilidad utilizada en la presente publicación. Los resultados del análisis de correlación fueron similares a los obtenidos en este estudio pues, tal y como indican: “En la integración del *índice de vulnerabilidad* se obtuvieron correlaciones positivas de 0.73 con el índice de exposición y 0.75 con el *índice de sensibilidad*. En el caso del *índice de capacidad adaptativa* la correlación fue negativa con valor de -0.73” (Monterroso *et al.*, 2013).

En el presente estudio, los datos de correlaciones bivariadas se muestran en el Cuadro 56.

**Cuadro 56.** Resultados de los análisis de correlación de los índices parciales respecto a la vulnerabilidad

Vulnerabilidad		Exposición	Sensibilidad	Capacidad
Actual	Correlación	0.800381	0.180293	-0.795388
	Aporte (%)	45.1	10.2	44.8
Futura	Correlación	0.727714	0.474966	-0.775498
	Aporte (%)	36.8	24.0	39.2

Fuente: Elaboración propia.

### 6.7.1 Vulnerabilidad actual

Al analizar los valores de los coeficientes de correlación lineal bivariada entre el *índice de vulnerabilidad* y el *índice de exposición*, el valor de coeficiente “r” es de 0.800381, que indica un aporte del 45.1% a la explicación de la vulnerabilidad. Esto significa que existe una fuerte correlación directa entre ambos, y que el aumento de las amenazas naturales provoca un incremento en la vulnerabilidad de las poblaciones de la región.

Respecto a la correlación bivariada con el *índice de capacidad de adaptación*, el valor del coeficiente de Pearson dio -0.7953, que equivale a un aporte a la explicación del 44.8%, lo que indica que están fuertemente correlacionados.

El signo negativo (forma inversa), significa que al subir la capacidad adaptativa baja la vulnerabilidad. Esto implica que las medidas de adaptación que la población pueda efectuar en estos territorios son la clave para que puedan enfrentar la vulnerabilidad climática.

Con respecto a la correlación bivariada con el *índice de sensibilidad*, el valor del coeficiente fue  $r = 0.180293$ , que aporta el 10.2% de la explicación, lo cual implica que la correlación es positiva y mínima. Esto quiere decir que la sensibilidad está afectada no solo por los factores climáticos considerados en este análisis, si no por otros factores que tienen incidencia; por ejemplo: en la producción tiene una gran importancia la calidad del sitio, las técnicas aplicadas y sobre todo, el riego que se aplique.

En conclusión, para reducir la vulnerabilidad actual en estos territorios se deben aumentar las capacidades de adaptación de las poblaciones en sus factores clave:

1. Disminución de la inseguridad alimentaria y nutricional, lo cual se logra aumentando la capacidad de producción de alimentos,
2. Eliminación del analfabetismo,
3. Disminución de la pobreza extrema,
4. Mejora de las condiciones de salubridad de las viviendas, y
5. Mejora de la precariedad en el empleo.

Asimismo, es importante moderar el crecimiento de la población a través de campañas educativas y otras técnicas, y mantener y mejorar la cobertura forestal.

Respecto a la producción hídrica y de productos agropecuarios, es necesario mantener el vínculo hidrológico-forestal, forestando las fuentes de agua y las partes altas de las microcuencas. El aumento del rendimiento de los cultivos se puede lograr mediante la conformación de terrazas de banco en los cultivos de ladera, aplicando materia orgánica, fertilizantes y, sobre todo, riego, para no depender exclusivamente de la temporada de lluvias.

### 6.7.2 Vulnerabilidad futura

Al analizar los valores de los coeficientes de correlación lineal bivariada entre el *índice de vulnerabilidad* al 2050 y el *índice de exposición*, el valor del coeficiente “r” es de 0.7277, con un aporte a la explicación de la vulnerabilidad del 36.8%. Esto significa que existe una fuerte correlación directa entre ambos y que el aumento de las amenazas climáticas provoca un incremento en la vulnerabilidad de las poblaciones de la región.

Respecto a la correlación bivariada con el *índice de capacidad de adaptación*, el valor del coeficiente de Pearson dio -0.7754 y un aporte a la explicación del 39.2%, lo que indica que están fuertemente correlacionados. El signo negativo indica que, al

subir la capacidad adaptativa, baja la vulnerabilidad. Esto implica que las medidas de adaptación que la población pueda efectuar en estos territorios siguen siendo la clave para que puedan enfrentar la vulnerabilidad climática.

En cuanto a la correlación bivariada con el *índice de sensibilidad*, el valor del coeficiente “r” aumentó a 0.4749, con un aporte a la explicación del 24%, que implica que la correlación es positiva y moderada. Este aumento probablemente sea debido a que a futuro, se consideró la posibilidad de intensificar la producción agrícola y diversificar las producciones.

En conclusión, para disminuir la vulnerabilidad futura se aplican los mismos comentarios que para la vulnerabilidad actual, haciendo énfasis en la necesidad de mejorar la producción futura de estos territorios con las técnicas recomendadas:

1. Mantener el vínculo hidrológico-forestal en los territorios para tener agua y poder regar;
2. Aplicar fuertes medidas de conservación de suelos y manejo del agua. Entre las técnicas más efectivas destacan las terrazas de banco y las acequias;
3. No cultivar en zonas susceptibles a deslizamientos;
4. Agregar constantemente materia orgánica a los suelos, ya que mejoran sustancialmente sus propiedades físicas y mejoran su fertilidad natural;
5. Mantener el suelo protegido con una cubierta vegetal. Esto, aunado a la práctica de agregar materia orgánica, fomenta el “secuestro de carbono en el suelo”, en otras palabras, se evita que el carbono pase a la atmósfera aumentando el efecto invernadero;
6. Evitar la pérdida de suelos por erosión y, sobre todo;
7. Aplicar riego para contar con una base productiva estable.

## VII. Bibliografía

1. Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional e Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático. (2012). *Recomendaciones sobre acciones de adaptación al cambio climático en Guatemala*. Guatemala, 30 p.
2. Alvarado, L. (2005). *Escenarios de cambio climático en América Central*. San José, Costa Rica.
3. Bender, M. y Dukhovny, V., et al. (2002). *State-of-the-art report on systems analysis methods for resolution of conflicts in water resources management*. UNESCO, Division of Water Sciences.
4. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza –CATIE-. (2010). *Adaptación al cambio climático y servicios ecosistémicos en América Latina*. San José C.R., 139 pp.
5. CEPREDENAC y CONRED. (2002). *Determinación de riesgo: análisis y generación de mapas*. Guatemala.
6. Congreso de la República de Guatemala. (2005). *Decreto 32-2005. Ley del Sistema Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional*. Guatemala.
7. Congreso de la República de Guatemala. (2013). Decreto 7-2013. *Ley marco para regular la reducción de la vulnerabilidad, la adaptación obligatoria ante los efectos del cambio climático y la mitigación de gases de efecto invernadero*. Guatemala.
8. Delgado, R. (2004). *Propuesta metodológica para la toma de decisiones de convergencia entre oferta y demanda tecnológica en las zonas montañosas de la provincia Guantánamo*. Gerencia en Ciencia e Innovación Tecnológica. La Habana, Instituto Superior de Tecnología y Ciencias Aplicadas.
9. Forman, E. (1997). *Ratio ruler for comparative judgments*. United States of America, Expert Choice Inc.
10. Gómez, J. (2012). *Evidencias del cambio climático en Guatemala*. Tesis de grado, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, 120 p.
11. Guatemala, Acuerdo Gubernativo 75-2006. *Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional*. Guatemala.
12. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM-. (2004). *Metodología para el cálculo del Índice de escasez de agua superficial. Documento técnico*. Bogotá, Colombia, 30 p.
13. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM-. (2011). *Aspectos del cambio climático y adaptación en el ordenamiento territorial de alta montaña. Guía metodológica, caso piloto*. Proyecto Nacional de Adaptación al Cambio Climático –INAP-, componente B. IDEAM y Conservación Internacional. Bogotá, 166 pp.
14. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM-, Fundación Humedales y World Wild Fund Colombia. (2010). *Experiencias de adaptación al cambio climático en ecosistemas de montaña en los Andes del Norte*. Colombia, 178 pp.
15. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura –IICA-. (2012). PRICA-ADO. *Un enfoque conceptual para la adaptación de la agricultura al cambio climático*. México, 95 p.
16. Instituto Nacional de Estadística –INE-. (2002). *XI Censo nacional de población y VI de habitación 2002*. Guatemala.
17. Instituto Nacional de Estadística –INE-. (2003). *IV Censo Nacional Agropecuario*. Guatemala.
18. Instituto Nacional de Estadística -INE-. (2006). *Proyecciones de población y lugares poblados con base al XI Censo de Población y VI de Habitación 2002, período 2000 – 2020. XI Censo Nacional de Población y VI de Habitación*. INE, Dirección de Censos y Encuestas. Sde, 10 p.
19. Intergovernmental Panel on Climate Change (2001). Watson, R & The Core Writing Team (Eds.). *Climate change 2001: synthesis report. IPCC TAR SYR*. Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
20. Intergovernmental Panel on Climate Change (2007). Core Writing Team, Pachauri, R. & Reisinger, A. (Eds.). *Climate Change 2007: Synthesis Report (SYR)*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report (AR4) of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Ginebra, Suiza: IPCC.
21. Jones, R., Noguer, M., Hassell, D., Hudson, D., Wilson, S., Jenkins, G. & Mitchell, J. (2004). *Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS*. Hadley Centre, Met Office, UK, 40 p.
22. Malczewski, J. (1999). *GIS and multicriteria decision analysis*. NY: John Wiley & Sons Inc., 387 p.

23. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -UPGGR-. (2001). *Base de datos digital de la República de Guatemala a escala 1:250,000*. Proyecto de asistencia técnica y generación de información –ESPREDE-. PEDN, MAGA. Sde, 116 p.
24. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación –UPGGR-. (2006). *Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra a escala 1:50,000 de la República de Guatemala, año 2003. Memoria técnica y descripción de resultados (incluye 5 cultivos perennes actualizados al año 2005)*. Primera edición, 198 p.
25. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación –UPGGR-. (2009). *Mapa de clasificación climática de la República de Guatemala, a escala 1:50,000, adaptado del Sistema Thornthwaite – Memoria técnica-*. Sin publicar, 195 p.
26. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación -MAGA-. (2011a). *Mapa de densidad de población. Proyección año 2010*. Guatemala. Recuperado de: [www.sigmaga.com.gt](http://www.sigmaga.com.gt)
27. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación –MAGA-. (2011b). *Mapa de la red vial de la región occidental. Guatemala*. Recuperado de: [www.sigmaga.com.gt](http://www.sigmaga.com.gt)
28. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación –DIGEGR- e Instituto Agustín Codazzi. (2010). *Estudio semidetallado de los suelos del departamento de Chimaltenango*. Guatemala, 969 p.
29. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación –DIGEGR- e Instituto Agustín Codazzi. (2013). *Estudio semidetallado de los suelos del departamento de Sololá*. Guatemala, 948 p.
30. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación –DIGEGR- y Secretaría de Seguridad Alimentaria y Nutricional –SESAN-. (2012). *Caracterización de los municipios según los determinantes de la desnutrición crónica con base al Índice de vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria y nutricional*. Guatemala, 236 p.
31. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación –UPGGR- y Programa Mundial de Alimentos –PMA-. (2002). *Cartografía y análisis de la vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria en Guatemala*. Guatemala, 78 p.
32. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2001). *1ª comunicación nacional sobre cambio climático*. Guatemala, 110 p.
33. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2009). *Política nacional sobre cambio climático*. Guatemala, 23 p.
34. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales y Consejo Nacional de Áreas Protegidas. (2011). *Evaluación preliminar de los posibles impactos del cambio climático sobre la diversidad biológica y los bosques de Guatemala; recomendaciones para su mitigación y adaptación*. Guatemala, 67 p.
35. Ministerio de Educación –MINEDUC- y Secretaría de Seguridad Alimentaria -SESAN-. (2009). *Tercer Censo Nacional de Talla en escolares del primer grado de educación primaria del sector oficial de la República de Guatemala. Guatemala 4 al 8 de agosto de 2008*. Guatemala, 97 p.
36. Mitchel, T. (2003). Pattern scaling: an examination of the accuracy of the technique for describing future climates. *Climatic Change* 60, 217-242.
37. Mitchell, J., Johns, T., Eagles, M., Ingram, W. & Davis, R. (1999). Towards the construction of climate change scenarios. *Climatic Change* 41, 547-581.
38. Monterroso, A., Conde, C., Gay, C., Gómez, J. y López, J. (2013). *Indicadores de vulnerabilidad y cambio climático en la agricultura de México*. México: Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma de Chapingo y Centro de Ciencias de la Atmósfera e Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de: <http://fundacion.usal.es/conaec/pendrive/ficheros/ponencias/ponencias3/19-Impactos.pdf>
39. Naciones Unidas y Comisión Económica para América Latina y El Caribe –CEPAL-. (2009). *Informe de factibilidad: Economía del cambio climático en Centroamérica*. México, 120 p.
40. Naciones Unidas y Comisión Económica para América Latina y El Caribe –CEPAL-. (2010a). *Guatemala: efectos del cambio climático sobre la agricultura*. México, 71 p.
41. Naciones Unidas y Comisión Económica para América Latina y El Caribe –CEPAL-. (2010b). *La economía del cambio climático en Centroamérica. Síntesis 2010*. México, 143 p.
42. Naciones Unidas y FAO. (2009). *El enfoque territorial de los problemas vinculados al cambio climático*. Roma, 22 p.
43. Oglesby, R. y Rowe, C. (2010). *La ciencia del cambio climático: Manual práctico para tomadores de decisiones en Mesoamérica*. Banco Interamericano de Desarrollo, Washington, Estados Unidos, 34 p.
44. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación –FAO- (2000). *Sistemas de uso de la tierra en los trópicos húmedos y la emisión y secuestro de CO<sub>2</sub>*. (Informes sobre recursos mundiales de suelos 88). Roma: FAO. 98 pp.
45. Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). (2007). *Cuarto informe de evaluación*.
46. Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente –PNUMA-, Gobierno de España, Norwegian Ministry of Foreign Affairs & REGATTA. (2013). *Análisis de vulnerabilidad, impacto y adaptación al cambio climático. Apuntes*

- metodológicos. En: Sabelli, A & Buenfill, J. *Taller regional de intercambio de experiencias. Panamá, 24-26 de abril de 2013*. Recuperado de: <http://www.cambioclimatico-regatta.org>
47. Rauscher, S., Giorgi, F., Diffenbaugh, N. & Seth, A. (2008). Extension and intensification of the Meso-American mid-summer drought in the twenty-first century. *Clim Dyn* 31, 5, 551-571.
  48. Reichler, T. & Kim, J. (2008). How well do coupled models simulate today's climate? *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 89, 303-311.
  49. Saaty, T. (1990). *The analytic hierarchy process*. Pittsburg, RWS Publications, International Series in Operations Research & Management Science, 420 p.
  50. Saaty, T. (2000). How to make a decision. En: *Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process*. Hillier, F. S. Pittsburg, 25.p.
  51. Saaty, T. y Busacker, R. (1965). Finite graphs and networks. An introduction with applications. En: *Finite graphs and networks. An introduction with applications*. New York, Mc Graw Hill Books, 226-235.p.
  52. Saaty, T. y Vargas, L. (2000). *Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process*. Kluwer Academic Publisher, International Series in Operations Research & Management Science, 331 p.
  53. Salomon, V. & Montevechi, J. (2001). *A compilation of comparisons on the analytic hierarchy process and others multiple criteria decision making methods: some cases developed in Brazil*. Berna.
  54. Santer, B. & Wigley, T. (1990). Regional validation of means, variances, and spatial patterns in GCM control runs. *J. Geophys. Res.* 95, D1, 829-850.
  55. Triantaphyllou, E. (2000). Multi-criteria decision making methods: a comparative study. En: Pardalos, P. y Hearn, D. (Eds.). *Applied optimization* (44), 5-21 p.

# Acerca de esta publicación

Con base en la definición del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) sobre vulnerabilidad climática, The Nature Conservancy y Biota S.A. –dentro del marco del Programa CNCG–, realizaron un estudio que permite comprender este fenómeno en la región del occidente de la República de Guatemala, que comprende cinco departamentos: Huehuetenango, Quiché, Totonicapán, Quetzaltenango y San Marcos, los cuales abarcan un área de 21,402 km<sup>2</sup>, que representa el 19.6% del territorio nacional.

La vulnerabilidad actual estimada, indica que la región ya está siendo afectada por fuertes eventos climáticos (efecto El Niño y otros) y por la variabilidad climática interanual; de tal forma que el 50% del territorio de la región presenta muy alta y alta vulnerabilidad climática.

Con respecto a la vulnerabilidad futura (década del 2050), la corrida de datos del modelo de circulación regional utilizado indica un aumento de dos grados centígrados en la temperatura media de la región y una moderada disminución de las lluvias en general, aunque este proceso está regionalizado con municipios que pierden precipitaciones y otros, donde aumentan.

Para disminuir la vulnerabilidad actual y futura en estos territorios se deben aumentar las capacidades de adaptación de las poblaciones en aspectos clave, como reducir la inseguridad alimentaria y nutricional, lo cual se logra aumentando la capacidad de producción de alimentos; eliminando el analfabetismo; disminuyendo la pobreza extrema; mejorando las condiciones de salubridad de las viviendas y mejorando la precariedad en el empleo.

Asimismo, es importante moderar el crecimiento de la población a través de campañas educativas y otras técnicas, así como mantener y mejorar la cobertura forestal.

“La reproducción de este estudio es posible gracias al apoyo del Pueblo de los Estados Unidos a través de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID). El contenido de este estudio es responsabilidad exclusiva de TNC y BIOTA, SA, y el mismo no necesariamente refleja la perspectiva de USAID ni del Gobierno de los Estados Unidos de América”.