

## **Producto 1.**

***Tendencias probables del cambio espacial biológico y humano posible de la ecorregión al 2020 y 2050***

***Consultoría:  
Análisis Técnico de impactos del cambio climático sobre la biodiversidad y medios de vida en la ecorregión de pino-encino.***



### **Grupo consultor principal:**

*Ing. Agr. MSc. Francisco Leonel López Benítez ,  
Ing. Agr. en R. N. R. MSc. Gerónimo Estuardo Pérez Irungaray<sup>1</sup>,  
Ing. Agr. en R.N.R. Juan Carlos Rosito Monzón<sup>1</sup>.*



Alianza para la  
Conservación de los  
Bosques de Pino-Encino  
de Mesoamérica



<sup>1</sup> Investigadores del Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA) de la Universidad Rafael Landívar de Guatemala.



## Índice

	<i>Página</i>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2. ANTECEDENTES</b>	<b>2</b>
<b>3. MARCO TEÓRICO</b>	<b>3</b>
3.1. <i>Cambio climático</i>	<b>3</b>
3.2. <i>Causas del cambio climático</i>	<b>3</b>
3.3. <i>Factores que determinan el clima en la región Mesoamericana</i>	<b>3</b>
3.3.1. <i>Zona de convergencia intertropical (ITCZ)</i>	<b>4</b>
3.3.2. <i>Oscilación del Sur El Niño (ENSO)</i>	<b>4</b>
3.3.3. <i>Corrientes de chorro de bajo nivel del Caribe (CLLJ)</i>	<b>4</b>
3.4. <i>Efectos socioeconómicos del cambio climático en Mesoamérica</i>	<b>4</b>
3.5. <i>Impactos globales y regionales del cambio climático</i>	<b>5</b>
3.5.1. <i>Consecuencias hidroclimáticas</i>	<b>5</b>
3.5.2. <i>Consecuencias en los ecosistemas y en la biodiversidad</i>	<b>6</b>
3.6. <i>Políticas de adaptación para la conservación de la biodiversidad</i>	<b>6</b>
3.7. <i>Sistema Worldclim</i>	<b>7</b>
3.8. <i>Escenarios de cambio climático</i>	<b>7</b>
3.8.1. <i>Escenario A2</i>	<b>7</b>
3.8.2. <i>Escenario B2</i>	<b>8</b>
<b>4. MARCO REFERENCIAL</b>	<b>9</b>
4.1. <i>Ecorregión Pino-Encino</i>	<b>9</b>
4.2. <i>Ubicación</i>	<b>10</b>
<b>5. OBJETIVOS</b>	<b>11</b>
5.1. <i>Objetivo general</i>	<b>11</b>
5.2. <i>Objetivos específicos</i>	<b>11</b>
<b>6. METODOLOGÍA.</b>	<b>12</b>
6.1. <i>Elaboración de mapas climáticos (pp y t°) actuales</i>	<b>12</b>
6.2. <i>Elaboración de escenarios de los mapas climáticos a futuro para los años 2020 y 2050</i>	<b>12</b>
6.3. <i>Estimación de las provincias de humedad</i>	<b>13</b>
<b>7. RESULTADOS.</b>	<b>14</b>
7.1. <i>Elaboración de mapas climáticos (pp y t°) actuales</i>	<b>14</b>
7.1.1. <i>Precipitación anual</i>	<b>14</b>
7.1.2. <i>Temperatura media anual</i>	<b>14</b>
7.2. <i>Escenarios climáticos a futuro para los años 2020 y 2050</i>	<b>17</b>
7.2.1. <i>Precipitación anual y temperatura para el escenario A2</i>	<b>17</b>
a. <u><i>Precipitación anual año 2020</i></u>	<b>17</b>
b. <u><i>Precipitación anual año 2050</i></u>	<b>18</b>
a. <u><i>Temperatura promedio anual año 2020</i></u>	<b>21</b>
b. <u><i>Temperatura promedio anual año 2050</i></u>	<b>22</b>
7.2.2. <i>Precipitación anual y temperatura para el escenario B2</i>	<b>25</b>

a. <u>Precipitación anual año 2020</u>	25
b. <u>Precipitación anual año 2050</u>	26
a. <u>Temperatura promedio anual año 2020</u>	29
b. <u>Temperatura promedio anual año 2050</u>	30
7.3. <u>Estimación de las provincias de humedad</u>	33
7.3.1. <u>Provincias de humedad actuales</u>	33
7.3.2. <u>Provincias de humedad para el escenario A2</u>	35
a. <u>Año 2020</u>	35
b. <u>Año 2050</u>	36
7.3.3. <u>Provincias de humedad para el escenario B2</u>	40
a. <u>Año 2020</u>	40
b. <u>Año 2050</u>	41
7.3.4. <u>Comparaciones en las áreas de cambio</u>	45
a. <u>Escenario A2</u>	45
b. <u>Escenario B2</u>	45
7.4. <u>Riesgo climático asociado al calentamiento global en la ecorregión de Pino-encino.</u>	48
7.4.1. <u>Amenaza climática relacionada con el cambio climático, sus variables y atributos a corto plazo.</u>	48
7.4.2. <u>Amenaza climática relacionada con el cambio climático, sus variables y atributos a mediano plazo.</u>	49
7.4.3. <u>Provincias de humedad actuales (integración de las variables de temperatura y precipitación) y cambios asociados al cambio climático proyectados en el mediano plazo.</u>	49
<b>8. CONCLUSIONES.</b>	51
<b>9. BIBLIOGRAFÍA</b>	57
<b>Anexos</b> (mapas de precipitación y temperatura para los escenarios A2 y B2, años 2020 y 2050) y mapas nacionales de proporción de cambios en las provincias de humedad.	61

## Índice de cuadros

	<i>Página</i>
<b>Cuadro 1.</b> Características de las provincias de humedad	<b>13</b>
<b>Cuadro 2.</b> Diferencias de precipitación actual con respecto al año 2020 del escenario A2	<b>17</b>
<b>Cuadro 3.</b> Diferencias de precipitación actual con respecto al año 2050 del escenario A2	<b>18</b>
<b>Cuadro 4.</b> Diferencias de temperatura media anual actual con respecto al año 2020 del escenario A2.	<b>21</b>
<b>Cuadro 5.</b> Diferencias de temperatura media anual actual con respecto al año 2050 del escenario A2	<b>22</b>
<b>Cuadro 6.</b> Diferencias de precipitación actual con respecto al año 2020 del escenario B2	<b>25</b>
<b>Cuadro 7.</b> Diferencias de precipitación actual con respecto al año 2050 del escenario B2	<b>26</b>
<b>Cuadro 8.</b> Diferencias de temperatura media anual actual con respecto al año 2020 del escenario B2	<b>29</b>
<b>Cuadro 9.</b> Diferencias de temperatura media anual actual con respecto al año 2050 del escenario B2	<b>30</b>
<b>Cuadro 10.</b> Provincias de humedad presentes actualmente en la ecorregión Pino-encino.	<b>33</b>
<b>Cuadro 11.</b> Provincias de humedad al año 2020, escenario A2	<b>35</b>
<b>Cuadro 12.</b> Provincias de humedad al año 2050, escenario A2	<b>36</b>
<b>Cuadro 13.</b> Provincias de humedad al año 2020, escenario B2	<b>40</b>
<b>Cuadro 14.</b> Provincias de humedad al año 2050, escenario B2	<b>41</b>
<b>Cuadro 15.</b> Proporción de cambios en la ecorregión según el escenario A2	<b>45</b>
<b>Cuadro 16.</b> Proporción de cambios en la ecorregión según el escenario B2	<b>45</b>

## Índice de figuras

	<i>Página</i>
<b>Figura 1.</b> Ubicación geográfica de la ecorregión de Pino-encino	<b>10</b>
<b>Figura 2.</b> Mapa de precipitación anual de la ecorregión Pino-encino	<b>15</b>
<b>Figura 3.</b> Mapa de temperatura promedio anual de la ecorregión Pino-encino	<b>16</b>
<b>Figura 4.</b> Diferencia de los valores mínimo, medio y máximo para la precipitación al año 2020	<b>17</b>
<b>Figura 5.</b> Diferencia de los valores mínimo, medio y máximo para la precipitación al año 2050	<b>18</b>
<b>Figura 6.</b> Mapa de diferencias de precipitación anual de la ecorregión Pino-encino al año 2020	<b>19</b>
<b>Figura 7.</b> Mapa de diferencias de precipitación anual de la ecorregión Pino-encino al año 2050	<b>20</b>
<b>Figura 8.</b> Diferencia de los valores mínimo, medio y máximo para la temperatura media anual al año 2020	<b>21</b>
<b>Figura 9.</b> Diferencia de los valores mínimo, medio y máximo para la temperatura media anual al año 2050	<b>22</b>
<b>Figura 10.</b> Mapa de diferencias de temperatura media anual de la ecorregión Pino-encino al año 2020	<b>23</b>

<b>Figura 11.</b>	Mapa de diferencias de temperatura media anual de la ecorregión Pino-encino al año 2050	<b>24</b>
<b>Figura 12.</b>	Diferencia de los valores mínimo, medio y máximo para la precipitación al año 2020	<b>25</b>
<b>Figura 13.</b>	Diferencia de los valores mínimo, medio y máximo para la precipitación al año 2050	<b>26</b>
<b>Figura 14.</b>	Mapa de diferencias de precipitación anual de la ecorregión Pino-encino al año 2020	<b>27</b>
<b>Figura 15.</b>	Mapa de diferencias de precipitación anual de la ecorregión Pino-encino al año 2050	<b>28</b>
<b>Figura 16.</b>	Diferencia de los valores mínimo, medio y máximo para la temperatura media anual al año 2020	<b>29</b>
<b>Figura 17.</b>	Diferencia de los valores mínimo, medio y máximo para la temperatura media anual al año 2050	<b>30</b>
<b>Figura 18.</b>	Mapa de diferencias de temperatura media anual de la ecorregión Pino-encino al año 2020	<b>31</b>
<b>Figura 19.</b>	Mapa de diferencias de temperatura media anual de la ecorregión Pino-encino al año 2050	<b>32</b>
<b>Figura 20.</b>	Distribución de las provincias de humedad	<b>33</b>
<b>Figura 21.</b>	Mapa de distribución de las provincias de humedad	<b>34</b>
<b>Figura 22.</b>	Distribución de las provincias de humedad al año 2020 (A2)	<b>36</b>
<b>Figura 23.</b>	Distribución de las provincias de humedad al año 2050 (A2)	<b>37</b>
<b>Figura 24.</b>	Mapa de distribución de las provincias de humedad al año 2020 (A2)	<b>38</b>
<b>Figura 25.</b>	Mapa de distribución de las provincias de humedad al año 2050 (A2)	<b>39</b>
<b>Figura 26.</b>	Distribución de las provincias de humedad al año 2020 (B2)	<b>41</b>
<b>Figura 27.</b>	Distribución de las provincias de humedad al año 2050 (B2)	<b>42</b>
<b>Figura 28.</b>	Mapa de distribución de las provincias de humedad al año 2020 (B2)	<b>43</b>
<b>Figura 29.</b>	Mapa de distribución de las provincias de humedad al año 2050 (B2)	<b>44</b>
<b>Figura 30.</b>	Mapa de proporción de cambios en las provincias de humedad en el escenario A2	<b>46</b>
<b>Figura 31.</b>	Mapa de proporción de cambios en las provincias de humedad en el escenario B2	<b>47</b>
<b>Figura 32.</b>	Precipitación anual al año 2020 (A2)	<b>63</b>
<b>Figura 33.</b>	Precipitación anual al año 2050 (A2)	<b>64</b>
<b>Figura 34.</b>	Precipitación anual al año 2020 (B2)	<b>65</b>
<b>Figura 35.</b>	Precipitación anual al año 2050 (B2)	<b>66</b>
<b>Figura 36.</b>	Temperatura media anual al año 2020 (A2)	<b>67</b>
<b>Figura 37.</b>	Temperatura media anual al año 2050 (A2)	<b>68</b>
<b>Figura 38.</b>	Temperatura media anual al año 2020 (B2)	<b>69</b>
<b>Figura 39.</b>	Temperatura media anual al año 2050 (B2)	<b>70</b>
<b>Figura 40.</b>	Mapa de proporción de cambios en las provincias de humedad en el escenario A2 para México	<b>71</b>
<b>Figura 41.</b>	Mapa de proporción de cambios en las provincias de humedad en el escenario A2 para Guatemala	<b>72</b>
<b>Figura 42.</b>	Mapa de proporción de cambios en las provincias de humedad en el escenario A2 para Honduras	<b>73</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

La ecorregión de bosques de pino-encino ha sido una de las comunidades vegetales más influenciadas por las acciones del ser humano ya que éste ha contribuido en gran medida a construir todo un mosaico de asociaciones de uso y cobertura que se encuentran en ella; desde áreas carentes totalmente de bosque hasta remanentes de bosque primario que ponen en riesgo toda la actividad natural que debería desarrollarse en ella. Aunado a esto, se tiene previsto que el cambio climático provoque grandes consecuencias negativas, al alterar sus medios de vida pero principalmente sus ecosistemas, y la vida que los mismos albergan.

Por tal motivo es de suma importancia conocer los lugares y formas en las cuales las variaciones del clima, principalmente en la precipitación y la temperatura, pueden impactar, para poder desarrollar medidas de adaptación que coadyuven a la preservación de los bienes y servicios que en la actualidad ofrecen.

La Alianza para la Conservación de Bosques de Pino-Encino de Mesoamérica, preocupada por la distribución natural del ave migratoria *Setophaga chrysoparia*, convocó la realización de la consultoría: “Análisis Técnico de impactos del cambio climático sobre la biodiversidad y medios de vida en la ecorregión de pino-encino” de la cual se desprende este primer producto: “Tendencias probables del cambio espacial biológico y humano posible de la ecorregión al 2020 y 2050”, el cual pretende desarrollar las bases del conocimiento sobre lo que se puede esperar que ocurra en la ecorregión con las variaciones que se tienen previstas.

Se realizó un análisis de la precipitación y la temperatura que se podrían esperar para los años 2020 y 2050 de acuerdo a los escenarios A2 y B2 del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) y se comparó con una línea base para determinar los cambios previstos para cada año y escenario en cada una de las dos variables evaluadas. Se elaboraron unidades bioclimáticas en función de las provincias de humedad, para evaluar cómo éstas podrían tener modificaciones en sus límites.

En el presente documento se presenta una rápida metodología que describe la forma como se llegó a los resultados, los cuales se presentan de forma tabular, gráfica y de mapas, permitiendo identificar las áreas en las cuales se prevé puedan ocurrir los cambios que afecten los ecosistemas que se encuentran en la ecorregión, y traiga como consecuencia un desequilibrio ecológico y social que como primer causa tenga la desaparición de la *Setophaga chrysoparia* y otras aves de importancia tales como *Contopus pertinax*, *Wilsonia pusilla*, *Myioborus miniatus* y *Mniotilta varia*; así como de algunos mamíferos que se encuentran en la ecorregión.

## 2. ANTECEDENTES

Los ecosistemas de pino-encino, han sido clasificados dentro de los más importantes para la conservación en Mesoamérica, debido a su alto endemismo, la falta de representatividad dentro de los sistemas de áreas protegidas y la alta presión originada en actividades humanas. Se estima que la ecorregión de Pino-Encino, es parte importante del hábitat invernal de entre 160-200 especies de aves de Norteamérica. Entre estas especies migratorias se encuentra la *Setophaga chrysoparia*, la cual requiere que el bosque contenga entre el 10-30% de las especies de hoja ancha del género *Quercus*, para que el mismo sea apropiado para sostener sus poblaciones en proceso migratorio, aspecto que hace que esta especie y al grupo de aves migratorias y nativas relacionadas, puedan utilizar bosques bajo manejo forestal, siempre y cuando cumplan con la mezcla adecuada de pino-encino.

La evidencia que se maneja actualmente indica que el cambio climático ya ha generado un aumento de la temperatura anual promedio en la región de al menos 0.8 °C y algunas estimaciones indican que los aumentos podrían estar entre 2-4 °C en los próximos 30 años. Dicho escenario tendrá impactos sobre los ecosistemas, previéndose una ampliación de los bosques secos y un desplazamiento de los bosques de pino-encino hacia altitudes superiores a las que ahora ocupa.

Es previsible que estos cambios signifiquen, entre otros, la extinción de algunas especies, cambios en la distribución y ocupación del espacio por especies animales y vegetales. Esta dinámica a su vez se combinará con los impactos del cambio climático sobre los medios de vida de la población por lo que los patrones de uso de la tierra y del bosque podrían intensificar el uso y la degradación de los ecosistemas.

La presente consultoría busca contar con información para prever los impactos del cambio climático en la biodiversidad de la ecorregión, los impactos en los medios de vida de las poblaciones humanas y sobre la interrelación entre la biodiversidad y la población, que permitan orientar razonablemente el trabajo de la Alianza en las medidas de adaptación de los ecosistemas y poblaciones ante dichos impactos. En tal sentido la Alianza para la Conservación de los Bosques de Pino-Encino de Mesoamérica –ACBPM agrupa desde el año 2003 a la PRONATURA SUR (México), *The Nature Conservancy* (Honduras), y Fundación Defensores de la Naturaleza (FDN), como principales socios a nivel regional y con la participación de 13 organizaciones, en dos Alianzas Nacionales activas (México y Guatemala).

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. Cambio climático

El artículo 1 de la Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC) de las Naciones Unidas, define el cambio climático como “el cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables”. La CMCC diferencia, pues, entre el cambio climático atribuible a fenómenos naturales y el que es alterado por las actividades humanas (IPCC, 2007).

De acuerdo al IARNA, el Cambio Climático es la variación del valor medio del estado del clima que ha persistido durante largos periodos, generalmente decenios o más años, y que es identificable mediante pruebas estadísticas. El cambio climático de la Tierra puede deberse a procesos internos naturales, a forzamientos externos o a cambios antropogénicos constantes en la composición de la atmósfera o del uso de la tierra (IPCC, 2007, citado por IARNA 2012).

#### 3.2. Causas del cambio climático

Al comparar la década de 1990 con el periodo de 2000 a 2006, la tasa de emisiones de CO<sub>2</sub> creció del 1.3% al 3.3% por año. El segundo proceso es la disminución de la eficiencia de fijación de CO<sub>2</sub>, tanto en los océanos como en áreas continentales. Esa reducción es coherente con los resultados de los modelos que relacionan el ciclo del carbono con el clima. Sin embargo, la magnitud de los cambios que se observan ahora es mayor a las estimaciones de los modelos recientemente divulgados (IPCC, 2009).

Información actualizada indica que las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la atmósfera han incrementando rápidamente en los últimos años, debido a dos procesos. En primer lugar, el crecimiento de la economía mundial a comienzos del año 2000, y en segundo, el uso intensivo del suelo.

#### 3.3. Factores que determinan el clima en la región mesoamericana

El clima está influenciado por una diversidad de factores, tanto naturales como antropogénicos, aunque éstos últimos aun se encuentran en debate por parte de diversos científicos.

De acuerdo al IARNA, a nivel mesoamericano, se identifican claramente 3 factores que tienen una relación estrecha sobre la forma en la que el clima se manifiesta, siendo estos los siguientes:

### **3.3.1. Zona de convergencia intertropical (ITCZ)**

Se trata de un cinturón de baja presión atmosférica que circunda el globo terrestre en la región cercana al Ecuador, donde convergen los vientos alisios provenientes de los hemisferios Norte y Sur. Tales vientos son empujados a la zona por la acción de la célula de Hadley (un rasgo atmosférico a mesoescala que forma parte del sistema planetario de distribución de calor y humedad) y transportados verticalmente hacia arriba, por la actividad convectiva de las tormentas. En tal sentido, se constituye en un cinturón perpetuo, aunque migratorio y discontinuo, de nubes (cumulonimbos, generalmente) que produce precipitaciones en las regiones cercanas al norte y sur del Ecuador.

### **3.3.2. Oscilación del Sur El Niño (ENSO)**

Este fenómeno ya muy común en la región, se refiere a las variaciones anuales y estacionales, al menos desde el inicio del Holoceno, de la temperatura superficial del mar, las lluvias convectivas, la presión del aire superficial y la circulación atmosférica, que se producen en el océano Pacífico ecuatorial. El Niño es llamado así porque, generalmente, alcanza su máxima expresión a finales de año, y los pescadores y primeros habitantes cristianos de la zona oeste de América del Sur ecuatorial lo relacionaron con la época de la celebración del nacimiento de Jesucristo.

### **3.3.3. Corrientes de chorro de bajo nivel del Caribe (CLLJ)**

Estas corrientes (CLLJ, por sus siglas en inglés) se muestran como una característica dominante en el clima de la región del mar Caribe y Centroamérica, sobre todo durante el inicio del verano en el hemisferio Norte. Estas se manifiestan como una moderada intensificación de los vientos alisios del noreste, principalmente, en la cuenca del Caribe occidental (costa atlántica de Centroamérica y sur de México), ubicada entre 70 °W y 80 °W; con un eje este-oeste de 15 °N. Generalmente, presenta una velocidad máxima de viento cercana a 16 metros por segundo sobre la superficie oceánica (Whyte, Taylor, Stephenson y Campbell, 2008, citados por IARNA, 2012).

## **3.4. Efectos socioeconómicos del cambio climático en Mesoamérica**

De acuerdo a CEPAL, los cambios en la temperatura y la precipitación repercutirán en la capacidad regional para la producción de alimentos y, consecuentemente, se sufrirán pérdidas económicas, las cuales se proyectan en alrededor del 19% del Producto Interno Bruto (PIB) anual de la región (CEPAL, 2010). Debido a que Centroamérica es una de las regiones más vulnerables a los embates del cambio climático, es previsible que el aumento de la temperatura atmosférica y del mar, la reducción e inestabilidad en el régimen de lluvias y impacten la producción, la infraestructura, los medios de vida y la salud de la población (CEPAL, 2009).

Estos hallazgos evidencian la necesidad de atender las posibles pérdidas que se presentarán en los niveles de producción, las cuales, en algunos casos, ya se están manifestando como consecuencia del cambio climático. Es indispensable diseñar e implementar medidas de

adaptación que ayuden a los productores y sus parcelas a reducir los impactos de este fenómeno global. Entre las posibles acciones, el IARNA sugiere:

- a. Fomentar la producción bajo invernadero;
- b. Aplicar métodos de manejo y recuperación de los suelos, para elevar los rendimientos por unidad de área;
- c. Modificar el calendario de siembras;
- d. Impulsar sistemas de irrigación;
- e. Introducir variedades de mayor rendimiento y más resistentes a las sequías;
- f. Hacer énfasis en la reconversión de cultivos.

Para esto, se considera fundamental continuar desarrollando e implementando políticas públicas agropecuarias y ambientales, con el propósito de adaptarse a los efectos que el cambio climático podría generar sobre los beneficios sociales y económicos que proporciona la agricultura, en especial para productores de bajos ingresos (CEPAL, 2010).

### **3.5. Impactos globales y regionales del cambio climático**

#### **3.5.1. Consecuencias hidroclimáticas**

Existen datos empíricos que demuestran el vínculo entre el calentamiento global y la intensificación del ciclo hidrológico mundial. Esto corresponde a una mayor e intensa evaporación en los océanos (mayor humedad atmosférica), junto a un aumento de las precipitaciones continentales o la disminución de la evaporación continental. Este proceso, finalmente, puede aumentar la escorrentía continental global, probablemente caracterizada por una alta variabilidad estacional (Labat, Godd, Probst y Guyot, 2004).

De acuerdo a Varis *et al*, es previsible un efecto negativo sobre la disponibilidad de recursos hídricos en algunas regiones del planeta. La distribución espacial y temporal, así como la disponibilidad estacional de recursos hídricos, serán severamente afectadas (Varis, Kajander y Lemmel, 2004). Easterling *et al*, también indican que una de las principales preocupaciones respecto al cambio climático es el aumento de eventos extremos, como temperaturas muy altas o bajas, y precipitaciones intensas de manera más recurrente (Easterling, Meehl, Parmesan, Changnon, Karl y Mearns, 2010).

Según Arnell, la modelación de la disponibilidad de agua superficial a nivel global indica que ésta aumentará en las latitudes altas, pero disminuirá en las latitudes medias, por ejemplo en las regiones subtropicales (entre 23° y 40° de latitud). Se estima que para el año 2025, debido al cambio climático, aumentará considerablemente el número de personas (entre 53 millones y 113 millones) que vivirán en países con estrés hídrico (Arnell, 1999).

### **3.5.2. Consecuencias en los ecosistemas y en la biodiversidad**

Estudios de monitoreo a largo plazo han evidenciado es que la variación del clima en décadas recientes, incluida la actual, es anormal en comparación con el clima de centurias, incluso milenios, anteriores a este periodo. Asimismo, se ha demostrado que las recientes tendencias climáticas y atmosféricas ya están afectando la fisiología, distribución y fenología en la vegetación (Hughes, 2000). Por extensión, los sistemas naturales más afectados serán aquellos que no se han protegido adecuadamente, ya que la composición de los bosques y la biomasa, sobre todo en ecosistemas tropicales, se reduciría drásticamente (Smith y Lazo, 2001).

Varios autores advierten que un cambio gradual en el clima puede afectar la abundancia de poblaciones, la distribución de especies, así como la morfología y el comportamiento de las comunidades bióticas e incluso alterar la estructura y funciones de los ecosistemas, sobre todo los tropicales. Sin embargo, se encuentra menos estudiado el efecto de los enlaces entre los niveles de pequeña y gran escala, y los papeles de éstos en el cambio climático, y su comparación con la variabilidad climática y eventos extremos (Easterling, Meehl, Parmesan, Changnon, Karl y Mearns, 2010; Medvigya, Wofsyb, Mungerb y Moccrofta, 2010).

Entre las razones que prevalecen para preocuparse de la alteración de ecosistemas terrestres, destacan las siguientes: incremento significativo del riesgo de extinción de ecosistemas únicos y amenazados; aumento de la contingencia de fenómenos climáticos extremos; distribución irregular de los impactos (dificultad para su predicción); daños agregados a otras variables de degradación (por ejemplo, deforestación); y riesgos de discontinuidad en los ecosistemas a gran escala (IPCC, 2009).

### **3.6. Políticas de adaptación para la conservación de la biodiversidad**

Es evidente la preocupación que existe por el futuro de la diversidad biológica en el marco del cambio climático. A continuación, se abordan algunas propuestas vertidas por la investigación científica multidisciplinaria y se definen diversas políticas, con el fin de contrarrestar los efectos de los cambios previstos para el clima.

Entre los principales retos a enfrentar se encuentran: la planificación regional (mesoescala) y la gestión de ecosistemas a escala de sitio, así como la adecuación continua de los actuales planes y objetivos de conservación del ambiente. Estos procesos deben ir acompañados de un apoyo más específico de las ciencias biológicas. Asimismo, es necesaria una mayor integración de las ciencias sociales y ecológicas (Heller y Zavaleta, 2009).

McLachlan, Hellman y Schwartz (2007) plantean que, dentro de las alternativas de adaptación ante el inminente cambio climático, resaltan las que se vinculan a la migración asistida de especies y comunidades. Para ello, son indispensables los ejercicios de planificación exhaustiva y de conservación de especies a nivel regional, a ser realizados por diversos sectores. Si bien se considera una práctica impostergable, aún no ha sido abordada adecuadamente por la comunidad científica. Entre los aspectos fundamentales que deben implementarse están:

- a. Definir el papel de las perturbaciones e intervenciones humanas en las transiciones de las especies;
- b. Revisar los objetivos e intereses sociales de la conservación; y
- c. Vincular a la conservación y a la naturaleza con los medios de vida, derechos de la propiedad privada y gobernabilidad.

### **3.7. Sistema Worldclim**

El sistema WorldClim es una base de datos climática mundial desarrollada por varios investigadores del Museo de Zoología de la Universidad de Berkeley en California, EE.UU. Esta base de datos está compuesta por capas cartográficas con información sobre temperatura media anual y precipitación anual con una resolución espacial de 1 km por píxel (Hijmans, Cameron, Parra, Jones y Jarvis, 2005).

Para desarrollar esta base de datos, los investigadores utilizaron toda la información climática existente en los diferentes países del mundo con un historial de aproximadamente 40 años (1950-2000) y aplicaron un algoritmo de interpolación en el que se incluyó el Modelo de Elevación Digital desarrollado por la NASA con lo cual reducen cualquier efecto adverso que la topografía y la altitud podrían ocasionar (Hijmans, Cameron, Parra, Jones y Jarvis, 2005).

El trabajo tiene la fortaleza de que fue publicado por la Revista Internacional de Climatología, además de estar citado en más de 200 trabajos científicos también publicados en revistas internacionales alrededor del mundo. Aparte de eso, es la única capa disponible a esa resolución para la mayoría de países.

### **3.8. Escenarios de cambio climático**

El iarna, en su estudio de cambio climático cita que el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) desarrolló varios escenarios de emisiones a largo plazo, los cuales fueron utilizados para el análisis de un posible cambio climático, sus repercusiones y las opciones para mitigar sus efectos. En el año 1995, incorporaron la dinámica de los factores que rigen las emisiones; llamándole a estos nuevos escenarios SRES (Reporte especial de escenarios de emisiones, por sus siglas en inglés) (IARNA-URL, 2012).

#### **3.8.1. Escenario A2**

Este escenario describe un mundo heterogéneo. Sus características son la autosuficiencia y la conservación de identidades locales con una población mundial en continuo crecimiento. El desarrollo económico está orientado básicamente a las regiones, mientras que el crecimiento económico por habitante y el cambio tecnológico están fragmentados y son más lentos que en otros escenarios.

### **3.8.2. Escenario B2**

Este escenario describe un mundo en el que predominan las soluciones locales a la sostenibilidad económica, social y medioambiental. Es un mundo cuya población aumenta en forma progresiva, a un ritmo menor que en el escenario A2, con unos niveles de desarrollo económico intermedios y un cambio tecnológico menos rápido y más diverso como sí ocurre en otros escenarios, tales como el B1 y A1. Este escenario está también orientado a la protección del ambiente y a la igualdad social, se centra en los niveles local y regional.

## 4. MARCO REFERENCIAL

### 4.1. Ecorregión Pino-Encino.

El Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF por sus siglas en inglés) define una ecorregión como un área extensa de tierra o agua que contiene un conjunto geográficamente distintivo de comunidades naturales que comparten la gran mayoría de sus especies y dinámicas ecológicas, comparten condiciones medioambientales similares e interactúan ecológicamente de manera determinante para su subsistencia a largo plazo. (WWF)

La ecorregión de pino-encino toma su nombre característico por la amplia distribución de bosques de pino y encino (*Pinus* spp. – *Quercus* spp.) con que cuentan, sin embargo pueden encontrarse algunas variantes en la estructura y composición vegetal haciendo que los bosques de pino-encino puedan estar mezclados con otras especies latifoliadas como las de la familia betulaceae (géneros *Alnus*, *Ostrya* y *Carpinus*), *Liquidambar styraciflua*, entre otras.

De acuerdo al Plan de Conservación de los Bosques de Pino-Encino de Centroamérica y el Ave Migratoria *Setophaga chrysoparia*, la ecorregión es el producto de alta actividad volcánica, sedimentación y migración de especies animales y vegetales desde el Norte y Suramérica (hace 3 millones de años), lo cual creó una situación que cambió profundamente el ritmo de la evolución y posiblemente la extinción de algunas especies con nichos ecológicos similares. (Alianza para la Conservación de los Bosques de Pino-Encino de Mesoamérica. 2008).

El mismo plan menciona que la ecorregión cuenta con una extensión de 103,842.71 km<sup>3</sup> (para el presente estudio, según las capas geográficas utilizadas, la extensión es de 104,011.86 km<sup>2</sup>), la cual ha sufrido de la pérdida, fragmentación y degradación de sus bosques, actualmente cuenta con una cobertura boscosa de 26,728.35 km<sup>2</sup>, equivalente al 26% del área total. Entre las principales amenazas identificadas están: los incendios forestales, las prácticas forestales incompatibles con la conservación y la extracción de leña y madera rolliza. A nivel regional el promedio de deforestación es de 60,000 ha/año, a este ritmo la cobertura actual podría desaparecer en los próximos 45 años. (Alianza para la Conservación de los Bosques de Pino-Encino de Mesoamérica. 2008).

## 4.2. Ubicación.

La Ecorregión de Bosques de Pino-Encino de Centroamérica abarca territorialmente desde el Sur de Chiapas hasta el Norte de Nicaragua. Esta ecorregión comprende también la Sierra Madre de Chiapas con cordilleras que van paralelas a la Costa del Pacífico. En términos geográficos abarca el Centro y Sur de Chiapas (México), las tierras altas de Guatemala, la mayor parte de Honduras, el Norte de El Salvador, y el Noroeste de Nicaragua (Figura 1). (Alianza para la Conservación de los Bosques de Pino-Encino de Mesoamérica. 2008).



**Figura 1.** Ubicación geográfica de la ecorregión de Pino-encino. (Elaboración propia)

Según el Diagnóstico Ecológico y Socioeconómico de la Ecorregión Bosques de Pino-Encino de Centroamérica, la ecorregión es considerada una de las zonas más ricas en el mundo en diversidad de coníferas y encinos (*Quercus* spp.). Evidencia de lo anterior, es la zona entre Chiapas y Guatemala, en donde existe la mayor cantidad de especies de coníferas por área comparado con cualquier otro lugar en el mundo de similar superficie, en consecuencia presenta alta hibridización y es actualmente, centro de especiación y evolución de pinos. Debido al alto número de especies endémicas de plantas, mamíferos, aves e insectos que tiene la ecorregión, se le ha considerado como un área de endemismos de aves y como una Ecorregión Terrestre Prioritaria (ETP o Hot Spot, según Conservación Internacional). (Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad, Alianza para la Conservación de Bosques de Pino-Encino de Mesoamérica, The Nature Conservancy. 2009).

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. Objetivo general.**

Definir y georeferenciar las tendencias probables del cambio espacial biológico y humano posible de la ecorregión, a partir de los datos de temperatura y precipitación de las estaciones ubicadas dentro y en las cercanías de la ecorregión.

### **5.2. Objetivos específicos.**

- ✓ Elaborar mapas climáticos (pp y T°) que permitan conocer las condiciones actuales en la que se encuentra la ecorregión.
- ✓ Elaborar escenarios de los mapas climáticos a futuro para los años 2020 y 2050 y analizar los cambios en cada una de las dos variables estudiadas.
- ✓ Realizar una estimación de las provincias de humedad actuales y para los distintos escenarios para evaluar el impacto que el cambio tendrá en la disponibilidad hídrica de la ecorregión.

## 6. METODOLOGÍA.

### 6.1. *Elaboración de mapas climáticos (pp y t°) actuales*

Del portal del Worldclim se descargaron los archivos correspondientes a las temperaturas mensuales y precipitaciones mensuales para la porción geográfica que comprende la ecorregión de Pino-encino de la región mesoamericana.

A través de un sistema de información geográfico se elaboró el mapa de temperatura promedio anual a través del promedio de las 12 capas mensuales de temperatura. De la misma forma se procedió a sumar las capas de precipitación para obtener la precipitación anual.

### 6.2. *Elaboración de escenarios de los mapas climáticos a futuro para los años 2020 y 2050*

Del portal GCM Downscaled (<http://www.ccafs-climate.org/>) desarrollado por el Programa de Investigación para el Cambio Climático, la Agricultura y la Seguridad Alimentaria (CCAFS), el Consorcio Internacional de Centros de Investigación Agrícola (CGIAR) y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), entre otros; se descargaron los archivos correspondientes a las temperaturas mensuales y precipitaciones mensuales para los escenarios A2 y B2 y para los años 2020 y 2050, para la porción geográfica que comprende la ecorregión de Pino-encino de la región mesoamericana.

Al igual que en el caso anterior, a través de un sistema de información geográfico se elaboró el mapa de temperatura promedio anual a través del promedio de las 12 capas mensuales de temperatura para los escenarios A2 y B2 y para los años 2020 y 2050. De la misma forma se procedió a sumar las capas de precipitación para obtener la precipitación anual de los mismos escenarios.

Finalmente se realizaron los cálculos para conocer los cambios en precipitación y temperatura que se prevé en la ecorregión para los distintos escenarios evaluados. Esto se realizó mediante restas algebraicas, de los valores de la línea base con los valores de los dos períodos evaluados. También se elaboraron los mapas en los que se puede observar los lugares en los que existirán cambios para cada uno de los escenarios.

### 6.3. Estimación de las provincias de humedad

A través de la metodología de Holdridge, se calculó la evapotranspiración potencial mediante la capa de temperatura<sup>2</sup>. Ese resultado se dividió dentro de la precipitación anual para obtener una capa que mostrara los valores de Relación ETP/pp. Esto se realizó tanto para los datos actuales, como para los otros 4 escenarios estudiados (2020 A2, 2050 A2, 2020 B2 y 2050 B2). Holdridge establece mediante los valores de la relación ETP/pp, distintos rangos que forman provincias de humedad, las cuales se pueden agrupar posteriormente para establecer zonas deficitarias o excedentarias de agua.

En la siguiente tabla se muestran los valores de los distintos rangos para cada una de las provincias de humedad y su categorización con respecto a la disponibilidad de agua que éstas puedan tener:

**Cuadro 1.** Características de las provincias de humedad

No.	Provincia de humedad	Rel. ETP/pp	Categoría
1	Semisaturada	< 0.125	Excedentaria
2	Superhúmeda (Pluvial)	0.125 - 0.25	Excedentaria
3	Perhúmeda (Muy húmeda)	0.25 - 0.5	Excedentaria
4	Húmeda	0.5 - 1	Excedentaria
5	Subhúmeda (Seca)	1 - 2	Deficitaria
6	Semiárida (Muy Seca)	2 - 4	Deficitaria
7	Árida	4 - 8	Deficitaria
8	Perárida	8 - 16	Deficitaria

*Elaboración propia, basado en Holdridge .*

En función de la tabla anterior, se asignaron las provincias de humedad que le correspondían a los distintos valores de rel ETP/pp obtenidos en cada mapa y de esa forma obtener los correspondientes mapas de provincias de humedad.

Finalmente se realizaron los cálculos respectivos para conocer los cambios en extensión y porcentaje que se prevé en la ecorregión para los distintos escenarios evaluados.

<sup>2</sup> Holdridge establece que la ETP se calcula multiplicando la Biotemperatura por la constante 58.93. Se estimó que por no encontrarse en la región temperaturas mensuales promedio menores a 0 °C ni mayores a 30 °C el valor de la biotemperatura es igual al de la temperatura.

## **7. RESULTADOS.**

### **7.1. Elaboración de mapas climáticos (pp y t°) actuales**

#### **7.1.1. Precipitación anual**

Se estima que el valor promedio de la precipitación anual para la ecorregión es de 1,510 mm, registrándose los valores más bajos en el área de Guastatoya, El Progreso, Guatemala con 590 mm y los valores más altos en Barillas, Huehuetenango, Guatemala, con 5,350 mm.

#### **7.1.2. Temperatura media anual**

Para el caso de la temperatura de la ecorregión, se estima que su valor promedio anual es de 20.46 °C, registrándose los valores más bajos en el área del Altiplano Occidental de Guatemala (municipios de Tajumulco y San Marcos, del departamento de San Marcos) con 5 °C y los valores más altos en San Lorenzo, Valle, Honduras, con 28 °C.

En las siguientes dos figuras se muestran los mapas correspondientes a la precipitación y temperatura promedio anual de la ecorregión.

Análisis Técnico de impactos del cambio climático sobre la biodiversidad y medios de vida en la ecorregión de pino-encino.

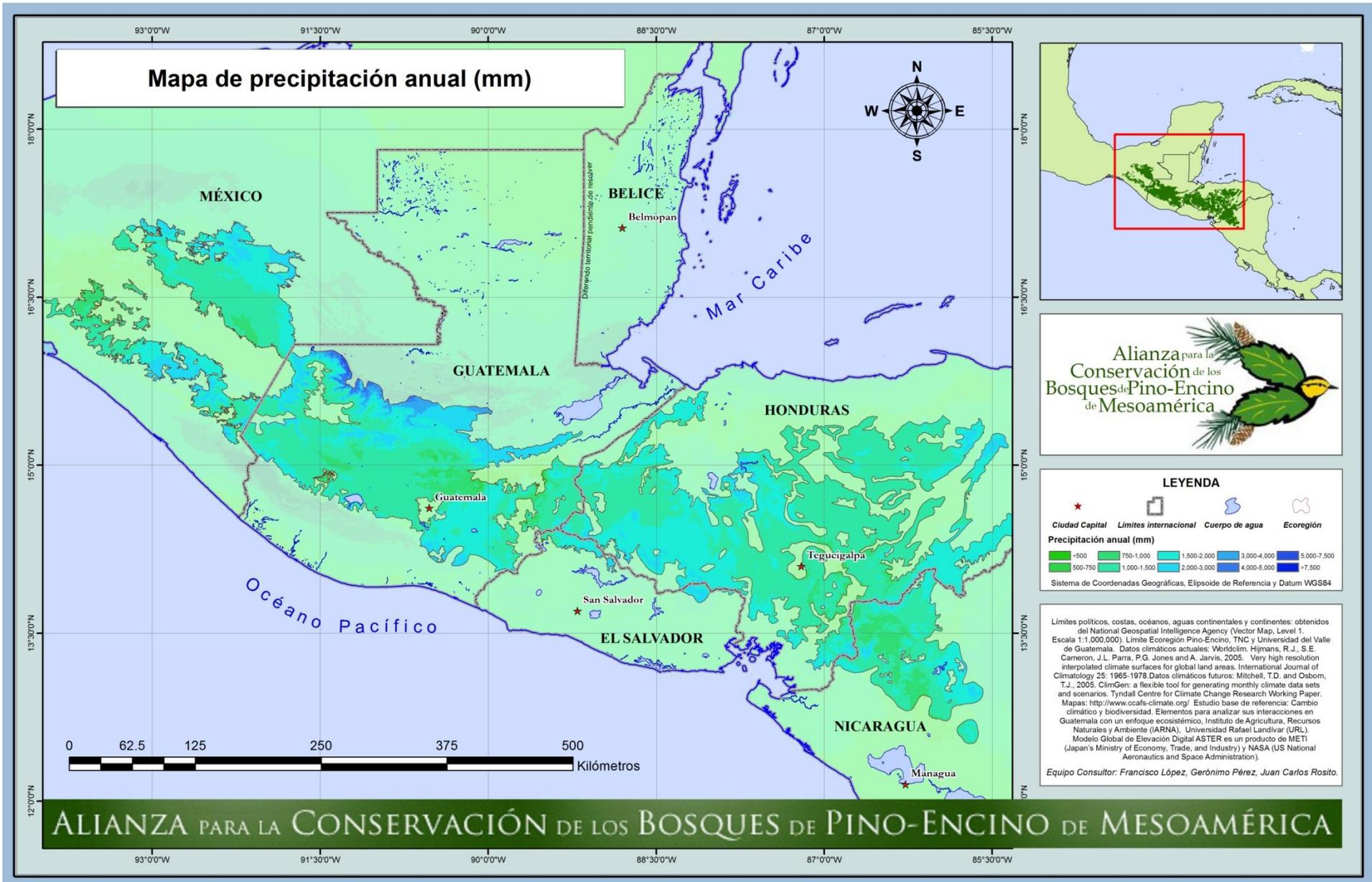


Figura 2. Mapa de precipitación anual de la ecorregión Pino-encino. (Elaboración propia)

Análisis Técnico de impactos del cambio climático sobre la biodiversidad y medios de vida en la ecorregión de pino-encino.

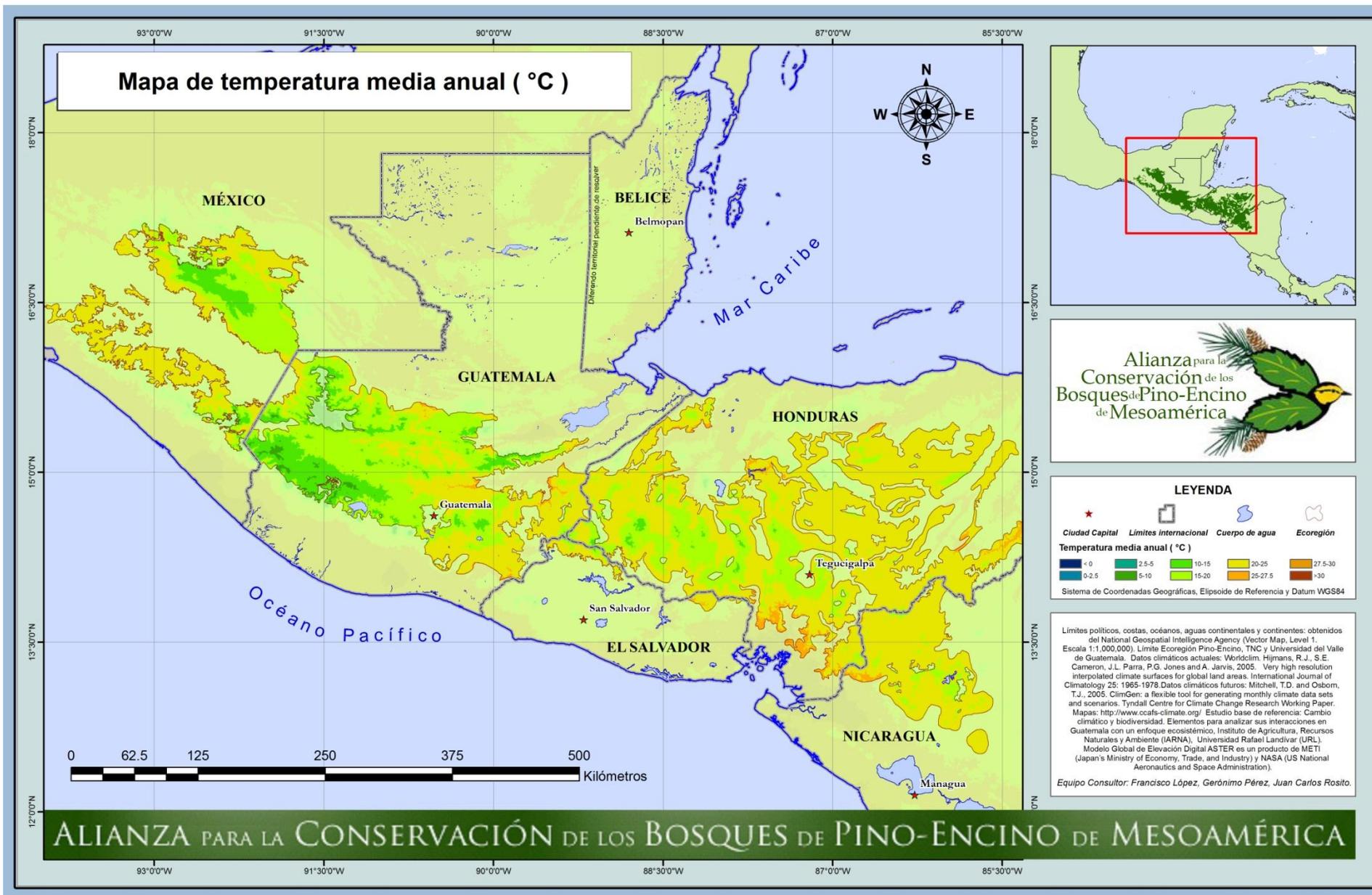


Figura 3. Mapa de temperatura promedio anual de la ecorregión Pino-encino. (Elaboración propia)

## 7.2. Escenarios climáticos a futuro para los años 2020 y 2050

### 7.2.1. Precipitación anual y temperatura para el escenario A2

#### a. Precipitación anual año 2020

El valor promedio de la precipitación anual para la ecorregión en el escenario A2 y año 2020 es de 1,364 mm, lo que equivale a una reducción de la misma en un 9.67 % (146 mm). Para el caso del valor mínimo de la precipitación en la ecorregión, se estima que será de 529 mm, el cual representa una reducción de 9.72 % (56 mm). El valor máximo de precipitación será de 5,005 mm, que equivale a una reducción de un 6.45% (352 mm).

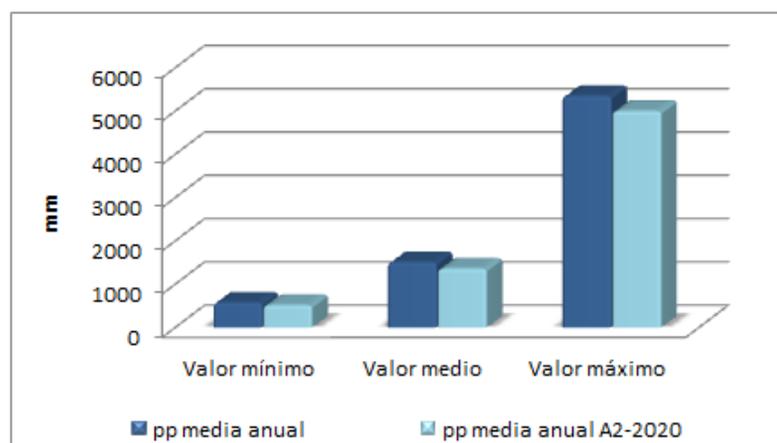
En la siguiente tabla se presentan los valores anteriormente indicados pero que de forma unida permite tener una mejor apreciación de los cambios que en esta variable ocurrirán.

**Cuadro 2.** Diferencias de precipitación actual con respecto al año 2020 del escenario A2.

Variable	Valor mínimo	Valor medio	Valor máximo
pp media anual	576	1,510	5,350
pp media anual A2-2020	520	1,364	5,005
Dif pp al 2020 (mm) A2	56	146	345
Dif pp al 2020 (%) A2	9.72	9.67	6.45

*Elaboración propia.*

En la siguiente figura se muestra la gráfica de los valores del cuadro 2.



**Figura 4.** Diferencia de los valores mínimo, medio y máximo para la precipitación al año 2020. (Elaboración propia).

#### b. Precipitación anual año 2050

El valor promedio de la precipitación anual para la ecorregión en el escenario A2 y año 2050 es de 1,271 mm, lo que equivale a una reducción de la misma en un 15.83 % (239 mm). Para el caso del valor mínimo de la precipitación en la ecorregión, se estima que será de 490 mm, el cual representa una reducción de 14.93 % (86 mm). El valor máximo de precipitación será de 4,998 mm, que equivale a una reducción de un 6.58% (352 mm).

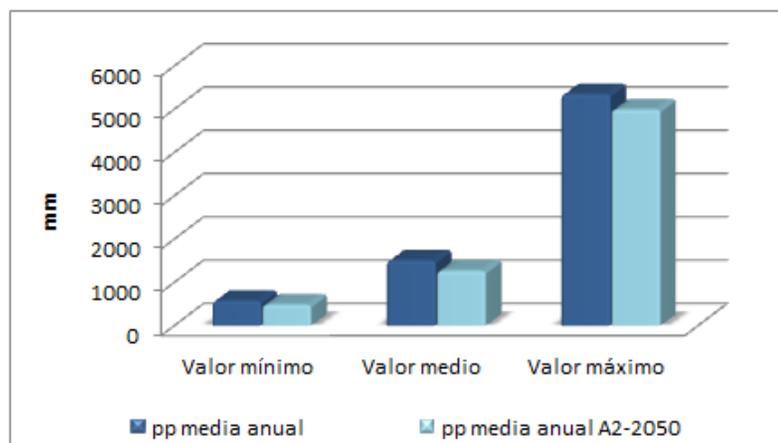
En la siguiente tabla se presentan los valores anteriormente indicados pero que de forma unida permite tener una mejor apreciación de los cambios que en esta variable ocurrirán.

**Cuadro 3.** Diferencias de precipitación actual con respecto al año 2050 del escenario A2.

<b>Variable</b>	<b>Valor mínimo</b>	<b>Valor medio</b>	<b>Valor máximo</b>
pp media anual	576	1,510	5,350
pp media anual A2-2050	490	1,271	4,998
<i>Dif pp al 2050 (mm) A2</i>	<i>86</i>	<i>239</i>	<i>352</i>
<i>Dif pp al 2050 (%) A2</i>	<i>14.93</i>	<i>15.83</i>	<i>6.58</i>

*Elaboración propia.*

En la siguiente figura se muestra la gráfica de los valores del cuadro 3.



**Figura 5.** Diferencia de los valores mínimo, medio y máximo para la precipitación al año 2050. (Elaboración propia).

La máxima variación se encuentra entre los valores medios de la precipitación ya que para este año la misma se reduce en un 15.83 %. Los mapas de cambios de precipitación para los dos años se pueden ver en las siguientes 2 figuras:

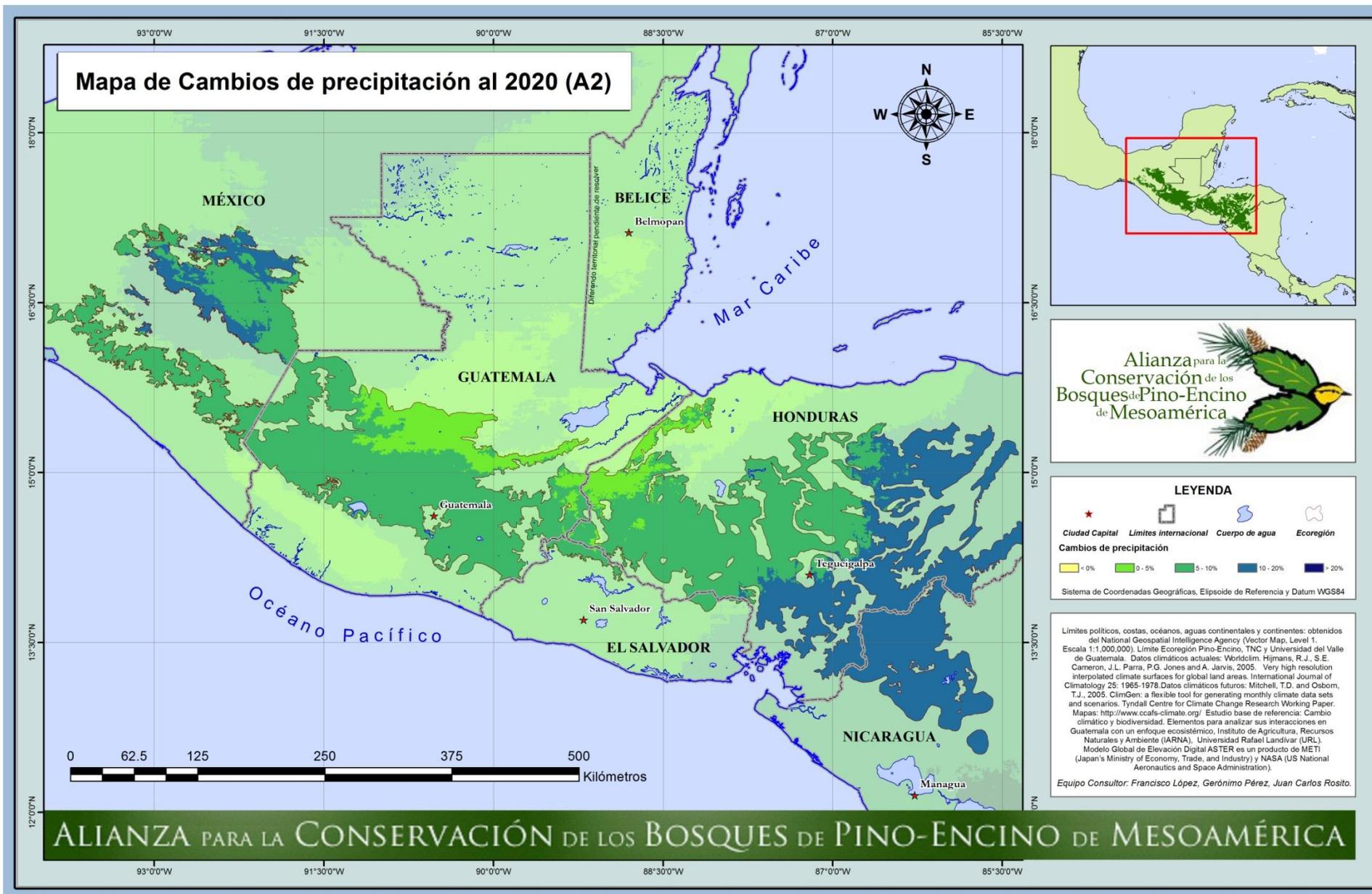


Figura 6. Mapa de diferencias de precipitación anual de la ecorregión Pino-encino al año 2020. (Elaboración propia)

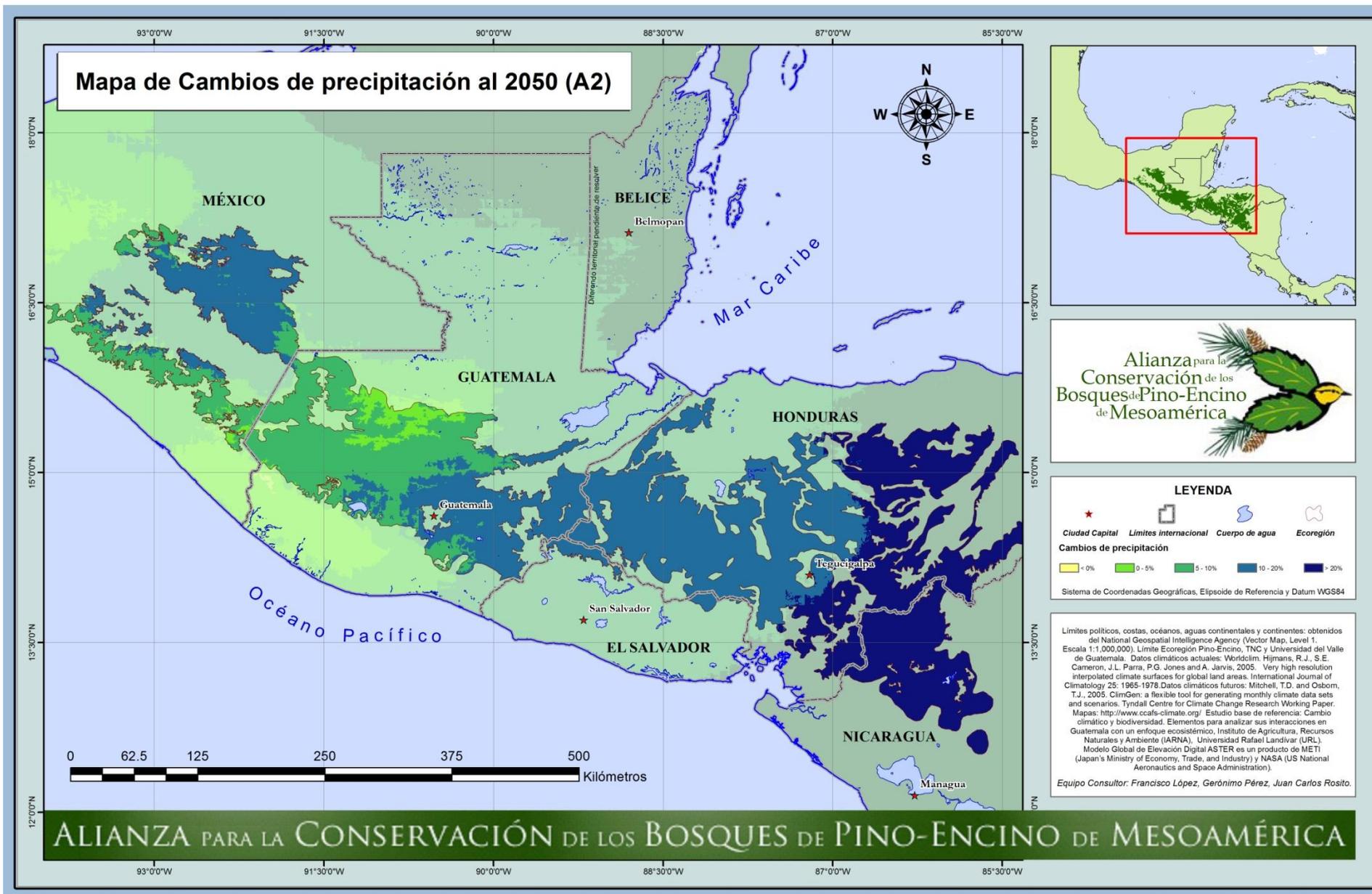


Figura 7. Mapa de diferencias de precipitación anual de la ecorregión Pino-encino al año 2050. (Elaboración propia)

**c. Temperatura promedio anual año 2020**

El valor promedio de la temperatura media anual para la ecorregión en el escenario A2 y año 2020 es de 21.73 °C, lo que equivale a un aumento de la misma en un 6.23 % (1.28 °C). Para el caso del valor mínimo de la temperatura en la ecorregión, se estima que será de 5 °C, el cual representa un aumento del 25 % (1 °C). El valor máximo de temperatura será de 29.2 °C, que equivale a un aumento de un 4.29 % (1.2 °C).

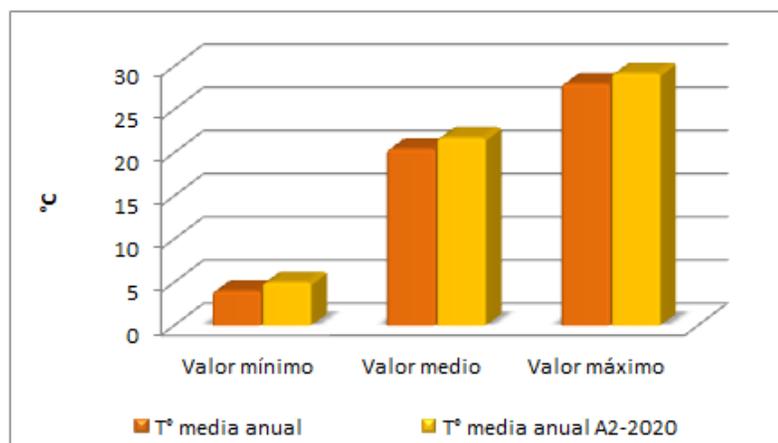
En la siguiente tabla se presentan los valores anteriormente indicados pero que de forma unida permite tener una mejor apreciación de los cambios que en esta variable ocurrirán.

**Cuadro 4.** Diferencias de temperatura media anual actual con respecto al año 2020 del escenario A2.

Variable	Valor mínimo	Valor medio	Valor máximo
T° media anual	4.0	20.46	28.0
T° media anual A2-2020	5	21.73	29.2
Dif T° al 2020 (°C) A2	-1.00	-1.28	-1.20
Dif T° al 2020 (%) A2	-25.00	-6.23	-4.29

Elaboración propia.

En la siguiente figura se muestra la gráfica de los valores del cuadro 4.



**Figura 8.** Diferencia de los valores mínimo, medio y máximo para la temperatura media anual al año 2020. (Elaboración propia).

La máxima variación se encuentra entre los valores mínimos de la temperatura ya que para este año la misma aumenta un 25 %.

**d. Temperatura promedio anual año 2050**

El valor promedio de la temperatura media anual para la ecorregión en el escenario A2 y año 2050 es de 23.07 °C, lo que equivale a un aumento de la misma en un 12.78 % (2.62 °C). Para el caso del valor mínimo de la temperatura en la ecorregión, se estima que será de 6.2 °C, el cual representa un aumento del 55 % (2.2 °C). El valor máximo de temperatura será de 30.5 °C, que equivale a un aumento de un 8.93 % (2.5 °C).

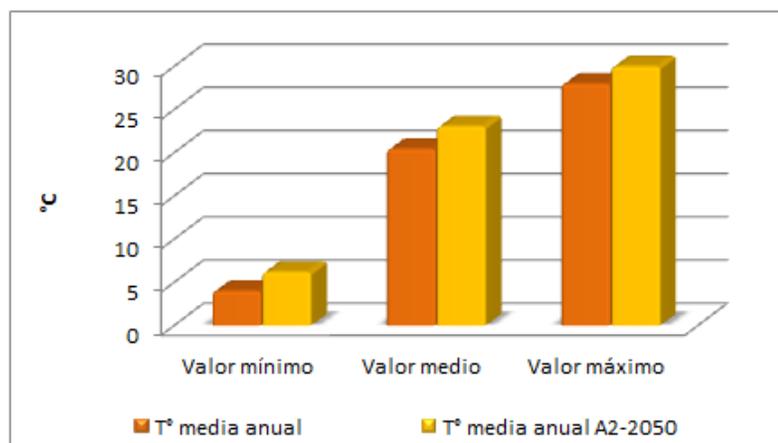
En la siguiente tabla se presentan los valores anteriormente indicados pero que de forma unida permite tener una mejor apreciación de los cambios que en esta variable ocurrirán.

**Cuadro 5.** Diferencias de temperatura media anual actual con respecto al año 2050 del escenario A2.

<b>Variable</b>	<b>Valor mínimo</b>	<b>Valor medio</b>	<b>Valor máximo</b>
T° media anual	4.0	20.46	28.0
T° media anual A2-2050	6.2	23.07	30.5
<i>Dif T° al 2050 (°C) A2</i>	-2.20	-2.62	-2.50
<i>Dif T° al 2050 (%) A2</i>	-55.00	-12.78	-8.93

*Elaboración propia.*

En la siguiente figura se muestra la gráfica de los valores del cuadro 5.



**Figura 9.** Diferencia de los valores mínimo, medio y máximo para la temperatura media anual al año 2050. (Elaboración propia).

La máxima variación se encuentra entre los valores mínimos de la temperatura ya que para este año la misma aumenta un 55 %. Los mapas de cambios de temperatura para los dos años se pueden ver en las siguientes 2 figuras:

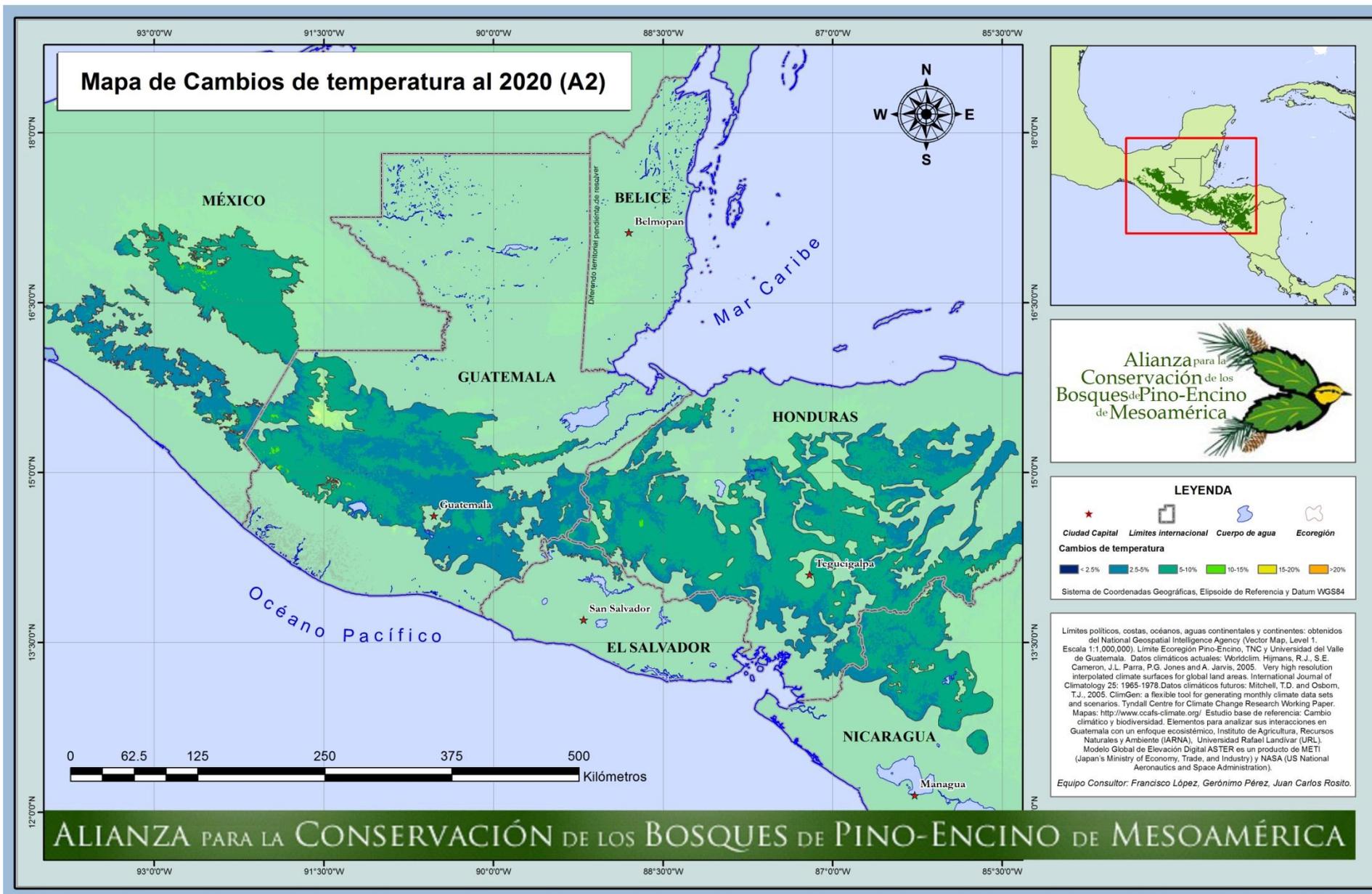


Figura 10. Mapa de diferencias de temperatura media anual de la ecorregión Pino-encino al año 2020. (Elaboración propia)

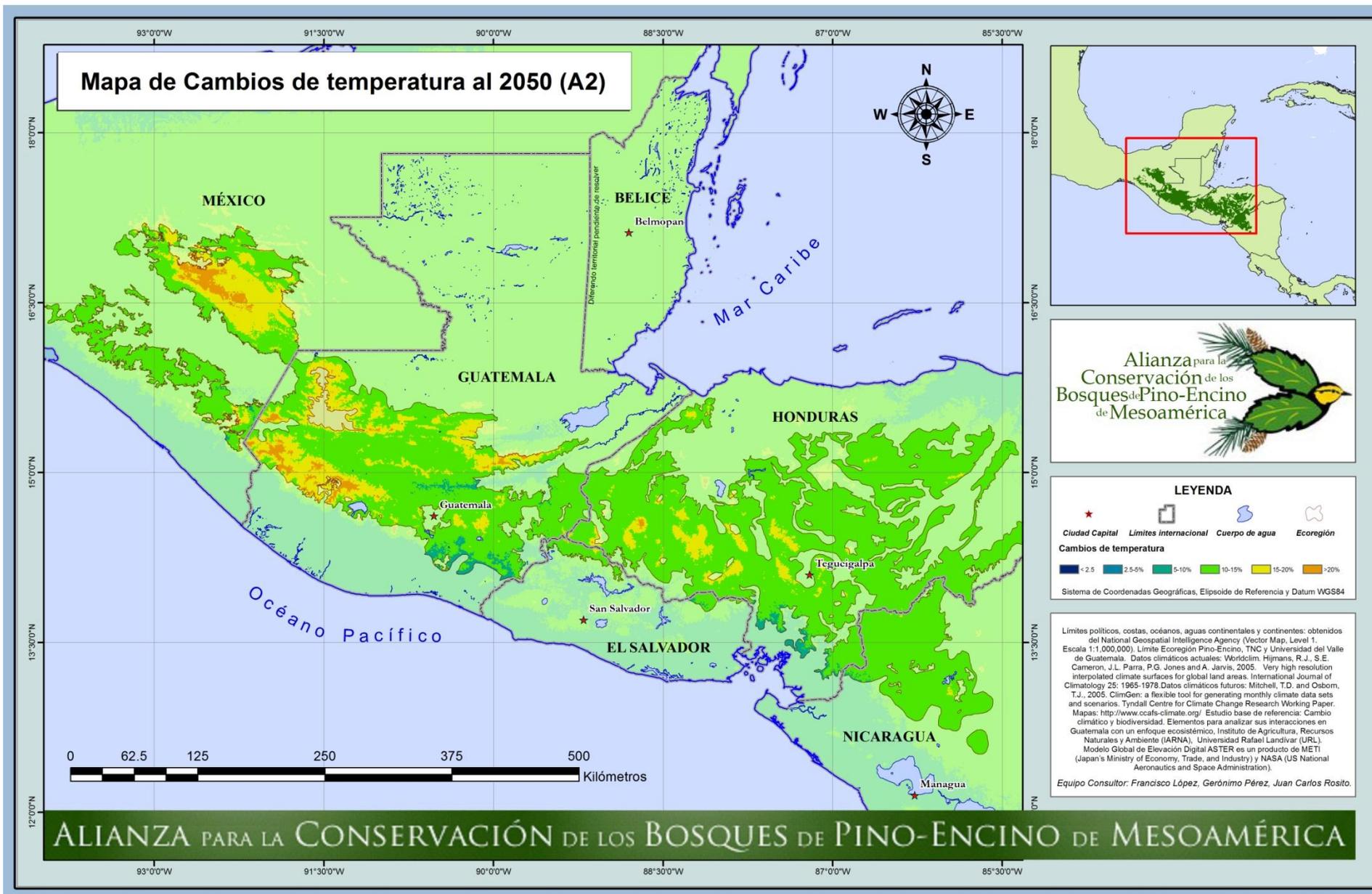


Figura 11. Mapa de diferencias de temperatura media anual de la ecorregión Pino-encino al año 2050. (Elaboración propia)

## 7.2.2. Precipitación anual y temperatura para el escenario B2

### a. Precipitación anual año 2020

El valor promedio de la precipitación anual para la ecorregión en el escenario B2 y año 2020 es de 1,460 mm, lo que equivale a una reducción de la misma en un 3.31 % (50 mm). Para el caso del valor mínimo de la precipitación en la ecorregión, se estima que será de 567 mm, el cual representa una reducción de 1.56 % (9 mm). El valor máximo de precipitación será de 5,383 mm, que equivale a un mínimo aumento de un 0.62% (33 mm).

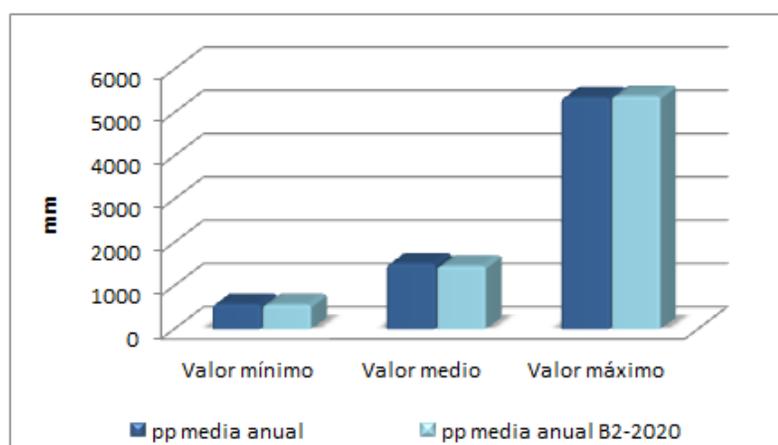
En la siguiente tabla se presentan los valores anteriormente indicados pero que de forma unida permite tener una mejor apreciación de los cambios que en esta variable ocurrirán.

**Cuadro 6.** Diferencias de precipitación actual con respecto al año 2020 del escenario B2.

<b>Variable</b>	<b>Valor mínimo</b>	<b>Valor medio</b>	<b>Valor máximo</b>
pp media anual	576	1,510	5,350
pp media anual B2-2020	567	1,460	5,383
<i>Dif pp al 2020 (mm) B2</i>	9	50	-33
<i>Dif pp al 2020 (%) B2</i>	1.56	3.31	-0.62

*Elaboración propia.*

En la siguiente figura se muestra la gráfica de los valores del cuadro 6.



**Figura 12.** Diferencia de los valores mínimo, medio y máximo para la precipitación al año 2020. (Elaboración propia).

La máxima variación se encuentra entre los valores medios de la precipitación, sin embargo para este año la misma se reduce tan solo en un 3.31 %.

### b. Precipitación anual año 2050

El valor promedio de la precipitación anual para la ecorregión en el escenario B2 y año 2050 es de 1,485 mm, lo que equivale a una reducción de la misma en un 1.66 % (25 mm). Para el caso del valor mínimo de la precipitación en la ecorregión, se estima que será de 582 mm, el cual representa una mínimo aumento de 1.04 % (6 mm). El valor máximo de precipitación también tendrá un incremento, para este caso, la precipitación será de 5,439 mm, que equivale a un aumento de 1.66% (89 mm).

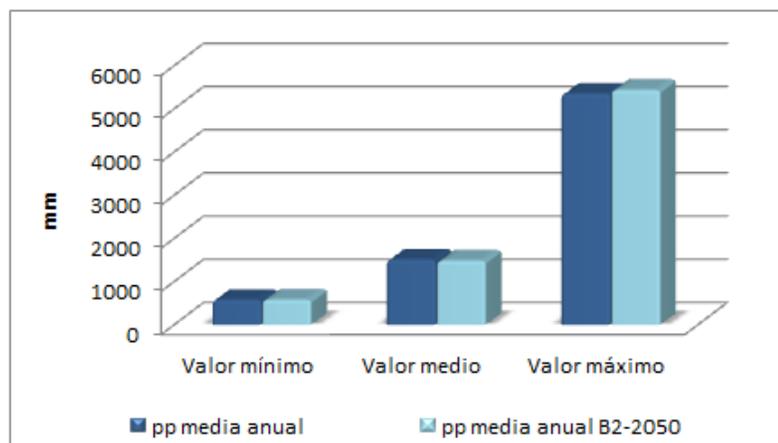
En la siguiente tabla se presentan los valores anteriormente indicados pero que de forma unida permite tener una mejor apreciación de los cambios que en esta variable ocurrirán.

**Cuadro 7.** Diferencias de precipitación actual con respecto al año 2050 del escenario B2.

Variable	Valor mínimo	Valor medio	Valor máximo
pp media anual	576	1,510	5,350
pp media anual B2-2050	582	1,485	5,439
Dif pp al 2050 (mm) B2	-6	25	-89
Dif pp al 2050 (%) B2	-1.04	1.66	-1.66

*Elaboración propia.*

En la siguiente figura se muestra la gráfica de los valores del cuadro 7.



**Figura 13.** Diferencia de los valores mínimo, medio y máximo para la precipitación al año 2050. (Elaboración propia).

La variación para este año se considera mínima ya que en ninguno de los 3 valores alcanza el 2% . Los mapas de cambios de precipitación para los dos años se pueden ver en las siguientes 2 figuras:

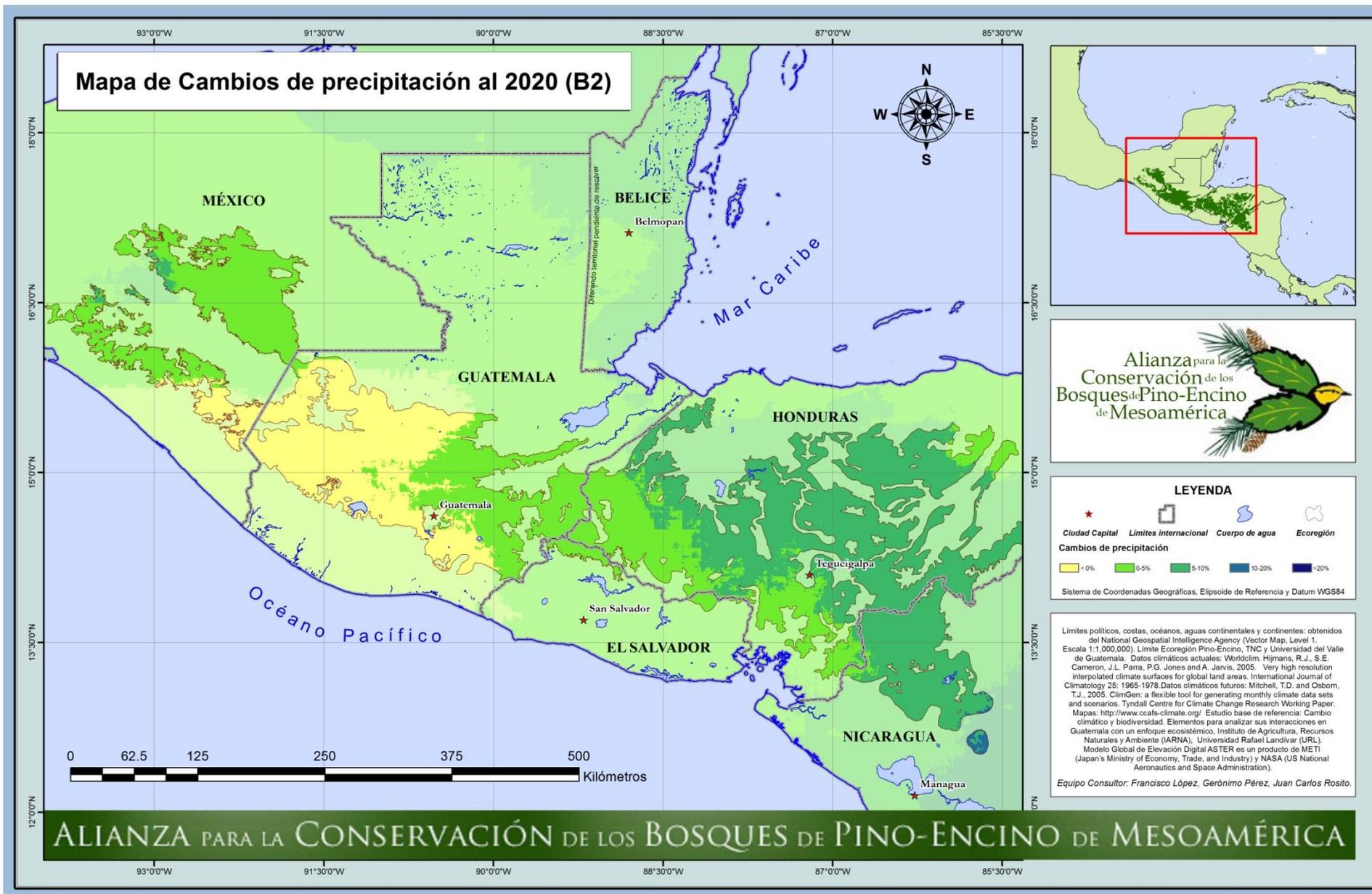


Figura 14. Mapa de diferencias de precipitación anual de la ecorregión Pino-encino al año 2020. (Elaboración propia)



**c. Temperatura promedio anual año 2020**

El valor promedio de la temperatura media anual para la ecorregión en el escenario B2 y año 2020 es de 21.63 °C, lo que equivale a un aumento de la misma en un 5.74 % (1.28 °C). Para el caso del valor mínimo de la temperatura en la ecorregión, se estima que será de 5 °C, el cual representa un aumento del 25 % (1 °C). El valor máximo de temperatura será de 29.2 °C, que equivale a un aumento de un 4.29 % (1.2 °C).

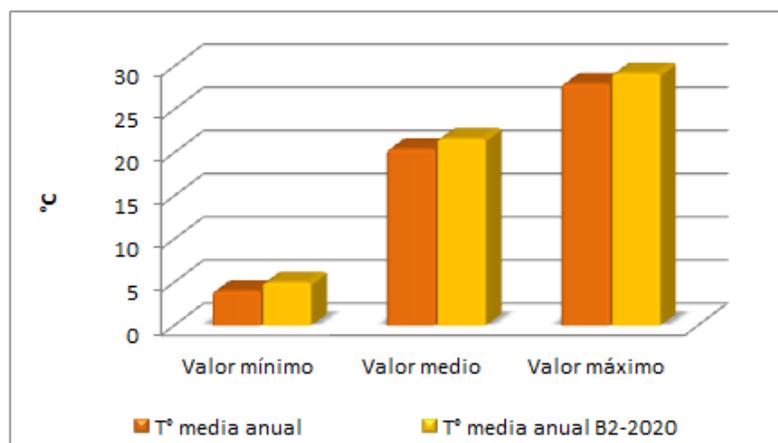
En la siguiente tabla se presentan los valores anteriormente indicados pero que de forma unida permite tener una mejor apreciación de los cambios que en esta variable ocurrirán.

**Cuadro 8.** Diferencias de temperatura media anual actual con respecto al año 2020 del escenario B2.

<b>Variable</b>	<b>Valor mínimo</b>	<b>Valor medio</b>	<b>Valor máximo</b>
T° media anual	4.0	20.46	28.0
T° media anual B2-2020	5	21.63	29.2
<i>Dif T° al 2020 (°C) B2</i>	<i>-1.00</i>	<i>-1.18</i>	<i>-1.20</i>
<i>Dif T° al 2020 (%) B2</i>	<i>-25.00</i>	<i>-5.74</i>	<i>-4.29</i>

*Elaboración propia.*

En la siguiente figura se muestra la gráfica de los valores del cuadro 8.



**Figura 16.** Diferencia de los valores mínimo, medio y máximo para la temperatura media anual al año 2020. (Elaboración propia).

La máxima variación se encuentra entre los valores mínimos de la temperatura ya que para este año la misma aumenta un 25 %.

**d. Temperatura promedio anual año 2050**

El valor promedio de la temperatura media anual para la ecorregión en el escenario B2 y año 2050 es de 2.48 °C, lo que equivale a un aumento de la misma en un 9.9 % (2.03 °C). Para el caso del valor mínimo de la temperatura en la ecorregión, se estima que será de 5.9 °C, el cual representa un aumento del 47.5 % (1.9 °C). El valor máximo de temperatura será de 29.9 °C, que equivale a un aumento de un 6.79 % (1.9 °C).

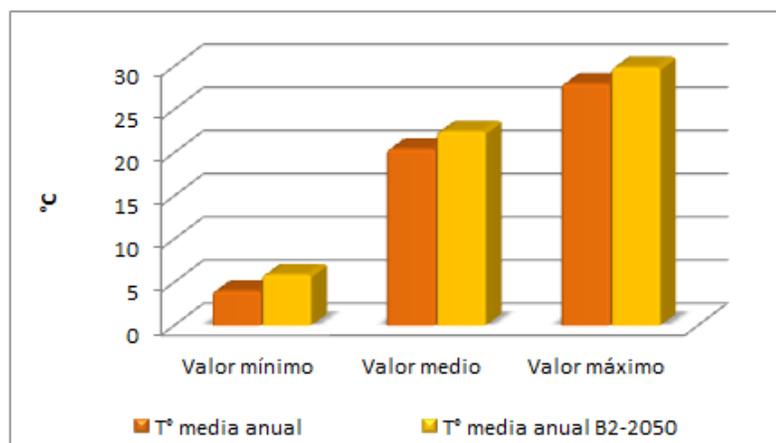
En la siguiente tabla se presentan los valores anteriormente indicados pero que de forma unida permite tener una mejor apreciación de los cambios que en esta variable ocurrirán.

**Cuadro 9.** Diferencias de temperatura media anual actual con respecto al año 2050 del escenario B2.

<b>Variable</b>	<b>Valor mínimo</b>	<b>Valor medio</b>	<b>Valor máximo</b>
T° media anual	4.0	20.46	28.0
T° media anual B2-2050	5.9	22.48	29.9
<i>Dif T° al 2050 (°C) B2</i>	<i>-1.90</i>	<i>-2.03</i>	<i>-1.90</i>
<i>Dif T° al 2050 (%) B2</i>	<i>-47.50</i>	<i>-9.90</i>	<i>-6.79</i>

*Elaboración propia.*

En la siguiente figura se muestra la gráfica de los valores del cuadro 9.



**Figura 17.** Diferencia de los valores mínimo, medio y máximo para la temperatura media anual al año 2050. (Elaboración propia).

La máxima variación se encuentra entre los valores mínimos de la temperatura ya que para este año la misma aumenta en un 47.5 %. Los mapas de cambios de temperatura para los dos años se pueden ver en las siguientes 2 figuras:

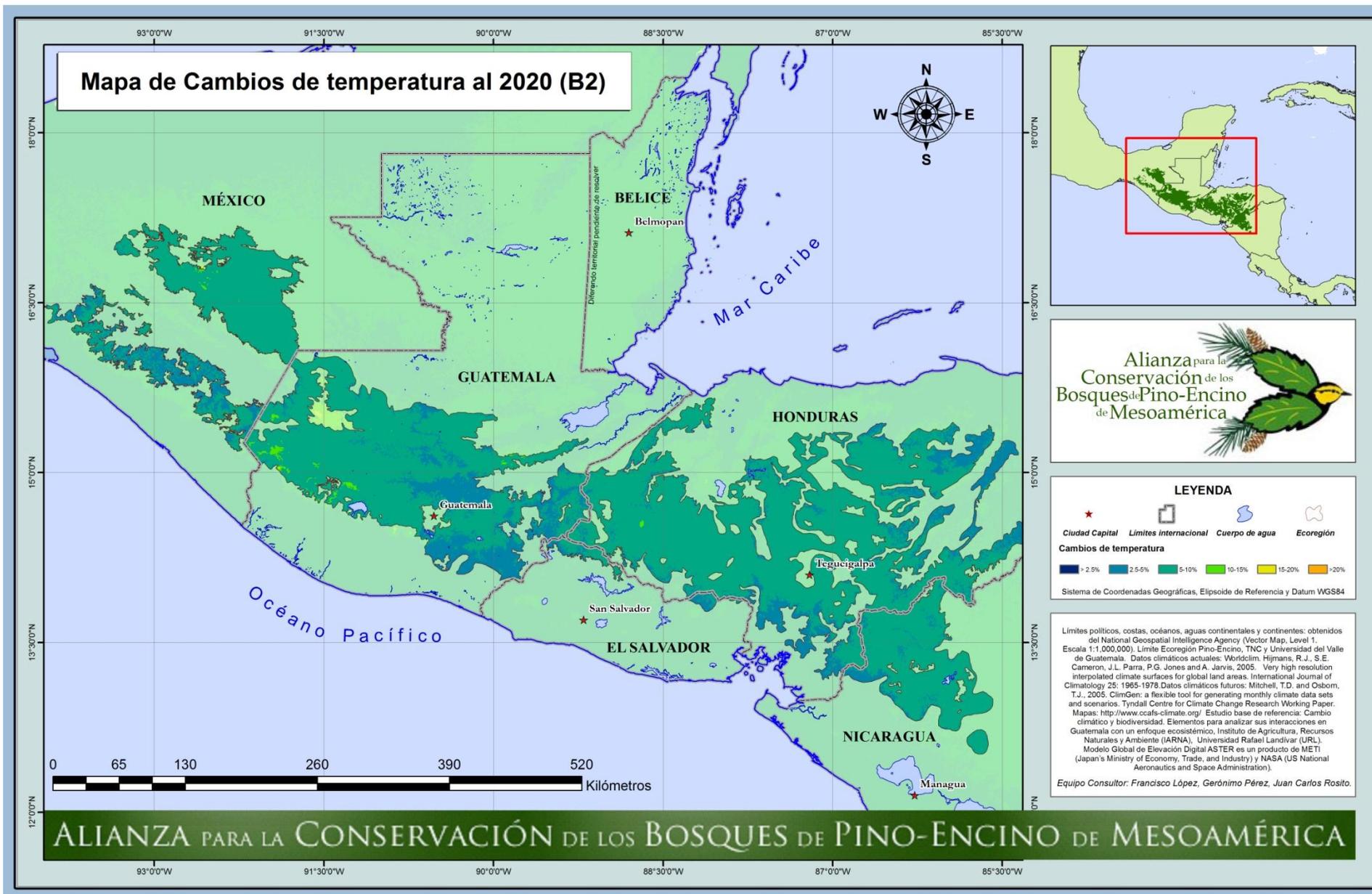


Figura 18. Mapa de diferencias de temperatura media anual de la ecorregión Pino-encino al año 2020. (Elaboración propia)

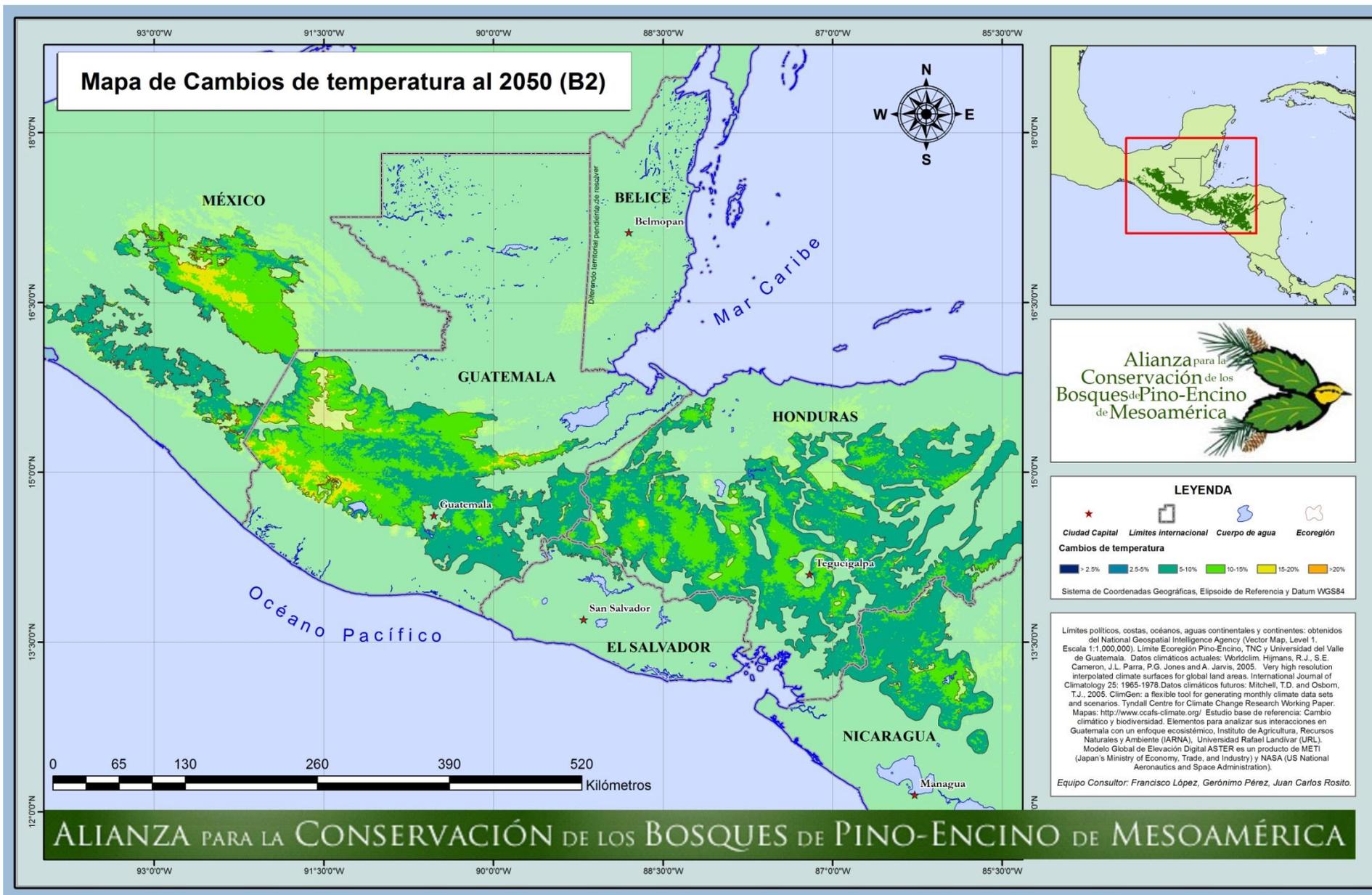


Figura 19. Mapa de diferencias de temperatura media anual de la ecorregión Pino-encino al año 2050. (Elaboración propia)

### 7.3. Estimación de las provincias de humedad

#### 7.3.1. Provincias de humedad actuales

De acuerdo a las condiciones de precipitación y temperatura que se pueden encontrar en la ecorregión Pino-encino, es posible identificar 5 provincias de humedad, las cuales y en combinación de otros factores biofísicos pueden influir directamente en la presencia de diversos tipos de ecosistemas. Las distintas regiones de humedad identificadas se pueden observar en la siguiente tabla:

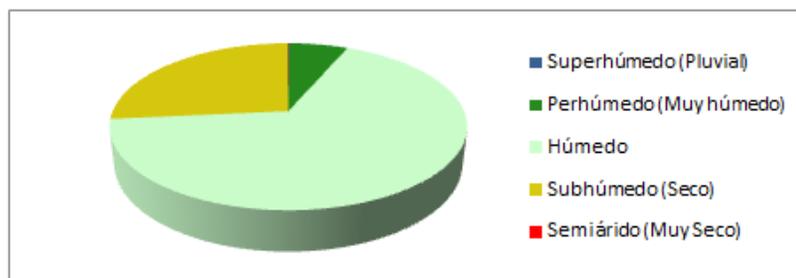
**Cuadro 10.** Provincias de humedad presentes actualmente en la ecorregión Pino-encino.

No.	Provincia de humedad	Extensión (ha)	%
1	Superhúmeda (Pluvial)	9,504	0.09
2	Perhúmeda (Muy húmeda)	662,001	6.36
3	Húmeda	6,972,536	67.04
4	Subhúmeda (Seca)	2,750,499	26.44
5	Semiárida (Muy Seca)	6,645	0.06
<b>Total</b>		<b>10,401,186</b>	<b>100.00</b>

*Elaboración propia, con base en Holdridge.*

Dos de las 5 provincias de humedad, no superan las 16,200 ha y cubren solamente el 0.16 % de la ecorregión, sin embargo es importante estudiarlas por los ecosistemas que actualmente poseen y los efectos que podrían haber en las mismas al haber un cambio leve en la precipitación y la temperatura.

La provincia de humedad “Húmeda”, que cuenta con una relación ETP/pp entre 0.5 y 1, es decir que puede conservar hasta el 50% de la lluvia que recibe tras el proceso de evapotranspiración, ocupa 2 terceras partes de la ecorregión, representando con la provincia “Muy húmeda” aproximadamente 3/4 del total de la ecorregión, tal y como se observa en la siguiente gráfica:



**Figura 20.** Distribución de las provincias de humedad. (Elaboración propia)

Análisis Técnico de impactos del cambio climático sobre la biodiversidad y medios de vida en la ecorregión de pino-encino.

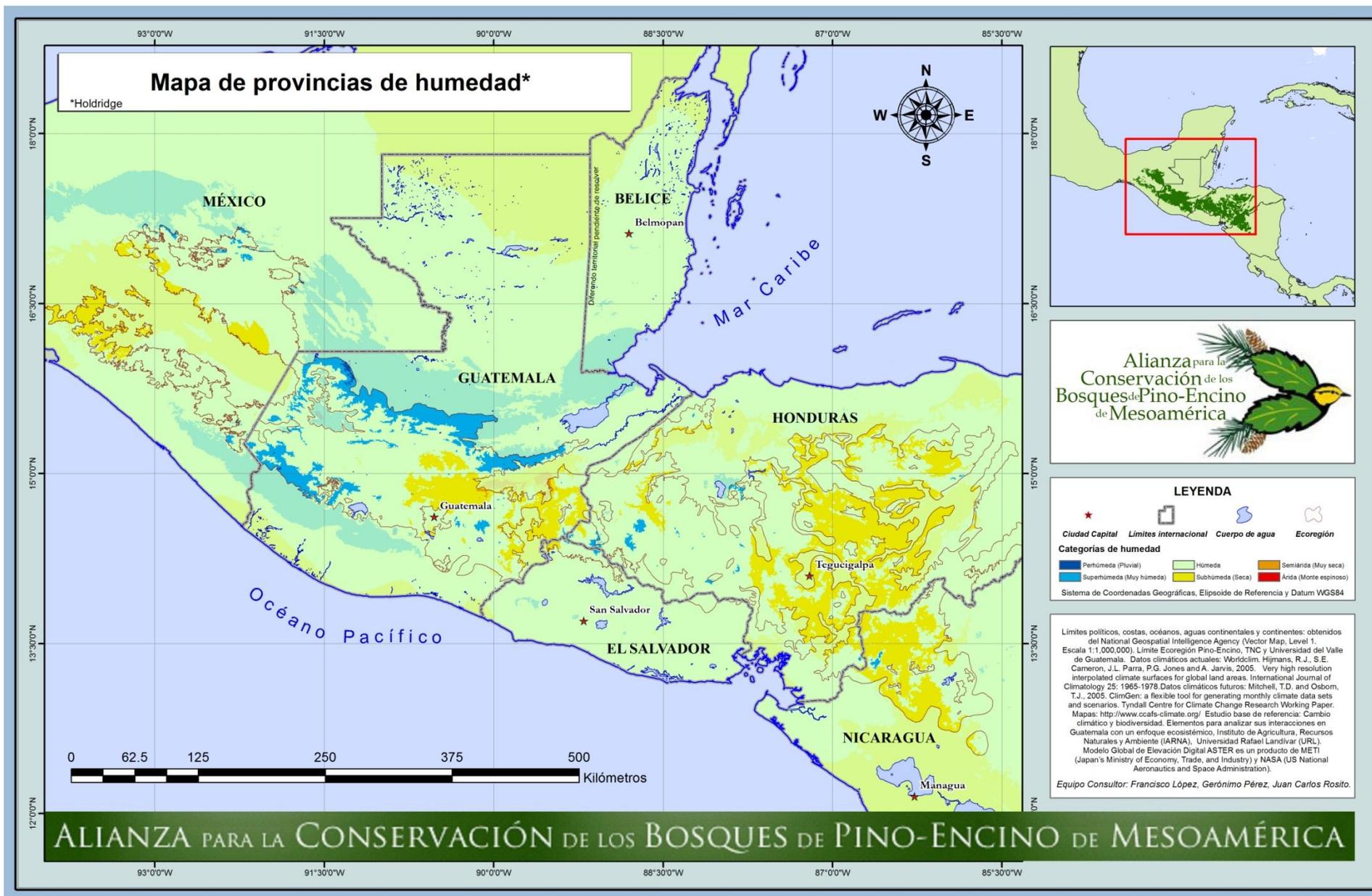


Figura 21. Mapa de distribución de las provincias de humedad. (Elaboración propia)

En el mapa anterior puede apreciarse cómo la zona húmeda se encuentra distribuida en la mayor parte de la ecorregión y cómo ese 26.44% de la zona seca se ubica principalmente en las partes con elevaciones altitudinales bajas.

### 7.3.2. Provincias de humedad para el escenario A2

#### a. Año 2020

De acuerdo a las condiciones de precipitación y temperatura que se podrían presentar en la ecorregión Pino-encino para el año 2020 del escenario A2, es posible seguir identificando las 5 provincias de humedad que se encuentran en la actualidad, sin embargo ocurre una variación en su composición original, evidenciándose una reducción del 96% de la zona pluvial y un elevado aumento del 1,398% de la zona semiárida (muy seca) ya que de 6 mil hectáreas, ésta pasa a 99,500. Las distintas regiones de humedad identificadas se pueden observar en la siguiente tabla:

**Cuadro 11.** Provincias de humedad al año 2020, escenario A2.

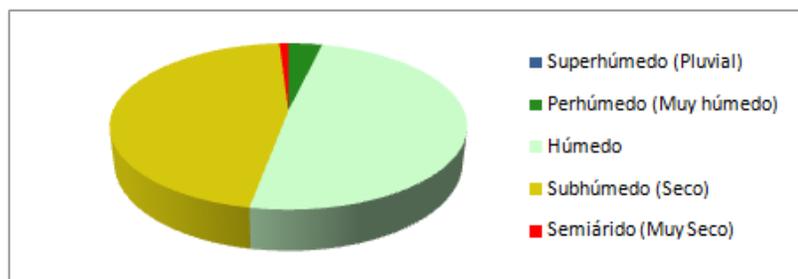
No.	Provincia de humedad	Extensión (ha)	%
1	Superhúmeda (Pluvial)	342	0.003
2	Perhúmeda (Muy húmeda)	377,620	3.63
3	Húmeda	5,124,010	49.26
4	Subhúmeda (Seca)	4,799,686	46.15
5	Semiárida (Muy Seca)	99,527	0.96
<b>Total</b>		<b>10,401,186</b>	<b>100.00</b>

*Elaboración propia, con base en Holdridge.*

Las provincias muy húmeda y húmeda se reducen en un 43 y 27% respectivamente, sin embargo la región seca, se incrementa en un 75%, pasando de 2.75 millones de ha, a 4.79. Esto reduce significativamente la distribución de las zonas con excedentes de agua de un 75 % a un 53%; incrementando por lo tanto las zonas deficitarias hasta un 47%.

Se puede esperar que para esta fecha, los ecosistemas de la ecorregión empiecen a tener un marcado cambio que se manifestará por la migración de sus especies de fauna, principalmente hacia las zonas de mayor humedad.

En la siguiente figura se puede ver la nueva conformación que tendrían las provincias de humedad bajo este escenario.



**Figura 22.** Distribución de las provincias de humedad al año 2020 (A2). (Elaboración propia)

### b. Año 2050

Para el año 2050, la situación se agudiza de forma alarmante, a pesar de que es posible seguir identificando las 5 provincias de humedad que se encuentran en la actualidad, la reducción de la zona pluvial marca una clara desaparición, ya que a esa fecha tan solo ocupará 113 ha (0.001). La zona semiárida (muy seca) para esta fecha tiene un crecimiento muy elevado el cual sobrepasa el 6,000% ya que de 6 mil hectáreas, pasa a 407,067. Las distintas regiones de humedad identificadas se pueden observar en la siguiente tabla:

**Cuadro 12.** Provincias de humedad al año 2050, escenario A2.

No.	Provincia de humedad	Extensión (ha)	%
1	Superhúmeda (Pluvial)	113	0.001
2	Perhúmeda (Muy húmeda)	251,469	2.42
3	Húmeda	3,631,160	34.91
4	Subhúmeda (Seca)	6,111,380	58.76
5	Semiárida (Muy Seca)	407,064	3.91
<b>Total</b>		<b>10,401,186</b>	<b>100.00</b>

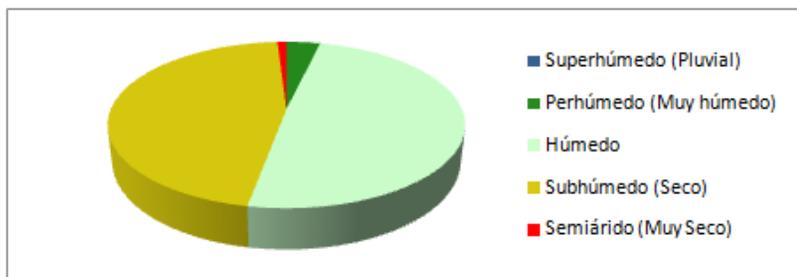
*Elaboración propia, con base en Holdridge.*

Las provincias muy húmeda y húmeda tienen una elevada reducción de un 62 y 48% respectivamente; la región seca, se incrementa en un 122%, pasando de 2.75 millones de ha, a 6.11. Esto reduce drásticamente la distribución de las zonas con excedentes de agua de un 75% a un 37%. La ecorregión pasa de tener 3/4 partes de su territorio con excedentes de agua, a solamente 1/3 de la misma.

Las zonas deficitarias de agua de la ecorregión, se incrementarán drásticamente hasta ocupar un 63%, haciendo que aproximadamente 2/3 de la misma tengan problemas de sequía y ocasionen grandes problemas fisiológicos a la vegetación evidenciándose por la defoliación de sus especies de hoja ancha en los períodos sin lluvia.

Esta reducción drástica de las zonas con excedentes de agua va a tener un efecto directo en la reducción de los bosques de Pino-encino de la región debido principalmente al efecto que los incendios forestales pueden tener sobre el ecosistema reduciéndolos y afectando directamente a la flora y fauna estrechamente relacionadas con el mismo.

En la siguiente figura se puede ver la nueva conformación que tendrían las provincias de humedad bajo este escenario.



**Figura 23.** Distribución de las provincias de humedad al año 2050 (A2). (Elaboración propia)

En las siguientes dos páginas se presentan los respectivos mapas de las regiones de humedad esperadas para los años 2020 y 2050 respectivamente al ocurrir los cambios previstos por el escenario A2.

Análisis Técnico de impactos del cambio climático sobre la biodiversidad y medios de vida en la ecorregión de pino-encino.

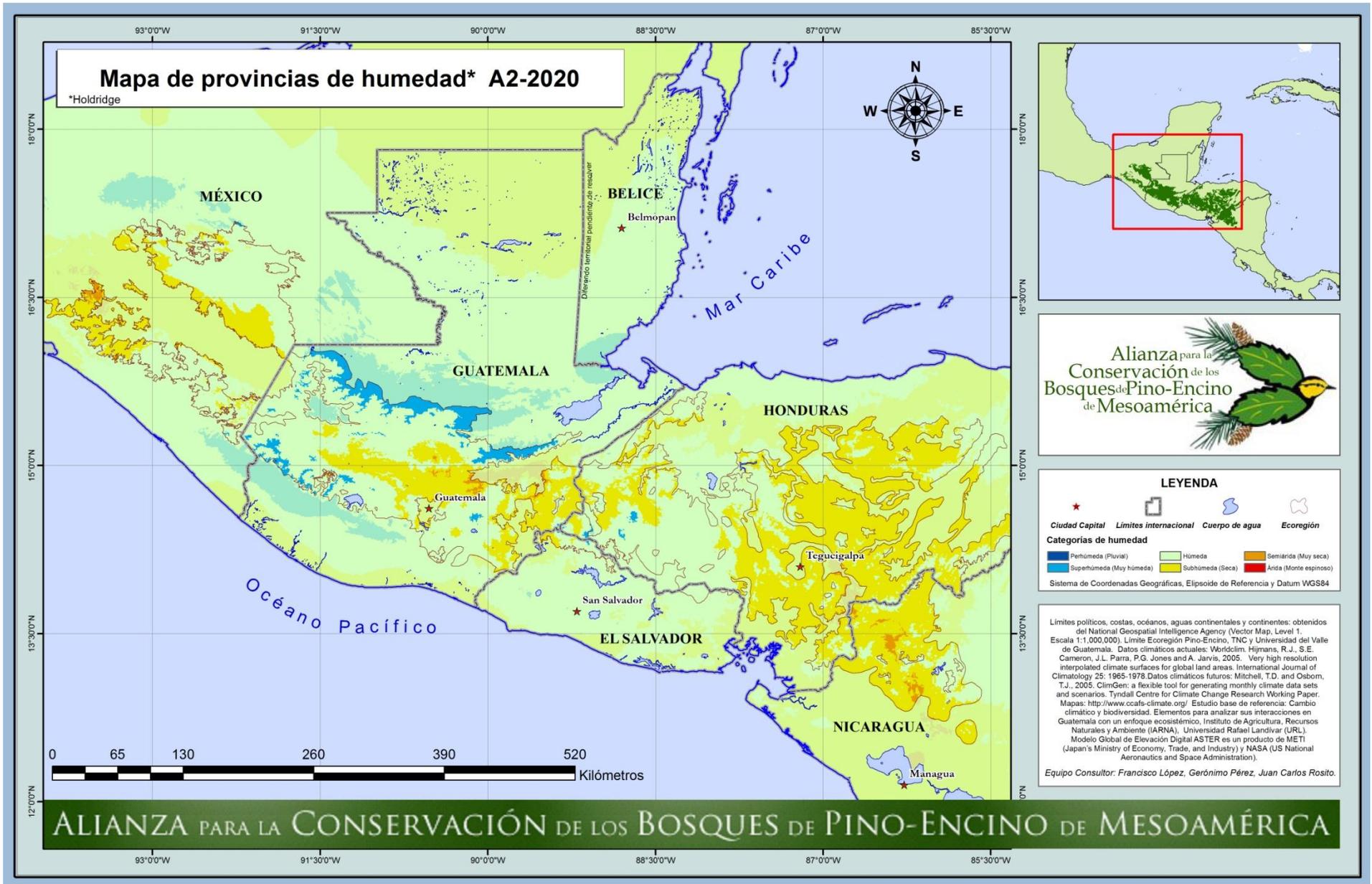


Figura 24. Mapa de distribución de las provincias de humedad al año 2020 (A2). (Elaboración propia)

Análisis Técnico de impactos del cambio climático sobre la biodiversidad y medios de vida en la ecorregión de pino-encino.

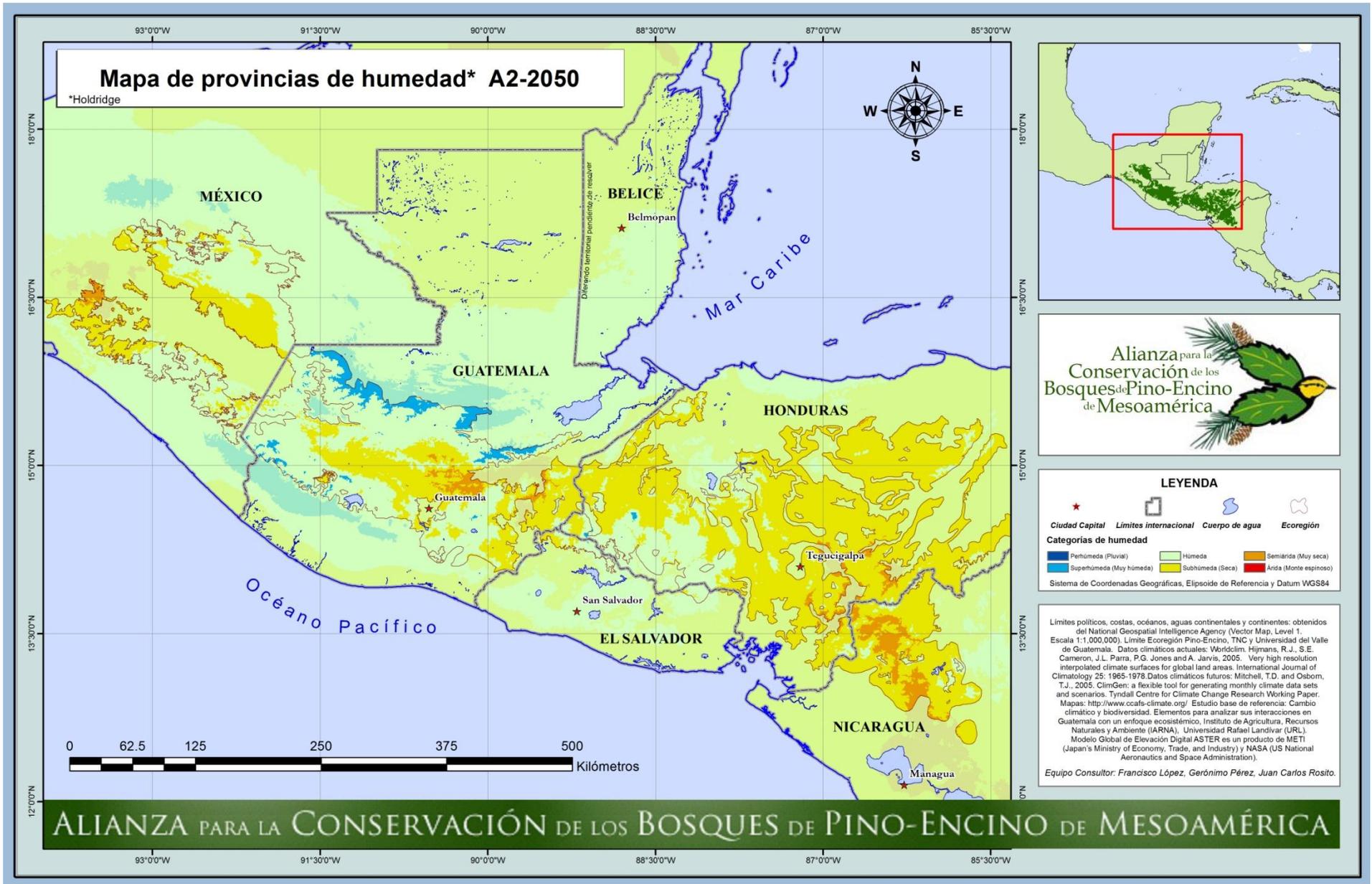


Figura 25. Mapa de distribución de las provincias de humedad al año 2050 (A2). (Elaboración propia)

### 7.3.3. Provincias de humedad para el escenario B2

#### a. Año 2020

De acuerdo a las condiciones de precipitación y temperatura que se podrían presentar en la ecorregión Pino-encino para el año 2020 del escenario B2, ya no es posible seguir identificando las 5 provincias de humedad que se encuentran en la actualidad, se presenta reducción del 100% de la zona pluvial y un aumento del 120% de la zona semiárida (muy seca) ya que de 6 mil hectáreas, ésta pasa a 14,635. Las distintas regiones de humedad identificadas se pueden observar en la siguiente tabla:

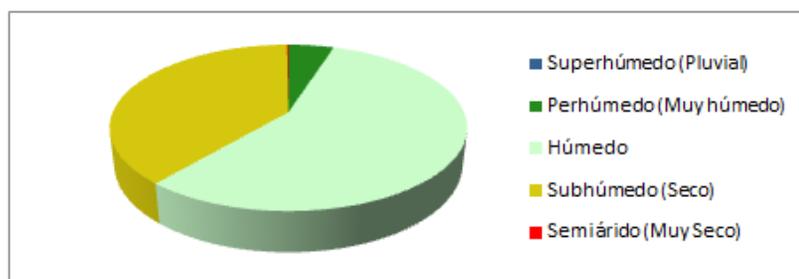
**Cuadro 13.** Provincias de humedad al año 2020, escenario B2.

No.	Provincia de humedad	Extensión (ha)	%
1	Superhúmeda (Pluvial)	-	-
2	Perhúmeda (Muy húmeda)	513,311	4.94
3	Húmeda	5,854,324	56.29
4	Subhúmeda (Seca)	4,018,916	38.64
5	Semiárida (Muy Seca)	14,635	0.14
<b>Total</b>		<b>10,401,186</b>	<b>100.00</b>

*Elaboración propia, con base en Holdridge.*

Las provincias muy húmeda y húmeda se reducen en un 22 y 16% respectivamente, sin embargo la región seca, se incrementa en un 46%, pasando de 2.75 millones de ha, a 4. Esto reduce significativamente la distribución de las zonas con excedentes de agua de un 75 % a un 61%; incrementando por lo tanto las zonas deficitarias de 27 a 39%. Se puede esperar que para esta fecha, los ecosistemas de la ecorregión empiecen a tener un marcado cambio que se manifestará por la migración de sus especies de fauna, principalmente hacia las zonas de mayor humedad.

En la siguiente figura se puede ver la nueva conformación que tendrían las provincias de humedad bajo este escenario.



**Figura 26.** Distribución de las provincias de humedad al año 2020 (B2). (Elaboración propia)

**b. Año 2050**

Para el año 2050, tampoco es posible seguir identificando las 5 provincias de humedad que se encuentran en la actualidad, la reducción de la zona pluvial marca una clara desaparición, ya que a esa fecha se perderá por completo. La zona semiárida (muy seca) para esta fecha tiene un crecimiento del 232% ya que de 6 mil hectáreas, pasa a 22,087. Las distintas regiones de humedad identificadas se pueden observar en la siguiente tabla:

**Cuadro 14.** Provincias de humedad al año 2050, escenario B2.

No.	Provincia de humedad	Extensión (ha)	%
1	Superhúmeda (Pluvial)	-	-
2	Perhúmeda (Muy húmeda)	477,878	4.59
3	Húmeda	5,578,399	53.63
4	Subhúmeda (Seca)	4,322,822	41.56
5	Semiárida (Muy Seca)	22,087	0.21
<b>Total</b>		<b>10,401,186</b>	<b>100.00</b>

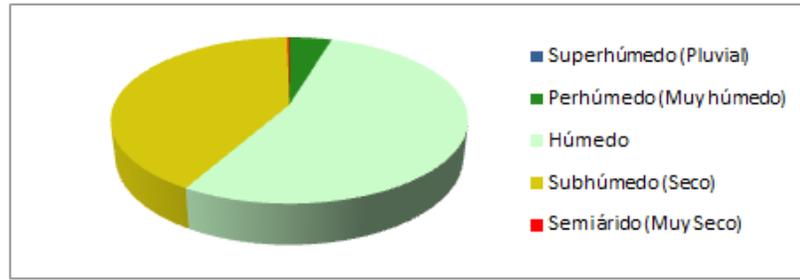
*Elaboración propia, con base en Holdridge.*

Las provincias muy húmeda y húmeda presentan una reducción de un 28 y 20% respectivamente; la región seca, se incrementa en un 232%, pasando de 2.75 millones de ha, a 4.3. Esto reduce drásticamente la distribución de las zonas con excedentes de agua de un 75% a un 58%. La ecorregión pasa de tener 3/4 partes de su territorio con excedentes de agua, a aproximadamente la mitad de la misma.

Las zonas deficitarias de agua de la ecorregión, se incrementarán hasta ocupar un 42%, haciendo que ocurran problemas de sequía y ocasionen problemas fisiológicos a la vegetación evidenciándose por la defoliación de sus especies de hoja ancha en los períodos sin lluvia.

Esta reducción de las zonas con excedentes de agua va a tener un efecto directo en la reducción de los bosques de Pino-encino de la región debido principalmente al efecto que los incendios forestales pueden tener sobre el ecosistema reduciéndolos y afectando directamente a la flora y fauna estrechamente relacionadas con el mismo.

En la siguiente figura se puede ver la nueva conformación que tendrían las provincias de humedad bajo este escenario.



**Figura 27.** Distribución de las provincias de humedad al año 2050 (B2). (Elaboración propia)

En las siguientes dos páginas se presentan los respectivos mapas de las regiones de humedad esperadas para los años 2020 y 2050 respectivamente al ocurrir los cambios previstos por el escenario B2.

Análisis Técnico de impactos del cambio climático sobre la biodiversidad y medios de vida en la ecorregión de pino-encino.

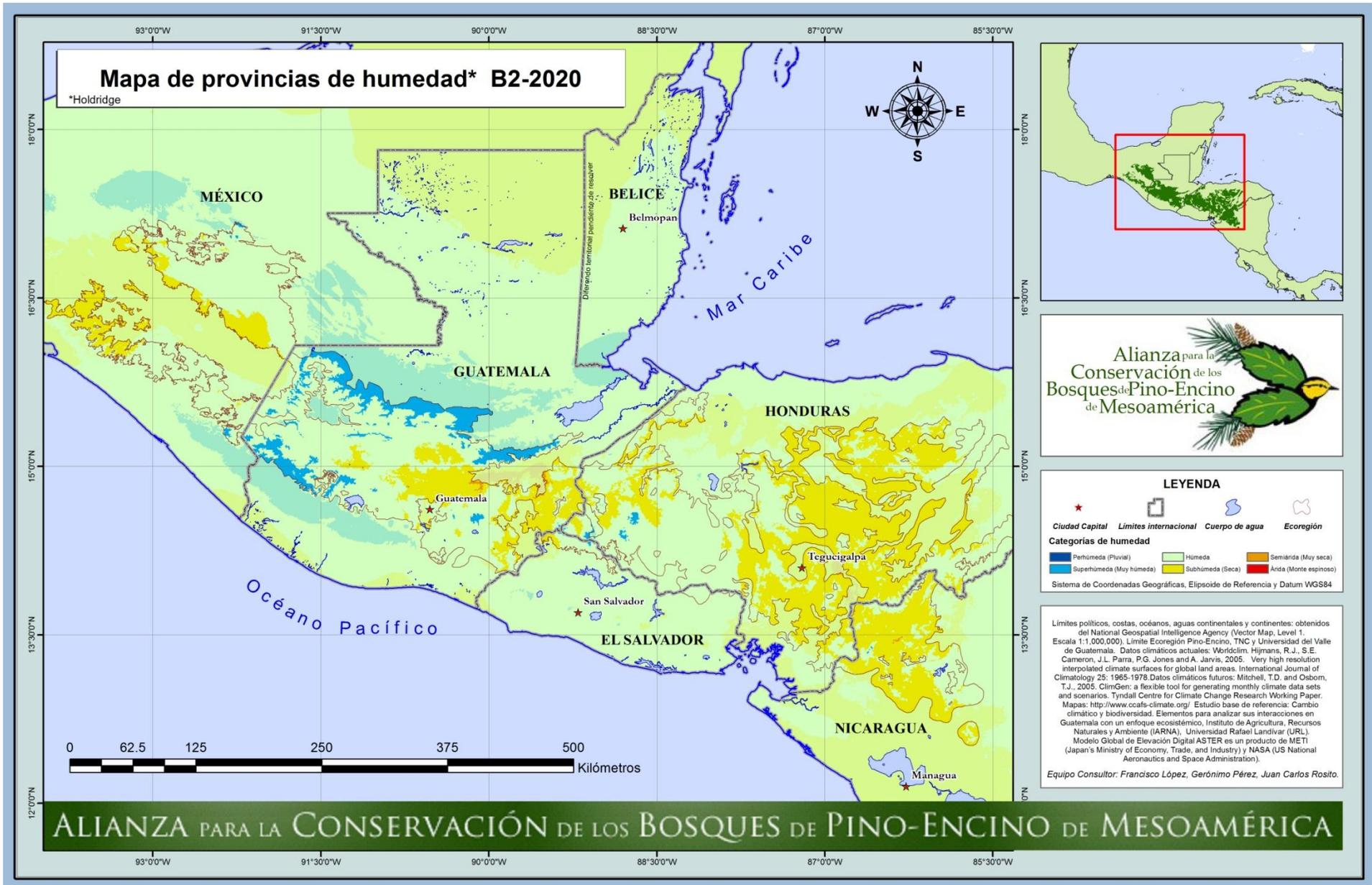


Figura 28. Mapa de distribución de las provincias de humedad al año 2020 (B2). (Elaboración propia)

Análisis Técnico de impactos del cambio climático sobre la biodiversidad y medios de vida en la ecorregión de pino-encino.

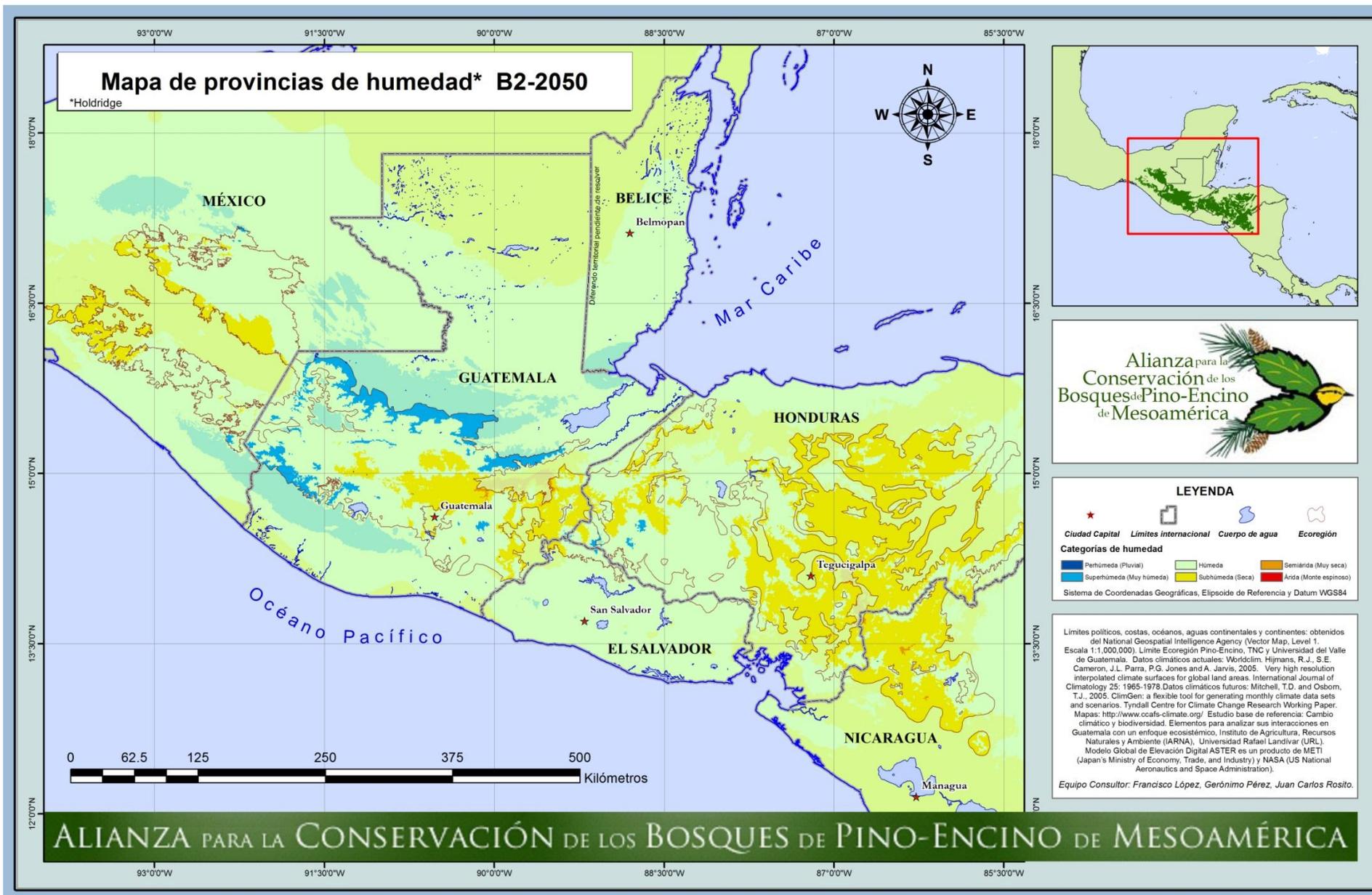


Figura 29. Mapa de distribución de las provincias de humedad al año 2050 (B2). (Elaboración propia)

### 7.3.4. Comparaciones en las áreas de cambio

#### a. Escenario A2

Al analizar el comportamiento de las distintas provincias de humedad durante los años del escenario A2, se pudo comprobar que el 55.74% de la ecorregión permanece invariable en el tiempo. Los ecosistemas que se encuentran en esas áreas no van a sufrir mayores cambios, sin embargo es importante notar que más de un tercio de éstos, el 44.26% de la ecorregión, si sufrirían variaciones. Esas variaciones ocurrirán en las áreas que permanecen sin cambio al año 2020, pero que cambiarán al año 2050 (19.79%) y las áreas que cambiarán sólo en el año 2020, pero permanecerán sin cambio al 2050. Esto se puede observar en el cuadro 15.

**Cuadro 15.** Proporción de cambios en la ecorregión según el escenario A2.

Comportamiento del área	% de la ecorregión
Áreas que permanecen sin cambio	55.74
Áreas que permanecen sin cambio al año 2020, pero cambian al año 2050	19.79
Áreas que cambian solo en el año 2020, sin cambio al 2050	24.37
Áreas que cambian en el año 2020 y en el año 2050	0.10

*Elaboración propia.*

#### b. Escenario B2

El escenario B2 tiene un comportamiento distinto, en este caso el 82.21% de la ecorregión permanece invariable en el tiempo, y tan solo el 17.79% de la ecorregión, si sufrirían variaciones. Esas variaciones principalmente ocurrirán en las áreas que permanecen sin cambio al año 2020, pero que cambiarán al año 2050 (19.79%) y las áreas que cambiarán sólo en el año 2020, pero permanecerán sin cambio al 2050. Esto se puede observar en el cuadro 15.

**Cuadro 16.** Proporción de cambios en la ecorregión según el escenario B2.

Comportamiento del área	% de la ecorregión
Áreas que permanecen sin cambio	82.21
Áreas que permanecen sin cambio al año 2020, pero cambian al año 2050	3.61
Áreas que cambian solo en el año 2020, sin cambio al 2050	13.91
Áreas que cambian en el año 2020 y en el año 2050	0.97

*Elaboración propia.*

En las siguientes dos figuras se muestran los mapas respectivos para cada escenario, mostrando las áreas de cambio a lo largo de los dos períodos estudiados.

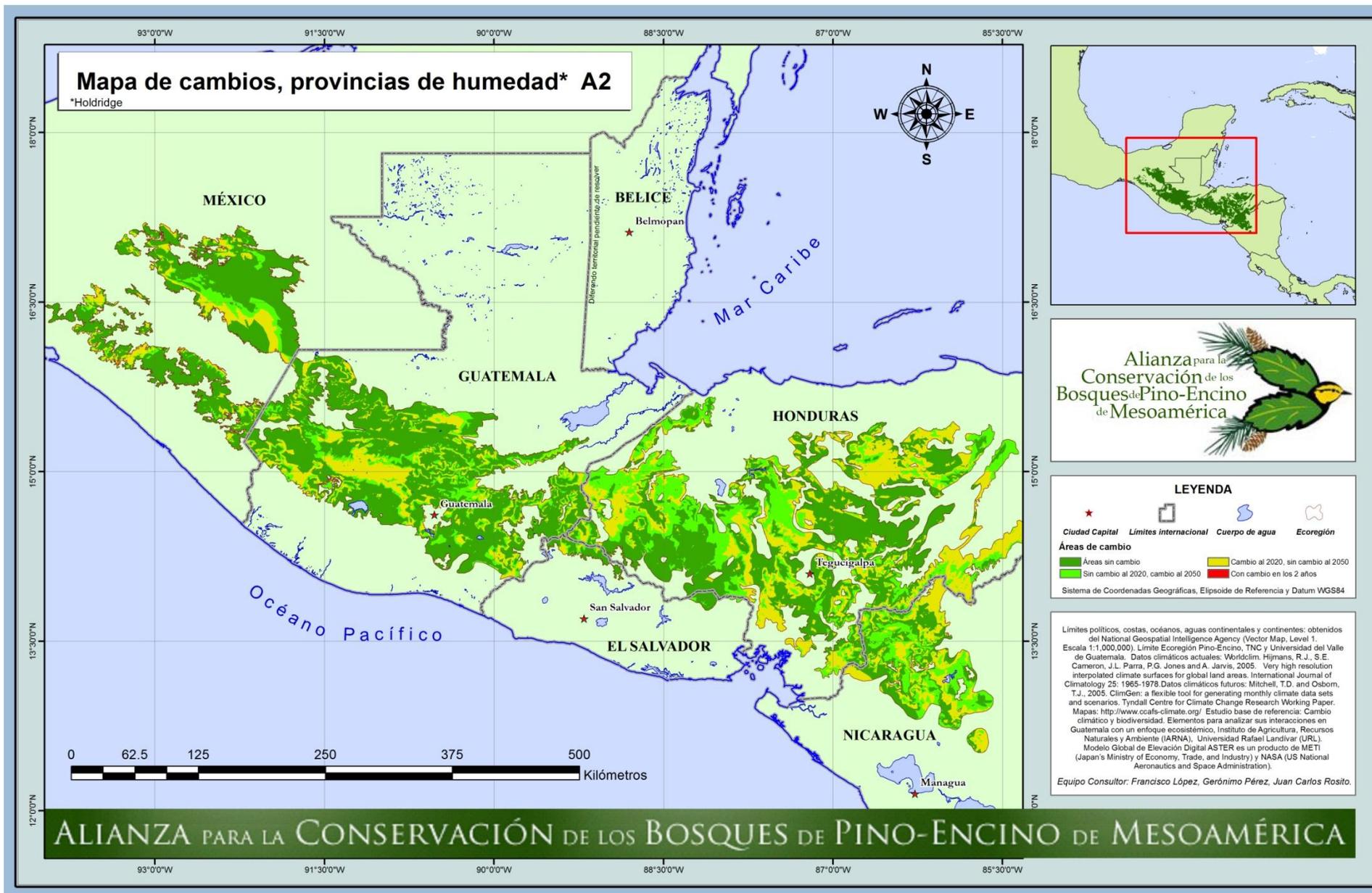


Figura 30. Mapa de proporción de cambios en las provincias de humedad en el escenario A2. (Elaboración propia)

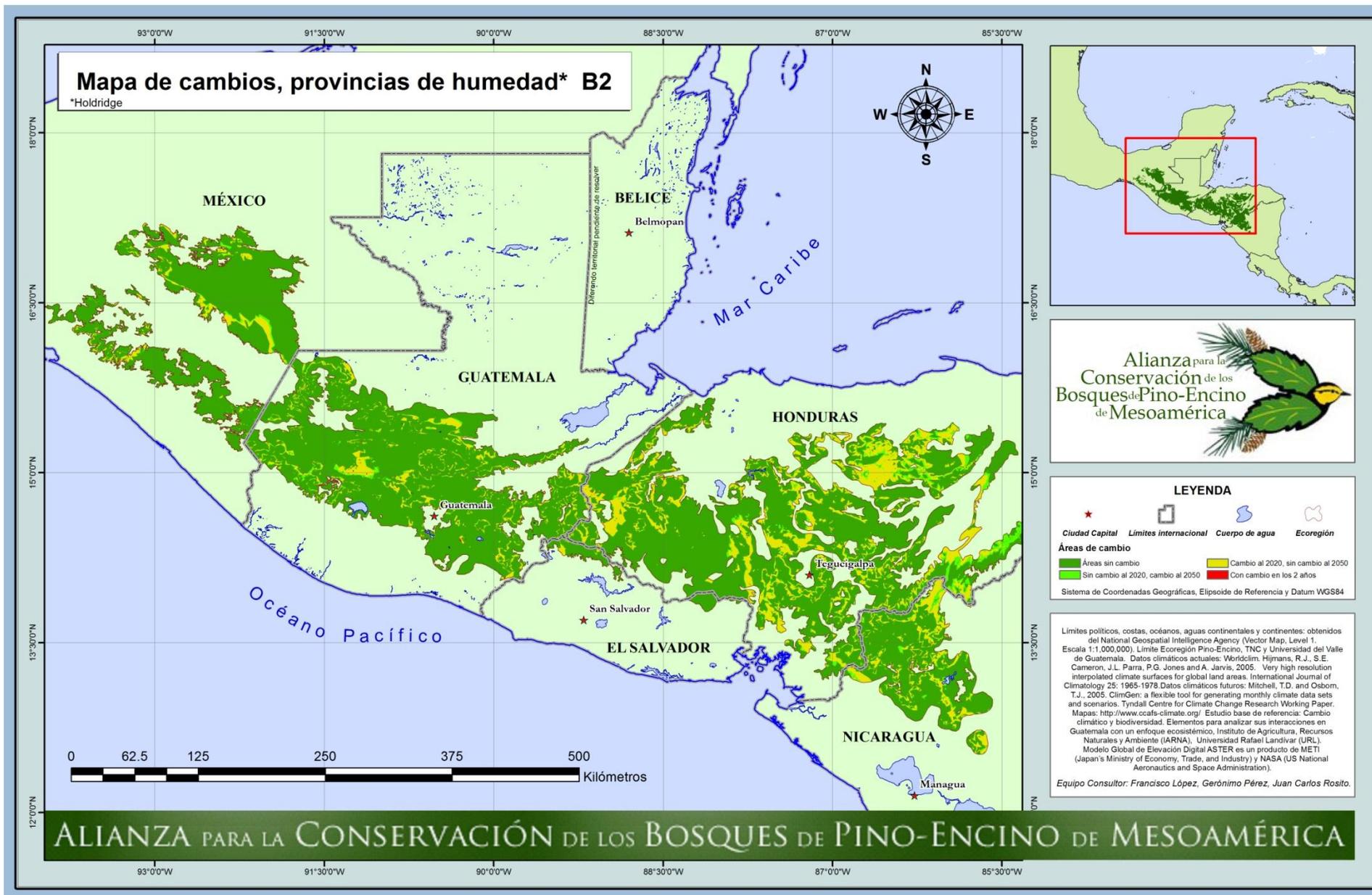


Figura 31. Mapa de proporción de cambios en las provincias de humedad en el escenario B2. (Elaboración propia)

#### **7.4. Riesgo climático asociado al calentamiento global en la ecorregión de Pino-encino.**

##### **7.4.1. Amenaza climática relacionada con el cambio climático, sus variables y atributos a corto plazo.**

Para el año 2020 se prevé para la ecorregión un aumento de la variabilidad y eventos extremos de precipitación y temperatura, tanto estacional como interanual. Sequías severas, probablemente entre 3 y 4 veces cada diez años. Retraso generalizado, aunque especialmente durante los años hidrológicos secos, del inicio de la estación lluviosa, así como expansión, en más de treinta días, de la canícula.

Los años hidrológicos secos (con disminución mayor al 25% del promedio histórico de precipitación) podrán ocurrir asociados a eventos climáticos globales, tales como el fenómeno de El Niño. Sin embargo de acuerdo a las evidencias actuales existe también correlación entre la ocurrencia de años hidrológicos secos y muy secos aún un año antes de la ocurrencia de la mayor intensidad de El Niño.

Como efecto rebote, de manera general inmediatamente posterior a la ocurrencia eventos de El Niño podrán ocurrir fenómenos contrarios denominados como La Niña, esto implicaría años hidrológicos húmedos. Durante estos años podrán ocurrir eventos extremos de precipitación, tal como Mitch (1998) o más recientemente Ágatha en Guatemala (2010). Es probable que en el corto plazo estos años húmedos sucedan tres veces cada diez años. Es importante mencionar que los eventos extremos de precipitación pueden presentarse en años sin la observancia de La Niña en el Pacífico ecuatorial, es decir en años neutros, tal como el evento de Stan en 2004.

De manera general se observará una intensificación paulatina del ciclo hidrológico, variabilidad climática y alternancia entre años hidrológicos secos y años hidrológicos húmedos, tal como se observa actualmente. Sin embargo se podrá observar una mayor predominancia de los años secos y muy secos, incluso con una disminución en la precipitación anual menor del 50% promedio histórico, tal como lo ocurrido en el año hidrológico 2009-2010. Los años hidrológicos húmedos podrán ocurrir con precipitaciones mayores al 25% del promedio histórico y pueden estar acompañados de eventos ciclónicos, tal como tormentas, huracanes, etc.

La intensificación del ciclo hidrológico también se será observable a escala temporal de las estaciones climáticas, especialmente de la siguiente manera: aumento de las temperaturas medias y extremas diarias, especialmente máximas diarias. Probablemente se observen menores días con temperaturas extremas frías.

En cuanto a precipitaciones se pueden esperar mayores intensidades de lluvia diaria (>100 mm) y horaria (> 80 mm). Sin embargo los días consecutivos de precipitación pueden disminuir, especialmente de tres días o más durante la estación lluviosa. De igual manera podrán disminuir los días consecutivos sin lluvia durante la estación lluviosa.

#### ***7.4.2. Amenaza climática relacionada con el cambio climático, sus variables y atributos a mediano plazo..***

Para 2050 se prevé un aumento de temperatura promedio, asimismo se estima que aumentarán las temperaturas mínimas y máximas promedio. Podría observarse para esa fecha una disminución de la precipitación en aproximadamente el 11% respecto de la línea base, lo que se evidenciará principalmente en la disminución de la disponibilidad hídrica natural.

De acuerdo a los modelos existentes, de manera general, se prevé que para la ecorregión enfrentará una intensificación del ciclo hidrológico, variabilidad climática interanual y estacional; así como una alternancia entre años hidrológicos secos y años hidrológicos húmedos. Sin embargo se podrá observar la aún mayor predominancia de los años secos y muy secos, incluso con una disminución en la precipitación anual mayor al 50% del promedio histórico. Es importante mencionar que existe un altísimo nivel de incertidumbre respecto a la incidencia y dimensiones de eventos extremos, tanto inundaciones, sequías, ciclones, etc. Incluso se podrán observar fenómenos que actualmente son desconocidos o inesperados para la región. Por ejemplo, las condiciones climáticas “normales” podrían asemejarse a las de la parte central de México, que en algunos períodos presenta extensos períodos sin lluvia (7,8 ó 9 meses sin lluvia). Se espera que las precipitaciones puedan presentar intensidades mucho mayores a las intensidades “normales” actuales (>100 mm) y horaria (> 80 mm). Sin embargo los días consecutivos de precipitación pueden disminuir, así como los días consecutivos sin lluvia durante la estación lluviosa.

#### ***7.4.3. Provincias de humedad actuales (integración de las variables de temperatura y precipitación) y cambios asociados al cambio climático proyectados en el mediano plazo.***

Para definir la amenaza climática con el objetivo de definir acciones para la adaptación climática también es fundamental conocer los cambios proyectados en las provincias de humedad ya que de las mismas se puede inferir una disponibilidad hídrica natural.

En estas provincias de humedad es destacable que la relación evapotranspiración potencial/precipitación es mayor a uno (Bosque seco es  $\geq 1$  y  $\leq 2$ , Bosque muy seco  $\geq 2$  y  $\leq 4$ ), lo cual indica que el ecosistema presenta un balance hídrico deficitario de agua ya que los ecosistemas conformantes tienden a consumir (evapotranspiración) el agua, en forma de

precipitación, que ingresa al sistema en una año. Estas provincias actualmente abarcan aproximadamente el 25% del territorio y se identifican como bosques secos y bosques muy secos.

Las provincias de humedad, Húmedas y Perhúmedas, es decir los Bosques Húmedos y Muy Húmedos (con valores de relación de evapotranspiración potencial/precipitación menores a 1) se consideran excedentarias de agua, es decir los ecosistemas reciben más agua en forma de precipitación que la que el ecosistema consume, principalmente en forma de evapotranspiración. La provincia de humedad superhúmeda, valores de relación de evapotranspiración precipitación son menores a 0.25, es decir, que el ecosistema recibe cuatro veces más agua que la que potencialmente consume.

Actualmente los territorios excedentarios de agua abarcan cerca del 75% de la ecorregión y se presentan como bosques húmedos y bosques muy húmedos. Para facilitar el análisis de la información proyectada hacia el futuro se utilizará el año 2050 como año de referencia. En tal sentido se evidencia que entre los principales impactos específicos en cuanto a los cambios en las provincias de humedad se espera la expansión de Bosques Secos y Muy Secos (deficitarios de agua), los cuales actualmente (línea base) cubren cerca del 25% del país, y para los años 2050 su extensión puede incrementarse a 50%. Es importante recalcar que todos los ecosistemas anteriores, consumen toda el agua que ingresa al ecosistema en forma de precipitación.

En tal sentido de ser, actualmente, una ecorregión excedentaria de agua, es muy probable, que en el futuro cercano sea recurrente la situación de contar con déficits hídricos, es decir que sea mucho mayor la evapotranspiración potencial que la precipitación. Esto traerá consecuencias negativas en cuanto a abastecimiento hídrico tanto de parte de los ecosistemas naturales como de los sistemas productivos y la sociedad en general. En tal sentido se pueden mencionar algunos sectores críticos y estos serían especialmente aquellos que dependen de las lluvias, tal como los sistemas agrícolas de subsistencia.

## 8. CONCLUSIONES.

- La ecorregión pino-encino tiene una extensión de 10.4 millones de ha, las cuales se distribuyen principalmente en Honduras, 4.5 millones de ha equivalente a 43%; en segundo lugar Guatemala con 3.1 millones de ha (30%); en tercer lugar México con 1.6 Millones de ha (16%); luego Nicaragua con 1 millón de ha (10%) y finalmente El Salvador con 116 mil ha (1%), que la convierte en una ecorregión estratégica dentro del corredor biológico mesoamericano.
- Los datos climáticos para la ecorregión de pino-encino, de acuerdo a la línea base establecida con datos de precipitación promedio anual de 1,510 mm, para el período comprendido entre 1950 y 2000, registra los valores más bajos en el área del municipio de Guastatoya, Departamento de El Progreso, Guatemala con 590 mm y los valores más altos en el municipio de Barillas, departamento de Huehuetenango, Guatemala, con 5,350 mm. Para el caso de la temperatura, el valor promedio anual es de 20.46 °C, registrándose los valores más bajos en el área del Altiplano Occidental de Guatemala (municipios de Tajumulco y San Marcos, del departamento de San Marcos) con 5 °C y los valores más altos en San Lorenzo, Valle, Honduras, con 28 °C.
- Se identificaron diferentes tipos de ecosistemas dentro de la ecorregión de pino-encino, de acuerdo a sus características y relaciones entre precipitación y temperatura, las cuales a su vez determinan regiones de humedad, de acuerdo a la metodología de Holdridge, siendo las siguientes las más importantes: Bosque pluvial 9,500 ha (0.1%); Bosque muy húmedo 662 mil ha (6%); Bosque húmedo 6.9 millones de ha (67%); Bosque seco (2.7 millones de ha (26%) y Bosque muy seco con menos de 1% de extensión superficial. En tal sentido es destacable que la mayor parte de los diferentes tipos de ecosistemas de la región pino-encino son excedentarios de agua, es decir que la precipitación anual es mayor que la evapotranspiración potencial, 74% de la extensión superficial y la región de humedad más extensa es de bosque húmedo, especialmente distribuida entre Guatemala y Honduras.
- De acuerdo al análisis de los escenarios A2 y B2 de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y sus respectivas modelaciones de cambio en el clima, específicamente en precipitación y temperatura; se definió que ambos escenarios tienen tendencias similares. Es decir ambos sugieren que el cambio climático afectará con el aumento de temperatura y disminución de la precipitación en términos generales. Sin embargo, el escenario denominado A2, el cual es considerado como “tendencial”, y, de acuerdo a algunos autores científicos especializados puede ser considerado como el más probable y ser considerado como referente en la elaboración medidas de adaptación

(IARNA, 2011). En tal sentido para el análisis de información en este estudio se hace énfasis en los resultados de este escenario.

- El escenario de cambio climático A2 para el año 2050 define una reducción significativa de de la precipitación media anual en un promedio de 239 mm (15.83%) y un aumento de la temperatura en un promedio de 2.65°C al año (12.78%).
- De acuerdo a los cambios en precipitación y temperatura anteriormente expuestos, es previsible observar como unos de los principales impactos será el cambio en la distribución de las regiones de humedad. En este sentido, se determinó que para el escenario A2, las provincias de humedad perhúmedo (muy húmeda) y húmedo disminuirán en 3.34 millones de ha, que equivalen al 48% de la superficie. Contrastantemente la provincia de humedad seca podrán aumentar en un 55% total de la superficie. Dentro de la ecorregión pino-encino estos cambios serán perceptibles principalmente con el desaparecimiento de los bosques nubosos o pluviales de montaña o alta montaña de la región noroeste de Guatemala. Este desaparecimiento puede presentar los siguientes efectos previsibles en su productividad neta:
  - Reducción crítica o, lo más probable, colapso de los sistemas naturales de esta provincia de humedad, especialmente en el caso de los sistemas ubicados en estratos pluviales o nubosos.
  - Extinción masiva de especies endémicas y especies altamente selectivas de condiciones climáticas, generando con ello cambios críticos en estructura, composición y función de los sistemas naturales.
  - Exitosa adaptación de especies invasoras sobre todo aquellas provenientes de bosques mixtos y de coníferas, derivado de un incremento en la disponibilidad de nutrientes del suelo.
  - Reducción drástica de la nubosidad y de las entradas de lluvia, así como un aumento de salidas de agua (evapotranspiración), aumento de temperatura y disminución de la humedad relativa. Es decir, cambios drásticos del balance hídrico dependiente de las condiciones climáticas actuales. De hecho, se espera una disminución crítica en la capacidad de captación y regulación hidrológica de estos sistemas.
  - Incremento en incendios forestales, presencia de plagas y enfermedades (IARNA-URL, 2011).
- Para el caso de los bosques mixtos o de coníferas en provincias de humedad “húmedo” (1,000 a 1,800 msnm), se pueden presentar los siguientes efectos previsibles en su productividad neta:

- Altas posibilidades de que las especies más representativas de esta provincia de humedad ocupen rangos altitudinales superiores.
  - Las especies que presentan altos niveles de tolerancia a sequías, tales como las coníferas y los encinos, van a continuar ocupando sus nichos actuales y con altas posibilidades de emigrar hacia estratos altitudinales superiores. De esa cuenta se espera que especies de importancia económica como el pino, puedan verse beneficiados por los cambios climáticos.
  - Los sistemas naturales propios de esta provincia de humedad serán los que mejor conserven su composición, estructura y funcionalidad. De hecho, se esperan incrementos sustanciales en la productividad primaria neta (PPN), de estos sistemas.
  - Aumento de incendios forestales, plagas y enfermedades.
  - Especies de importancia económica como el pino, pueden verse beneficiadas en algunos aspectos por el cambio climático (IARNA-URL, 2011).
- Para el caso de la región de Chiapas en México se incrementarían las superficies de los Bosques seco y muy seco. Asimismo, se evidenció un mayor incremento de la provincia de humedad Bosque seco y muy seco, y que cuenta con mayor significancia en el este de Honduras y la región oeste de Nicaragua. Para estas condiciones, se pueden presentar los siguientes efectos previsibles en su productividad neta:
    - Expansión territorial de las zonas de vida de esta provincia de humedad.
    - Migración de especies.
    - Simplificación de ecosistemas (en composición, estructura y funcionalidad).
    - Tendencia gradual a la predominancia de especies del bosque secundario, especies pioneras y resistentes a una mayor variabilidad climática (especialmente a largos períodos de sequía y mayor aridez).
    - Aumento de tasas de mortalidad de individuos, especialmente en los bordes de fragmentos de bosque.
    - Pérdida de carbono en el suelo por falta de cobertura boscosa.
    - Aumento de incendios (IARNA-URL, 2011).
- Un incremento de la extensión de las zonas secas, que va directamente relacionada con una alta deficiencia hídrica, va a impactar sobre los medios de vida de las comunidades en las cuales se presentará, aumentando los ya evidentes problemas de seguridad alimentaria que se han ido incrementado en los últimos años. Tal y como lo presenta el estudio de la CEPAL, 2011, las perspectivas para la región mesoamericana son alarmantes, dado a que la tendencia en los índices de producción de granos básicos como maíz, frijol, trigo, arroz tienden a decrecer conforme se incrementa la temperatura y precipitación. Esta situación podría migrar a agricultores en áreas rurales de ser

excedentarios a agricultores de subsistencia y a los agricultores de subsistencia a agricultores de infra subsistencia, agudizando los niveles de pobreza y pobreza extrema dentro de la ecorregión pino-encino, poniendo en peligro el desarrollo de comunidades asociadas a estos ecosistemas.

- Otro dato interesante en el mismo estudio concluye, que en un análisis regional con un modelo econométrico (modelo Ricardiano), las ganancias agrícolas se verían reducidas, asimismo, con el aumento de un grado de temperatura media anual el ingreso por concepto de valor de la propiedad se reduciría en la mayoría de los países.
- En tal sentido las variaciones de precipitación y temperatura, modificarán los ecosistemas en función de la disponibilidad de humedad que actualmente poseen, reduciendo considerablemente las zonas excedentarias de agua y aumentando las deficitarias; convirtiendo grandes extensiones de bosques húmedos en bosques secos, con lo cual se impacta directamente en la vegetación y en la fauna que albergan. Para la línea base las zonas excedentarias presentan una superficie de 7.6 millones de ha (74%) y disminuirá drásticamente a 3.8 millones de ha (37%) en 2050 de acuerdo al escenario A2. En cambio las zonas deficitarias de agua aumentarán de 2.8 millones de ha (26%), según la línea base, a 6.5 millones (63%) de ha en 2050.
- El área más sensible será la Región este de la ecorregión de pino-encino, es decir Honduras y Nicaragua. Las principales zonas geográficas de la ecorregión en donde se evidenciarán cambios por la alteración de la humedad de sus ecosistemas se encuentran en la región de Comitán Domínguez, Chiapas, México; la región Motagua-Chixoy en Guatemala, pero en un mayor grado, en más del 60% de la ecorregión que se encuentra en Honduras y Nicaragua, siendo este país el más afectado ya que el cambio se puede presentar hasta en un 80% de su extensión.
- Es así como se concluye que para la región pino-encino se presentará un cambio drástico en las condiciones hídricas, debido a la información del balance hídrico para la línea base (precipitación promedio para la región de 1,510 mm al año, y una evapotranspiración potencial anual de 1,205 mm, dando como resultado un balance positivo de 304 mm). Para el año 2020 el balance hídrico previsible será aún positivo de 83 mm, pero en términos prácticos poco significativo. Ahora bien, para el año 2050 este balance hídrico será totalmente negativo (precipitación promedio para la región de 1,271 mm al año, y una evapotranspiración potencial anual de 1,360 mm, dando como resultado un balance de -89 mm). En tal sentido, se proyectan grandes cambios tanto en los ecosistemas naturales y los bosques remanentes de pino-encino, que ya fueron mencionados; como en los sistemas productivos y en relaciones entre las poblaciones humanas que se presentan a continuación:

- Estas variaciones de temperatura y precipitación constituyen uno de los determinantes de la producción agrícola y de alimentos; ya que influyen directamente en el crecimiento y el desarrollo de plantas y cultivos, así como en la erosión del suelo. Los efectos de estas variaciones han provocado pérdidas importantes en el sector agrícola de la ecorregión. Por poner un ejemplo, el fenómeno El Niño, se ha traducido en disminución de los niveles de precipitación, retraso de la época de lluvias, aumento de la temperatura media, reducción de la nubosidad, veranos más prolongados y mayor insolación. Esto ha aumentado la frecuencia de incendios forestales y ha ocasionado pérdidas en la producción de granos y desfases en la ejecución de prácticas de manejo agrícola (siembra, control de plagas y recolección de cosechas).
  - Se prevé que el cultivo de maíz en la ecorregión, disminuirá en forma importante por el incremento de los Gases de Efecto Invernadero (GEI). En algunos países se espera una contracción de la producción de hasta 15%.
  - Con los escenarios analizados se prevé de manera generalizada una caída de los rendimientos de maíz hasta un 34% y de frijol hasta un 66%. Para Honduras, un estudio determinó que se reducirán los rendimientos de maíz en un 22%
  - Por otro lado, se estima que los rendimientos del cultivo de café aumentará conforme aumente la temperatura.
  - Los costos caerán tanto en la producción agrícola como la pecuaria y crecerán en el tiempo, con importantes efectos indirectos para las economías de la ecorregión.
  - Considerando la relación con otros sectores de la economía, los efectos en la producción de alimentos procesados, en la economía familiar de pequeños productores y trabajadores agrícolas, en el sector de manufacturas y el aumento de la importación de productos agropecuarios se traducirían en un aumento de costos aun no estimados pero considerables para la ecorregión en conjunto.
  - Solamente, por citar como otro ejemplo, la productividad podría reducirse hasta en un tercio de los niveles actuales por el incremento del estrés térmico y la mayor sequedad del suelo (reducción generalizada de la productividad del arroz hasta 31%).
- Es importante subrayar que los resultados y escenarios aquí presentados deben de interpretarse como estimados iniciales de las tendencias futuras, no como cifras exactas. Existen costos no contabilizados y hay costos indirectos por analizar en otros sectores. Como ya se indicó, los análisis prospectivos que combinan escenarios climáticos, macroeconómicos y productivos tienen una serie de incertidumbres que deben tomarse en cuenta.



## 9. BIBLIOGRAFÍA

1. **Alianza para la Conservación de los Bosques de Pino-Encino de Mesoamérica.** (2008). *Plan de Conservación de los Bosques de Pino-Encino de Centroamérica y el Ave Migratoria Setophaga chrysoparia*. Editores: E.S. Pérez, E. Secaira, C. Macías, S. Morales e I. Amezcua. Fundación Defensores de la Naturaleza y The Nature Conservancy. Guatemala.
2. **Arnell, N.** (1999). *Climate change and global water resources*. Global environmental change (9), S31-S49.
3. **Centro de Estudios Ambientales y Biodiversidad, Alianza para la Conservación de Bosques de Pino-Encino de Mesoamérica, The Nature Conservancy.** (2009). *Diagnóstico Ecológico y Socioeconómico de la Ecorregión Bosques de Pino-Encino de Centroamérica*. The Nature Conservancy/Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala, 335 pp.
4. **CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe).** (2009). *Estudio de factibilidad. Economía del cambio climático en Centroamérica*. México: Autor.
5. **CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe).** (2010). *Istmo centroamericano: efectos del cambio climático sobre la agricultura*. México: Autor.
6. **Easterling, D., Meehl, G., Parmesan, C., Changnon, S., Karl, T. & Mearns, L.** (2010). *Climate extremes: Observations, modeling and impacts*. Science (289), 2067-2074.
7. **Heller, N. & Zavaleta, E.** (2009). *Biodiversity management in the face of climate change: A review of 22 years of recommendations*. Biological Conservation (142), 14-32.
8. **Hijmans, T.; Cameron, S.; Parra, J.; Jones, P. & Jarvis, A.** (2005). *Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas*. International Journal of Climatology 25, 1965-1978.
9. **Holdridge, L.** (1971). *Ecología basada en zonas de vida*. Turrialba, Costa Rica: Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA).
10. **Hughes, L.** (2000). *Biological consequences of global warming: is the signal already*. Tree 15 (2), 56-61.
11. **IARNA-URL (Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente de la Universidad Rafael Landívar).** (2011). *Cambio climático y biodiversidad*.

*Elementos para analizar sus interacciones en Guatemala con un enfoque ecosistémico.* Guatemala: autor. 99 p.

12. **IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).** (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III para el cuarto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.* Ginebra, Suiza: Organización Meteorológica Mundial (OMM) y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)
13. **IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).** (2009). *Earth's ecosystems.* In IPCC y C. McMullen (Eds.), *Climate Change Science Compendium.* New York: Author.
14. **Jiménez, M.** (2009). *Resiliencia de los ecosistemas naturales terrestres de Costa Rica al cambio climático.* Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
15. **Labat, D., Godd, Y., Probst, J. & Guyot, J.** (2004). *Evidence for global runoff increase related to climate warming.* *Advances in Water Resources* (27), 631-642.
16. **McLachlan, J., Hellman, J. & Schwartz, M.** (2007). *A framework for debate of assisted migration in an era of climate change.* *Biology Conservation* 21 (2), 197-202.
17. **Medvigya, D., Wofsyb, S., Mungerb, W. & Moocrofta, P.** (2010). *Responses of terrestrial ecosystems and carbon budget to current and future environmental variability.* *PNAS Ecology*, 8275-8280.
18. **Ramirez, J.; Jarvis, A.** (2008). *High Resolution Statistically Downscaled Future Climate Surfaces.* International Center for Tropical Agriculture (CIAT); CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS). Cali, Colombia.
19. **Ramírez, J.; Jarvis, A.** (2010). *Downscaling global circulation model outputs: the delta method decision and policy analysis (Working paper 1).* Recuperado el 20 de septiembre de 2010, de: <http://ccafsclimate.org/docs/downscaling-WP-01.pdf>.
20. **CEPAL.** (2011). *La economía del cambio climático en Centroamérica.* Reporte técnico 2011. Santiago: CEPAL.
21. **Smith, J. & Lazo, J.** (2001). *A summary of climate change impact assessment from the U.S. country studies program.* *Climatic Change* 50, 1-29.

22. **Varis, O., Kajander, T. & Lemmel, R.** (2004). *Climate and water: from climate models to water resources management and viceversa*. *Climatic Change* (66), 321–344.
23. **Whyte, F., Taylor, M., Stephenson, T. & Campbell, J.** (2008). *Features of the Caribbean low level jet*. *International Journal of Climatology* (28), 119–128.
24. **World Wildlife Fund.** (s.f.). *What is an ecoregion?*. Recuperado el 20 de noviembre de 2012, de: [http://wwf.panda.org/about\\_our\\_earth/ecoregions/about/what\\_is\\_an\\_ecoregion/](http://wwf.panda.org/about_our_earth/ecoregions/about/what_is_an_ecoregion/)



## **ANEXOS**



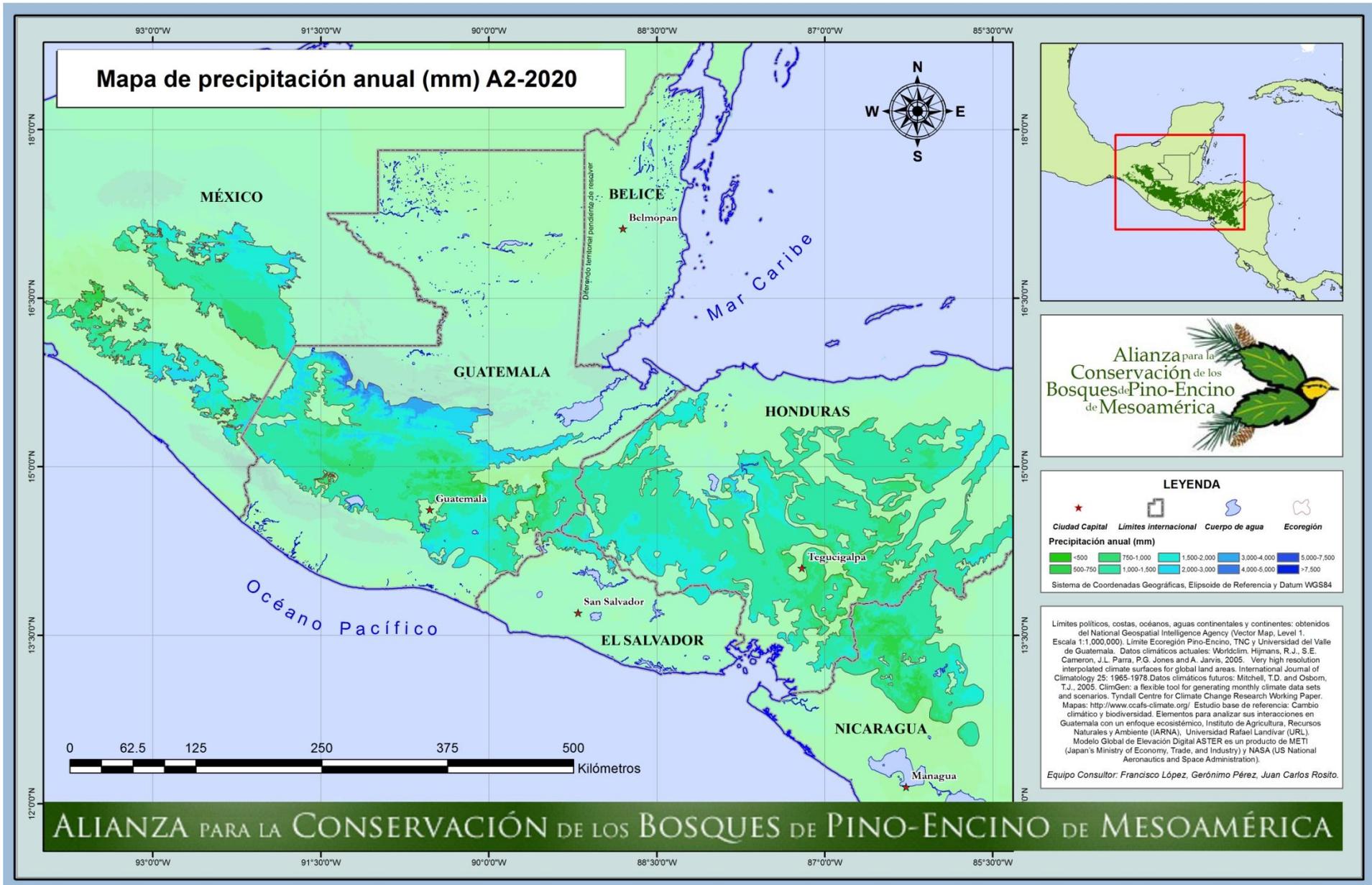


Figura 32. Precipitación anual al año 2020 (A2). (Elaboración propia)

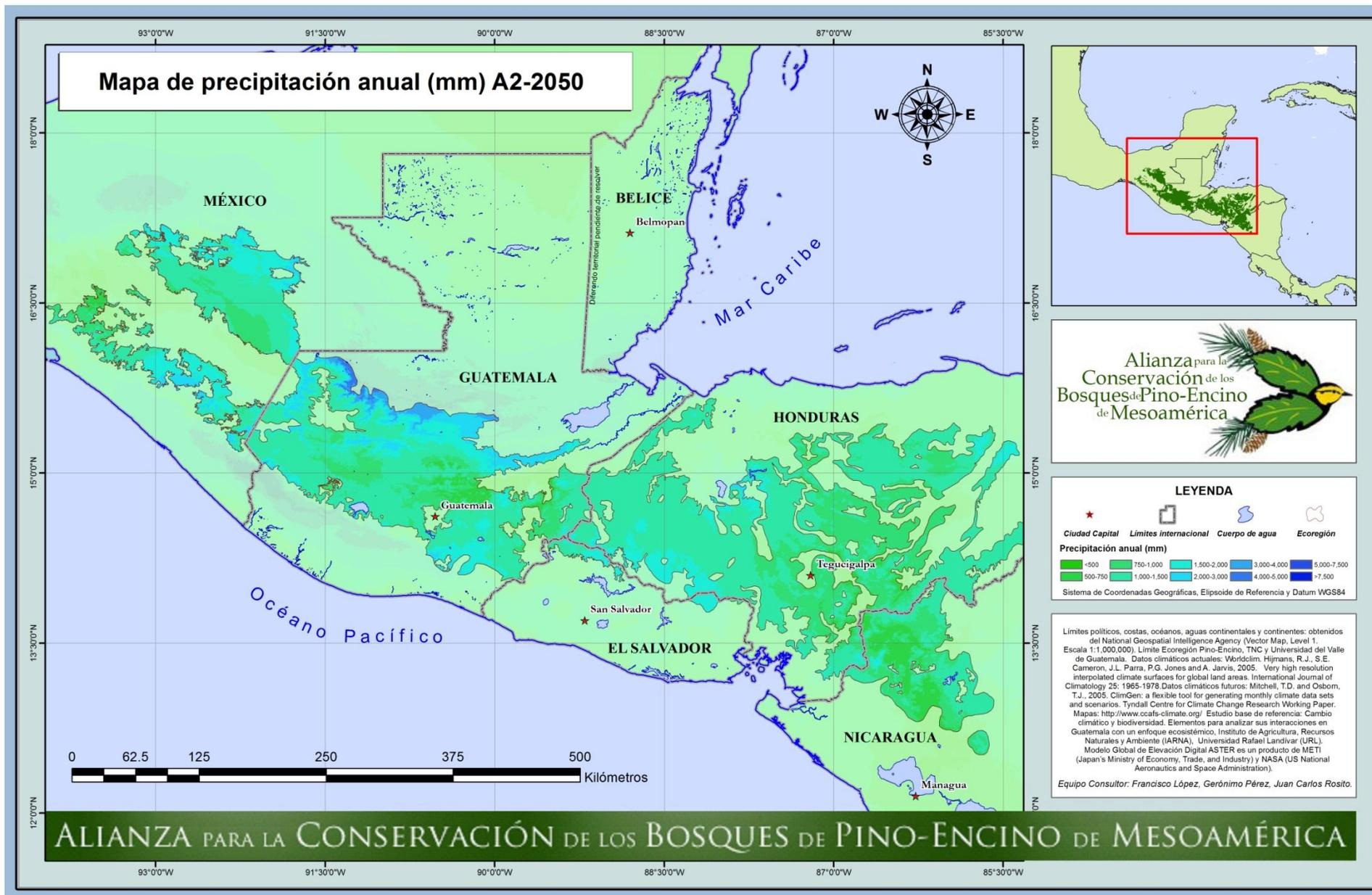


Figura 33. Precipitación anual al año 2050 (A2). (Elaboración propia)

Análisis Técnico de impactos del cambio climático sobre la biodiversidad y medios de vida en la ecorregión de pino-encino.

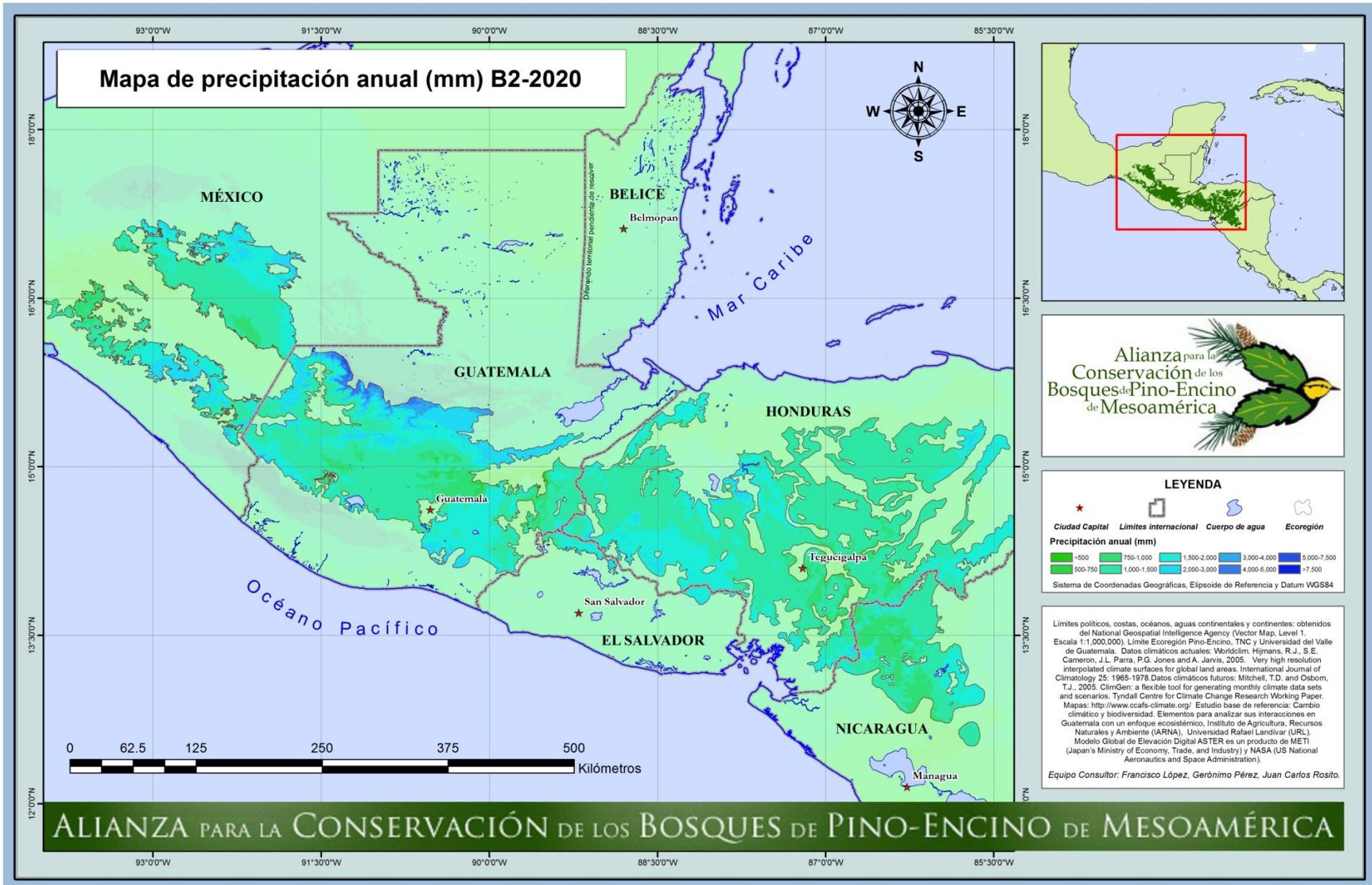


Figura 34. Precipitación anual al año 2020 (B2). (Elaboración propia)

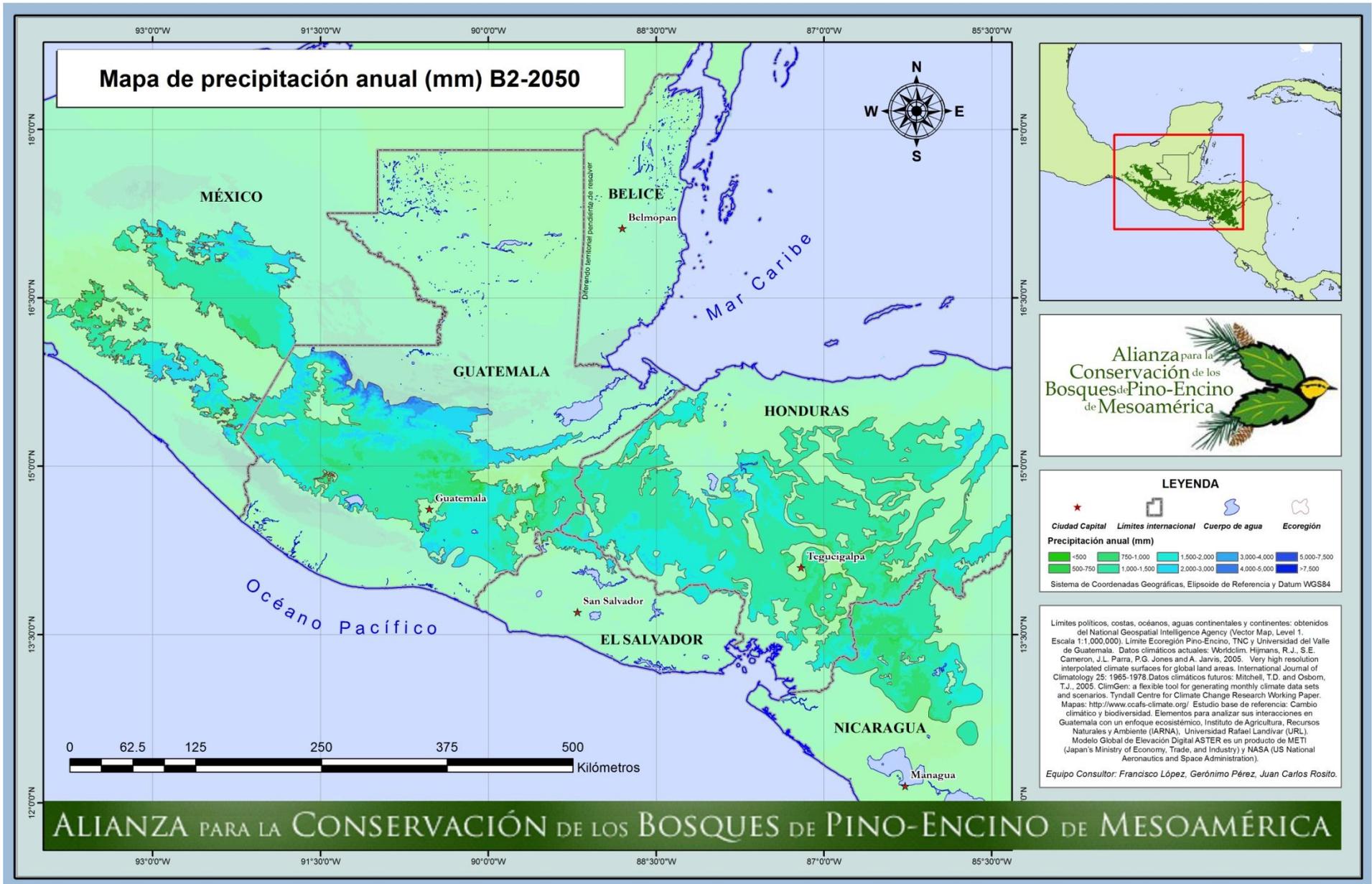


Figura 35. Precipitación anual al año 2050 (B2). (Elaboración propia)

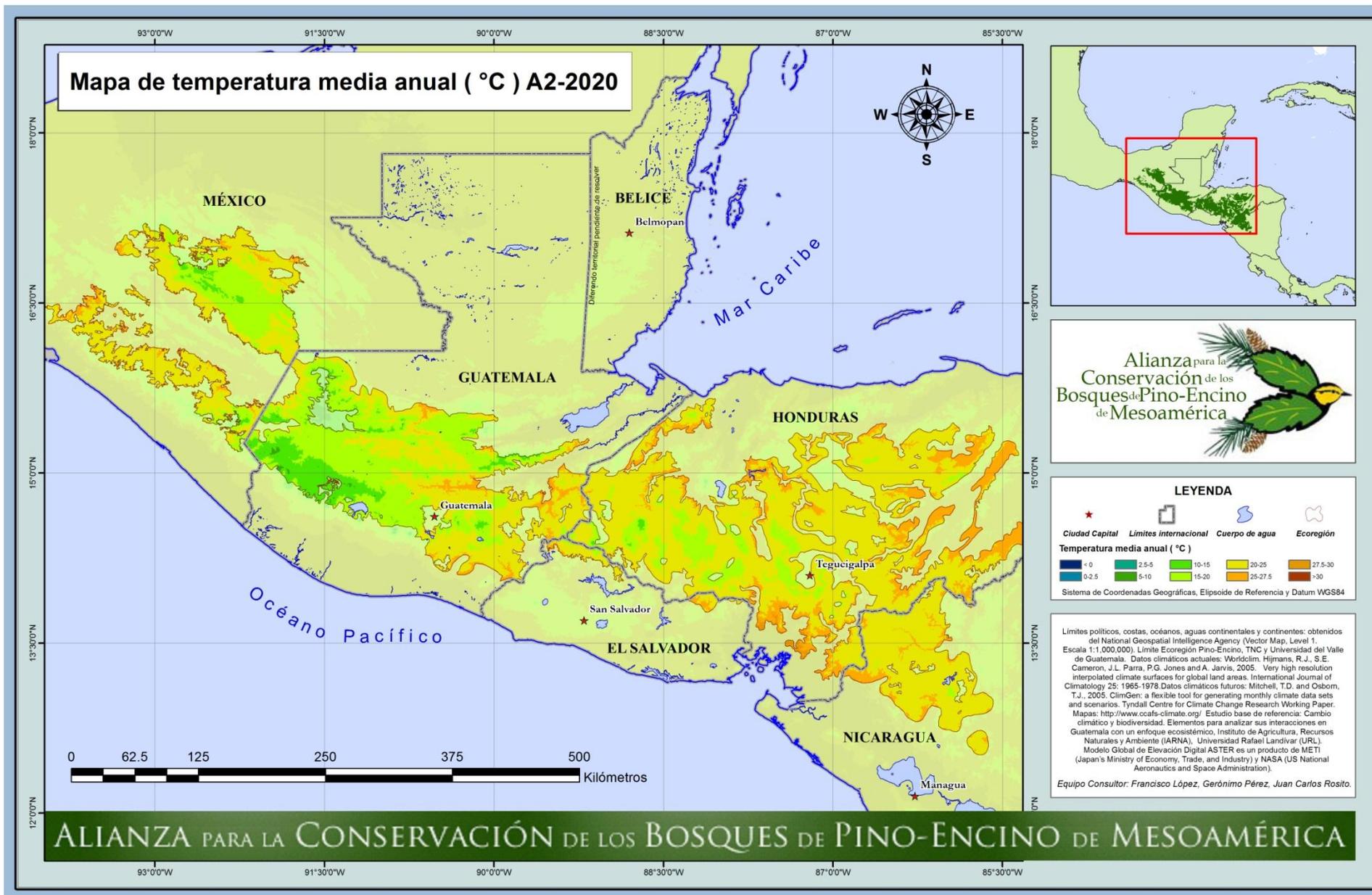


Figura 36. Temperatura media anual al año 2020 (A2). (Elaboración propia)

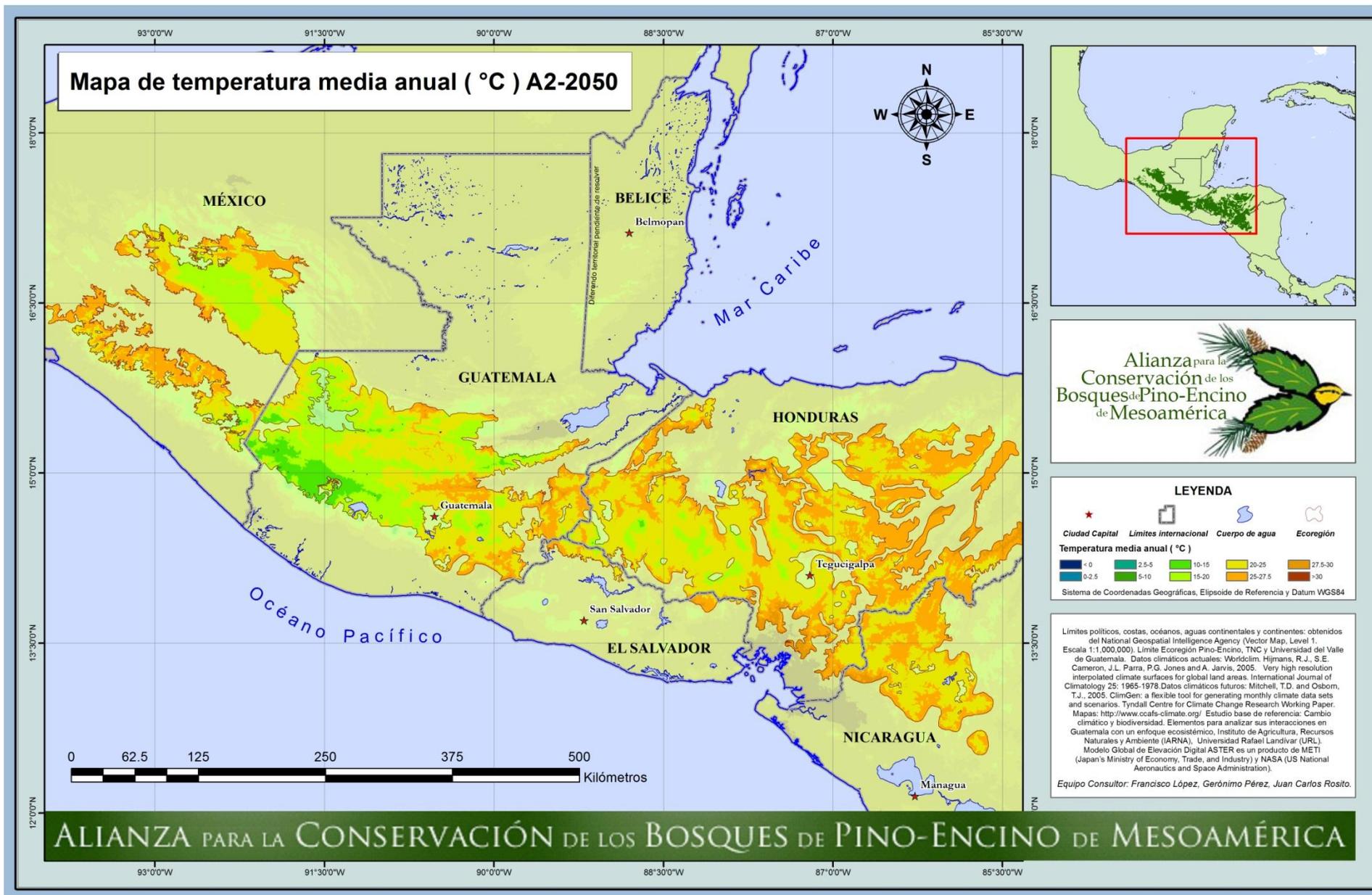


Figura 37. Temperatura media anual al año 2050 (A2). (Elaboración propia)

Análisis Técnico de impactos del cambio climático sobre la biodiversidad y medios de vida en la ecorregión de pino-encino.

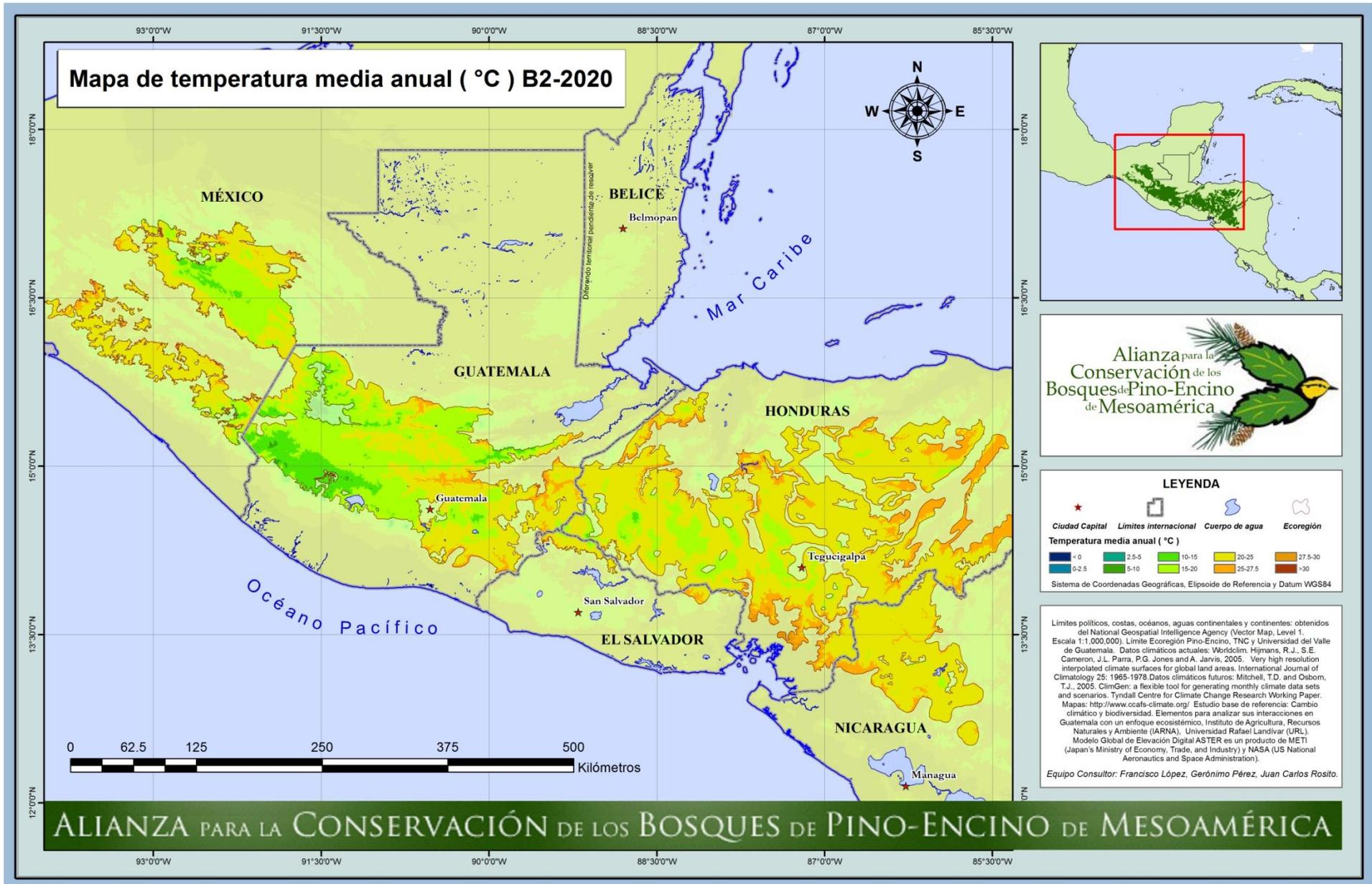


Figura 38. Temperatura media anual al año 2020 (B2). (Elaboración propia)

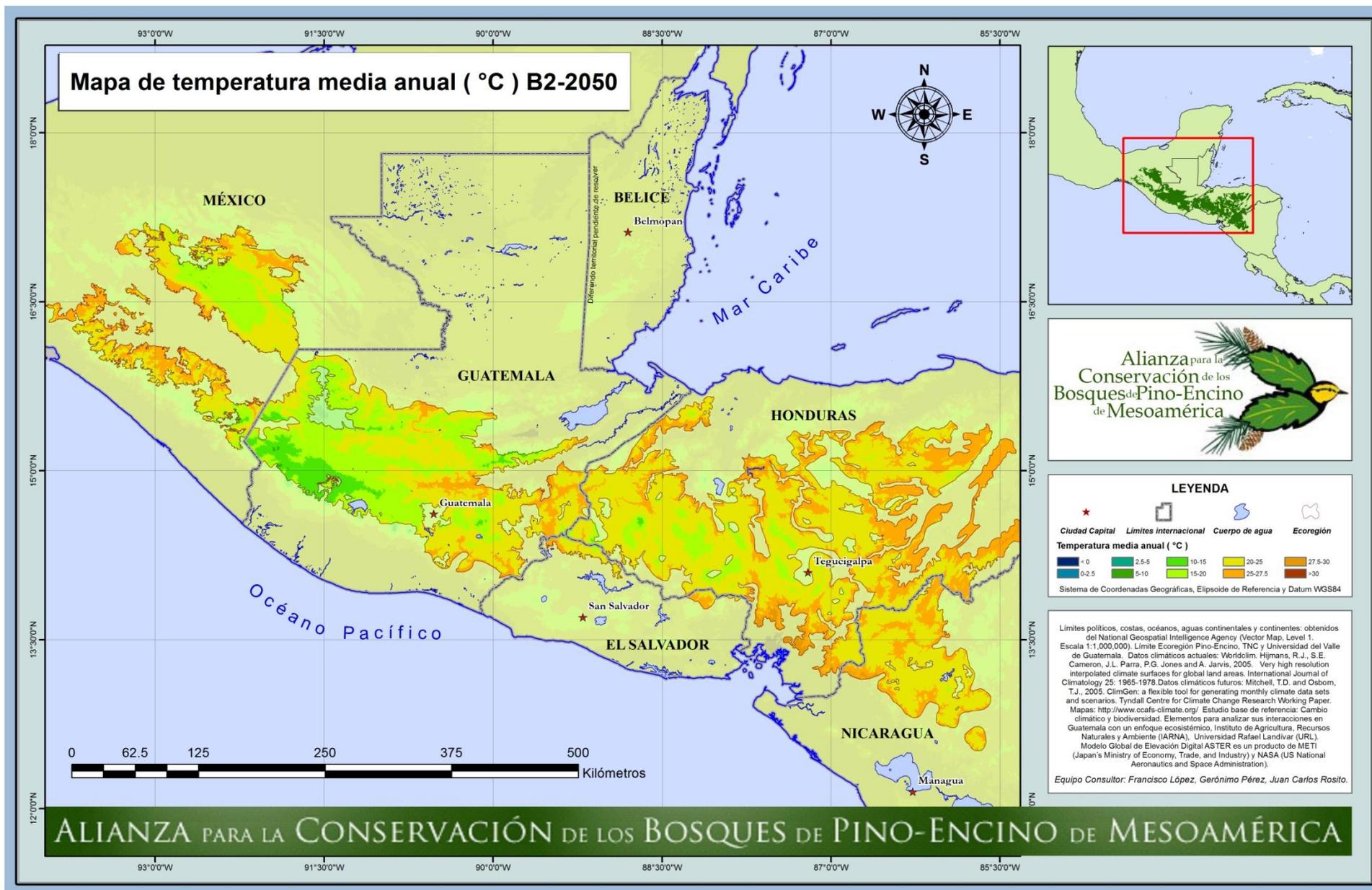


Figura 39. Temperatura media anual al año 2050 (B2). (Elaboración propia)

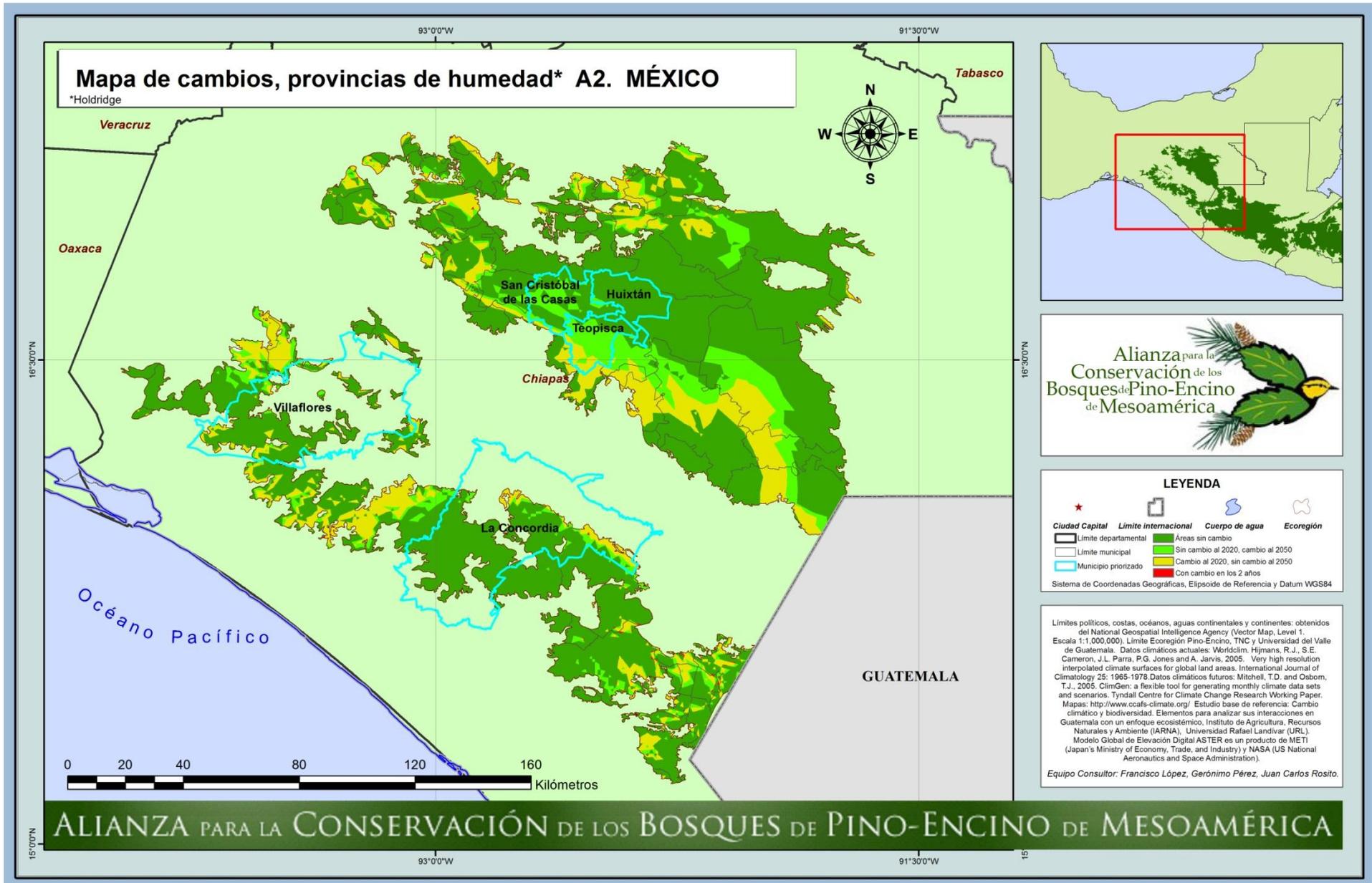


Figura 40. Mapa de proporción de cambios en las provincias de humedad en el escenario A2 para México. (Elaboración propia)

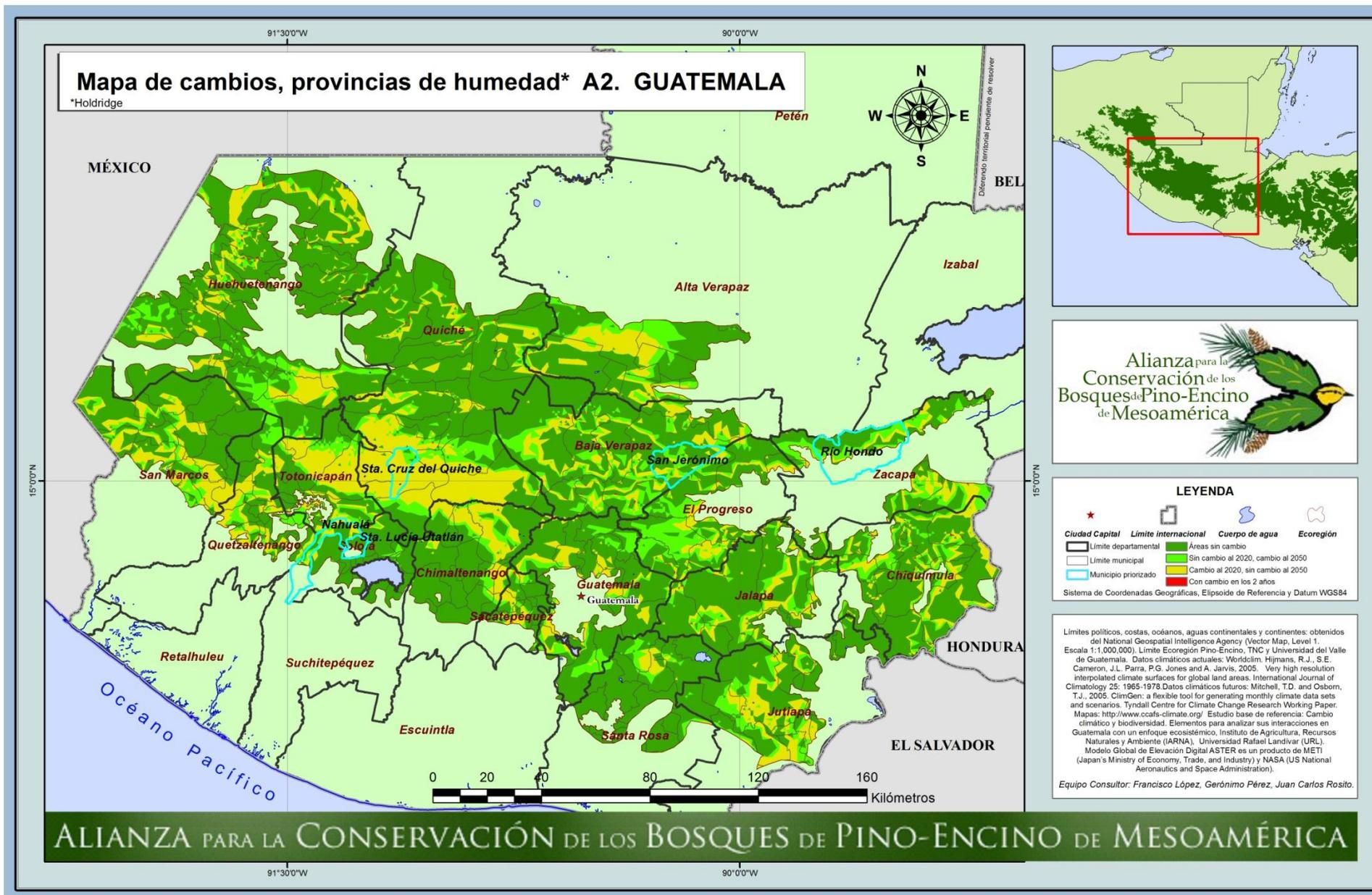


Figura 41. Mapa de proporción de cambios en las provincias de humedad en el escenario A2 para Guatemala. (Elaboración propia)

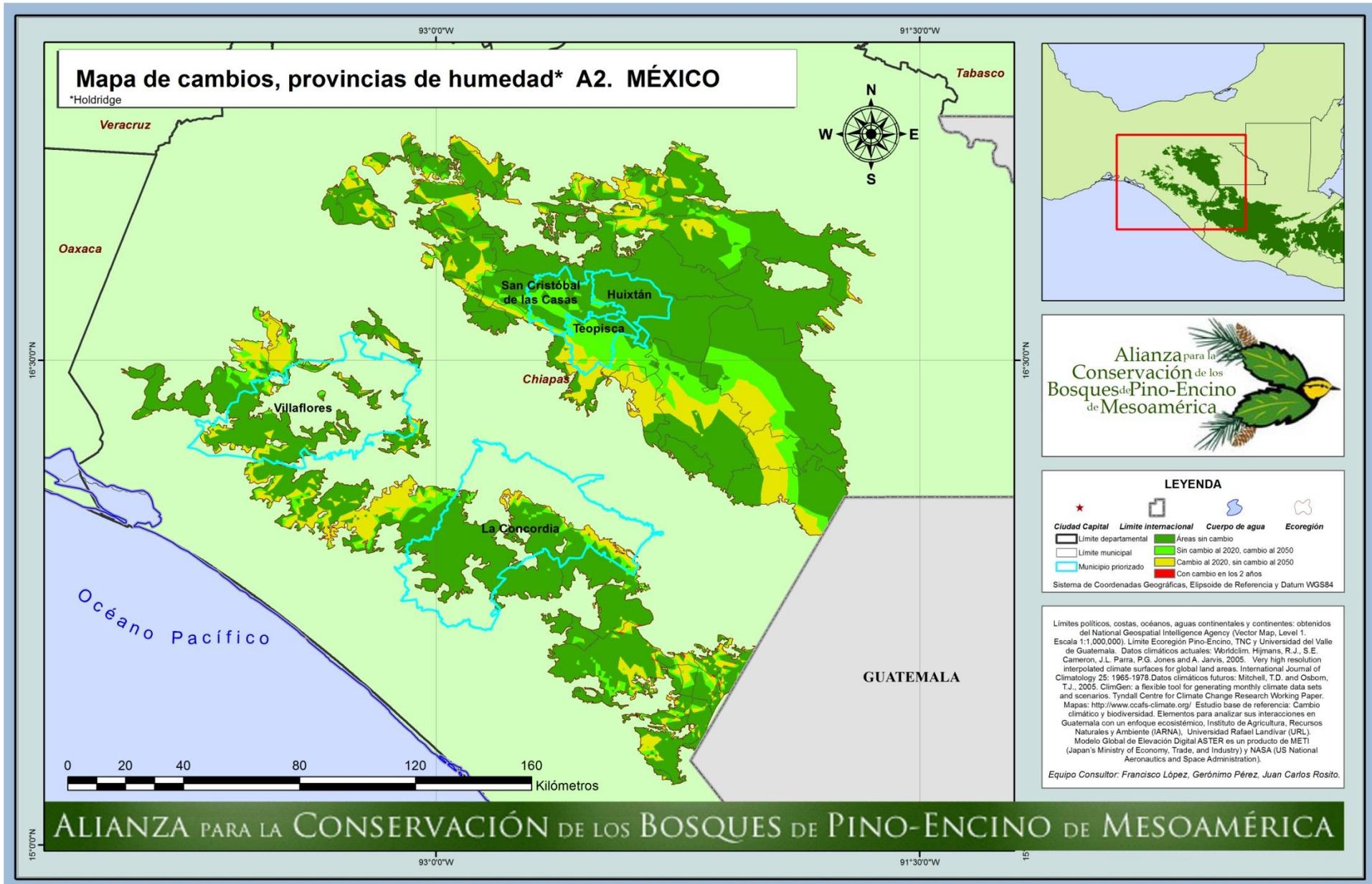


Figura 42. Mapa de proporción de cambios en las provincias de humedad en el escenario A2 para Honduras. (Elaboración propia)