



**ESTADO  
DE LA REGIÓN**

**Séptimo Informe Estado de la Región 2024**

## **Investigación**

Prioridades de adaptación al cambio climático para Centroamérica y República Dominicana. Un acercamiento a partir de la evidencia científica, información geográfica y los escenarios disponibles para la región

**Investigador:**

Instituto Centroamericano de Administración Pública (ICAP)

San José, 2025



551.65  
IN59p

Instituto Centroamericano de Administración Pública ICAP)

Prioridades de adaptación al cambio climático para Centroamérica y República Dominicana: un acercamiento a partir de la evidencia científica, información geográfica y los escenarios disponibles para la región / ICAP. -- San José, C.R. : CONARE - PEN, 2025.

1 recurso en línea (158 páginas): archivo de texto PDF, 21.585 KB

ISBN 978-9930-636-87-9

Investigación para el Séptimo Informe Estado de la Región 2024

1. CAMBIOS CLIMÁTICOS. 2. EVALUACIÓN DE RIESGOS. 3. PRECIPITACIÓN PLUVIAL. 4. MEDIO AMBIENTE. 5. OBSERVATORIOS METEOROLÓGICOS. 6. REPÚBLICA DOMINICANA. 7. AMÉRICA CENTRAL. 8. COSTA RICA. I. Título.



Esta obra se comparte bajo la licencia  
Reconocimiento – No Comercial – Compartir Igual  
(CC-BY-NC-SA)

Permite usar una obra para crear otra obra o contenido,  
modificando o no la obra original, siempre que se cite al autor, la  
obra resultante se comparte bajo el mismo tipo de licencia y no  
tenga fines comerciales



## **Indice**

Descargo de responsabilidad .....	5
Resumen .....	5
Principales hallazgos .....	6
Introducción.....	8
Objetivos .....	10
Objetivo general.....	10
Objetivos específicos .....	10
Metodología.....	10
Análisis de escenarios .....	11
<i>Escenarios de cambio climático por área administrativa .....</i>	<i>15</i>
<i>Cartografías.....</i>	<i>18</i>
Caracterización territorial.....	19
<i>Caracterización territorial por área administrativa .....</i>	<i>21</i>
<i>Cartografías.....</i>	<i>27</i>
Prioridades de adaptación.....	29
<i>Identificación y análisis de territorios críticos .....</i>	<i>29</i>
<i>Acciones prioritarias de adaptación para los sectores público y privado.....</i>	<i>31</i>
Resultados .....	31
Análisis de Escenarios.....	31
<i>Precipitación .....</i>	<i>35</i>
<i>Temperatura .....</i>	<i>47</i>
<i>Aridez.....</i>	<i>59</i>
Caracterización territorial.....	70
Infraestructura crítica.....	70
<i>Uso del suelo .....</i>	<i>84</i>
<i>Datos sociales.....</i>	<i>86</i>
<i>Riesgos y desastres.....</i>	<i>92</i>
Priorización de necesidades de adaptación.....	95

<i>Identificación y análisis de territorios críticos.....</i>	<i>95</i>
<i>Acciones prioritarias de adaptación para los sectores público y privado .....</i>	<i>138</i>
Conclusiones y recomendaciones .....	145
Referencias bibliográficas .....	151
Anexo.....	156

## **Descargo de responsabilidad**

Esta investigación se realizó para el *Informe Estado de la Región Centroamericana*. El contenido es responsabilidad exclusiva de su autor, y las cifras pueden no coincidir con las consignadas en el capítulo respectivo, debido a revisiones posteriores. En caso de encontrarse diferencia entre ambas fuentes, prevalecen las publicadas en el Informe.

## **Resumen**

América Central y la República Dominicana enfrentan importantes desafíos debido a los efectos de la variabilidad y el cambio climáticos. Su posición geográfica interoceánica expone a la región a cambios significativos en precipitación, temperatura y aridez, con implicaciones directas sobre las personas, sus ecosistemas, infraestructuras y sectores productivos. Este estudio analiza el escenario climático basado en las Rutas Socioeconómicas Compartidas (SSP) del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) denominado SSP5-8.5 (pesimista, basado en combustibles fósiles)<sup>1</sup>. El análisis se realiza a partir de modelaciones de alta resolución espacial (1 km<sup>2</sup> de píxel) de precipitación, temperatura y aridez, las que fueron generadas en el marco del proyecto Incentiva. Se llevaron a escala de país, provincia/departamento y municipio/cantón para favorecer una lectura coherente y aplicación práctica a la planificación de políticas públicas.

Además, se analizaron variables socioeconómicas, infraestructura crítica, uso del suelo y riesgo de desastre, para identificar los territorios más expuestos. Los hallazgos resaltan la urgencia de priorizar medidas de adaptación en la región, con énfasis en el Corredor Seco Centroamericano y partes de la República Dominicana, donde el aumento de la aridez y la disminución de las precipitaciones serán más graves.

---

<sup>1</sup> El IPCC destaca que el uso de escenarios con altas emisiones (como el SSP5-8.5) es crucial para evaluar los mayores riesgos posibles y asegurar que las infraestructuras, los sistemas económicos y sociales sean capaces de hacer frente a las peores proyecciones climáticas. Este escenario es útil para planificar estrategias de adaptación que ofrezcan resiliencia ante eventos extremos y cambios profundos en el clima.

Los resultados subrayan que bajo el escenario SSP5-8.5, la región se volverá significativamente más seca y cálida, afectando negativamente la agricultura, la infraestructura crítica y la disponibilidad de recursos hídricos. Se hace un llamado a implementar estrategias de adaptación focalizadas, especialmente en la gestión del agua, la protección de ecosistemas clave y la infraestructura crítica.

Los hallazgos de este estudio subrayan la necesidad urgente de establecer prioridades de adaptación e implementar estrategias de adaptación al cambio climático en América Central y República Dominicana, considerando los impactos específicos en cada país y sector.

## **Principales hallazgos**

### Cambios climáticos proyectados

- **Precipitación:** Nicaragua se enfrenta a la mayor disminución de lluvias, afectando a un alto porcentaje de sus municipios. Costa Rica y Panamá muestran menor reducción en la precipitación, aunque la variabilidad en los patrones de lluvia podría llevar a sequías prolongadas en algunas áreas y a lluvias intensas pero esporádicas en otras.
- **Temperatura:** Se anticipa un aumento de más de 3°C en la mayoría de los municipios de la región para finales de siglo bajo el escenario SSP5-8.5. Este incremento exacerbará las olas de calor y tendrá efectos adversos en los ecosistemas y la agricultura.
- **Aridez:** Belice, Honduras, El Salvador, Nicaragua y República Dominicana podrían ver transformadas varias de sus regiones en semiáridas para el final del siglo, con implicaciones significativas para la agricultura, la disponibilidad de agua y la biodiversidad.

### Impactos en infraestructura crítica

- **Centrales hidroeléctricas:** La disminución de las lluvias podría reducir la capacidad de generación eléctrica, complicando la planificación y operación de estas infraestructuras.
- **Centros de salud y hospitales:** Es probable que aumenten los casos de enfermedades vectoriales como dengue y zika, y que la demanda de atención médica por problemas relacionados con el calor crezca.

Instituciones educativas: La interrupción del suministro de agua y electricidad, junto con posibles cierres por condiciones climáticas extremas, podría afectar el funcionamiento de las escuelas y universidades.

- Infraestructura de transporte: Aeropuertos, puertos, líneas férreas y carreteras enfrentan riesgos considerables debido a temperaturas extremas, aumento del nivel del mar y precipitaciones intensas.
- Sector turístico: Hoteles, marinas y otros servicios turísticos se verán impactados por el aumento del nivel del mar y la escasez de agua, disminuyendo el atractivo de algunas zonas por ende afectando a la industria ecoturística<sup>2</sup>.

#### Uso del suelo

La sobreexplotación de tierras fértiles podría disminuir la productividad agrícola, mientras que la creciente presión sobre áreas de conservación podría llevar a su conversión en tierras de cultivo o desarrollo urbano, afectando la biodiversidad, exacerbando las inundaciones urbanas debido a la impermeabilización del suelo y contribuyendo al aumento de islas de calor en las ciudades.

#### Aumento del riesgo de desastre

La creciente frecuencia e intensidad de eventos hidrometeorológicos, como huracanes, tormentas, inundaciones, deslizamientos de tierra, sequías y olas de calor, impulsados por el cambio climático, combinada con la alta vulnerabilidad y exposición de la población, podría provocar un aumento significativo en los desplazamientos internos y las migraciones climáticas.

#### Impacto poblacional

Los más de 62 millones de habitantes de la región enfrentarán riesgos físicos como golpes de calor y enfermedades vectoriales, así como impactos en la salud mental y un posible aumento en la migración interna y externa.

---

<sup>2</sup> Las tomas de agua superficiales no se consideraron en el estudio por limitaciones en la existencia de datos a escala regional.

## Impacto económico

Se prevé una disminución en el PIB regional, particularmente en el sector agrícola. Además, los costos de adaptación y reparación de infraestructura podrían aumentar significativamente, afectando también al sector turístico. No obstante, podrían surgir nuevas oportunidades económicas relacionadas con la adaptación y la economía verde.

## Necesidad de adaptación

El análisis revela que la intensificación de la aridez, especialmente en el Corredor Seco Centroamericano y gran parte de la República Dominicana, plantea un desafío crítico para la gestión de recursos hídricos. Las proyecciones muestran que muchas regiones enfrentarán una reducción significativa de la precipitación, lo que aumentará la presión sobre las fuentes de agua existentes. Este escenario subraya la urgente necesidad de implementar medidas de adaptación enfocadas en la optimización y conservación del agua, como el desarrollo de infraestructuras para la captación y almacenamiento de agua, la adopción de tecnologías de riego eficiente, y la protección de cuencas hidrográficas. Sin estas adaptaciones, la escasez de agua podría desencadenar crisis hídricas, afectando la agricultura, la salud pública y la estabilidad social en la región.

## **Introducción**

El cambio climático está alterando profundamente los patrones climáticos de América Central y la República Dominicana, lo que representa una amenaza directa para la infraestructura crítica, los ecosistemas y la estabilidad económica de la región. El aumento de la aridez y las variaciones en la precipitación y temperatura proyectadas para los próximos años tendrán un impacto considerable en la agricultura, el suministro de agua, la energía, la salud pública y otros sectores clave (Castellano et al. 2021; Cerda et al. 2022).

El propósito de este estudio es proporcionar un análisis detallado sobre la exposición de los territorios, recursos, infraestructuras y actividades económicas de la región frente a los escenarios de cambio climático proyectados por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC). Este análisis permitirá identificar los territorios críticos y establecer

prioridades de adaptación, tanto para el sector público como privado, basadas en las proyecciones climáticas y la evidencia empírica disponible.

Dado que la planificación a nivel de políticas públicas y privadas requiere información desagregada por territorios político-administrativos, este estudio agrega los resultados a nivel de país, provincia/departamento y municipio/cantón. Este enfoque facilita la aplicación de los hallazgos en estrategias y planes de adaptación a nivel local y regional, abordando la variabilidad climática de manera más precisa y permitiendo una respuesta ajustada a las realidades territoriales.

Las preguntas planteadas para responder son las siguientes: ¿Cuáles son los territorios, recursos, infraestructura y actividades que enfrentan mayores niveles de riesgo y vulnerabilidad a la luz de los escenarios de cambio climático y evidencia empírica disponibles en la región? ¿Cuáles deberían ser las prioridades de los sectores público y privado para lograr reducir los riesgos y potenciar las oportunidades/impacto de las acciones de adaptación?

Es importante declarar que el alcance de las preguntas de investigación, en cuanto a la especificidad de la vulnerabilidad y riesgo, se darán de manera agregada en los análisis debido a que, por limitaciones metodológicas y logísticas, no es posible abordarlos a nivel de detalle. En cambio, los análisis de los territorios respecto de la incidencia de la precipitación, temperatura y aridez se darán a nivel de desagregación municipal/cantonal, provincia/departamento y país que apuntan a la exposición.

Mediante un análisis integral que combina escenarios climáticos, información geoespacial de infraestructura crítica, este estudio junto con el diagnóstico develará las necesidades de adaptación tanto en el sector público como privado, promoviendo de esta manera una mayor resiliencia regional frente al cambio climático<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> Se utilizó la nomenclatura del IPCC que se encuentra desarrollada en el siguiente glosario: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/10/SR15\\_Glossary\\_spanish.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/10/SR15_Glossary_spanish.pdf)

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Analizar y caracterizar los territorios, recursos, infraestructura y actividades de América Central y la República Dominicana frente a los escenarios de cambio climático proyectados, con el fin de determinar las acciones prioritarias de adaptación para los sectores público y privado.

### **Objetivos específicos**

- **Analizar los escenarios climáticos SSP5-8.5:** Analizar las proyecciones de precipitación, temperatura y aridez a nivel de país, provincia/departamento y municipio/cantón, considerando las variables climáticas más relevantes para el contexto regional.
- **Caracterizar los territorios críticos:** Utilizar información geoespacial y socioeconómica para identificar los territorios y sectores económicos más expuestos a los impactos del cambio climático, destacando la infraestructura crítica, el uso del suelo y el riesgo de desastre.
- **Proponer acciones prioritarias de adaptación:** Basado en los escenarios climáticos y la caracterización territorial, identificar medidas de adaptación que puedan ser **implementadas** por los sectores público y privado, con un enfoque en la gestión del agua, la infraestructura crítica y la agricultura.

## **Metodología**

La metodología de este estudio sigue un enfoque secuencial y complementario de tres pasos interrelacionados, que busca proporcionar un análisis a nivel regional y a diferentes escalas territoriales:

### **Paso 1. Análisis de escenarios climáticos**

Se analizaron los escenarios de cambio climático proyectados por el IPCC, con especial énfasis en el escenario pesimista SSP5-8.5, que representa un futuro de alta dependencia de

combustibles fósiles. Las variables analizadas incluyen la precipitación, la temperatura y la aridez, desagregadas a nivel de país, provincia/departamento y municipio/cantón.

## Paso 2. Caracterización territorial

Se llevó a cabo una caracterización geoespacial de los territorios críticos, incorporando información sobre infraestructura crítica (carreteras, puertos, hospitales, etc.), variables socioeconómicas (PIB, densidad poblacional, actividades económicas), usos del suelo y riesgos de desastres hidrometeorológicos. Esta etapa permitió identificar las áreas más sensibles y generar una base de datos que facilite la planificación de medidas de adaptación.

## Paso 3. Priorización de adaptación

Con los resultados de las dos fases anteriores, se identificaron los territorios más críticos y se propusieron acciones prioritarias de adaptación para cada sector. Este paso incluyó la formulación de estrategias dirigidas a la conservación y gestión eficiente del agua, la adaptación de la infraestructura crítica, y la implementación de prácticas agrícolas resilientes. Las recomendaciones se alinean con las capacidades de los sectores público y privado para asegurar una implementación efectiva. El análisis se presenta de forma desagregada por país, provincia/departamento y municipio/cantón para hacer que los resultados sean más relevantes y aplicables en la formulación de políticas públicas y estrategias locales. Aunque la información en rejilla (píxeles de 1 km<sup>2</sup>) proporciona un detalle fino, no es adecuada para su implementación en la administración pública, que opera bajo divisiones político-administrativas. Por lo tanto, la agregación territorial permite que los responsables de la toma de decisiones locales puedan utilizar los resultados para desarrollar estrategias específicas, alineadas con las necesidades de sus territorios.

## **Análisis de escenarios**

La información sobre los escenarios climáticos de última generación fue producida dentro del marco del proyecto *Incentiva* del Instituto de Administración Pública (ICAP). Esta información se generó con los modelos climáticos de Circulación General (GCMs, por sus siglas en inglés) indicados en el cuadro 2 y fueron almacenados en ráster en formato TIFF, con píxeles

cuadrados de 1x1 km para las variables de precipitación, temperatura, percentiles 10 y 90 y aridez), en coordenadas geográficas para ser trabajados en el software de Sistema de Información Geográfica. Los escenarios de cambio climático se basaron en el informe sexto (AR6, Sixth Assessment Report) del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) que se denominan *Shared Socioeconomic Pathways* (SSP), los cuales son una combinación de narrativas sociales y forzantes radiactivos.

### Cuadro 1

#### Descripción de escenarios

Escenario	Descripción	Adaptación
SSP1-2.6	Este escenario representa un camino hacia el desarrollo sostenible, con bajas emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Las políticas están alineadas con los objetivos de sostenibilidad global, incluyendo una fuerte cooperación internacional, igualdad social y un cambio hacia energías limpias y eficientes.	La adaptación en este escenario se centra en la resiliencia y la sostenibilidad, con esfuerzos coordinados a nivel global para implementar medidas que reduzcan la vulnerabilidad al cambio climático. Las políticas de adaptación son proactivas, integrando la adaptación en todos los niveles de planificación y desarrollo.
SSP2-4.5	Conocido como el escenario de desarrollo "intermedio" o "de medio camino". Aquí, el mundo sigue tendencias históricas con algunas mejoras tecnológicas y económicas, pero sin esfuerzos sustanciales hacia la sostenibilidad. Las políticas de mitigación son moderadas y las emisiones de GEI siguen aumentando lentamente.	La adaptación es reactiva y fragmentada, con esfuerzos que varían ampliamente entre regiones. Aunque se implementan algunas políticas de adaptación, estas son insuficientes para enfrentar los impactos más severos del cambio climático, lo que lleva a un aumento en la desigualdad y la vulnerabilidad en ciertas áreas.
SSP5-8.5	Escenario de muy altas emisiones, caracterizado por un fuerte crecimiento económico impulsado por combustibles fósiles. Se prioriza el desarrollo económico y el crecimiento de la población por encima de las preocupaciones ambientales, lo que resulta en un aumento significativo de las emisiones de GEI.	La adaptación en este escenario es limitada y a menudo llega demasiado tarde, ya que el enfoque está en el crecimiento económico a corto plazo. Los impactos del cambio climático son severos, lo que provoca crisis y desastres frecuentes. La falta de inversión en adaptación agrava los efectos, especialmente en las regiones más vulnerables.

Fuente: Elaboración propia con datos de IPCC, 2021.

Los escenarios utilizados son el SSP1-2.6 Escenario de desarrollo sostenible, SSP2-4.5 Escenario intermedio, SSP5-8.5 Escenario basado en combustibles fósiles – Pesimista, mientras que los horizontes de tiempo o periodo corresponden a 2020-2030, 2040-2060 y 2079-2099.

Para efectos de este estudio se prioriza el análisis del escenario pesimista por sobre los otros debido a las siguientes recomendaciones del IPCC:

- El IPCC destaca que el uso de escenarios con altas emisiones (como el SSP5-8.5) es crucial para evaluar los mayores riesgos posibles y asegurar que las infraestructuras, los sistemas económicos y sociales sean capaces de hacer frente a las peores proyecciones climáticas. Este escenario es útil para planificar estrategias de adaptación que ofrezcan resiliencia ante eventos extremos y cambios profundos en el clima.
- Si bien no se obliga a los países a planificar solo para el SSP5-8.5, el IPCC subraya la importancia del principio de precaución, sugiriendo que las políticas de adaptación deberían ser suficientemente robustas para lidiar con escenarios pesimistas, ya que la incertidumbre en la reducción de emisiones globales sigue siendo alta. Planificar solo para los escenarios más optimistas conlleva riesgos considerables.}
- El IPCC también señala que la planificación de adaptación debería considerar horizontes temporales largos (hasta finales del siglo XXI), y el SSP5-8.5 muestra los mayores cambios a largo plazo en variables como la temperatura, precipitación y aridez, especialmente en regiones vulnerables como América Central. Si bien otros escenarios también pueden ser útiles, el SSP5-8.5 ilustra un futuro donde los impactos son más intensos y las necesidades de adaptación más urgentes.
- El IPCC sugiere que los gobiernos y planificadores deberían tener en cuenta múltiples escenarios en sus estrategias de adaptación, incluida la posibilidad de que el mundo siga un camino de altas emisiones. Esto permite crear políticas adaptativas que pueden ajustarse según cómo evolucione la situación global de emisiones.

**Cuadro 2**

**Modelos climáticos de Circulación General usados**

Dato	Período	Resolución temporal	Resolución espacial
ERA5 <sup>a/</sup>	1979- 2014	Mensual	0.25° x 0.25°
World Clim <sup>a/</sup>	1979- 2014	Mensual	0.00833° x 0.00833°
Modelo ACCESS	1979-2099	Mensual	1.875° x 1.25°
Modelo AWI	1979-2099	Mensual	0.9375° x 0.9375°
Modelo CAMS	1979-2099	Mensual	1.25° x 1.12149°
Modelo EC - EARTH3	1979-2099	Mensual	0.703125° x 0.701753°
Modelo EC - EARTH3-Veg	1979-2099	Mensual	0.703125° x 0.701753°
Modelo MPI	1979-2099	Mensual	0.9375° x 0.9350616°
Modelo GFDL	1979-2099	Mensual	0.703125° x 0.701753°
Modelo UKESM1	1979-2099	Mensual	1.875° x 1.25°

a/ Los primeros dos productos (ERA5 y World Clim) corresponden a datos que se usaron para el procedimiento de corrección de sesgos en el cambio de escala estadística y el resto a los GCMs.

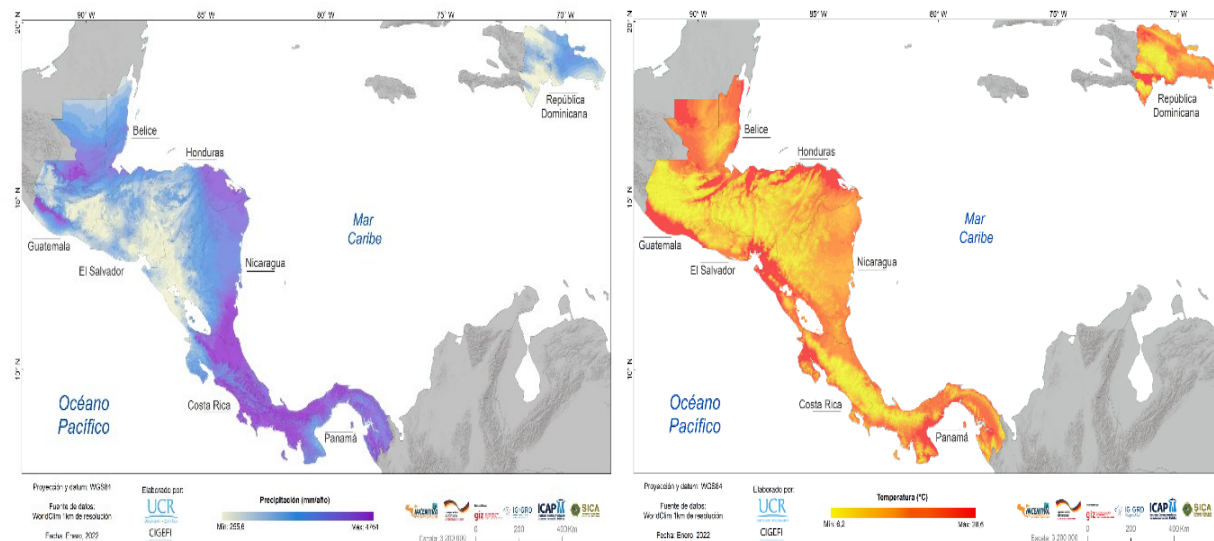
Fuente: Proyecto Incentiva ICAP-GIZ, 2021.

Las modelaciones se desarrollaron sobre bases de datos diarias en un período de 35 años entre 1979 y 2014, para tres intervalos de tiempo (2020-2030, 2040-2060 y 2079-2099).

Todos los mapas representan el ensamble de 8 modelos individuales del cuadro anterior que tienen los menores sesgos de temperatura y precipitación en la región de acuerdo con Almazroui et al. (2021).

**Mapa 1**

**Promedio histórico de temperatura y precipitación diaria entre 1970 al 2014**



Fuente: Proyecto Incentiva ICAP-GIZ, 2021.

La primera cartografía del mapa 1 (de izquierda a derecha), muestra los promedios diarios de precipitación en el área de estudio. Las regiones localizadas en el norte de la vertiente del Pacífico de América Central son las más secas, ya que constituyen las regiones conocidas como el Corredor Seco Centroamericano, (Hidalgo et al. 2019). La región occidental de República Dominicana también presentó condiciones muy secas. La segunda cartografía (de izquierda a derecha), muestra la climatología promedio de temperatura para el período histórico, en este caso la topografía domina la variabilidad espacial ya que las áreas costeras y bajas presentan las mayores temperaturas, mientras que las áreas internas y montañosas presentan las temperaturas más bajas (Hidalgo et al., 2024).

### **Escenarios de cambio climático por área administrativa**

En cuanto a la delimitación político-administrativa, la información fue utilizada en formato vectorial ajustándose a las siguientes escalas territoriales: país, departamentos/provincias y municipios/cantones, según corresponda a cada país.

Cuadro 3  
Descripción fuentes de la DPA

País	Municipios / Cantones	Departamentos / Provincias	Año	Fuente
República Dominicana	158	32	1993	Oficina Nacional de Estadística (ONE)
Belice	-	6	SD	Oficina de Información Diplomática de Belice
Guatemala	338	22	2015	Instituto Nacional de Estadística - Guatemala
Honduras	298	18	1997	Red honduras
El Salvador	262	14	2010	Centro Nacional de Registro República de El Salvador
Nicaragua	153	17	2015	Data Nicaragua
Costa Rica	81	7	2015	Instituto Geográfico Nacional
Panamá	81	13	2023	Smithsonian Tropical Research Institute

Fuente: Elaboración propia.

Es importante destacar que en América Central la cantidad de municipios ha variado en los últimos años, por ejemplo, en el 2015 en Costa Rica existían 81 cantones y para el 2024 son 84<sup>4</sup>, por lo que al ser cantones muy nuevos no se tienen datos sociales. El resultado cartográfico de la división político-administrativa se puede ver en el siguiente mapa:

**Mapa 2**  
**División Político-Administrativa**



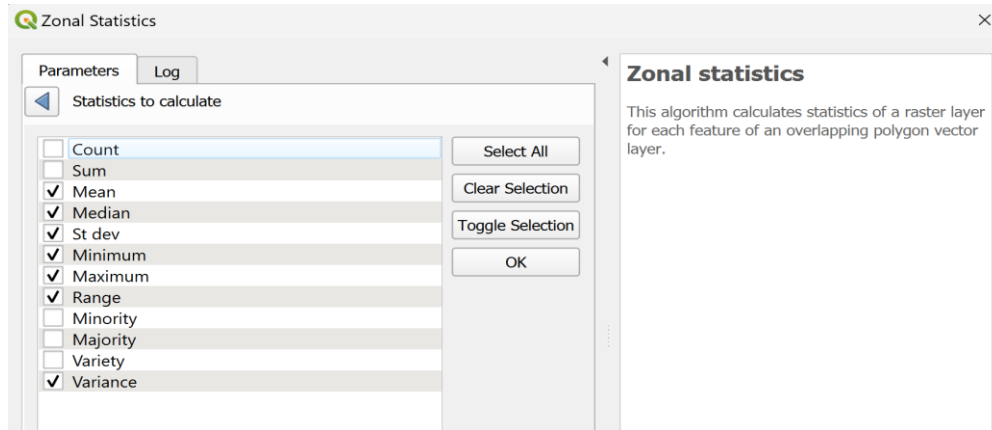
Fuente: Elaboración propia.

Una vez establecida la división político-administrativa, se asignaron los valores climáticos de precipitación, temperatura y aridez, a cada unidad político-administrativa de los ocho países. Esta asignación se realizó a través de la herramienta Estadística de Zona disponible en QGIS, donde a cada polígono se le asignó los siguientes estadísticos: media (promedio), desviación estándar, mínimo, máximo, rango y varianza para obtener los indicadores a las tres distintas escalas. La selección de esta herramienta obedece a que de entrada recibe una capa vectorial (división político-administrativa) y una capa ráster (escenario de cambio climático), en el

<sup>4</sup> División Territorial Administrativa de la República de Costa Rica, por provincia, cantón y distrito, escala 1:5.000 (Capa oficial).

análisis permite calcular varios estadísticos descriptivos a la vez (figura 1) y finalmente como salida devuelve un archivo vectorial.

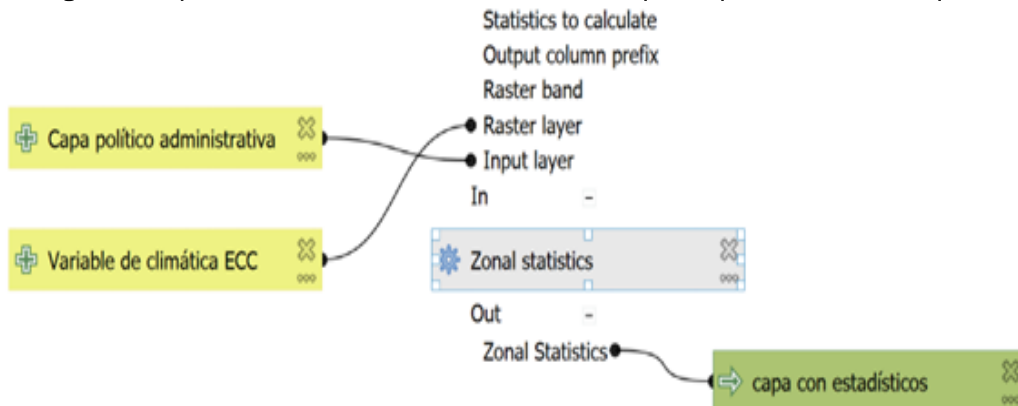
**Figura 1**  
Estadísticos descriptivos disponibles en la administración político-administrativa



Fuente: Elaboración propia.

Además, para optimizar el análisis se utilizó el diseñador de modelo del programa QGIS que permite establecer rutinas en cadenas para ahorrar tiempo y esfuerzo. El modelo empleado es básico (figura 2), en donde se elige la capa político-administrativa (país, departamento/provincia o cantón/ municipio), y la capa de información del escenario climático (variable), se seleccionan los estadísticos de la figura 1, se elige el lugar de almacenamiento (QGIS, 2024). Se ejecuta nueve veces por variable, cambiando el escenario y periodo para finalmente nombrarlo según corresponda.

**Figura 2**  
Modelo generado para la obtención de estadísticos descriptivos para cada división político-administrativa



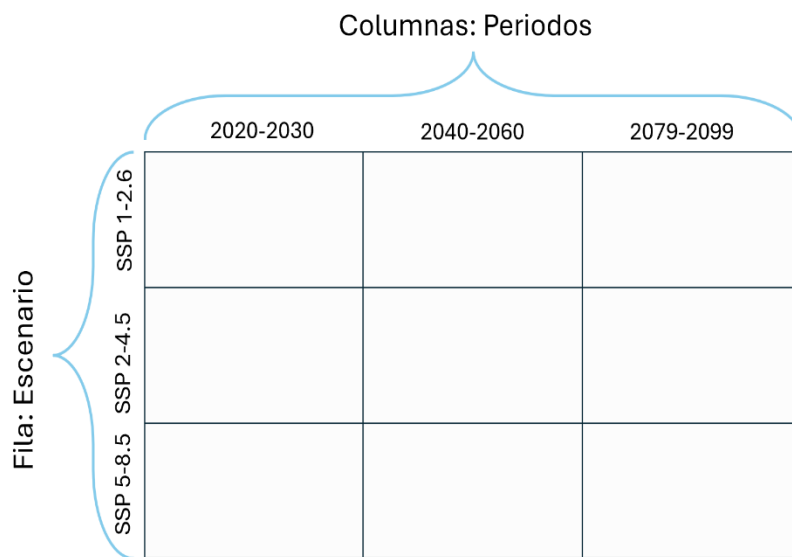
Fuente: Elaboración propia.

## Cartografías

Dada la cantidad de modelaciones para tres períodos, se estableció que la mejor forma de representar los escenarios de cambio climático son los mosaicos, debido principalmente a que permite la comparabilidad entre los escenarios SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP5-8.5 y los 3 horizontes de tiempo. En otras palabras, un mosaico permite acomodar los tres escenarios con los tres periodos que es necesario representar a cada escala administrativa (figura 3). Se generaron mapas por cada variable a nivel país, departamento/provincia, cantón/municipio. Por tanto, son en total 15 mapas, tres por cada variable (anexo).

En cuanto a la simbología de colores, es importante señalar que los mapas no son comparables entre escalas, es decir que no es posible comparar el mapa a nivel país con el de departamentos/provincias o con el de municipios/cantones, esto obedece que se está mapeando una unidad resumen: la media, y al cambiar el tamaño del polígono, la generalización es mayor, lo que genera rangos distintos y por tanto las clases también. Se utilizó el método de Intervalo igual ya que se aplica mejor en rangos de datos familiares, tales como porcentajes y temperatura (ArcGIS Pro, 2024).

Figura 3  
Esquema de la organización de los mosaicos



Fuente: Elaboración propia.

En el anexo es posible conocer las paletas de colores de las variables y los rangos para cada unidad administrativa. Se utilizaron de base las paletas de colores del proyecto Incentiva para las variables climáticas y se ajustaron a los valores de cada escala. La precipitación representa el porcentaje de cambio tanto positivo como negativo, por tanto, se utiliza una paleta divergente. En el caso de la temperatura, los percentiles 10 y 90 la variable es de tipo ordinal por lo que la paleta es secuencial (Brewer, 2016, Slocum *et al.*, 2022a). En la aridez se utilizó la clasificación de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés) para los países tropicales. Se realiza un reajuste de las categorías utilizadas por la FAO, de siete clasificaciones se utilizan seis de ellas dentro de una paleta de colores divergente, con los valores áridos en color naranja y los valores húmedos en verde.

### **Caracterización territorial**

La información para la caracterización territorial proviene de consultores nacionales<sup>5</sup> y de otras fuentes de datos confiables de instituciones que trabajan en la región. En cuanto a la información, se recibió información de Panamá, Honduras, Guatemala, Costa Rica, El Salvador y República Dominicana. Nicaragua y Belice no fueron proporcionados. Por las diferencias entre países fue necesaria una revisión exhaustiva de los datos. El resumen de la recopilación de información geoespacial es el siguiente:

**Cuadro 5**

**Resumen de la información recibida e identificación de las variables comparables**

Categoría	Subcategoría	PAN	GT	HN	CR	ESA	RD
Estaciones meteorológicas	Estaciones Meteorológicas	●	●	●	●	●	●
	Instrumentos (radar, sonda)	●			●	●	
	Estaciones Mareográficas				●	●	
Infraestructura crítica	Centrales Térmicas	●	●				
	Centrales Hidroeléctricas	●	●	●	●	●	
	Centrales Eólicas	●	●	●	●	●	●
	Centrales Solares	●	●	●	●	●	●
	Aeropuertos	●	●	●	●	●	●
	Puertos	●	●	●	●	●	●
	Carreteras	●	●	●	●	●	●
	Hospitales	●	●	●	●	●	●

<sup>5</sup> La completitud de la información geoespacial depende de los aportes de los consultores nacionales, ya que este informe ha utilizado los insumos proporcionados por ellos para llevar a cabo los análisis correspondientes.

*Prioridades de adaptación para Centroamérica y República Dominicana a partir de la evidencia científica y los escenarios de cambio climático para la región*

Categoría	Subcategoría	PAN	GT	HN	CR	ESA	RD
	Centros de Salud	●	●	●	●	●	●
	Universidades	●	●	●	●	●	●
	Centros Educativos	●	●	●	●	●	●
	Línea férrea	●	●	●	●	●	●
	Hoteles <sup>a/</sup>	●	●	●	●	●	●
	Marinas	●	●	●	●	●	●
Uso	Agricultura	●	●	●	●	●	●
	Pastos	●	●	●	●	●	●
	Bosques	●	●	●	●	●	●
	Urbano	●	●	●	●	●	●
EG	Población	●	●	●	●	●	●
	Producto Interno Bruto	●	●	●	●	●	●

a/ Solo es posible hacer el análisis a nivel país y departamentos/provincias. Ya que la información de Guatemala solo indica la cantidad de hoteles por departamento y no contamos con las ubicaciones.

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente a esta información, para la caracterización territorial se utilizaron las siguientes fuentes de información:

#### Cuadro 6

##### Fuente de información complementarias agregadas al estudio

Variable	Fuente	Nombre de la capa	Observaciones
<b>Aeropuertos</b>	GeoPortal-CEPALSTAT	Aeropuertos	Se unió con información enviada por consultores nacionales.
<b>Puertos</b>	GeoPortal-CEPALSTAT	Puertos	Se unió con información enviada por consultores nacionales. Belice sin datos.
<b>Centros de Salud</b>	GeoPortal-CEPALSTAT	Hospitales Servicios de Salud	Para Belice y República Dominicana se utilizó información del CEPAL. Esta se unió con información enviada por consultores nacionales. Nicaragua sin datos.
<b>Centrales Eólicas</b>	GeoPortal-CEPALSTAT	Parques Eólicos	Se unió con información enviada por consultores nacionales. Belice sin datos.
<b>Centrales Solares</b>	GeoPortal-CEPALSTAT	Plantas Solares	Se unió con información enviada por consultores nacionales. Belice sin datos.
<b>Línea Férrea</b>	Natural Earth	Línea Férrea	Se unió con información enviada por consultores nacionales.
<b>Marinas</b>	Marinas.com	Marinas	Salvador y Nicaragua sin datos.

Variable	Fuente	Nombre de la capa	Observaciones
Uso del suelo	Copernicus Global Land Service Land Cover	Uso del suelo	Formato raster de 10 metros de resolución espacial, se utiliza el año 2023 (Impact Observatory and Esri, 2021).

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se aportan tres variables adicionales que aportan información relevante al estudio:

- *Ubicación de la población:* se extrajo de *The Humanitarian Data Exchange*, los cuales son datos Datos por Kontour, que fusiona datos de Global Human Settlement Layer GHSL, Facebook (META), Copernicus Global Land Service Land Cover, Land Information New Zealand y OpenStreetMap data, estos datos se encuentran en H3 hexágonos de 400 metros de resolución. Estos datos se han utilizado en estudios como en Tatem (2017).
- *Producto interno bruto:* se utilizó la base de datos de Kummu *et al.* (2024) que posee una escala de 5 arco segundos en formato ráster, los datos presentados en este informe corresponden al año 2022.
- *Riesgos y desastres:* se utilizó la base datos DesInventar la que se encuentra a escala municipal/cantonal, EM-DAT y el Índice de Riesgo Climático Global (IRC) de Germanwatch con datos a escala país.

### **Caracterización territorial por área administrativa**

Para la caracterización territorial fue fundamental contar con la información de todos los países, ya que se está trabajando en un análisis regional donde se puede hacer una comparación entre naciones. En otras palabras, se construye la capa regional para después hacer la división de los variables por país, departamento/provincia y municipio/cantón. Se utilizó la herramienta de análisis espacial *Unión*, la cual une entidades espaciales y las tablas de atributos. Si los nombres de los campos no son exactamente iguales, los agrega como campos nuevos.

Al utilizar la herramienta de *Unión*, es necesario trabajar la tabla de atributos para homogeneizar la información, y dejar lo que realmente es necesario en cada variable. Hay información que se encuentra en geometría punto y otros en línea, entonces es necesario dos procedimientos para obtener los datos en cada escala político-administrativa. Que se detallan por categoría a continuación.

#### Estaciones meteorológicas

Se realizó una revisión de los datos enviados por consultores nacionales: Guatemala, Costa Rica, Honduras, El Salvador, Panamá y República Dominicana. Se reclasificaron las categorías con base en la información del Instituto de Meteorología e Hidrología de Panamá. Se creó una tabla donde se unió la información y se creó una capa de puntos (EPSG 4326). La tabla de atributos contiene los siguientes campos: País, Nombre de Estación, Coordenadas (Latitud y Longitud), Año Inicio, Año Final, Operador, Sector.

Por tanto, se crearon seis categorías:

- *Estaciones Pluviométricas*: están las estaciones climáticas, meteorológicas y las estaciones tipo C. Las estaciones tipo C en la información de Panamá las llaman las clasifican como Pluviométricas.
- *Estaciones hidrológicas*: están las estaciones hidrométricas y las hidrológicas de Panamá.
- *Estaciones medición nivel del mar*: están las estaciones Mareográficas y Oceanográficas.
- *Estaciones tipo A*: están las estaciones automáticas y estaciones tipo A automática y mixta.
- *Radiosondeos*: están los instrumentos radar.
- *Estaciones varias*: están las estaciones mecánicas, calidad de aire, detección de rayos, estaciones tipo B.

Como las estaciones meteorológicas son de tipo punto, y poseen coordenadas X y Y, se utilizó la herramienta de análisis vectorial/contar puntos por polígonos (figura 5) disponible en QGIS. Esta herramienta se basa en la superposición de dos capas: una es la de polígonos donde se

utiliza la división político-administrativa (país, departamento/provincia, municipio/cantón), y la segunda es la variable con geometría de punto, por ejemplo, estaciones meteorológicas.

Por tanto, esta herramienta genera la información de cuántos puntos (estaciones meteorológicas) hay dentro de cada polígono (país, departamento/provincia, municipio/cantón), dando como resultado una nueva capa con la tabla de atributos con la cantidad de entidades por polígono. Es necesario hacer este procedimiento para cada una de las escalas administrativas. Posteriormente, se pasa a la elaboración de la cartografía.

Figura 5  
Herramienta contar puntos por polígono



Fuente: Elaboración propia con datos de QGIS 3.34.

### Infraestructura crítica

Se entiende como infraestructura crítica al conjunto de edificaciones, redes y sistema de transporte indispensables para preservar y mantener la soberanía nacional y el funcionamiento social-económico y la salud del país: carreteras, ferrocarriles con sus respectivos puentes, aeropuertos, puertos, puestos de fronteras, principales instalaciones de seguridad nacional (Fuerza Pública, Servicio Nacional de Guardacostas y Vigilancia Aérea), principales instalaciones de producción estratégica, almacenamiento y distribución para brindar los servicios esenciales de suministro de electricidad, telecomunicaciones, agua, hidrocarburos, las instalaciones de salud y asistencia alimentaria<sup>6</sup>.

Respecto a la información vectorial, las variables en formato de puntos se aplica la misma metodología que en las estaciones meteorológicas, utilizando la herramienta *Contar Puntos por Polígono*. Para las variables que se disponen como líneas, se generó la densidad por área

---

<sup>6</sup> Decreto Lineamientos generales para la incorporación de las medidas de resiliencia en infraestructura pública N.º 42465- MOPT-MINAE-MIVAH de Costa Rica

administrativa país, departamento/provincia, municipio/cantón). La densidad vial es la longitud de la red vial por unidad de superficie (Riaño, 2010). Este indicador se calculó en el software QGIS para la densidad de carreteras y línea férrea en las tres unidades administrativas para América Central y República Dominicana: país, departamento y municipio. El cálculo de la densidad de una variable lineal ha sido utilizado en Quesada-Román (2012, 2022) lo cual permite hacer una comparación en términos relativos entre las distintas unidades administrativas.

Para llevar a cabo el cálculo se siguieron los siguientes pasos:

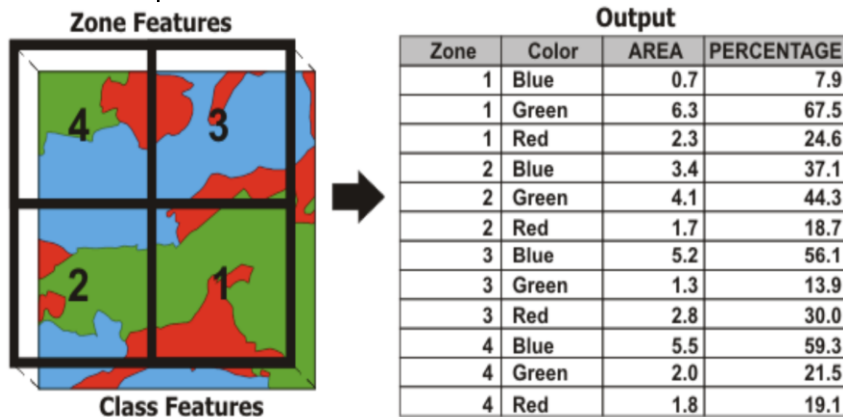
- Utilización de la herramienta Vectorial/Herramientas de análisis/Sumar longitud de líneas. La herramienta calcula la longitud total en metros de la red vial o red ferroviaria, además realiza un conteo de cuántas carreteras presenta dicho polígono. En la herramienta se escoge la capa de polígonos de entrada (ya sea, país, departamento o municipio) y la capa de líneas (carreteras o línea férrea). De esta forma, se obtiene un campo de la longitud total de la red vial, llamado LENGTH.
- En la tabla de atributos de las capas generadas, con la calculadora de campos, se crea un primer campo del área total de cada polígono con el nombre AREA. Se configura el campo en número decimal y se escribe la expresión:  $\$ \text{área} / 1\,000\,000$ . Este cálculo determina el área en kilómetros. Puesto que la unidad por defecto es metros cuadrados, y se requiere realizar una conversión de metros a kilómetros cuadrados, se le agrega la división por un millón para tener la unidad correcta.
- Para crear el campo de Densidad vial o ferroviaria, se configura el campo en número decimal y se calcula con los campos creados (LENGTH y AREA) la siguiente expresión:  $(\text{'LENGTH'} / 1\,000) / \text{'AREA'}$ . En este caso, puesto que la unidad por defecto es metros, también se realiza la conversión correspondiente de metros a kilómetros para obtener la unidad de densidad vial en km/km<sup>2</sup>.
- Posteriormente, se pasan los datos a la elaboración cartográfica.

## Uso de suelo

Para el mapa de uso del suelo se utilizó la clasificación de cobertura del suelo de Sentinel-2<sup>3</sup> a una resolución espacial de 10m para el año 2023. Para el análisis por área político-administrativa se utilizó la herramienta *Tabulate Intersection* de ArcGIS Pro, de forma que se obtuvo los porcentajes para cada uso por cada área. Esta herramienta calcula la intersección entre dos capas de entidades y tabula de forma cruzada el área, la longitud o el recuento de las características de intersección (ESRI, 2024).

Se realizó el proceso tres veces, la primera para obtener los datos por país, la segunda por departamento/provincia y la tercera para municipio/cantón. Una vez que se obtuvieron los cuadros, se procedió a asignar a cada unidad administrativa el uso con mayor porcentaje. Se utilizaron los códigos de celda para determinar los porcentajes por cada uso (cuadro 8).

Figura 6  
Ilustración del proceso de la herramienta Tabulate Intersección



Fuente: ESRI, 2024.

## Población y producto interno bruto (PIB)

Los datos de población fueron descargados de la página web The Humanitarian Data Exchange ([www.data.human.org](http://www.data.human.org)). Se obtuvo una capa vectorial de polígonos hexagonales donde cada entidad contiene el dato de población. Posteriormente, se hizo la extracción de por división político-administrativa para saber la cantidad de población por cantón/municipio, provincia/departamento y país. Luego, se procedió la elaboración de la cartografía temática en donde se utilizó la ruptura natural de Jenks con ajustes nemotécnicos. Estos datos han sido usados en Tatem (2017).

En cuanto al Producto Interno Bruto (PIB) el primer paso es la obtención y creación de entidades espaciales que posean las divisiones político-administrativas. Los datos sobre el PIB se obtuvieron del repositorio Zenodo el cual está amparado por proyecto de la Unión Europea. Los datos consultados fueron *“Data for: Downscaled gridded global dataset for Gross Domestic Product (GDP) per capita at purchasing power parity (PPP) over 1990-2022”*, los mismos se descargan en formato vectorial de tipo polígono mediante un geopaquete (gpk), con el fin de unir los valores PIB a cada uno de los límites políticos-administrativos. De esta manera con ArcGis Pro, se unieron los valores para cada división político-administrativa. En total se unieron y generaron tres capas espaciales que corresponden a la división por país, por departamento/provincia y por municipio/cantón. Estas uniones se llevaron a cabo con la herramienta *“Unión espacial”*, esta herramienta une entidades y tablas de atributos de dos capas espaciales distintas en una sola, para el caso de la variable PIB, estas unieron el valor que contenía la capa consultada de Zenodo, a las capas de los límites políticos-administrativos.

La cantidad de países correspondía con los datos sobre PIB accedidos. A nivel departamental, no se contaba con datos para las provincias/departamentos que corresponden a Costa Rica y a República Dominicana, para este caso, los distintos departamentos poseen el valor a nivel país. Además, ciertos departamentos no estaban presentes o no estaban en su totalidad dentro de la entidad espacial de PIB, dado a esto, los municipios que no se encontraban en la capa de PIB, se les fue asignado al valor del polígono PIB donde hubiera la mayor cantidad de área. Para los municipios, el procedimiento fue el mismo, se configuró la herramienta *“uniones espaciales”* de modo que donde la entidad destino fue la división político-administrativa, las entidades para unir fueron los datos municipales crudos del PIB, la operación se dio de *“uno a uno”*, y la correspondencia resulta de la opción *“Mayor Superposición.”* De esta manera, se crea una capa espacial que da como resultado los valores de PIB para cada municipio con los datos crudos y con la división administrativa.

## **Cartografías**

Para la representación de las variables de la caracterización territorial se generaron dos tipos de mapas temáticos: unos de análisis y otros de síntesis. Los mapas de análisis representan el desarrollo o distribución de uno o varios fenómenos o hechos geográficos, o bien, sólo un aspecto de ellos, con el objeto de determinar sus relaciones con el espacio geográfico. Por tanto, los mapas de análisis corresponden a puntos específicos del espacio geográfico y para su representación se emplean símbolos de implantación puntual. Estos mapas permiten observar los patrones de concentración de los hechos o fenómenos como las áreas de dispersión, es decir, la estructura de las distribuciones (Gómez, 2004).

Los mapas de síntesis son complejos ya que comunican, explican o demuestran los resultados de las investigaciones geográficas en forma simplificada y deben dar respuesta a todos los niveles de preguntas y de lectura, es decir se elaboraron mapas de coropletas donde los datos para las unidades de enumeración generalmente se agrupan en clases y se asigna un color a cada clase. El mapa de coropletas es claramente apropiado cuando los valores de un fenómeno cambian abruptamente en los límites de la unidad de enumeración (Slocum et al. 2022b).

Todos los mapas de análisis fueron creados con la geometría de las entidades y con las variables visuales apropiadas (color, tamaño y forma) con el fin de identificar su distribución y patrones espaciales. Con relación a los mapas de síntesis se detalla a continuación por categoría.

### Estaciones meteorológicas

Para la elaboración de los mapas de coropletas se clasificaron los datos utilizando el método Ruptura Natural de Jenks (Slocum *et al.* 2022a) para municipio y departamento se utilizaron cinco categorías y ajustaron los quiebres a valores mnemotécnicos, para ayudar al lector a su comprensión. En el caso de países se dividió en tres categorías por la poca cantidad de datos.

Se escogió una paleta de colores en tonalidad verde azulado ya que la mayoría de las estaciones registran el dato de precipitación y puede evocar una sensación de frescura y naturaleza, asociándose con el agua y los elementos naturales. La paleta de colores varía en la intensidad

para que represente que a mayor (menor) intensidad del color mayor (menor) presencia cantidad de estaciones (anexo).

#### Infraestructura crítica

Para la elaboración de los mapas de coropletas se clasificaron los datos utilizando el método Ruptura Natural de Jenks (Slocum *et al.* 2022a) para municipio y departamento se utilizaron cinco categorías y ajustaron los quiebres a valores mnemotécnicos, para ayudar al lector a su comprensión. En el caso de países se dividió en tres categorías por la poca cantidad de datos.

Para cada una de las 13 variables se generaron tres mapas de coropletas, a nivel de municipio/cantón, provincia/departamento y país. Se utilizará la misma paleta de naranjas para todas las escalas (anexo). Se escogió este color para que se preste atención a esta infraestructura ante el cambio climático (Brewer, 2016).

#### Uso de suelo

Para la elaboración de la cartografía del uso del suelo se utilizó la misma paleta de colores propuesta por Impact Observatory y ESRI (2021). En el anexo es posible ver la clase, el color y el código de celda (GridCode).

#### Población y producto interno bruto (PIB)

Para la elaboración de los mapas de coropletas se clasificaron los datos utilizando el método Ruptura Natural de Jenks (Slocum *et al.* 2022a) para municipio y departamento se utilizaron cinco categorías y ajustaron los quiebres a valores mnemotécnicos, para ayudar al lector a su comprensión. En el caso de países se dividió en tres categorías por la poca cantidad de datos.

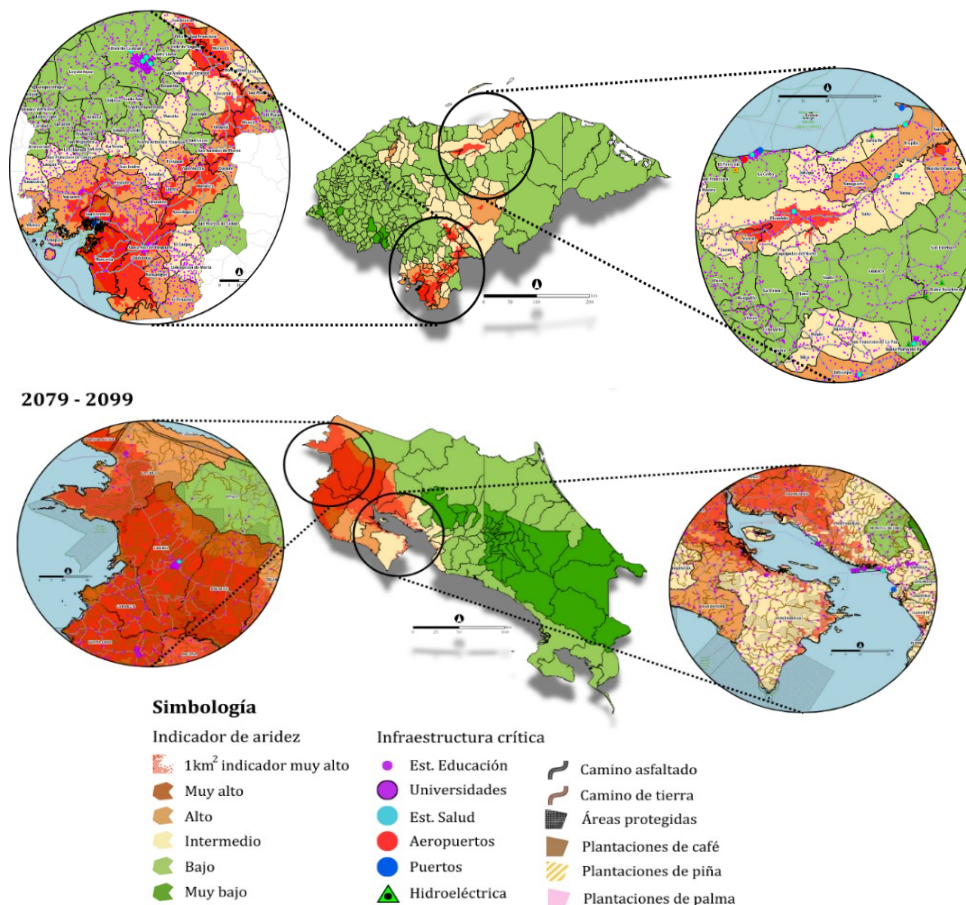
Para cada variable se generaron tres mapas de coropletas, a nivel de municipio/cantón, provincia/departamento y país. Se utilizará la misma paleta de rosados-morado para todas las escalas (anexo). Se escogió esta paleta para diferencias de las otras variables y se puede asociar con población y variables económicas o de riqueza (Brewer (2016).

## Prioridades de adaptación

### Identificación y análisis de territorios críticos

Antes de establecer los territorios prioritarios, el primer paso consiste en identificar los municipios más expuestos al cambio climático, focalizando en aquellos donde se proyecta un aumento significativo de la temperatura, una disminución marcada de la precipitación y mayores niveles de evapotranspiración (mapa 3). Para identificar los territorios críticos, se utilizará el indicador de aridez, ya que incorpora las variables anteriormente mencionadas.

Mapa 3  
Ejemplo de indicador de aridez y elementos expuestos  
2040 - 2060



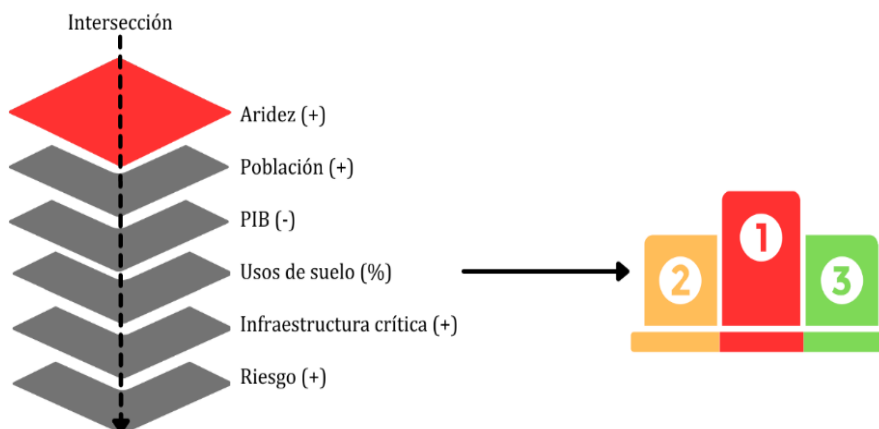
Fuente: Elaboración propia.

Una vez identificados los territorios críticos, se procederá a superponer estos datos climáticos con información socioeconómica, de infraestructura crítica y riesgos para comprender mejor el impacto potencial en cada territorio generado en el Paso 2. Este análisis debe incluir:

- Infraestructura crítica: Se incluirá un análisis detallado de infraestructuras como colegios, hospitales, carreteras, líneas férreas, puertos y aeropuertos.
- Usos de suelo: Se analizarán los usos del suelo para identificar áreas de alta sensibilidad que podrían verse severamente afectadas por la aridez o la falta de agua.
- Riesgos: Se dará cuenta de los eventos peligrosos hidrometeorológicos que han ocasionado desastres como tormentas, huracanes, sequías, inundaciones, entre otros.
- Población: Se considerará la cantidad de habitantes, ya que las áreas con mayor concentración de habitantes son más susceptibles a sufrir efectos adversos significativos en términos de salud, bienestar y seguridad alimentaria.
- PIB: Se analizará el PIB per cápita La identificación de los sectores económicos más vulnerables permitirá enfocar las acciones de adaptación donde sean más necesarias.

Finalmente, se seleccionan los 5 municipios más críticos a las variables climatológicas modeladas y se caracterizan los territorios con mayor aridez de forma específica (figura 10). La exposición de una alta concentración de población, bajo PIB, usos de suelos sensibles y disponibilidad de infraestructura crítica determinará las acciones prioritarias de adaptación.

Figura 10  
Modelo conceptual



Fuente: Elaboración propia.

### **Acciones prioritarias de adaptación para los sectores público y privado**

A partir del ranking de exposición donde se establecen los territorios prioritarios, se desarrollan recomendaciones para que tanto el sector público como privado desarrollen acciones de adaptación:

El sector público debe centrarse en la mejora de la infraestructura esencial, la implementación de políticas de gestión del riesgo, y la promoción de una planificación urbana adaptativa que tenga en cuenta los riesgos climáticos proyectados. Las políticas deben ser diseñadas para reducir los impactos directos sobre la población y los servicios esenciales, y para asegurar que las infraestructuras críticas puedan operar bajo condiciones climáticas extremas (PNUMA, 2023; UNDRR, 2023).

El sector privado debe enfocarse en adaptar su infraestructura y operaciones a las nuevas condiciones climáticas, optimizar el uso de recursos hídricos mediante la implementación de tecnologías eficientes, y fortalecer la resiliencia de las cadenas de suministro para minimizar interrupciones. Es crucial que las empresas desarrollen planes de contingencia que incluyan escenarios climáticos extremos y que integren la sostenibilidad como un eje central en su estrategia empresarial (BM, 2011; BID, 2020).

Ambos sectores deben coordinarse para maximizar la efectividad de las acciones de adaptación, asegurando que las intervenciones sean coherentes y complementarias.

## **Resultados**

### **Análisis de Escenarios**

Los escenarios de cambio climático para precipitación, temperatura y aridez, originalmente generados con una resolución espacial de 1 km<sup>2</sup>, se agregaron a tres niveles administrativos: municipal/cantonal, provincial/departamental y nacional. Esta agregación permite analizar los resultados por unidades territoriales específicas y facilita comparaciones consistentes entre diferentes escalas geográficas. Este enfoque proporciona una visión más detallada y

contextualizada de los impactos del cambio climático en distintos niveles de organización territorial<sup>7</sup>.

Los cambios en precipitación se representan como porcentajes, utilizando una escala divergente centrada en 0%. Los intervalos se agrupan cada 5% hasta  $\pm 50\%$ , con categorías adicionales para  $\pm 50-100\%$ . Los valores positivos (azul cian) indican aumento de lluvias, mientras que los negativos (marrón) señalan disminución. Esta clasificación, adaptada del IPCC, resulta en 22 categorías que permiten una visualización detallada de las variaciones proyectadas en los patrones de precipitación (Hidalgo et al. 2024).

Los escenarios de temperatura se presentan como cambios proyectados, utilizando una clasificación basada en intervalos de  $0.5^{\circ}\text{C}$  hasta los  $2^{\circ}\text{C}$ , y luego en intervalos de  $1^{\circ}\text{C}$  para cambios mayores. Esta escala, alineada con estándares recientes en climatología (IPCC, 2021; The Royal Society, 2020; Bush et al. 2019), permite visualizar detalladamente tanto los cambios sutiles como los más significativos en la temperatura. La progresión resultante ( $0.5^{\circ}\text{C}$ ,  $1^{\circ}\text{C}$ ,  $1.5^{\circ}\text{C}$ ,  $2^{\circ}\text{C}$ ,  $3^{\circ}\text{C}$ ,  $4^{\circ}\text{C}$ , etc.) ofrece una representación clara y completa de las proyecciones de temperatura en diferentes escenarios de cambio climático (Hidalgo et al. 2024).

En cuanto a la aridez, es una condición climatológica que afecta la humedad del suelo y la vegetación, se cuantifica mediante el índice de aridez. Este índice se calcula como la relación entre la precipitación (oferta de agua) y la evapotranspiración potencial (PET, demanda de agua). El cambio climático, al aumentar las temperaturas, incrementa la PET. Si este aumento no se compensa con mayor precipitación, la aridez se intensifica. El aumento en la aridez es producto de la reducción de la oferta de agua (precipitación) y aumento en la demanda de agua por parte de la atmósfera en el futuro (asociada con el calentamiento). Un indicador cercano a 0 refleja mayor aridez, mientras que el más cercano a 4 es menos aridez<sup>8</sup>.

---

<sup>7</sup> Los mapas utilizan divisiones político-administrativas, no criterios naturales. Esto puede resultar en generalizaciones dentro de cada unidad administrativa, ocultando variaciones locales en los patrones climáticos.

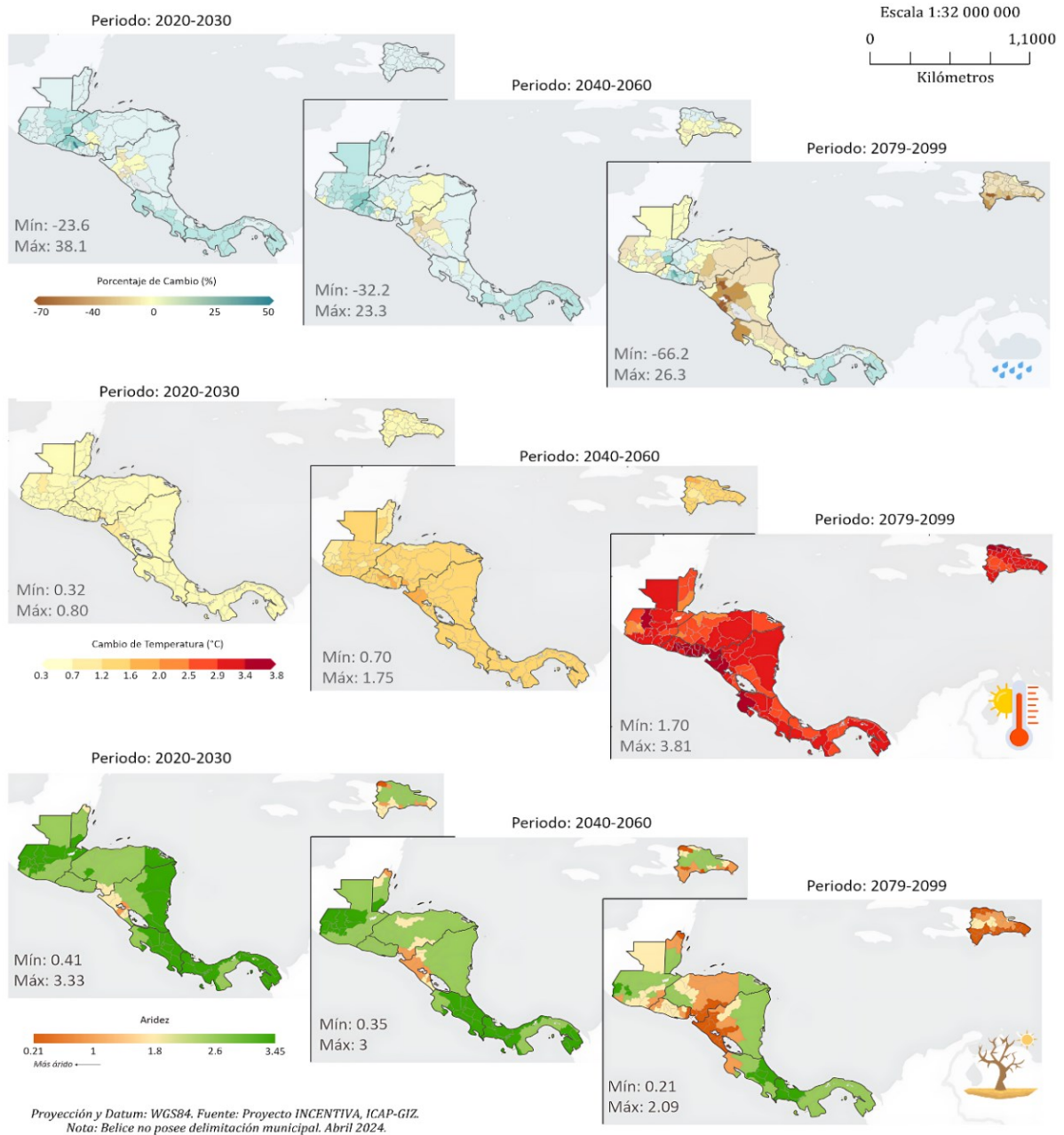
<sup>8</sup> Esta metodología fue usada como insumo para el cálculo de la aridez promedio y extrema en Costa Rica dentro del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático de Costa Rica, 2022 – 2026 (DCC-MINAE, 2022; <https://cambioclimatico.go.cr/plan-a-territorios-resilientes-ante-el-cambio-climatico/>).

A continuación, el mosaico presenta los resultados de las modelaciones para el escenario SSP5-8.5 (mapa 4), basado en un uso intensivo de combustibles fósiles para tres períodos clave:

- Horizonte cercano (2020-2030).
- Horizonte medio (2040-2060).
- Horizonte lejano (2070-2099).

En el análisis se examinan las proyecciones de tres variables críticas: precipitación, temperatura y aridez. Los hallazgos revelan cambios significativos en los patrones climáticos regionales, con variaciones notables entre diferentes áreas geográficas y a lo largo del tiempo. Estas proyecciones sugieren un futuro caracterizado por contrastes más pronunciados en la distribución de las lluvias, un aumento generalizado de las temperaturas y una tendencia hacia condiciones más áridas en gran parte de la región. Comprender estas transformaciones climáticas es fundamental para la planificación estratégica y la implementación de medidas de adaptación en diversos sectores, incluyendo la gestión de recursos hídricos, la agricultura, la planificación territorial y la conservación de ecosistemas.

Mapa 4  
Modelación Escenarios PSS5-8.5



Fuente: Elaboración propia.

Para obtener una comprensión más detallada de las variaciones en la precipitación y temperatura a escalas más específicas en la región, se elaboró un ranking de los 20 municipios que presentan los mayores aumentos porcentuales de precipitación y los mayores aumentos de temperatura para cada período de análisis. Este ranking no pretende reflejar la totalidad de los cambios en la región, sino que se enfoca en destacar los casos más extremos de incremento tomando a la región como un todo y evaluar los cambios en términos relativos dentro de unidades geoespaciales de gobierno local.

### ***Precipitación***

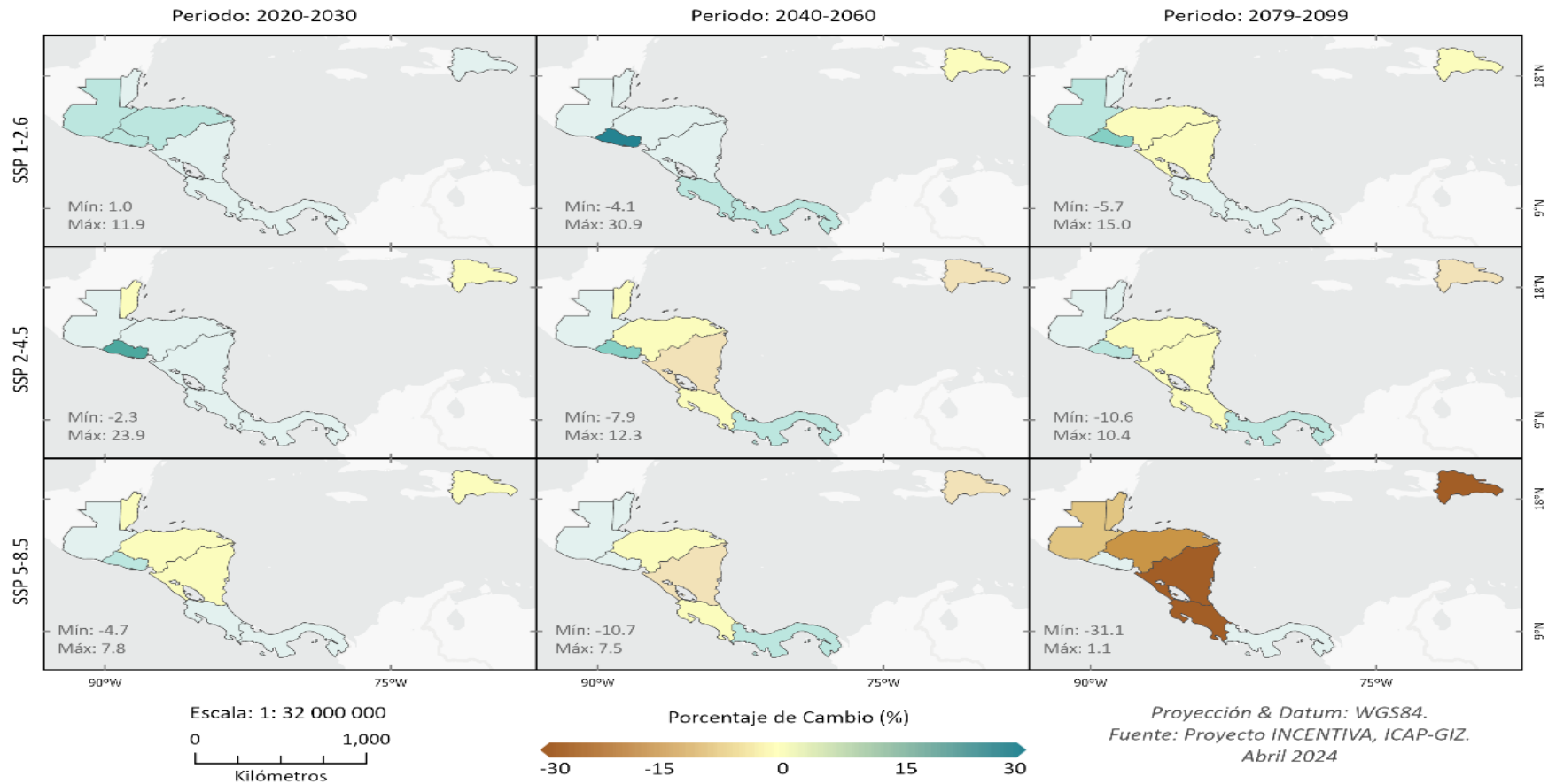
#### Nivel país

Iniciando en a nivel país en todos los escenarios a final de siglo la precipitación tiende a disminuir entre un 5% y 31% con respecto al histórico (1979-2014), siendo más marcado en el escenario SSP5-8.5 (mapa 5). Hay una tendencia general en todos los escenarios a que el área de estudio se vuelva más seca, pero es en el SSP5-8.5 donde esa disminución se espera que sea más intensa al menos para Nicaragua, Costa Rica y República Dominicana. El Salvador y Panamá son los que menos estarían experimentando la disminución (mapa 5). Esta escala es de referencia general, pero es preferible llegar a una escala mayor para la toma de decisiones, por lo que seguidamente se hablará a nivel de departamento/provincia y municipio/cantón. Conforme se va aumentando la escala, se empiezan a observar patrones espaciales de concentración tanto donde aumenta la lluvia (colores verdes) como donde disminuye (colores amarillos).

Prioridades de adaptación para Centroamérica y República Dominicana a partir de la evidencia científica y los escenarios de cambio climático para la región

Mapa 5

Promedio por país del porcentaje de cambio de escenario SSP con relación a la precipitación histórica.1979-2014



Fuente: Elaboración propia.

#### Nivel Departamento/Provincia

En el caso de los departamentos/provincias al ser polígonos más pequeños que los países, la generalización obtiene un rango más amplio de datos. Se mantienen el patrón entre los escenarios con respecto al mosaico de países, pero en este caso se pueden observar diferencias a los internos de cada nación.

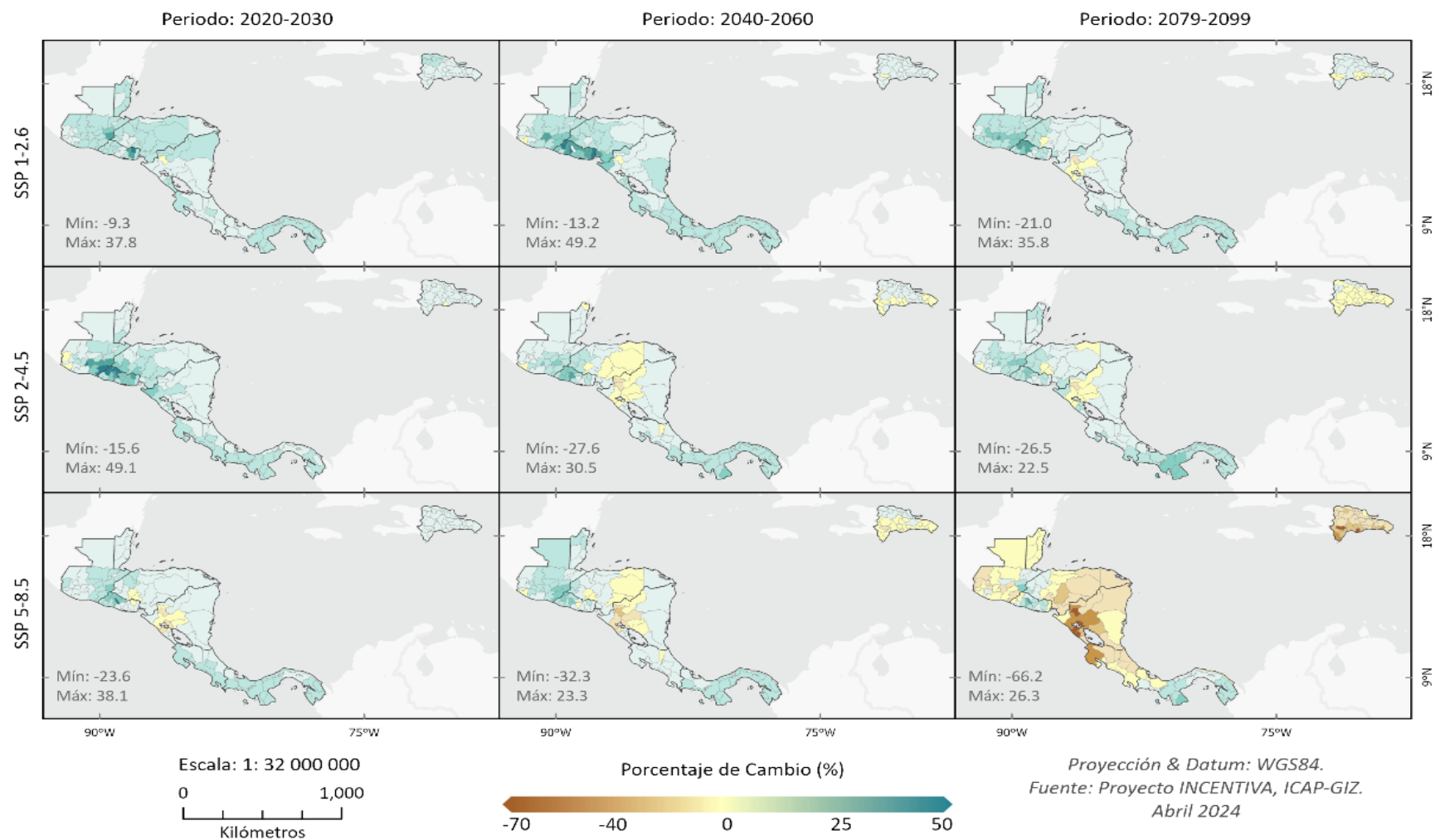
Haciendo énfasis en el escenario SSP5-8.5 que se presenta en la última fila del mapa 6 para el periodo 2020-2030 en la región Pacífico de Nicaragua se observan departamentos en donde disminuye la precipitación en el orden entre el 10% y 20%, entre ellos los departamentos León, Matagalpa, Estelí, Madriz, Boaco, Masaya y Managua. En Honduras los departamentos Morazán, Intibucá y La Paz se esperaría una reducción entre el 1% y 10%.

Para el periodo 2040-2060, en Nicaragua la reducción de la precipitación oscila entre el 10% y 30% pero ahora se suman a la lista departamentos del centro del país como Jinotega y Nueva Segovia. En Honduras los departamentos Olancho, Paraíso y Colón reparten un 10% menos de lluvia. Es importante señalar que en este periodo en Chiquimula, Jalapa y Jutiapa (Guatemala) y Santa Ana (EL Salvador) la precipitación reporta un aumento del 20%.

Para finales de siglo en Guatemala solo tres departamentos no reportan disminución de la lluvia: Chiquimula, Jalapa y Jutiapa que se espera que la precipitación aumente en un 20%. En Honduras solo Ocotepeque reporta un incremento del 10% en las precipitaciones. En Belice, Nicaragua y Costa Rica todos los departamentos municipios presentan reducción de lluvias. En El Salvador cuatro departamentos se visualizan con reducción de lluvias: Santa Ana, Ahuachapán, La Unión y Usulután. En Panamá, la mitad del país se espera que disminuya la precipitación en departamentos principalmente en el Caribe, y que aumente la precipitación en departamentos en el Pacífico.

Mapa 6

Promedio por departamento/provincia: porcentaje de cambio de escenario SSP con relación a la precipitación histórica. 1979-2014



**Cuadro 8**

Porcentaje cambio de precipitación en departamentos en Guatemala, Honduras y El Salvador

Porcentaje de cambio de precipitación	Guatemala 22 departamentos			Honduras 18 departamentos			El Salvador 14 departamentos		
	2020- 2030	2040- 2060	2079- 2099	2020- 2030	2040- 2060	2079- 2099	2020- 2030	2040- 2060	2079- 2099
	21 a 30		9					7	7
11 a 20		14	5		6		14	36	14
1 a 10	14	59	9		17	6	21	21	50
0	41		5	28	0	0	36		
-1 a -10	5	14	14	6	61	22		36	7
-11 a -20	41	5	55	67	17	28	14		21
-21 a -30			14			33	7		
-31 a -40						11			

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 9**

Porcentaje cambio de precipitación en departamentos en Belice, Costa Rica y Panamá

Porcentaje de cambio de precipitación	Belice 6 distritos			Costa Rica 7 provincias			Panamá 13 provincias		
	2020- 2030	2040- 2060	2079- 2099	2020- 2030	2040- 2060	2079- 2099	2020- 2030	2040- 2060	2079- 2099
	11 a 20								31
1 a 10		50			29		8	62	38
0	33			71			92		
-1 a -10		50			71			8	31
-11 a -20	67		100	29		29			15
-21 a -30						43			
-31 a -40						14			
						14			

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 10**

Porcentaje cambio de precipitación en departamentos en República Dominicana y Nicaragua

Porcentaje de cambio de precipitación	República Dominicana 32 departamentos			Nicaragua 17 departamentos		
	2020- 2030	2040- 2060	2079- 2099	2020- 2030	2040- 2060	2079- 2099
	1 a 10					12
0	38			12		
-1 a -10	6	66			35	
-11 a -20	56	28	3	47	24	18
-21 a -30		6	56	29	24	24
-31 a -40			22	12	6	6
-41 a -50			13			29
-51 a -60			6			18
-61 a -70						6

Fuente: Elaboración propia.

**Nivel municipal**

En la escala de municipios se visualiza con mayor detalle estos cambios de disminución de la precipitación, principalmente en el Pacífico de Guatemala, Nicaragua y Costa Rica, donde corresponde con la delimitación del Corredor Seco Centroamericano (Quesada *et al.* 2019). En el Caribe en el escenario SSP1-2.6 no se observa mayor cambio, sin embargo, en el SSP5-8.5 en el periodo de 2040-2060 en Honduras y Nicaragua se observa una disminución de la precipitación de alrededor del 10% menos con respecto al histórico, este comportamiento se incrementa a finales de siglo donde hay zonas que se espera que una reducción que oscila entre el 30% y 20%.

Para complementar la información del mapa 7, los cuadros 11, 12 y 13 muestran la evolución de los porcentajes de los municipios para el escenario SSP5-8.5 el cual está basado en combustibles fósiles. En el caso de Guatemala en el primer periodo (2020-2030) más bien se identifica que más del 50% de los municipios tienen un aumento en la cantidad de lluvia del 10%, situación que se mantiene en el segundo periodo (2040-2060). Para final de siglo (2079-2099) la precipitación muestra una disminución entre el 10% y 30% en promedio en más del 80% de los municipios. En Honduras en el primer periodo (2020-2030) es muy similar a Guatemala, sin embargo, para el segundo periodo más del 60% de sus municipios se espera que experimenten una reducción en la

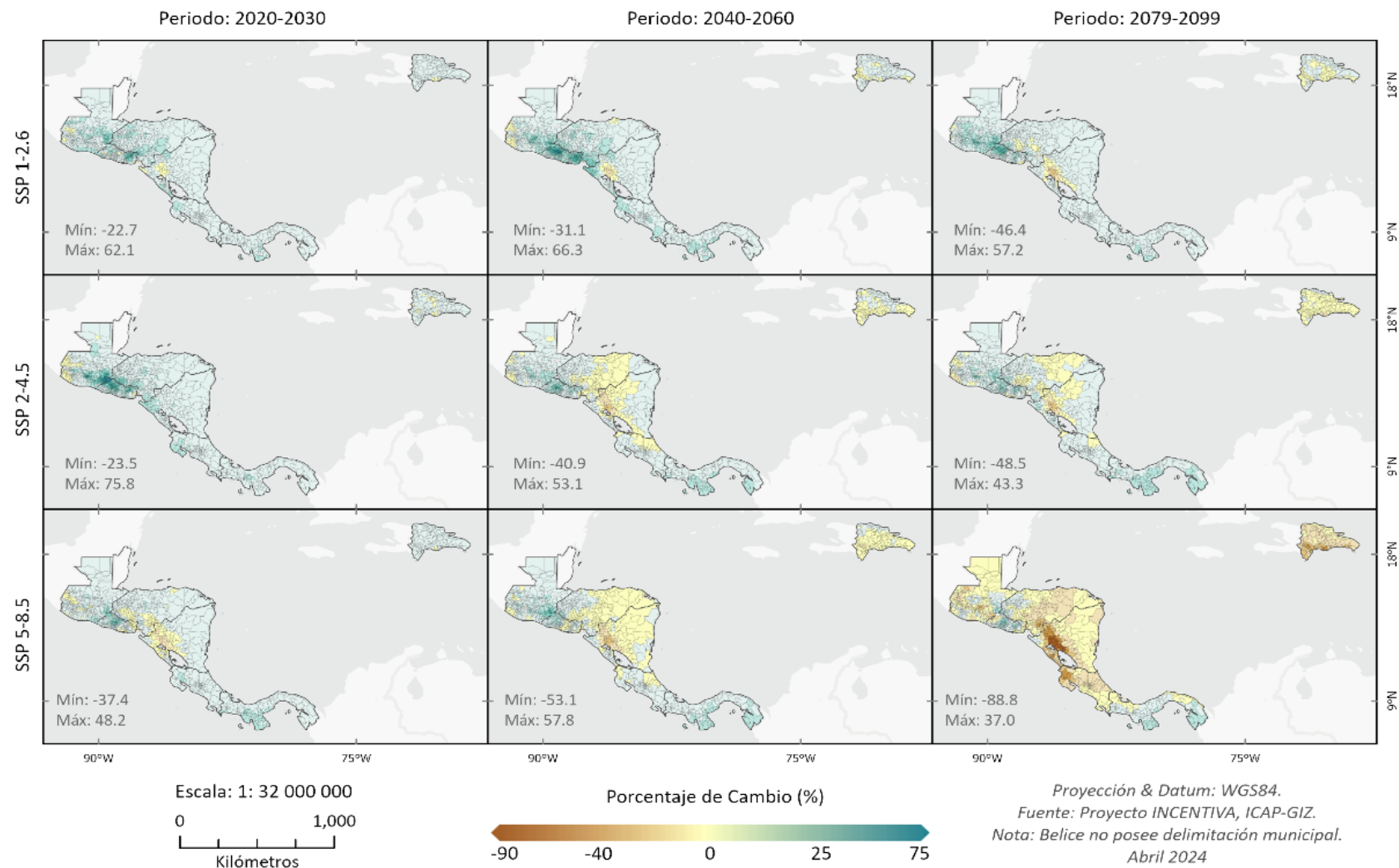
precipitación de hasta el 20% con respecto al histórico entre 1979 y 2014, y hacia final de siglo más del 80% de los municipios experimentará una reducción entre el 10% y 40% de precipitación.

En El Salvador a finales de siglo más del 30% de los municipios experimentaron una disminución de precipitación entre el 1 y 40%. Nicaragua llama la atención que más del 80% de los municipios en todos los periodos esperan tener reducciones de la lluvia. Para el primer período esta reducción puede andar en el orden de hasta el 30% mientras que para el segundo periodo podría llegar a 60% menos. Nicaragua es el país en donde hay municipios que llegan a presentar una disminución de más del 80% con respecto al histórico a finales de siglo (cuadro 12).

En Costa Rica es hasta finales de siglo donde se evidencia una reducción en la precipitación entre el 1 y 20% de los cantones. En Panamá la disminución sólo se observa en el 1% de los municipios a final de siglo. En República Dominicana, la situación es diferente para el primer periodo no se esperaría disminución de la lluvia, para el segundo periodo un 6% de los municipios empezaría a experimentar una leve disminución, pero para finales de siglo más del 90% de los municipios se espera que la reducción de la precipitación oscile entre el 10% al 30 % principalmente, llegando a reportar el 1% de los municipios con una reducción de hasta el 50% (cuadro 13).

Mapa 7

Promedio por Municipio/Cantón: porcentaje de cambio de escenario SSP con relación a la precipitación histórica. 1979-2014



Cuadro 11

Porcentaje cambio de precipitación en municipios en Guatemala y Honduras

Porcentaje de cambio de precipitación	Guatemala – 338 municipios			Honduras – 298 municipios		
	2020-2030	2040-2060	2079-2099	2020-2030	2040-2060	2079-2099
31 a 40	1	2				
21 a 30	1	7	1			
11 a 20	7	20	3	4	6	2
1 a 10	50	48	12	41	31	5
0						
-1 a -10	31	18	20	36	37	29
-11 a -20	10	4	27	15	23	17
-21 a -30			20	3	2	22
-31 a -40			11			15
-41 a -50			5			6
-51 a -60			1			4

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 12

Porcentaje cambio de precipitación en municipios en El Salvador y Nicaragua

Porcentaje de cambio de precipitación	El Salvador – 262 municipios			Nicaragua – 153 municipios		
	2020-2030	2040-2060	2079-2099	2020-2030	2040-2060	2079-2099
41 a 50	4					
31 a 40	5	2	3			
21 a 30	11	7	10			
11 a 20	20	20	27		1	
1 a 10	34	40	28	18	14	1
0				1	1	1
-1 a -10	15	23	15	44	41	5
-11 a -20	12	7	10	20	18	14
-21 a -30			6	11	16	25
-31 a -40			2	5	5	17
-41 a -50					3	10
-51 a -60					3	9
-61 a -70						9
-71 a -80						5
-81 a 90						4

Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 13**

Porcentaje cambio de precipitación en municipios en Costa Rica, Panamá y República Dominicana

Porcentaje de cambio de precipitación	Costa Rica 81 cantones			Panamá 81 municipios			República Dominicana 158 municipios		
	2020-2030	2040-2060	2079-2099	2020-2030	2040-2060	2079-2099	2020-2030	2040-2060	2079-2099
41 a 50							2		
31 a 40	5			33	31	19			
21 a 30	86	14		67	59	28	39	2	
11 a 20									
1 a 10	9	81	4		10	41	61	49	
0		5	16				9	44	6
-1 a -10			48				1	6	41
-11 a -20			23						30
-21 a -30			1						12
-31 a -40			7						10
-41 a -50									1

Fuente: Elaboración propia.

#### Ranking de municipios más lluviosos

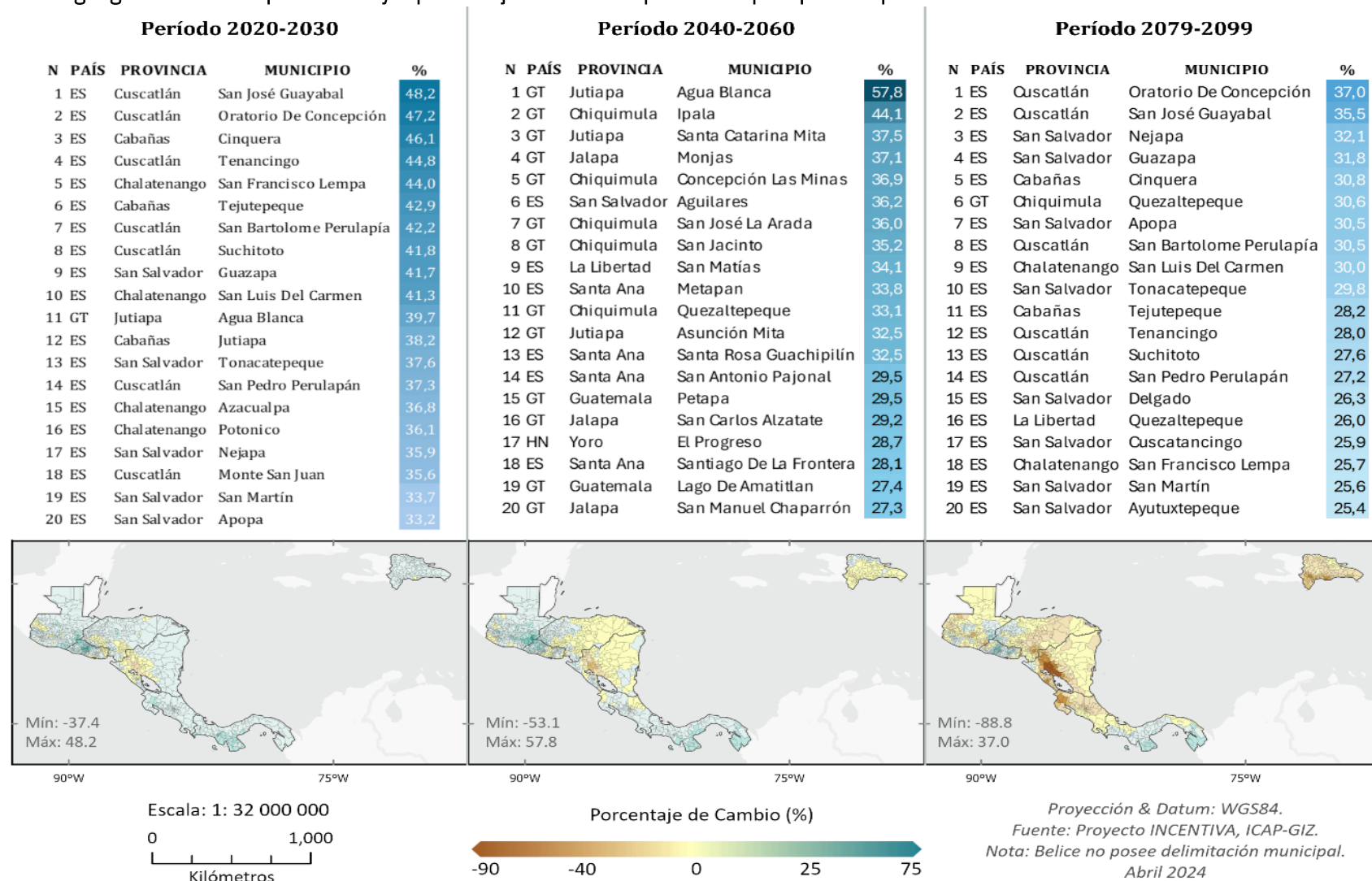
La modelación SSP5-8.5 proyecta cambios significativos en los patrones de precipitación porcentual en América Central y la República Dominicana. En el horizonte cercano (2020-2030). Los 20 municipios más lluviosos muestran aumentos en la precipitación que oscilan entre el 33,2% y el 48,2% (figura 11). Los aumentos más notables se concentran en El Salvador, en el Sur de Guatemala y en las proximidades de la zona del Trifinio América Central (intersección de Guatemala, Honduras y El Salvador). En este período, para El Salvador se observa un aumento máximo de la precipitación del 48,2% en San José Guayabal, Oratorio de Concepción (47,2%), Cinquera (46,1%). En el caso de Guatemala el mayor registro de precipitaciones se da en el municipio de Agua Blanca (39,7%).

Para el horizonte medio (2040-2060), ocurren los mayores aumentos de precipitación y se concentran principalmente en el sur de Guatemala como Agua Blanca con aumento del 57,8%, Ipala de un 44%, Santa Catarina Mita de un 37,5%, entre otros. El norte de El Salvador en los municipios de Aguilares con aumentos de un 36,2%, San Matías de un 34,1% y Metapán de un 33,8%. Para el municipio de El Progreso en la provincia de Yoro en Honduras se proyecta un aumento de un 28,7% en las precipitaciones.

En el horizonte lejano (2070-2099), El Salvador y la vertiente del Pacífico de Panamá muestran los incrementos porcentuales más pronunciados. En contraste, las reducciones más severas de precipitación se proyectan inicialmente en el noroeste de Nicaragua con una disminución máxima de precipitaciones de -88,8% en el período 2079-2099. Con el avance del tiempo, esta tendencia se extiende hacia el norte de Costa Rica, afectando tanto la costa caribeña como la Pacífica, con mayor intensidad en esta última. La República Dominicana también experimentó cambios notables, con disminuciones de precipitación proyectadas principalmente en Santo Domingo y en la frontera sur con Haití. Para este período, los municipios de El Salvador se presentan como los más húmedos, destacándose Oratorio de Concepción (37%), San José Guayabal (35,5%), Nejapa (32,1%), Guazapa (31,8%), entre otros (figura 11).

Figura 11

Ranking regional de municipios con mayor porcentaje de variación positiva de precipitación por escenarios



## **Temperatura**

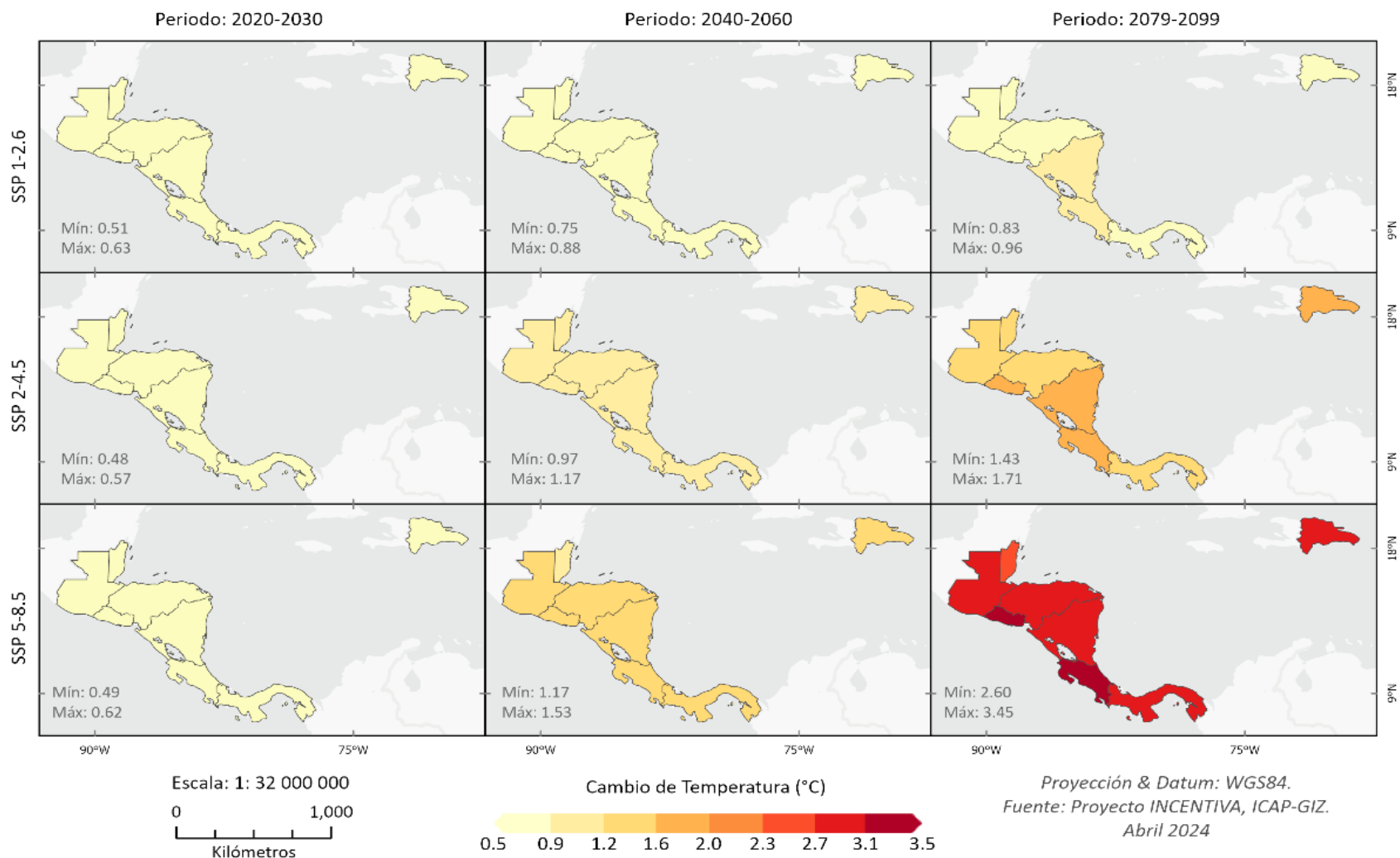
### Nivel país

Los escenarios de cambio climático indican que se percibirá un aumento de la temperatura empezando a partir de los 0,5 °C para el primer periodo que es del 2020-2030, por lo que este incremento en la temperatura ya se empieza a validar con registros. La Organización Meteorológica Mundial (OMM) reportó que el año 2023 fue el más caliente de los que se tiene registros a partir de seis modelos (OMM, 2024).

A nivel país y haciendo énfasis en el escenario SSP5-8,5, se puede observar que el aumento de temperatura es de 0,5°C para el periodo 2020-2030 en todos los países. Entre 2040 y 2060 la temperatura aumenta entre 1°C y 2°C, pero es hasta final de siglo (2079-2099) cuando en Costa Rica y El Salvador se prevén aumentos de hasta 3,5 °C y en el resto de los países se puede hablar de 3°C (mapa 8).

Mapa 8

Promedio por País: Cambio de escenario SSP con relación a la temperatura histórica. 1979-2014



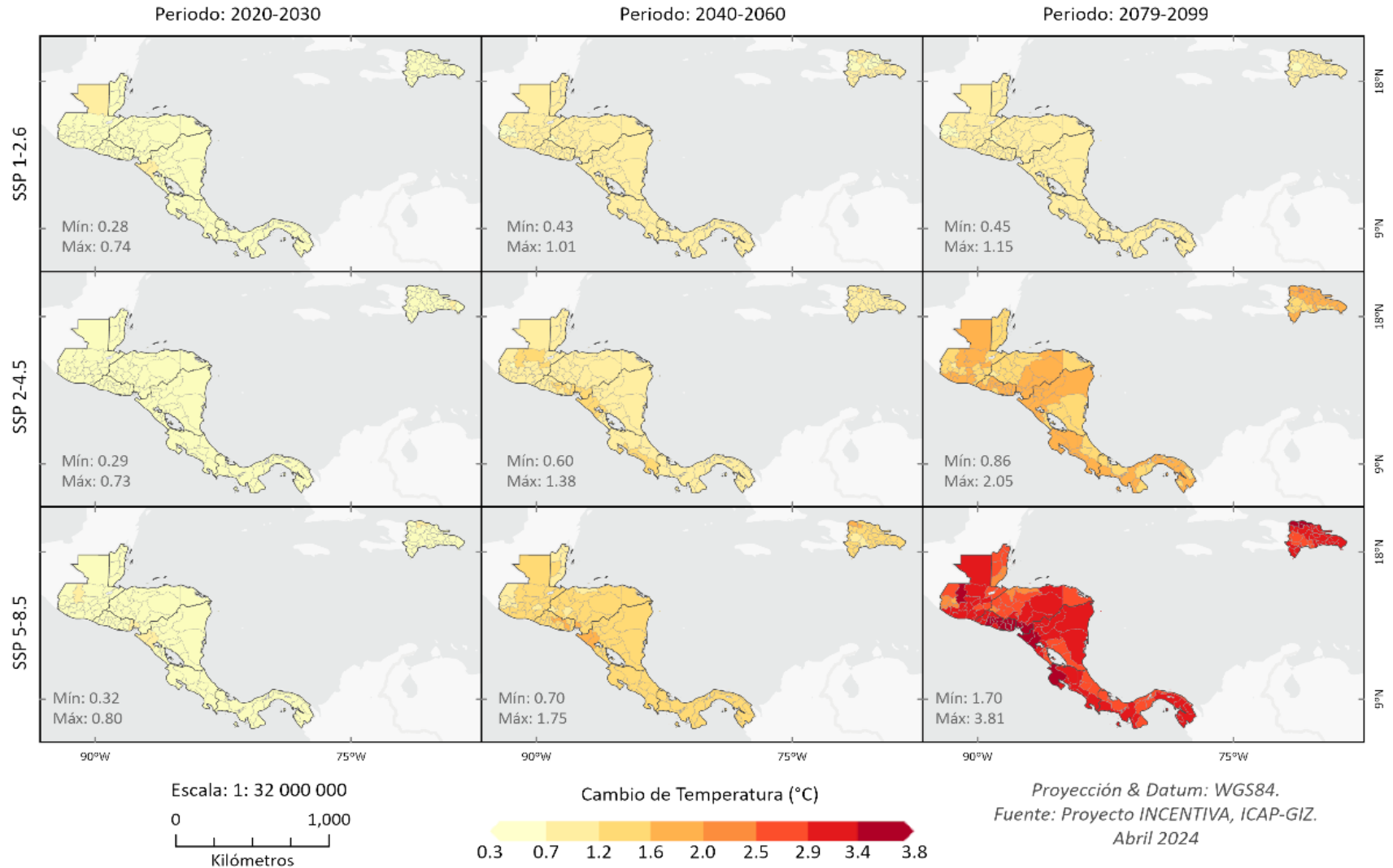
#### Nivel provincial/departamental

Si bien la temperatura no se comporta de la misma forma que la precipitación, ya que está condicionada por la altitud, a nivel de departamento se pueden identificar lugares donde se esperaría que aumente más la temperatura con respecto a la tendencia general de 0.5 °C. En Quiché (Guatemala), Valle (Honduras), La Unión (El Salvador), León y Chinandega (Nicaragua), Puerto Plata y Valverde (República Dominicana) este aumento sería de aproximadamente 1°C para el periodo 2020-2030.

Para el periodo 2040-2060 el comportamiento general es que aumente la temperatura aproximadamente 1,5°C. Valle (Honduras), Chinandega, León (Nicaragua), San Miguel, Cuscatlán, Cabañas (El Salvador) y Monte Cristi (República Dominicana) son los departamentos que experimentaron un aumento superior a 1,5°C. Finalmente, para 2079-2099 la mayoría de los departamentos experimentarían un aumento entre 2°C y 2,5°C, sin embargo, hay 18 departamentos que podrían llegar a reportar un aumento mayor a 3,5°C. Estos departamentos son: Quiché (Guatemala), Valle y Choluteca (Honduras), La Libertad, La Unión, Usulután, San Miguel, Morazán, San Salvador, San Vicente y Cabañas (El Salvador), Chinandega y León (Nicaragua), Guanacaste (Costa Rica), Monte Cristi, Valverde y Puerto Plata (República Dominicana) que se pueden identificar con el color más rojo en el mapa 9.

Mapa 9

Promedio por Departamento/Provincia: Cambio de escenario SSP con relación a la temperatura histórica. 1979-2014



El mapa 9 muestra cómo estará aumentando la temperatura en los departamentos de América Central y República Dominicana y para complementar la representación cartográfica el cuadro 14 contiene los porcentajes de departamentos por periodo que estaría aumentando la temperatura. Hay países que tendrán departamentos con más del 50% con aumento de temperatura mayor a los 3°C a final de siglo.

**Cuadro 14**

**Aumento de temperatura por departamento**

País	Periodo	0.5°C	1.0°C	1.5°C	2°C	2.5°C	3°C	3.5°C	4°C
<b>Guatemala</b> 22 depart.	2020-2030	18	82						
	2040-2060		5	95					
	2079-2099				5	14	27	55	
<b>Belice</b> 6 distr.	2020-2030	67	33	0					
	2040-2060			100					
	2079-2099					33	67		
<b>Costa Rica</b> 7 prov.	2020-2030		100						
	2040-2060			71	29				
	2079-2099						29	71	
<b>El Salvador</b> 14 depart.	2020-2030		100						
	2040-2060			36	64				
	2079-2099							43	57
<b>Honduras</b> 18 depart.	2020-2030	11	89						
	2040-2060			83	11				
	2079-2099					17	72	6	6
<b>Nicaragua</b> 17 depart.	2020-2030		100						
	2040-2060			88	12				
	2079-2099						71	18	12
<b>Panamá</b> 13 prov.	2020-2030	15	85						
	2040-2060			100					
	2079-2099						85	15	
<b>República Dominicana</b> 32 depart.	2020-2030	31	69						
	2040-2060			78	22				
	2079-2099						28	69	3

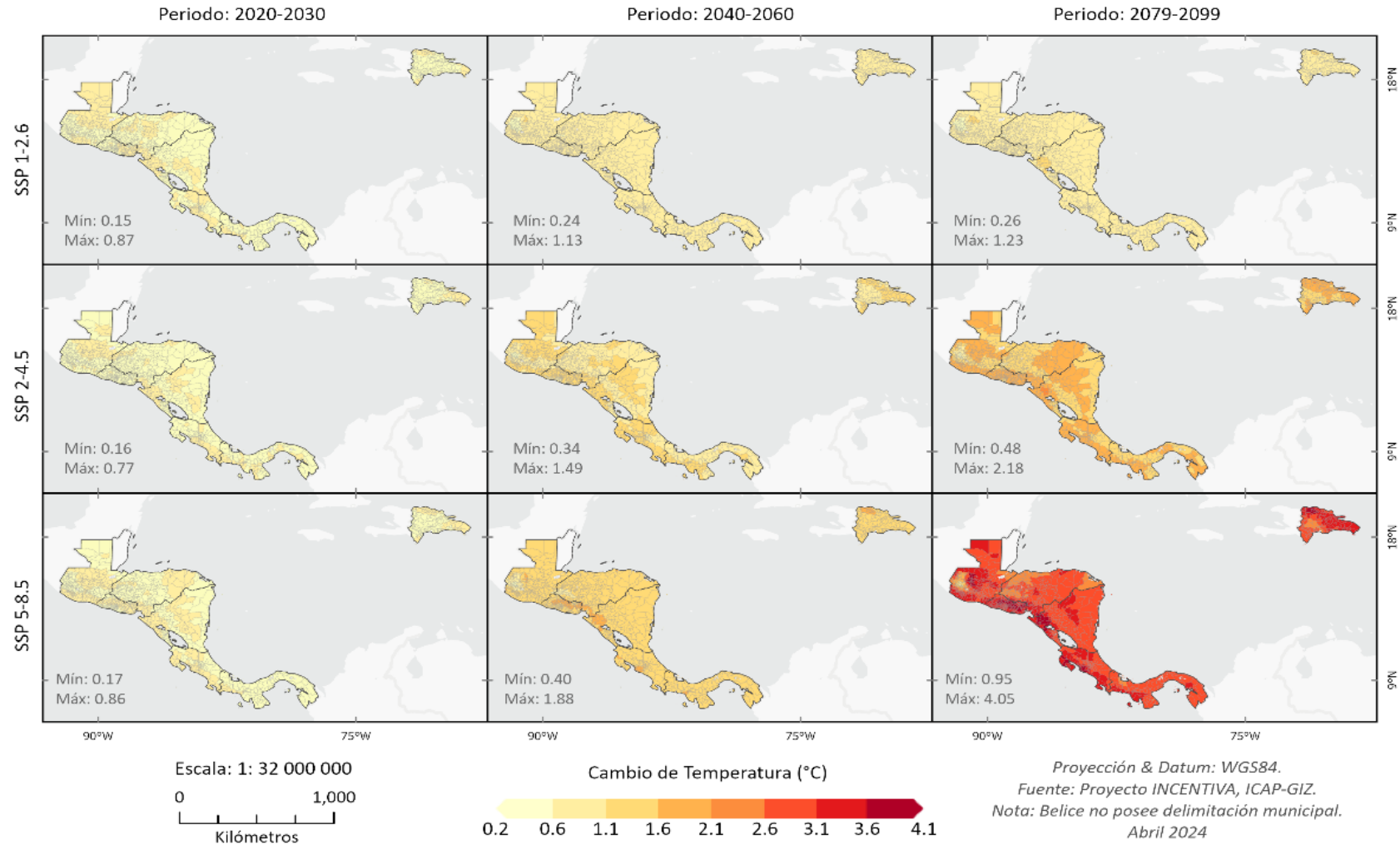
Fuente: Elaboración propia.

#### Nivel municipal/cantonal

Al analizar los datos a nivel municipal/cantonal de la temperatura para el escenario SSP5-8,5 (tercera fila del mapa 10) para el periodo 2020-2030 (primera columna) la mayoría de los municipios en América Central experimentaron el aumento de temperatura de 0,5 °C. 551 municipios/cantones superan este los 0,6°C, por ejemplo, en República Dominicana estos se localizan al norte de la isla La Española en su vertiente hacia el Océano Atlántico. En Panamá 11 municipios de la provincia Chiriquí, entre ellos Alanje, Barú, Boquerón y Remedios aumentará la temperatura más allá de los 0,6°C. En Costa Rica prácticamente todos los cantones colindantes con el Océano Pacífico a excepción de Nandayure y La Cruz (Guanacaste).

Mapa 10

Promedio por Municipio/Cantón: Cambio de escenario SSP con relación a la temperatura histórica. 1979-2014



En el 2040-2060 el aumento de temperatura se centra en la costa Pacífica de América Central y en el norte de República Dominicana donde se esperan aumento de más de 2°C (tercera fila segunda columna mapa 10). Los municipios en América Central coinciden en gran parte con el Corredor Seco Centroamericano, principalmente en Nicaragua como por ejemplo Villanueva, Somotillo, Chinandega (Chinandega) y Telica, La Paz Centro (León). En Honduras municipios cercanos al Golfo de Fonseca como Choluteca, Pespire (Choluteca) y Nacaome (Nacaome). En El Salvador varios hacia el interior del país como Quetzapelque y San Juan Opino (La Libertad). En Guatemala solo cuatro municipios esperan el mayor aumento en la temperatura: Chajul, Cunén, San Andrés Sajcabajá (Quiché), y Aytla (San Marcos). En Costa Rica Carrillo (Guanacaste), Garabito, Parrita (Puntarenas) y Acosta, Turribares y Puriscal (San José). En Panamá los municipios Remedios y Tolé (Chiriquí), y finalmente en República Dominicana 15 municipios entre ellos Villa Vásquez, Guayabín (Montecristi) y Luperón, Villa Isabela (Puerto Plata).

Para el periodo 2079-2099 América Central y República Dominicana experimentarán un incremento significativo entre los 2°C y 4°C (tercera fila, tercera columna mapa 10). Los municipios con incrementos mayores a 3,6°C son aproximadamente 130 y se encuentran en Guatemala en el departamento Chiché como Chajul, Chiniquel, Sacapulas, San Andrés Sajcabajá, entre otros. En Honduras, algunos municipios limítrofes con El Salvador como Mapulaca y Virginia (Lempira), Aramecina, Caridad y Langue (Valle). En El Salvador son 80 municipios con este aumento de temperatura y estos se encuentran hacia el interior del país, como Alegría, El Triunfo, Nueva Granada (Usulután). En Nicaragua son 12 municipios de los departamentos León (El Jicaral, La Paz Centro, Larreynaga, Telica, Quezalaguaque, El sauce y Nagarote) y Chinandega (Somotillo, Posoltega, Chichigalpa, Villanueva y Chinandega). En Costa Rica Carrillo y Nicoya (Guanacaste), Garabito y Parrita (Puntarenas) y Puriscal y Turribares (San José). En República Dominicana son 9 los municipios Guayabín (Montecristi), Guanatico, Villa Isabale, Los Hidalgos (Puerto Plata), Bisonó, Villa González (Santiago), Esperaza, Laguna Salda y Mao (Valverde).

Para completar el mapa 10, el cuadro 15 presenta los porcentajes de municipios por país que experimentarían el aumento de temperatura cada 0,5°C y por cada periodo para el escenario SSP5-8,5. Así como se observa en el mapa, la evolución de la temperatura entre 2040-2060 y 2079-2099 es bastante más marcada que el cambio entre la década actual y 2040-2060. En Guatemala para 2020-2030 el 99% de los municipios aumentará entre 0,5°C y 1°C. Entre 2040-2060 el 76% subirá 1,5°C, pero para 2079-2099 el 85% estará entre los 2,5°C y 4°C. De manera muy similar se repetirá en los demás países, a excepción de Panamá donde se esperaría que el mayor incremento sea de hasta 3.5°C.

**Cuadro 15**  
**Aumento de temperatura por municipio/cantón**

País	Periodo	0.5°C	1.0°C	1.5°C	2°C	2.5°C	3°C	3.5°C	4 °C
Guatemala	2020-2030	26	73	1					
	2040-2060	3	17	76	4				
	2079-2099		1	5	8	11	28	41	5
Honduras	2020-2030	13	79	7	1				
	2040-2060		6	79	15				
	2079-2099					17	58	15	10
El Salvador	2020-2030	1	99						
	2040-2060			40	60				
	2079-2099						3	55	42
Nicaragua	2020-2030		1	8	7	12			
	2040-2060	1		81	18				
	2079-2099	1					60	27	13
Costa Rica	2020-2030	4	96						
	2040-2060			77	23				
	2079-2099						49	37	14
Panamá	2020-2030	19	81						
	2040-2060			85	15				
	2079-2099						63	37	
República Dominicana	2020-2030	32	68						
	2040-2060			79	21				
	2079-2099						2	28	61

Fuente: Elaboración propia.

#### Ranking regional de municipios con mayores aumentos de temperatura

De forma particular, la modelación SSP5-8.5 (figura 12), proyecta aumentos significativos de temperatura en la región de estudio. En el horizonte cercano (2020-2030), se modelan incrementos que oscilan entre 0,17°C y 0,86°C, con un promedio de 0,6°C. Para

este período, el aumento máximo de temperatura es de 0,9 °C, observado en Villanueva y Larreynaga, 0,8°C en Telica y El Sauce en Nicaragua. Los municipios de Guatemala Chajul y Cunen con un aumento de 0,8°C. Al igual que los municipios El Triunfo, Limón, Bonito Oriental con aumentos de 0,8°C para Honduras, solo por mencionar algunos. Los 20 municipios con mayores aumentos de temperatura muestran incrementos entre 0,8 °C y 0,9 °C.

Para el horizonte medio (2040-2060), los cambios se intensifican notablemente. Se proyectan aumentos de hasta 2.1°C en áreas específicas como el sur de El Salvador, la vertiente Pacífica de Honduras y Nicaragua, la provincia de Puntarenas en Costa Rica y el norte de la República Dominicana. El resto de la región experimenta incrementos entre 1,1°C y 1,6°C respecto al período histórico de 35 años (1979-2014). Para este período se observa una mayor variabilidad en el aumento de temperatura, con valores que oscilan entre 0,40 °C y 1,9 °C. El aumento máximo, de 1,9 °C, se registró en Villanueva y en Larreynaga de Nicaragua. Aparece el municipio de Esperanza de República Dominicana con aumento de temperatura de 1,8°C, al igual que el de El Paisnal y Aguilares de El Salvador con aumento de 1,8°C. Los 20 municipios con mayores aumentos de temperatura presentan incrementos entre 1,7 °C y 1,9 °C.

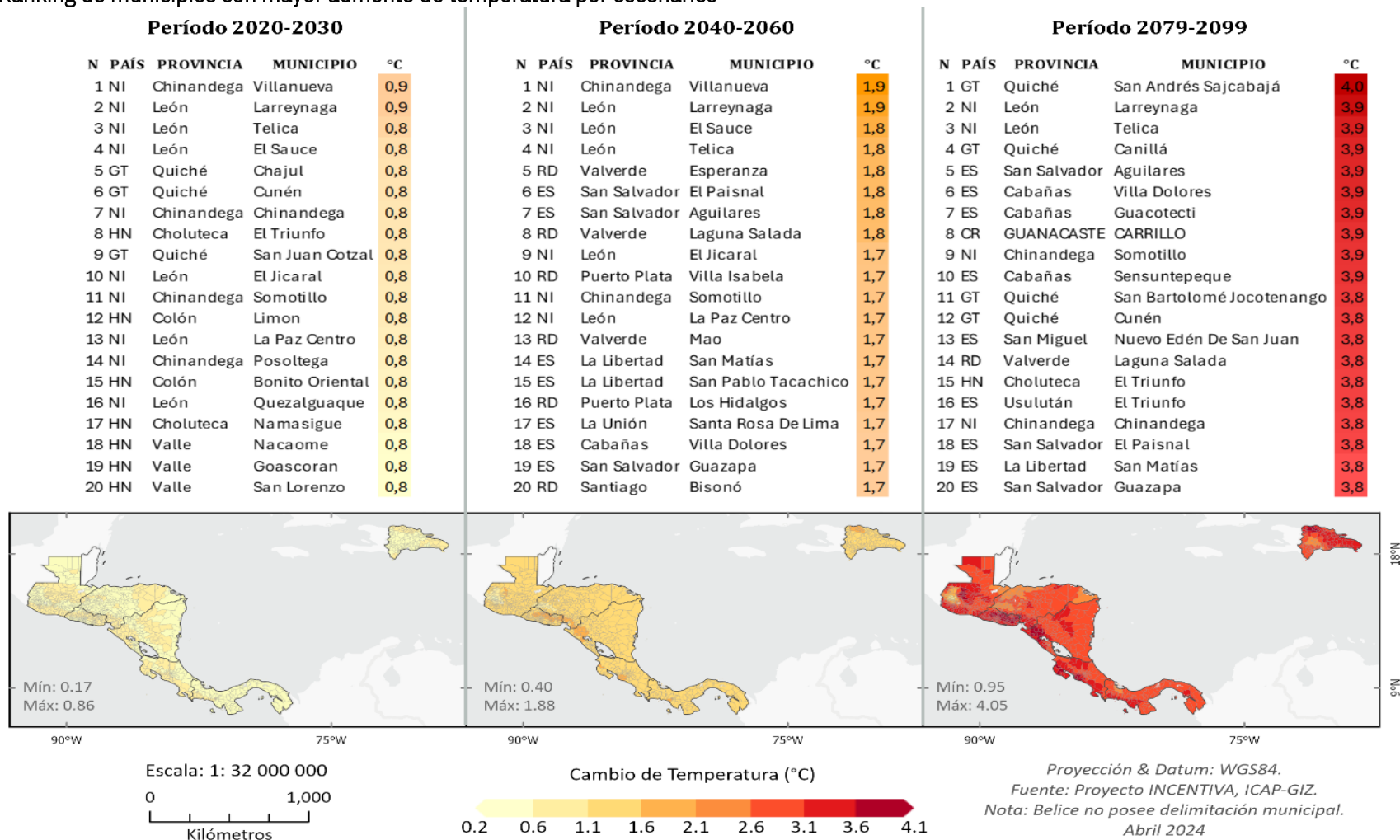
En el horizonte lejano (2070-2099), los aumentos de temperatura son sustanciales, variando desde un mínimo de 0.9°C hasta un máximo de 4.05°C en toda la región. Notablemente, todos los países muestran incrementos superiores a 3.1°C en amplias zonas. Este calentamiento intenso afecta particularmente: el norte y centro de Guatemala, la mayor parte de El Salvador, el sur y parte de la vertiente caribeña de Honduras, la vertiente Pacífica de Nicaragua, el centro y norte de Costa Rica, incluyendo toda su costa Pacífica, el suroeste y sureste de Panamá y las vertientes norte y este de la República Dominicana. Para este período, el rango de aumento de temperatura se amplía considerablemente, con valores que van desde 0.95 °C hasta 4.0 °C. El aumento máximo de 4.0 °C se observa en San Andrés Sajcabajá, de la provincia de Quiché, Guatemala. Le sigue Larreynaga y Telica de Nicaragua con un aumento de 3.9°C. En El Salvador se proyectan aumentos de temperatura de 3.9°C en los municipios de Aguilares, Villa

Dolores y Guacotecti. En Costa Rica, el cantón de Carillo de la provincia de Guanacaste proyecta también un aumento de 3.9°C. Los 20 municipios con mayores aumentos de temperatura muestran incrementos entre 3.8 °C y 4.0 °C, los cuales pueden verse en la figura 4 (anexo).

A partir de lo anterior, se observa un incremento constante en los máximos de temperatura y variabilidad a lo largo de los períodos, con los incrementos más significativos proyectados para 2079-2099. Los municipios en Nicaragua y Guatemala, especialmente en las provincias de Chinandega, León, y Quiché, muestran los mayores aumentos de temperatura, lo que sugiere una necesidad urgente de planes de adaptación específicos para estas áreas.

Mapa 11

Ranking de municipios con mayor aumento de temperatura por escenarios



## **Aridez**

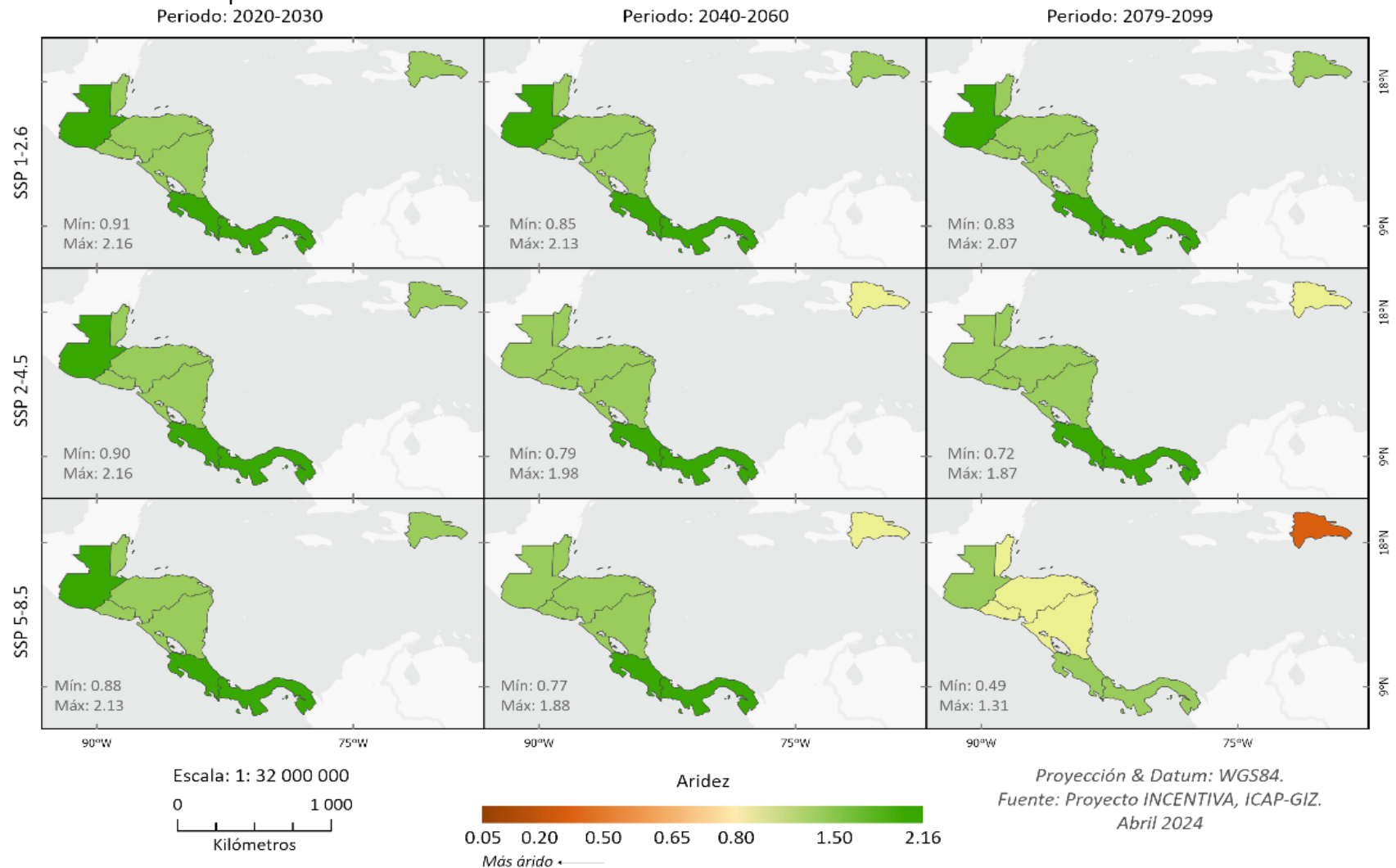
### Nivel nacional

La aridez indica la relación entre la lluvia que humedece el suelo y la necesidad de agua de la atmósfera. El mapa 11 indica a nivel país y haciendo énfasis en el escenario SSP5-8.5, que durante el periodo 2020-2030 (tercera fila, primera columna), la clasificación de la aridez según la FAO (1993) coloca a Guatemala como un país muy húmedo, mientras que República Dominicana se categoriza como húmedo.

Sin embargo, para el periodo 2040-2060 (tercera fila, segunda columna), se produce un cambio: Guatemala pasa de muy húmedo a húmedo y República Dominicana de húmedo a subhúmedo. Es hacia finales del siglo (2079-2099) cuando se evidencian transformaciones más significativas en todos los países. Guatemala mantiene su clasificación como húmedo desde el periodo anterior (2040-2060), mientras que Belice, El Salvador, Honduras y Nicaragua cambian de húmedo a subhúmedo. Costa Rica y Panamá pasan de muy húmedo a húmedo, y República Dominicana pasa de subhúmedo a semiárido (mapa 11).

Mapa 11

Escenarios de la aridez por País



#### Nivel provincial/departamental

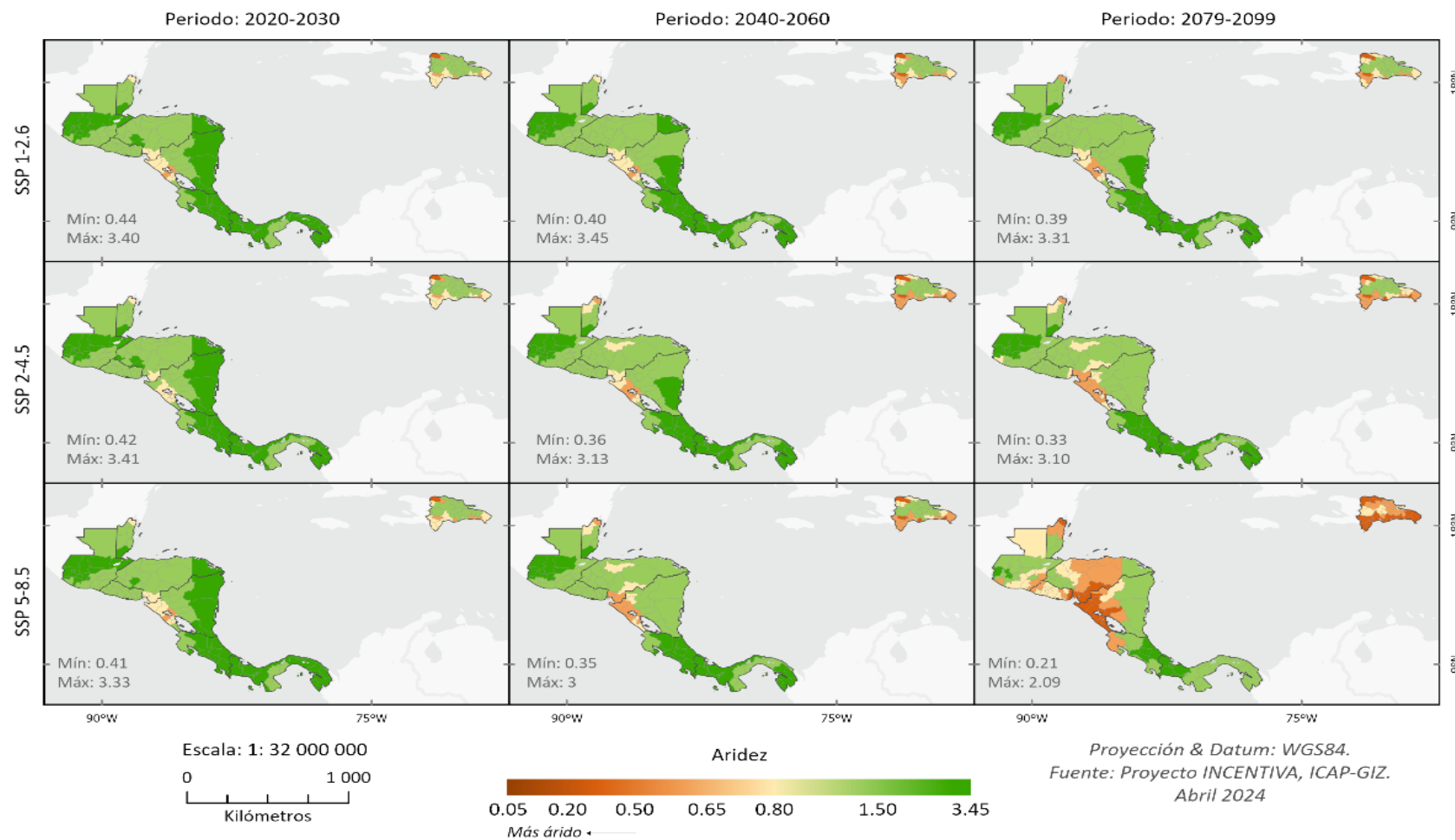
El comportamiento de la aridez a nivel departamental/provincial permite observar con mayor detalle los cambios que ocurrirán en el territorio (mapa 12). El escenario SSP5-8.5 (tercera fila) muestra como el área de estudio se volverá más seca. En el periodo 2020-2030 (primera columna) los departamentos Managua (Nicaragua), Peravia, Baoruco, Valverde, La Romana, San Pedro de Macorís (República Dominicana) muestran indicios de aridez clasificándose como seco subhúmedo, mientras que Montecristi (República Dominicana) es semi-árido.

Para el 2040-2060 (segunda columna) son 13 los departamentos que se clasifican como seco-subhúmedo, que son: Corozal (Belice), Valle, Choluteca (Honduras), Chinandega, Managua, León, Granada (Nicaragua), La Altagracia, Azua, Independencia, Barahona, San Pedro de Macorís, Pedernales (República Dominicana). Los departamentos Montecristi, Baoruco, Valverde, Peravia y La Romana en República Dominicana están en condición semi-árida.

Para el 2079-2099 (tercera columna) son 28 los departamentos/provincias que se encuentran en condición seco-subhúmedo y 34 como semi-árido. De estos 34 departamentos, 13 están dentro del Corredor Seco Centroamericano, los cuales son: Valle, Choluteca, Paraíso (Honduras), y Chinandega, Managua, León, Boaco, Madriz, Estelí, Granada, Masaya, Carazo, Rivas (Nicaragua). Mientras que en República Dominicana 18 departamentos serán también considerados como semi-áridos, estos se ubican en la costa Atlántica y costa Caribe, entre ellos: Pevaria, Montecristi, Bauroco, Azua, entre otros.

El cuadro 16 muestra los porcentajes por condición de aridez según FAO (1993) para los departamentos/provincia del área de estudio. De forma general se observa que la categoría semi-árido estaría presente a finales de siglo en Belice (17%), Honduras (22%), El Salvador (7%), Nicaragua (59%). En el caso de República Dominicana esta condición se presenta desde el periodo 2020-2030 con un 3%, 2040-2060 con un 16% y 2079-2099 con un 53%.

Mapa 12  
Escenarios de la aridez por Departamento/provincia



**Cuadro 16**  
**Porcentaje de aridez por departamento/provincia**

País	Periodo	Semi-árido	Seco subhúmedo	Subhúmedo	Húmedo	Muy húmedo
<b>Guatemala</b> 22 depart.	2020-2030				45	55
	2040-2060				55	45
	2079-2099		14	27	45	14
<b>Belice</b> 6 distr.	2020-2030			17	67	17
	2040-2060		17	16	50	17
	2079-2099	17	33		50	
<b>Honduras</b> 18 depart.	2020-2030			11	78	11
	2040-2060		11	17	72	
	2079-2099	22	28	17	33	
<b>El Salvador</b> 14 depart.	2020-2030				100	
	2040-2060				100	
	2079-2099	7	21	71		
<b>Nicaragua</b> 17 depart.	2020-2030		6	29	47	18
	2040-2060		24	29	47	
	2079-2099	59	18	6	18	
<b>Costa Rica</b> 7 prov.	2020-2030				14	86
	2040-2060				14	86
	2079-2099		14		43	43
<b>Panamá</b> 13 prov.	2020-2030				31	69
	2040-2060				46	54
	2079-2099				77	23
<b>República Dominicana</b> 32 depart.	2020-2030	3	16	22	59	
	2040-2060	16	19	19	47	
	2079-2099	53	31	16		

Fuente: Elaboración propia.

#### Nivel municipal/cantonal

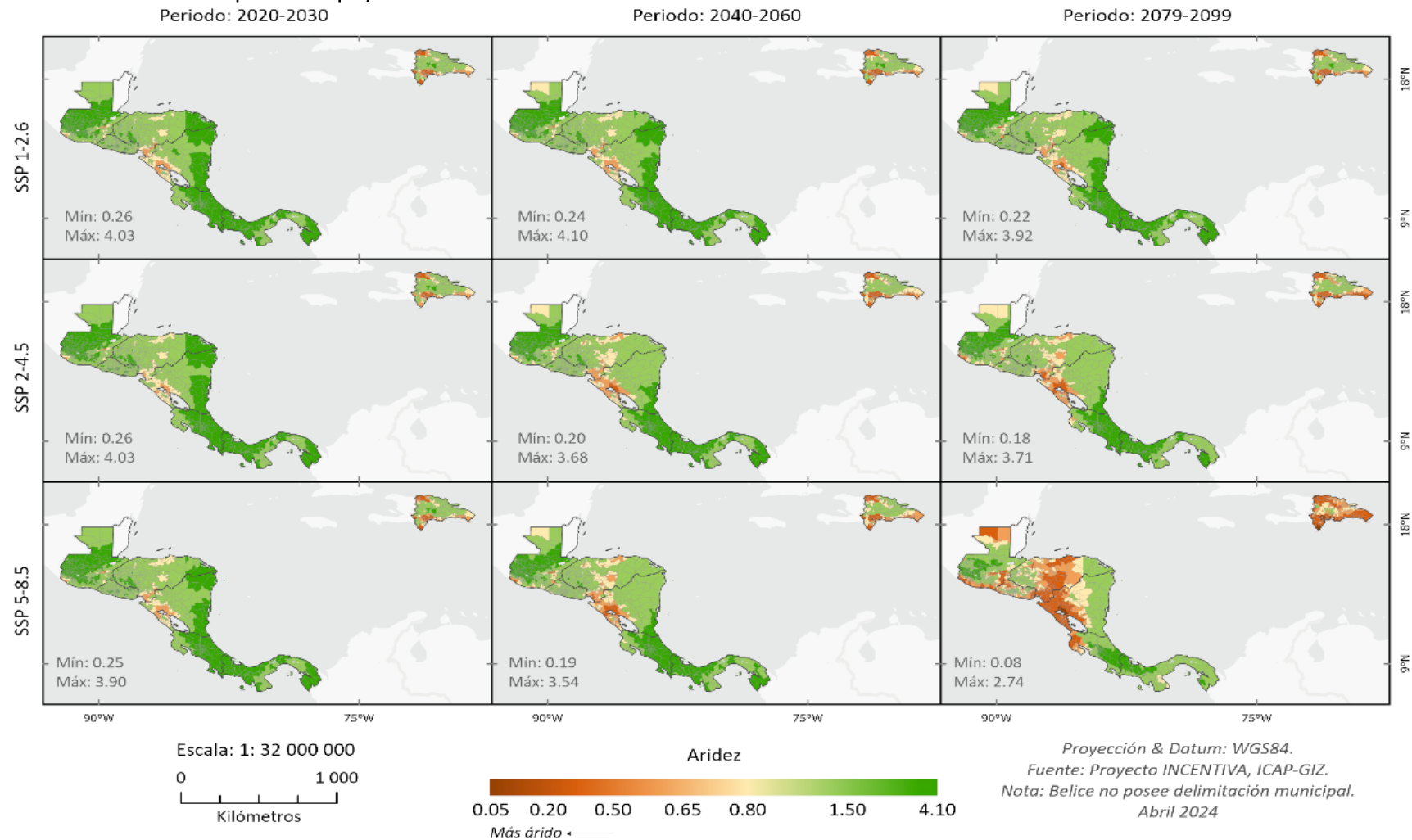
En la escala de municipio/cantón para el escenario SSP5-8.5, el cual se visualiza en la última fila del mapa 13, se puede observar como en la región se presenta la condición de seco-subhúmedo, semiárido y árido. Para el periodo 2020-2030, 31 municipios dentro del CSC se clasifica como seco-subhúmedo, entre ellos se puede mencionar Choluteca, Apacilagua, Marcovia, Morolica, Santa Ana de Yusguare en Choluteca, Honduras y Tititapa, Ciudad Sandino, San Francisco Libre en Managua, y El Jicaral y La Paz Centro en León, Nicaragua. En República Dominicana son 22 seco-subhúmedos entre ellos Luperón y Villa Isabela Puerto Plata), Consuelo, Guayacanes y San Pedro de Macorís (San Pedro

de Macorís). Como semiárido en Nicaragua se puede mencionar a Corn Island y en Guatemala a Estanzuela. El país con más municipios en esta condición es República Dominicana con 24, entre ellos: Villa Vásquez, Las Matas de Santa Cruz, Castañuelas, Pepillo Salcedo, Montecristi y Guayabín (Montecristi).

Para el 2040-2060 (segunda columna), el CSC se aprecia claramente en el Pacífico de Nicaragua. La costa en República Dominicana se aprecia con condiciones bastante secas, situación que se agrava para el periodo 2079-2099 en la isla. En América Central, el CSC se acentúa más en el mismo periodo. Llama la atención el norte de Guatemala (fuera del CSC) con los municipios Flores, Melchor de Mencos, San Andrés y San José en Petén que se proyectan como semiáridos.

Mapa 13

Escenarios de la aridez por municipio/cantón



El cuadro 17 muestra los porcentajes por condición de aridez según FAO (1993) para los municipios/cantones del área de estudio. Aquí aparece la categoría hiper-árido para Nicaragua. Al igual que en el mapa 13, se incrementa el porcentaje de municipios en condiciones más secas. Llama la atención que tanto Nicaragua como República Dominicana más del 50% de sus municipios actualmente tienen una condición húmeda, pero a finales de siglo esto cambiará y el 60% de los municipios de Nicaragua y 48% de República Dominicana se proyectan como semi-áridos.

**Cuadro 17**  
Porcentaje de aridez por municipio/cantón

País	Periodo	Hiper-árido	Árido	Semi-árido	Seco subhúmedo	Sub-húmedo	Húmedo	Muy húmedo
Guatemala	2020-2030				2	2	28	68
	2040-2060			2	1	6	32	59
	2079-2099			10	10	6	40	34
Honduras	2020-2030				4	11	67	18
	2040-2060			1	10	17	60	11
	2079-2099			26	20	19	31	4
El Salvador	2020-2030						79	21
	2040-2060					4	93	2
	2079-2099			9	26	24	42	
Nicaragua	2020-2030	1			8	26	57	8
	2040-2060	1		5	24	27	42	3
	2079-2099	1	2	60	12	12	13	
Costa Rica	2020-2030						17	83
	2040-2060					1	20	79
	2079-2099			5	6	6	35	48
Panamá	2020-2030						35	65
	2040-2060						43	57
	2079-2099					11	67	22
República Dominicana	2020-2030			15	14	18	51	2
	2040-2060		1	22	18	22	38	
	2079-2099		11	48	23	15	3	

Fuente: Elaboración propia.

#### Ranking regional de municipios más áridos

La modelación SSP5-8,5 proyecta cambios significativos en la aridez (figura 13). Los valores más bajos del indicador de aridez corresponden a zonas con mayor aridez (tonos marrones), al contrario, los valores más lejos del cero (tonos verdosos) corresponden a áreas con menos aridez y, por tanto, mayor disponibilidad de agua en superficie.

En el horizonte cercano (2020-2030), las condiciones de mayor aridez se concentran en la vertiente Pacífica de Honduras, la zona centro-este de Nicaragua y las regiones noroeste y sur de la República Dominicana. En contraste, las áreas menos áridas, con mayor disponibilidad de agua proyectada, incluyen el centro de Guatemala, el sureste de Honduras, la vertiente caribeña de Nicaragua, la mayor parte de Costa Rica y Panamá, y en menor medida, el centro de la República Dominicana. Para este período el municipio de Cristóbal, en Independencia, República Dominicana, presenta el índice de aridez más bajo con un valor de 0,25, indicando la mayor aridez. Los 20 municipios con mayores índices de aridez muestran valores entre, .25 y 0,46 y se encuentran en República Dominicana, a excepción de Estanzuela en la provincia de Zacapa, Guatemala.

Para el horizonte medio (2040-2060), las zonas áridas se expanden, afectando nuevas áreas como el sur de Guatemala, el norte y centro de Honduras, y levemente el norte de Costa Rica. Estas regiones están asociadas al Corredor Seco Centroamericano (CSC). Panamá mantiene condiciones de baja aridez, mientras que la República Dominicana experimenta un aumento de la sequedad en su región sur. Para este período de tiempo, en análisis de los municipios más áridos de la región muestra que el municipio de Cristóbal, en Independencia, República Dominicana, continúa siendo el municipio con mayor aridez registrando un valor de 0,19 y de América Central sigue siendo el municipio de Estanzuela de Guatemala. Los 20 municipios con mayores índices de aridez presentan valores entre 0,19 y 0,38.

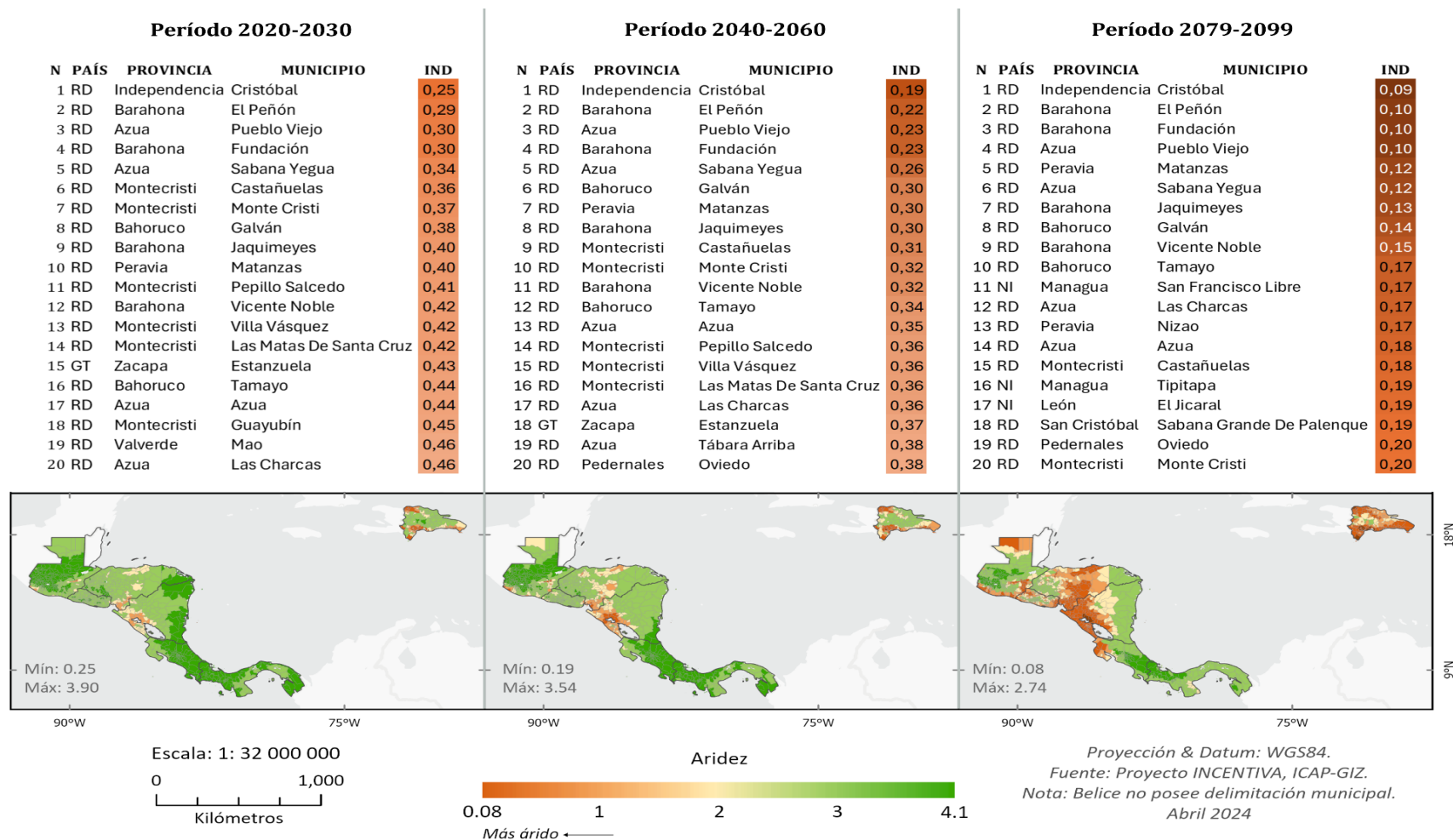
Por último, en un horizonte lejano (2079-2099), se proyecta un aumento generalizado de la aridez en toda la región. Honduras, Nicaragua y la República Dominicana se ven particularmente afectadas, con condiciones de alta aridez en la mayor parte de sus

territorios. La vertiente Pacífica de Guatemala, El Salvador, Costa Rica y Panamá también muestra un incremento significativo de la aridez. Las áreas menos áridas se limitan al centro de Guatemala, centro-sur de Costa Rica y norte de Panamá. En la República Dominicana, las condiciones áridas abarcan la mayor parte del territorio. La modelación proyecta una tendencia hacia condiciones más áridas en gran parte de América Central y la República Dominicana a lo largo del siglo XXI. Para este período, el rango del índice de aridez se amplía considerablemente, con valores que van desde 0,08 hasta 0,20.

Cristóbal, en Independencia, República Dominicana, sigue siendo el municipio más árido con un índice de 0,09. Y aparece entre los más áridos los siguientes municipios de Nicaragua: San Francisco Libre (0,17), Tipitapa (0,19) y El Jiracal (0,19).

En el análisis se observa una tendencia al aumento de los índices de aridez a lo largo de los períodos. Se observa un patrón emergente de intensificación de la aridez, especialmente notable en el Corredor Seco Centroamericano (CSC) y en casi toda la República Dominicana, con énfasis en su vertiente caribeña. Los municipios en la República Dominicana, especialmente en las provincias de Independencia, Barahona, Azua y Montecristi, muestran consistentemente los valores más áridos al igual que municipios de la provincia de Managua en Nicaragua. Esto subraya la necesidad de implementar estrategias de gestión del agua y adaptación a sequías en estos gobiernos locales para enfrentar los desafíos futuros.

Figura 13  
Ranking de municipios con grado de aridez por escenarios



## Caracterización territorial

### Infraestructura crítica

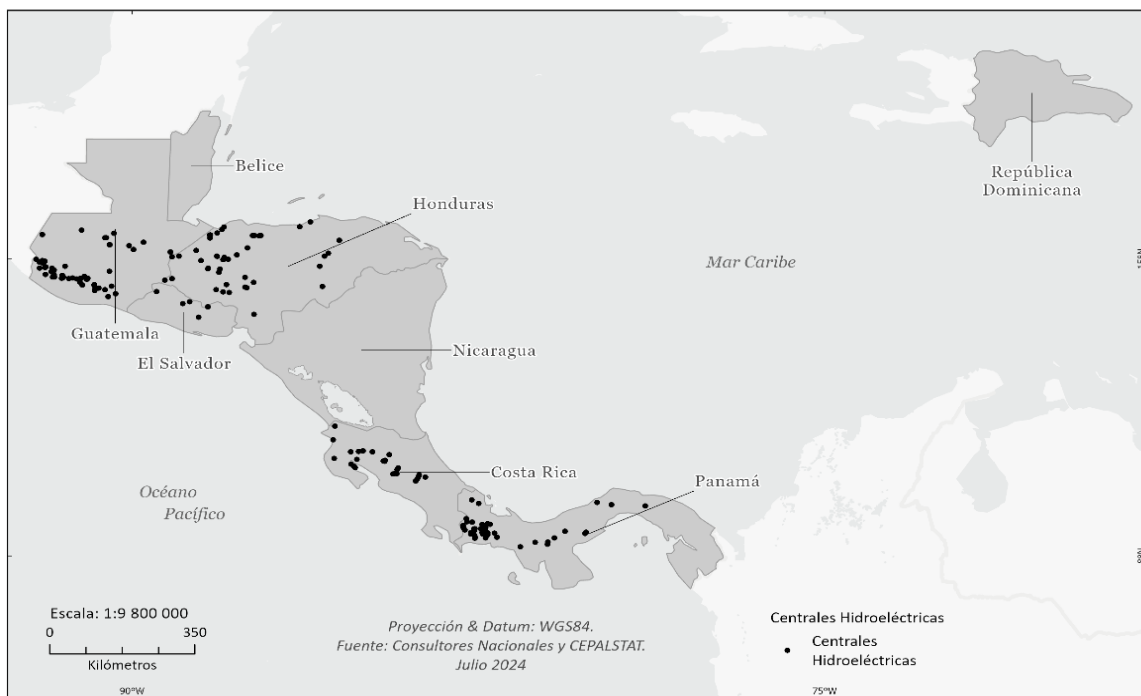
En este apartado se presentan infraestructura que puede ser de importancia para la planificación del territorio de frente al cambio climático, pasando por el sector energía con centrales de generación de electricidad energías limpias; salud como hospitales y principales centros de salud, educación como universidad y centros educativos, turismo como hoteles costeros y marinas; y finalmente transporte con la identificación de las principales carreteras, así como las secundarias que dan conexión a centros urbanos, aeropuertos y puertos para la conectividad regional.

#### Centrales hidroeléctricas

Se refieren tanto a las hidroeléctricas que poseen embalse como las de caída libre. Se ubicaron en la región. Se determinó la cantidad por país y municipio/cantón.

#### Mapa 14

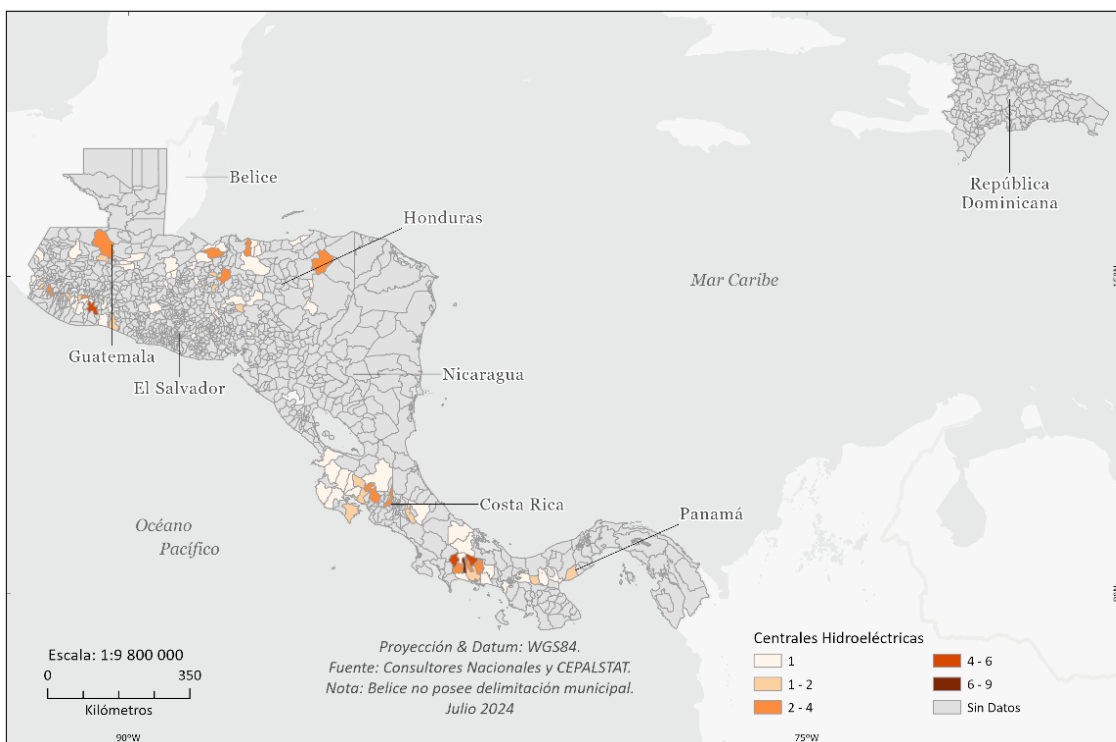
#### Centrales hidroeléctricas en América Central y República Dominicana



Fuente: Elaboración propia.

### Mapa 15

#### Centrales Hidroeléctricas por municipio/cantón en América Central y República Dominicana



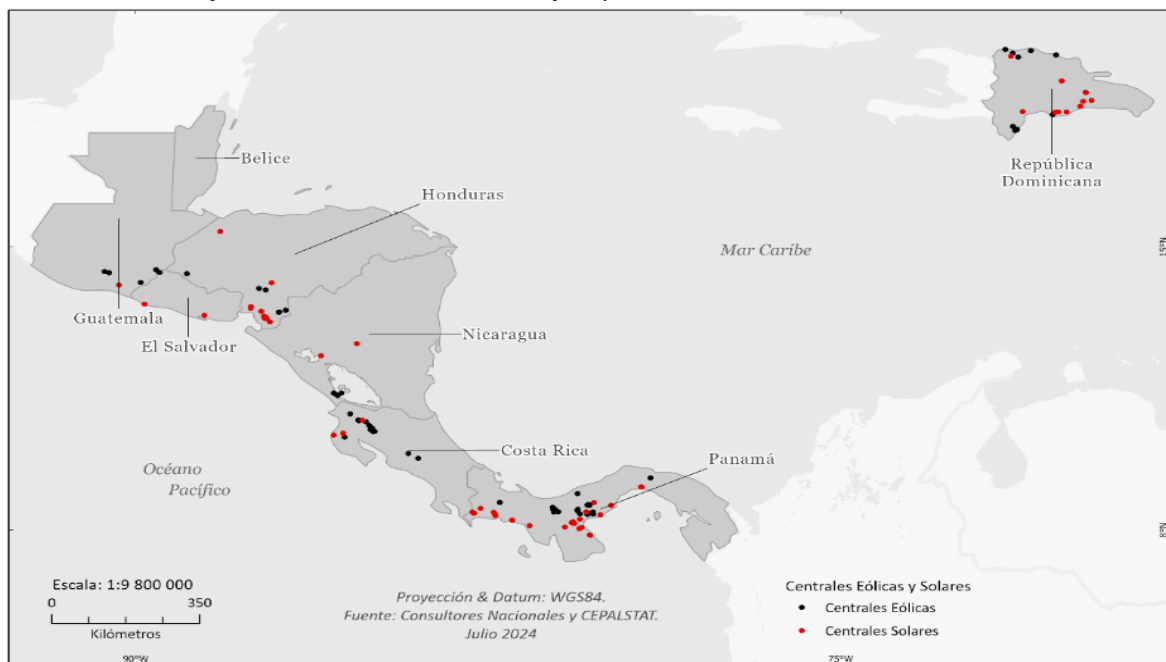
Fuente: Elaboración propia.

#### Centrales eólicas

Las centrales eólicas se ubican en zonas de paso de vientos ya que debe haber un empuje que haga girar las hélices. Es por esto por lo que no se ubican en toda la región, sino en sitios más bien específicos que poseen las condiciones para aprovechar los vientos. En el caso de Costa Rica, se destaca la zona de Tilarán que tiene trayectoria de plantas eólicas, lo mismo en Nicaragua en Rivas, cerca del Lago Cocibolca (Nicaragua) las condiciones topográficas son propicias para la generación de electricidad a partir del viento.

### Mapa 16

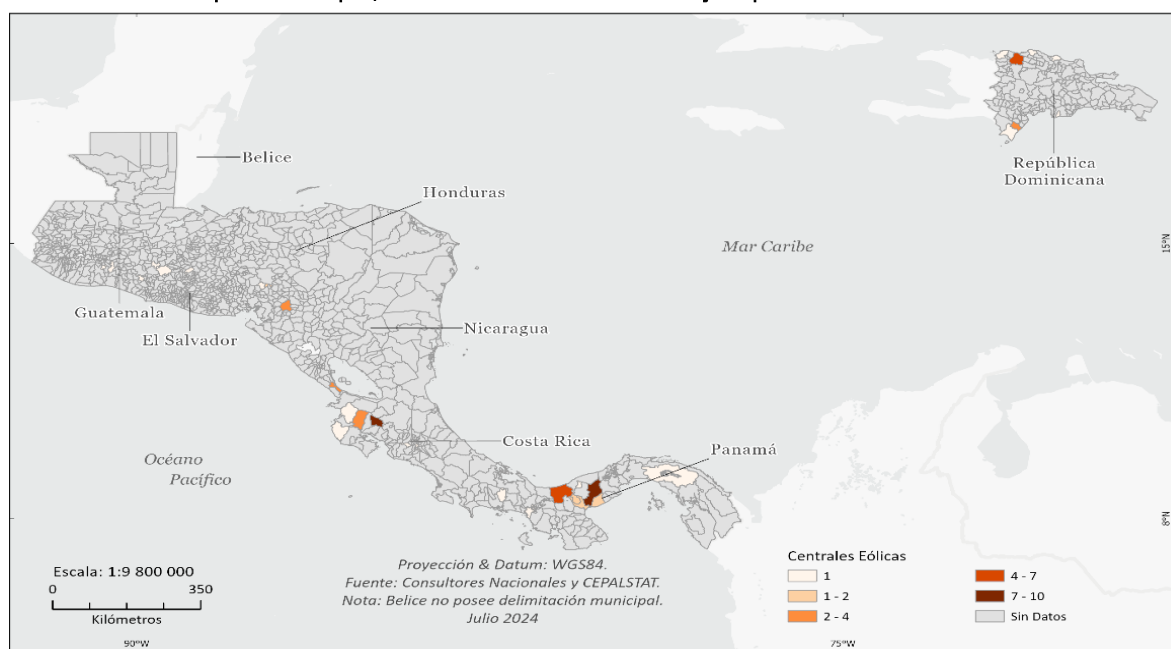
#### Centrales Eólicas y Solares en América Central y República Dominicana



Fuente: Elaboración propia.

### Mapa 17

#### Centrales eólicas por municipio/cantón en América Central y República Dominicana

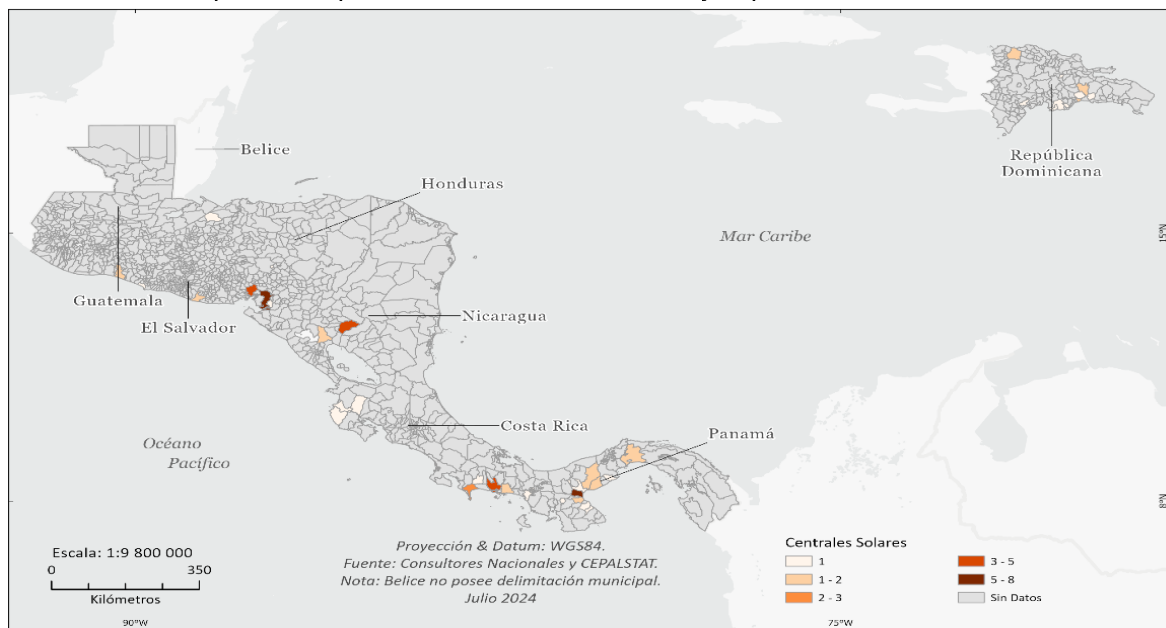


Fuente: Elaboración propia.

## Centrales Solares

Mapa 18

### Centrales Solares por municipio/cantón en América Central y República Dominicana

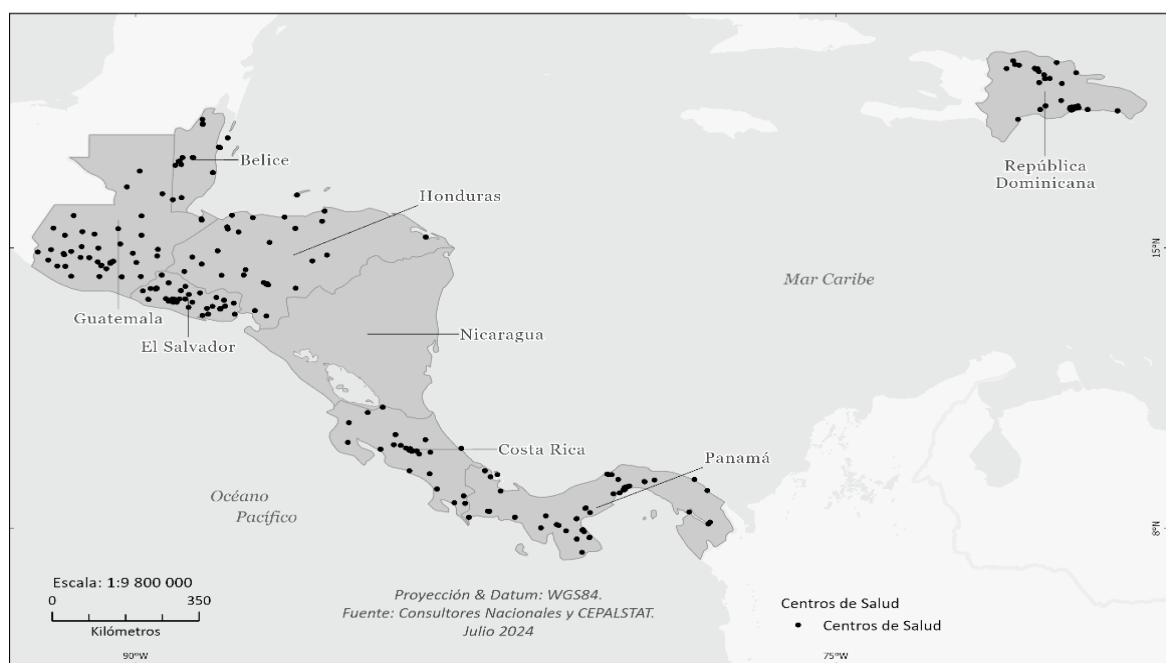


Fuente: Elaboración propia.

## Hospitales y centros de salud

Mapa 19

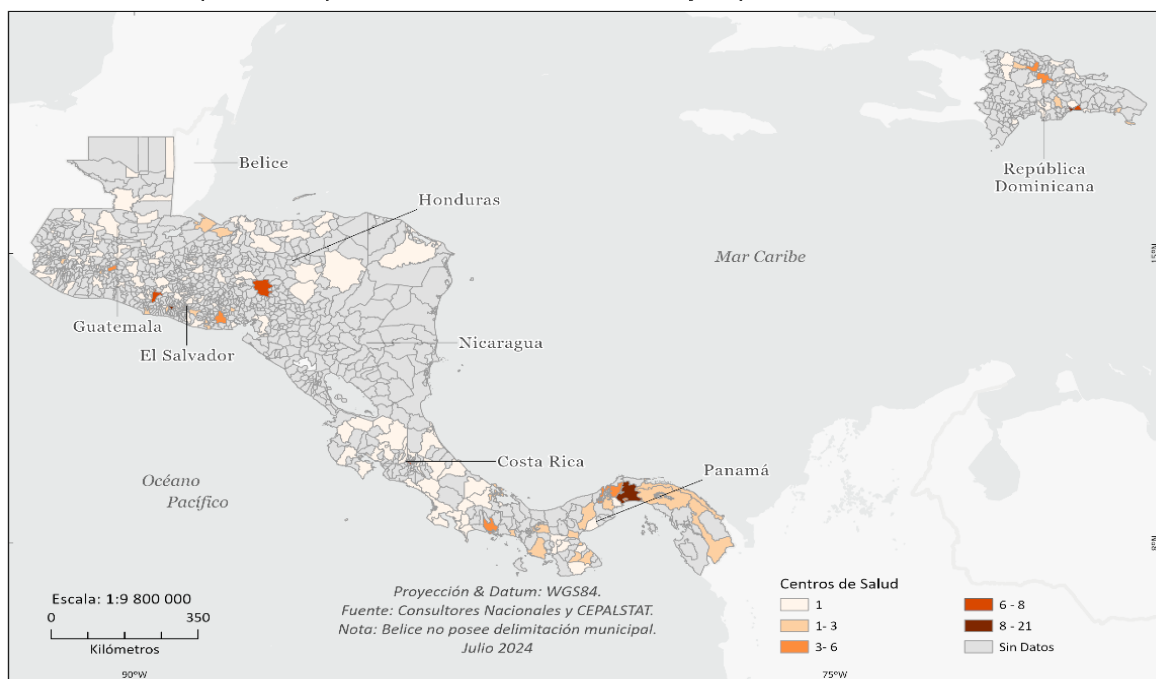
### Centros de salud en América Central y República Dominicana



Fuente: Elaboración propia.

Mapa 20

Centros de salud por municipio/cantón en América Central y República Dominicana

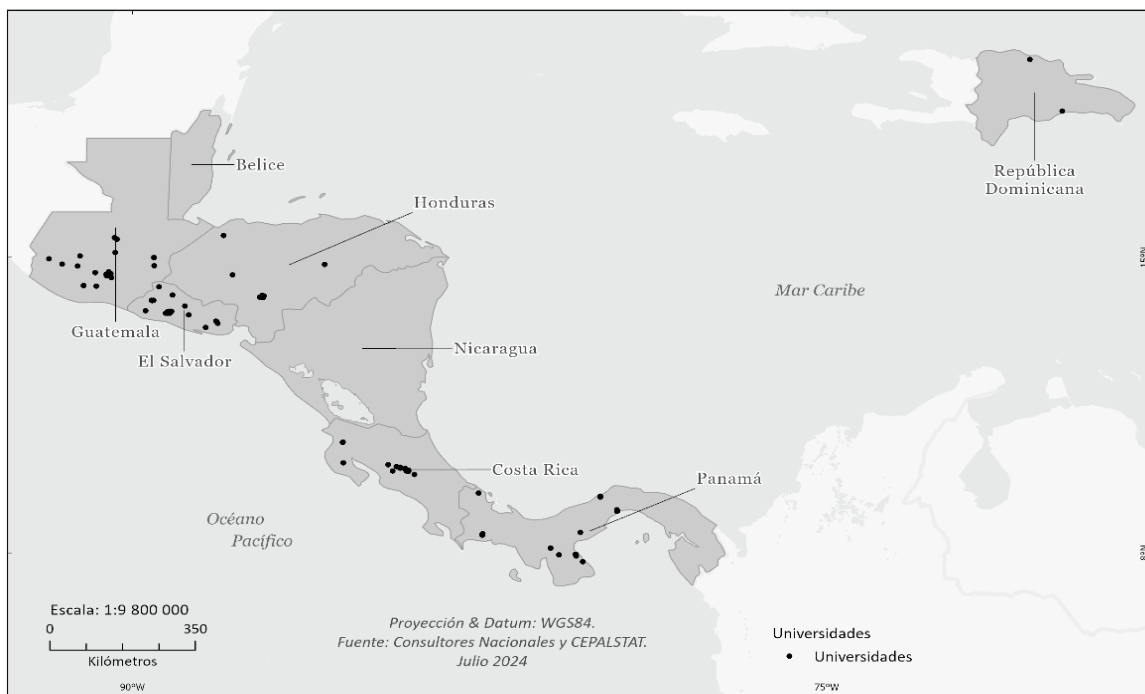


Fuente: Elaboración propia.

Universidades

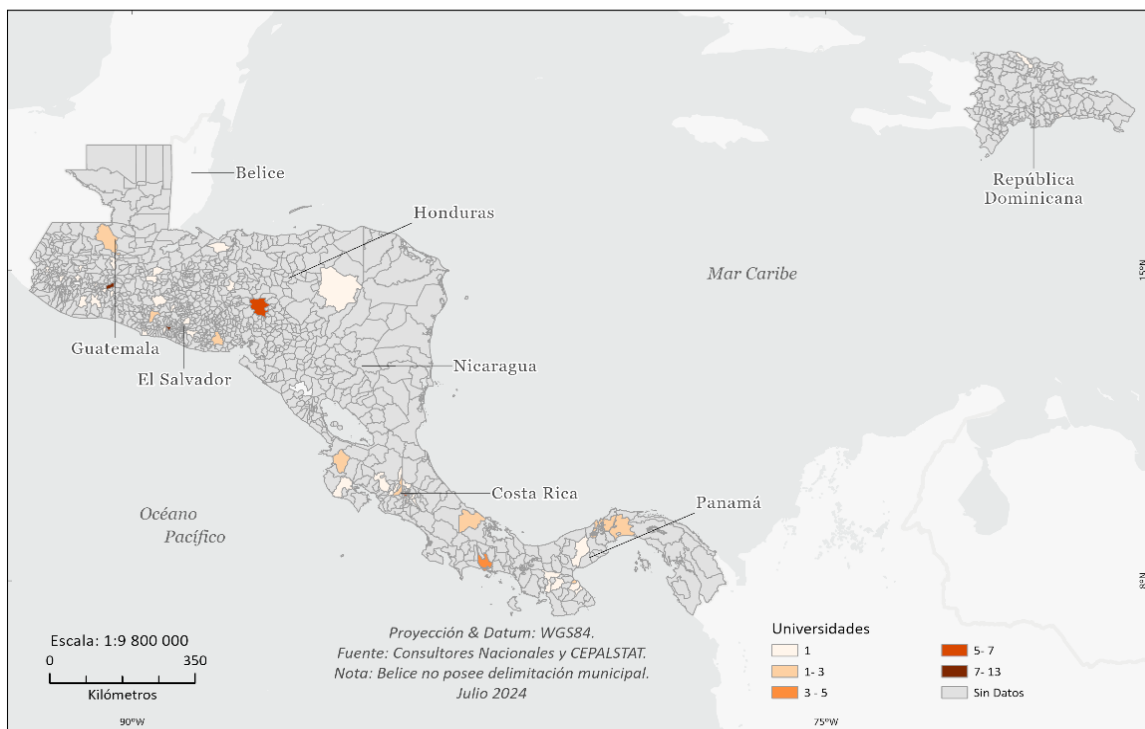
**La educación superior es clave para el desarrollo de la región a nivel de ciencia, tecnología y desarrollo humano. El siguiente mapa permite observar la distribución de estas instituciones en la región, a nivel país y departamento/provincia se encuentran en el anexo.**

Mapa 21  
Universidades en América Central y República Dominicana



Fuente: Elaboración propia.

Mapa 22  
Universidades por municipio/cantón en América Central y República Dominicana

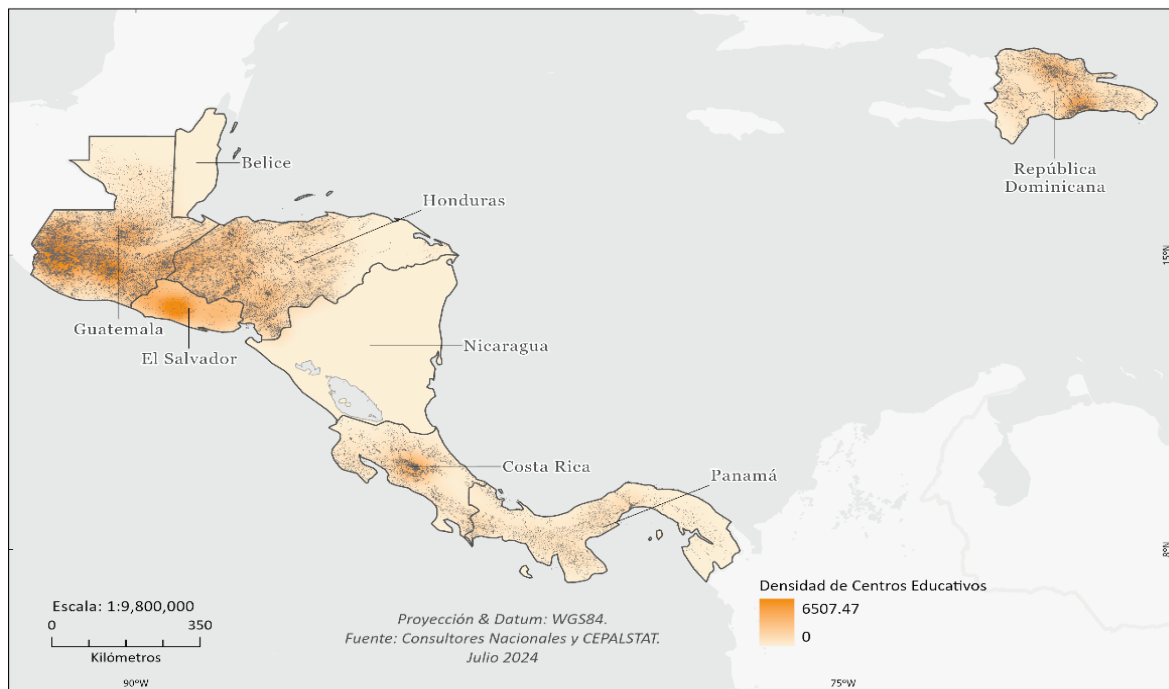


Fuente: Elaboración propia.

## Centros Educativos

### Mapa 23

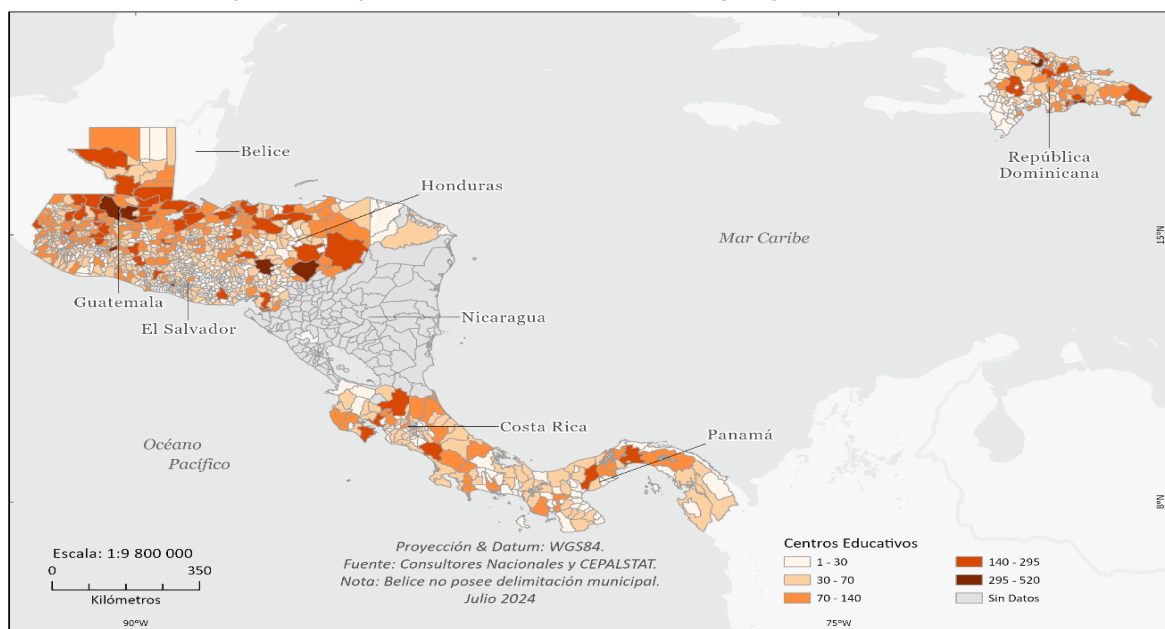
#### Centros educativos en América Central y República Dominicana



Fuente: Elaboración propia.

### Mapa 24

#### Centros educativos por municipio/cantón en América Central y República Dominicana

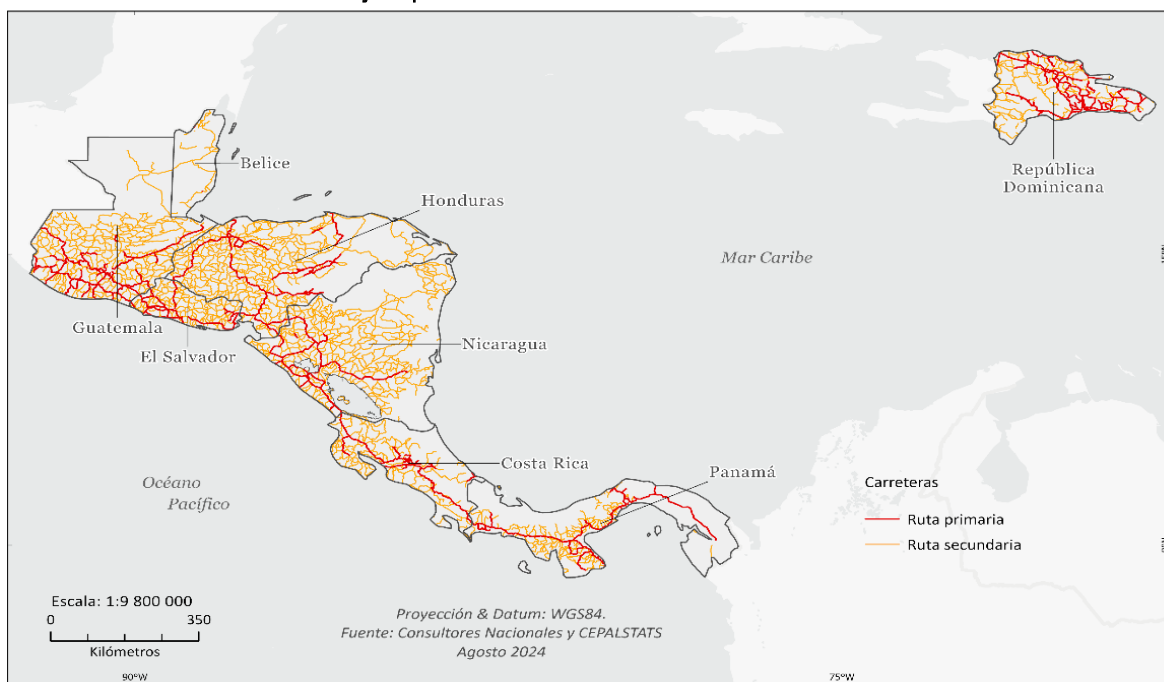


Fuente: Elaboración propia.

## Carreteras

El siguiente mapa presenta las rutas primarias y secundarias del área de estudio. Se puede observar que en América Central existe una conexión en la costa Pacífica, a diferencia de la costa Caribe. Los grandes vacíos en el mapa corresponden a la presencia de áreas silvestres protegidas (UICN). La forma y el material con el que se construyen es independiente en cada país, pero pueden ser de asfalto o cemento.

**Mapa 25**  
Carreteras en América Central y República Dominicana

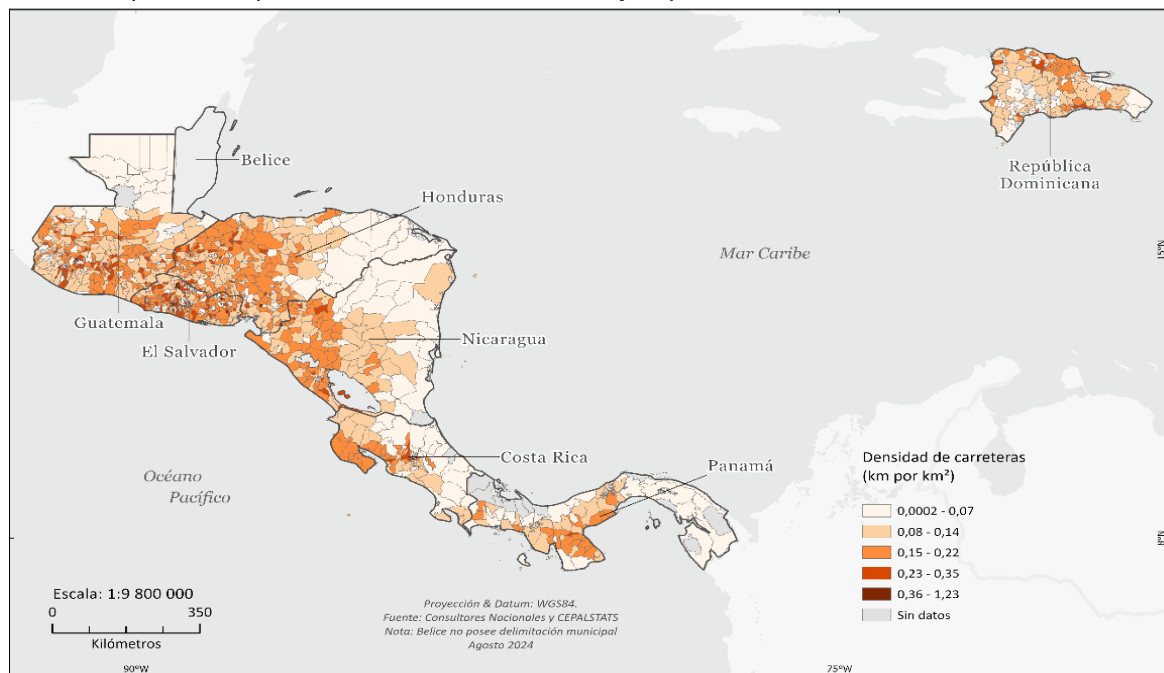


Fuente: Elaboración propia.

El siguiente mapa muestra la densidad de kilómetros en el área del municipio/cantón, con el fin de poder hacer una comparación relativa, lo que evidencia que los municipios/cantones de la vertiente Pacífica poseen mayor densidad. A estas carreteras hay que prestarles atención ya que estarán expuestas al aumento de las temperaturas y disminución de la precipitación.

## Mapa 26

### Carreteras por municipio/cantón en América Central y República Dominicana



Fuente: Elaboración propia.

## Aeropuertos

En cuanto a la infraestructura de transporte en la región, la siguiente figura muestra la ubicación de los principales puertos (puntos azules), aeropuertos (puntos naranjas) y la conexión vía ferrocarril.

Mapa 27

Aeropuertos, Puertos y Línea férrea en América Central y República Dominicana

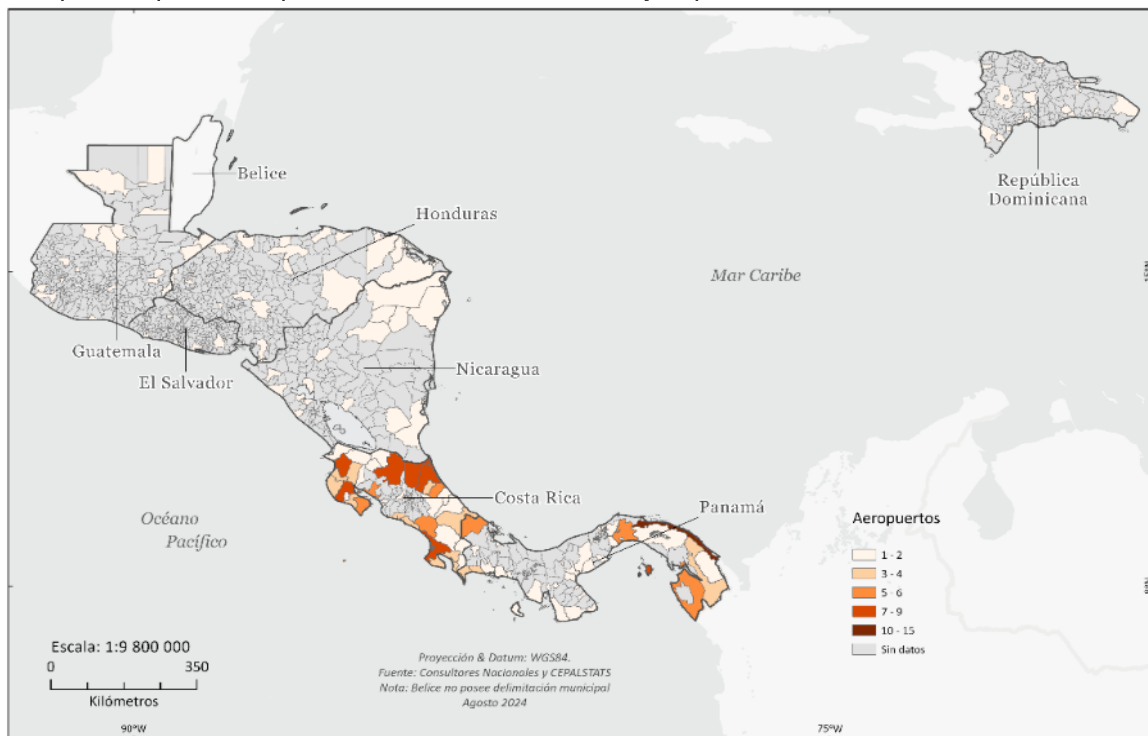


Fuente: Elaboración propia.

En los siguientes mapas es posible conocer en detalle la proporción regional de aeropuertos, puertos y línea férrea. El mapa 28 muestra la cantidad de aeropuertos por municipio/cantón. Costa Rica indica la presencia de más sitios de conexión área que el resto de los países. A nivel país y departamento/provincia se encuentran en el anexo.

### Mapa 28

#### Aeropuertos por municipio/cantón en América Central y República Dominicana



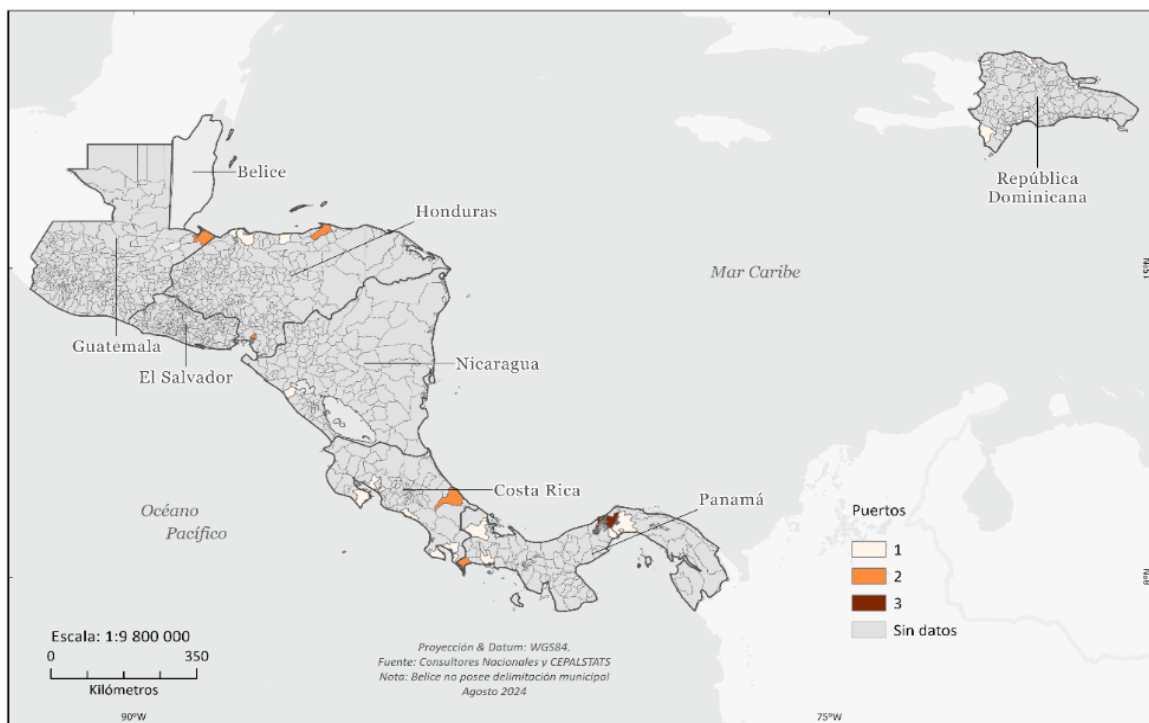
Fuente: Elaboración propia.

### Puertos

La siguiente figura presenta la cantidad de puertos por municipio y cantón, estos son zonas de conexión con el mercado internacional. A nivel país y departamento/provincia se encuentran en el anexo.

## Mapa 29

### Puertos por municipio/cantón en América Central y República Dominicana



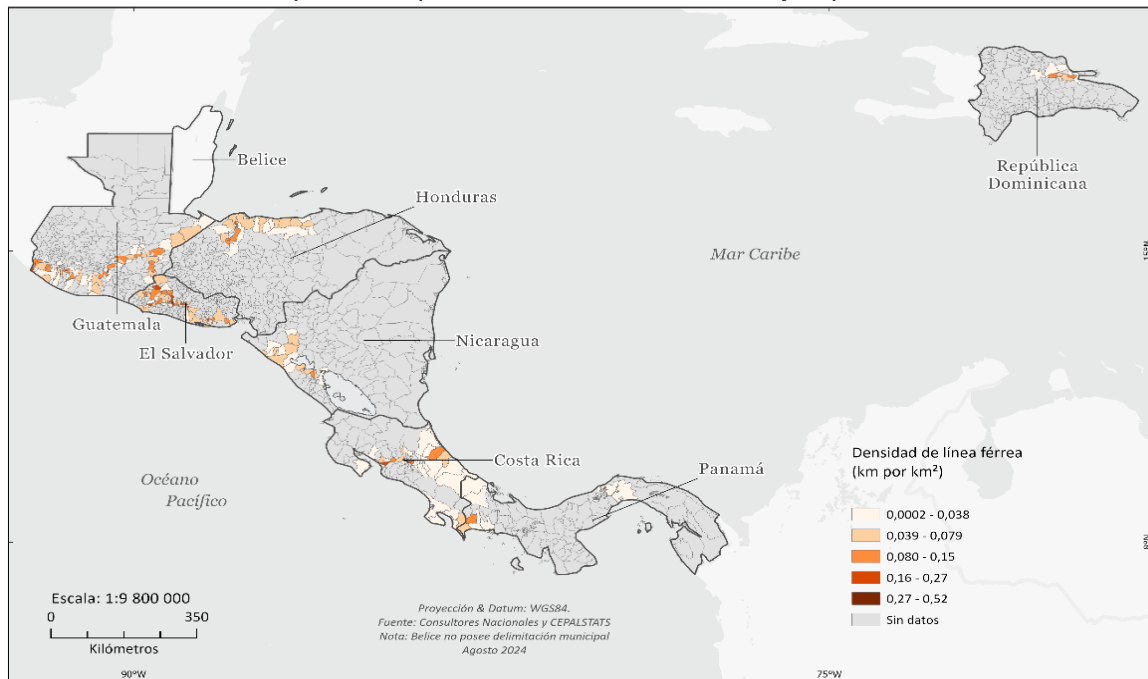
Fuente: Elaboración propia.

### Línea férrea

En el siguiente mapa se observa una conexión entre los municipios/cantones que poseen red ferroviaria como una forma de conectar los puertos con otras zonas del país, ya sea a una región de manufactura o con la otra costa. A nivel país y departamento/provincia se encuentran en el anexo.

### Mapa 30

#### Densidad de línea férrea por municipio/cantón en América Central y República Dominicana



Fuente: Elaboración propia.

#### Hoteles y marinas

Esta última categoría de infraestructura estará expuesta no solo a cambios en la temperatura y precipitación, sino que por su ubicación se verá afectada ante el aumento del nivel del mar. En el caso de Costa Rica, este aumento ha supuesto la afectación en la delimitación de la zona marítimo terrestre, en donde la zona pública (50 metros a partir de la pleamar) se ha ido desplazando hacia el interior del continente de manera que infraestructura que antes (entre 30 o 40 años) no estaba dentro de la zona pública, ahora sí y además se ve afectada por la dinámica costera: oleaje y mareas. El cuadro 18 posee la cantidad de infraestructura que se verá afectada en la costa, y su ubicación en el área de estudio.

Cuadro 18

Hoteles costeros y marinas en América Central y República Dominicana

País	Hoteles Costeros	Marinas
Belice	155	8
Guatemala	151	1
Honduras	96	5
El Salvador	110	0
Nicaragua	248	0
Costa Rica	1119	4
Panamá	320	6
República Dominicana	331	6
<b>Total</b>	<b>2530</b>	<b>30</b>

Fuente: Elaboración propia.

El siguiente mapa muestra la cantidad de hoteles por municipio/cantón costero. En el mapa se pueden identificar aquellos sitios que ofrecen turismo de sol y playa. A nivel país y departamento/provincia se encuentran en el anexo.

Mapa 31

Hoteles costeros en América Central y República Dominicana



Fuente: Elaboración propia.

La siguiente figura muestra la presencia de marinas (atracaaderos turísticos), lugares donde llegan embarcaciones internacionales principalmente.

### **Uso del suelo**

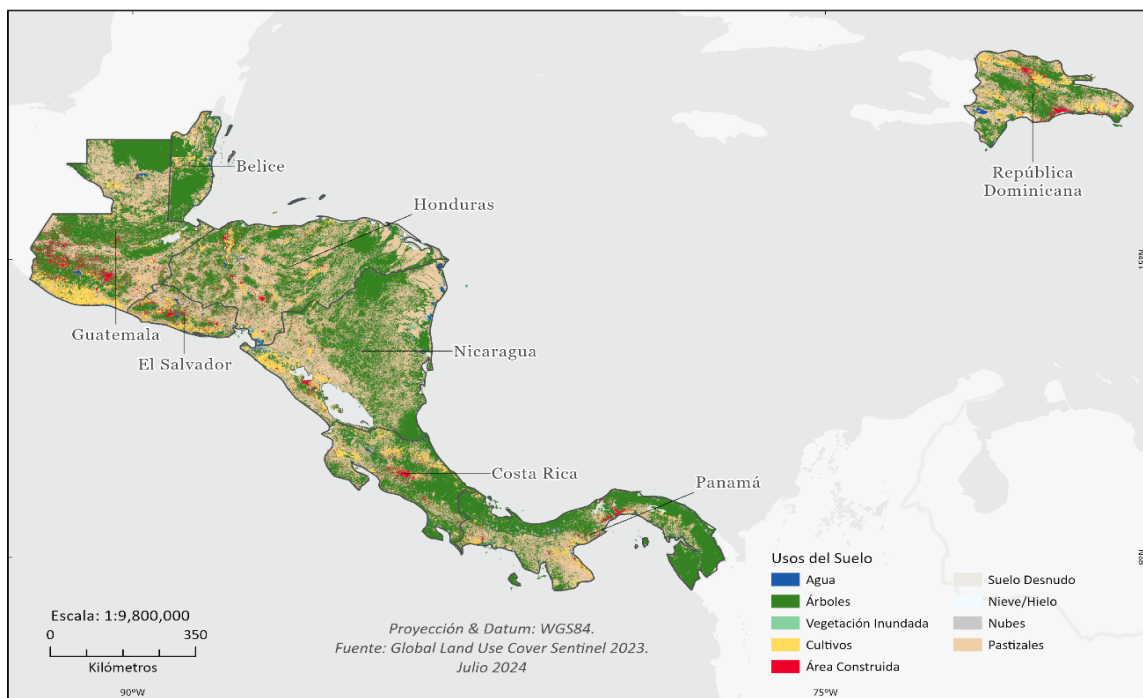
El uso del suelo en América Central y República Dominicana expresa cómo el ser humano ha utilizado el entorno para el desarrollo de sus actividades económicas. El mapa 32 generada a partir de imágenes satelitales Sentinel muestra principalmente cinco usos: agua, árboles, cultivos, área construida y pastizales<sup>9</sup>. El uso predominante en la región es la presencia de árboles (color verde), de hecho, indica que este es el mayor porcentaje por cada país. Los pastizales y cultivos son los siguientes usos en mayoría, indicando el desarrollo de la agricultura y ganadería en la región, finalmente la zona construida (color rojo), es la ubicación de los principales centros de población, en su mayoría las capitales de los países: Belmopán (Belice), Ciudad de Guatemala (Guatemala), San Salvador (El Salvador), Tegucigalpa (Honduras), Managua (Nicaragua), San José (Costa Rica), Ciudad de Panamá (Panamá) y Santo Domingo (República Dominicana).

---

<sup>9</sup> Al no existir este dato para todos los países, la coordinación del informe señaló la pertinencia de usar los datos proporcionados por la Unión Europea los cuales corresponden a una clasificación no supervisada de los usos de suelo.

Mapa 32

Uso del suelo en América Central y República Dominicana

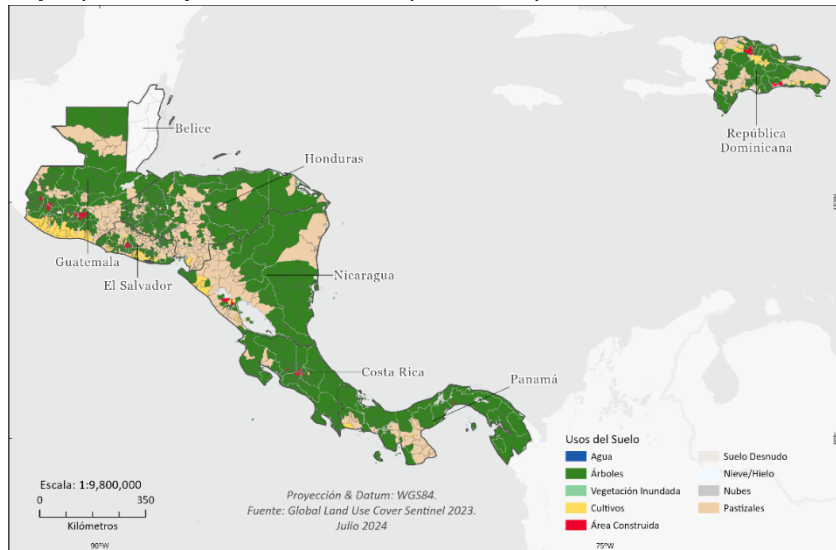


Fuente: Elaboración propia con base a Global Land Use Sentinel, 2023.

El mapa 33 muestra cuál es el uso con mayor porcentaje para cada municipio/cantón, de forma tal que se puede identificar cómo hay municipios/cantones dedicados a la agricultura y ganadería, o si más bien se perciben como centro urbano, o si su mayor área está dedicada a la conservación.

### Mapa 33

#### Mayor porcentaje de uso del suelo por municipio/cantón en América Central y República Dominicana



Fuente: Elaboración propia con base a Global Land Use Sentinel, 2023.

### Datos sociales

En esta sección se presentan las dos variables agregadas por el equipo de la Escuela de Geografía que viene a sumar a lo solicitado inicialmente. Más allá de saber la cantidad de población es esencial saber dónde vive la población más vulnerable al cambio climático, como las zonas costeras propensas a la subida del nivel del mar, o las regiones áridas susceptibles a la desertificación. Esto facilita la planificación de medidas de adaptación y mitigación. En cuanto al producto interno bruto es una variable que nos podrá indicar cómo se afectará el cambio climático en la parte económica a la región.

### Población

De acuerdo con Human Exchange Data, la población de América Central y República Dominicana es de 62,5 millones de personas para el año 2023. El siguiente mapa muestra cual es la distribución espacial de los 62,5 millones de personas. El color rosado representa presencia de población, que para América Central se puede observar una concentración en el Pacífico, mientras que en la zona Caribe se observan grandes vacíos. Muchas de estas áreas despobladas obedecen a la presencia de Áreas Silvestres Protegidas (SIGCICAGT, 2020).

En donde Guatemala son 18 millones de habitantes representa el 29% de la población, seguido de República Dominicana con 11 millones para un 18% y Honduras con 10,5 millones de personas que es un 17%. Belice representa solo el 1% de la población con 358 mil habitantes (cuadro 19 y mapa 34).

**Cuadro 19**

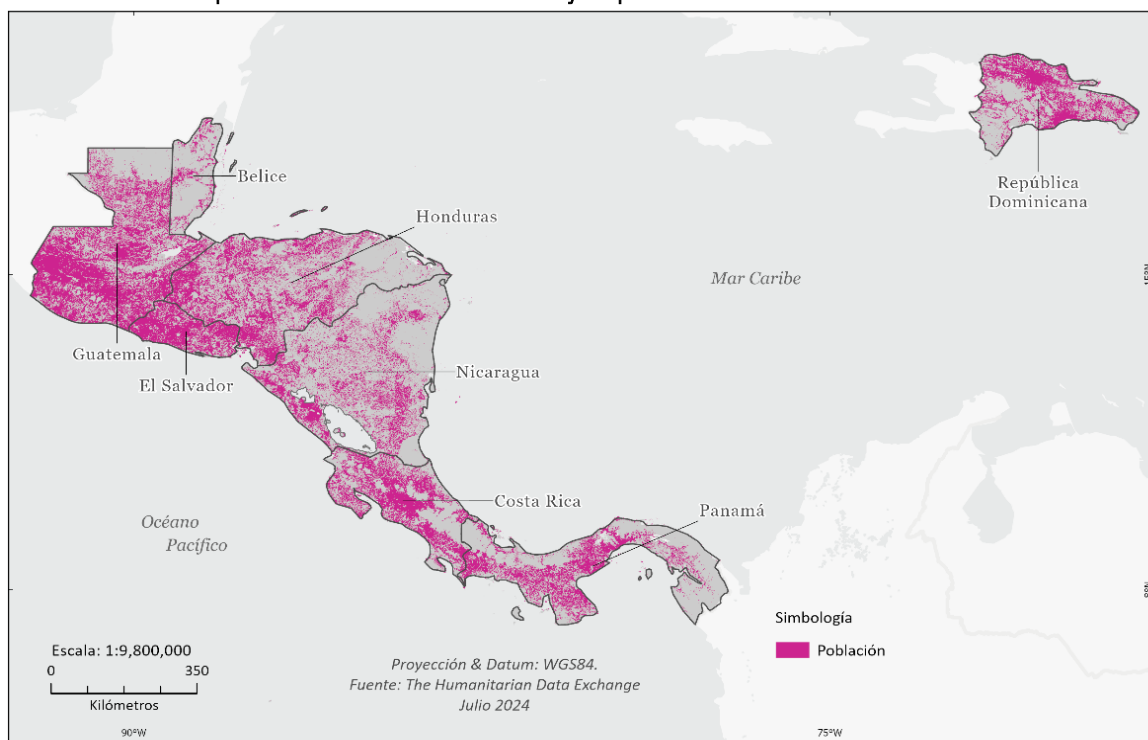
**Población en América Central**

País	Población	Porcentaje
Belice	358.666	1
Guatemala	18.023.672	29
Honduras	10.498.958	17
Nicaragua	6.962.469	11
El Salvador	5.939.440	9
Costa Rica	5.171.207	8
Panamá	4.402.234	7
República Dominicana	11.169.925	18
<b>Total</b>	<b>62.526.571</b>	<b>100</b>

Fuente: The Humanitarian Data Exchange.

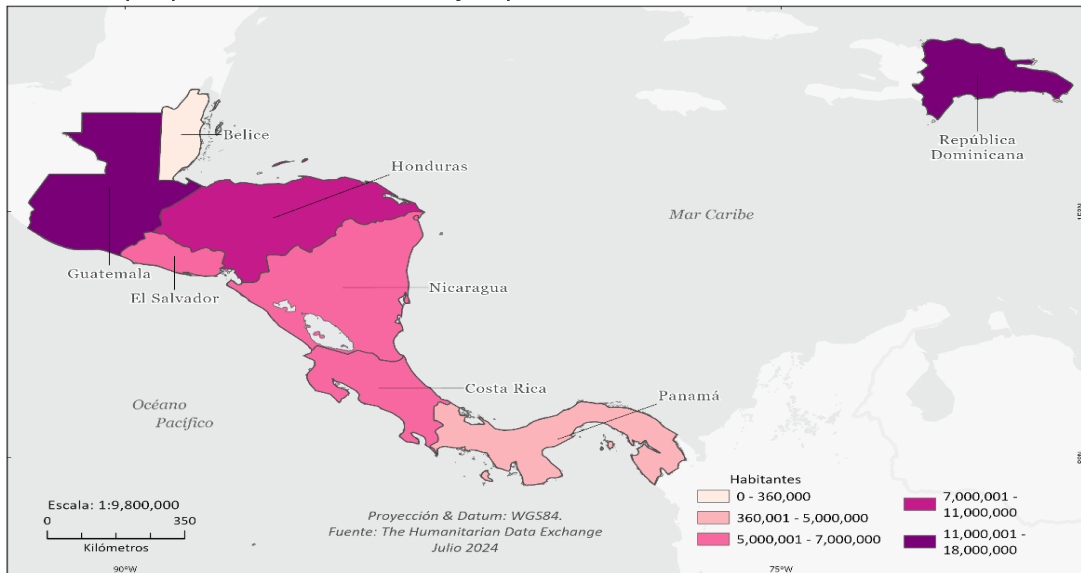
**Mapa 34**

**Distribución de la población en América Central y República Dominicana**



Fuente: Elaboración propia.

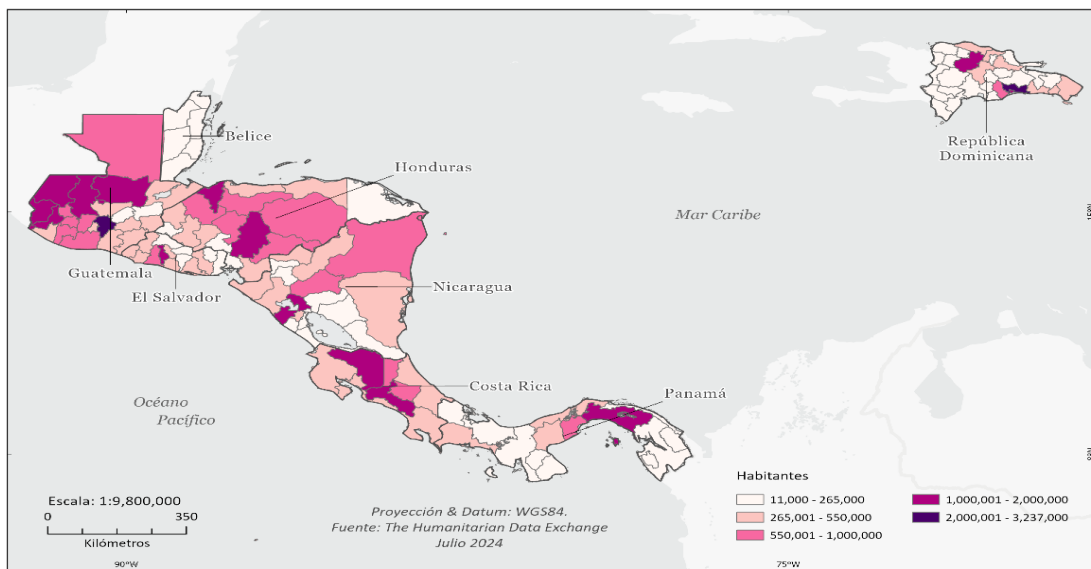
Mapa 35  
Población por país en América Central y República Dominicana



Fuente: Elaboración propia.

El mapa 35 muestra con color violeta-morado los departamentos/provincias con mayor cantidad de habitantes, coincidiendo con la ubicación de las capitales, donde se pueden contabilizar entre dos y tres millones de personas, en contraste con departamentos con menos 265000 personas.

Mapa 36  
Población por departamento/provincia en América Central y República Dominicana

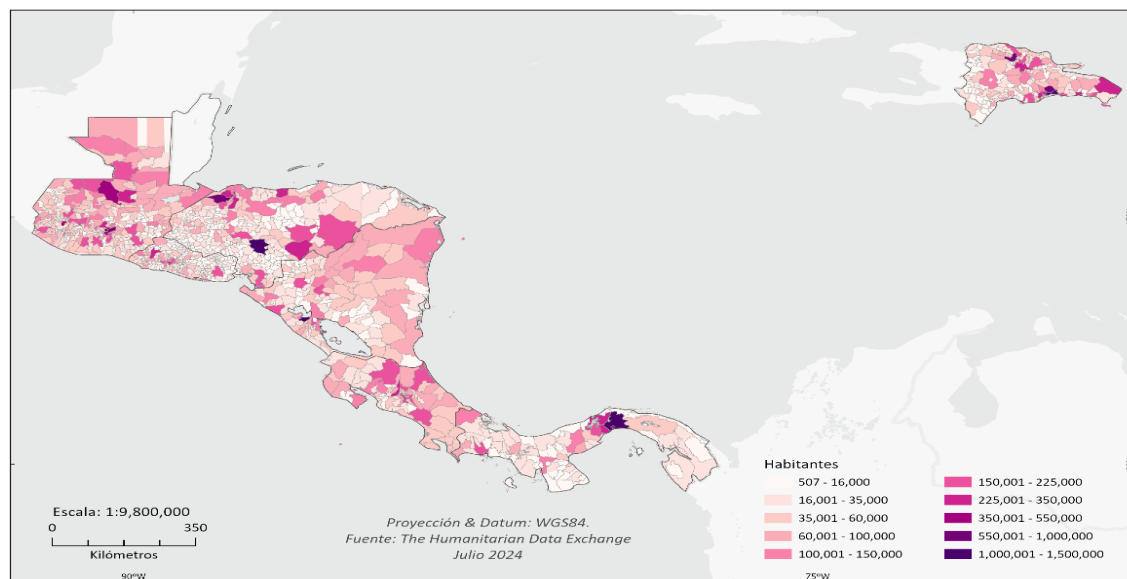


Fuente: Elaboración propia.

El mapa 37 contiene los municipios/cantones mayormente poblados, y se puede ver diferencias entre los países, por ejemplo, en Guatemala y Panamá hay municipios con más de un millón de habitantes.

Mapa 37

Población por municipio/cantón en América Central y República Dominicana



Fuente: Elaboración propia.

### Producto Interno Bruto

Los datos proporcionados muestran el Producto Interno Bruto en millones de dólares para varios países de América Central y el Caribe en dos períodos diferentes.

Cuadro 20

Análisis de Datos para Países de América Central y República Dominicana

País	Código	2019 (Millones USD*)	2020 (Millones USD*)	Cambio (Millones USD*)	Porcentaje de Crecimiento
Belice	BLZ	8.925	9.474	549	6,15
Costa Rica	CRI	20.818	22.071	1.253	6,02
República Dominicana	DOM	18.171	19.338	1.167	6,42
Guatemala	GTM	8.673	9.162	489	5,64
Honduras	HND	5.614	5.709	95	1,69
Nicaragua	NIC	5.398	5.822	424	7,86
Panamá	PAN	32.788	33.266	478	1,46
El Salvador	SLV	9.016	9.396	380	4,21

Fuente: Elaboración propia.

A nivel de país, Nicaragua muestra el mayor crecimiento relativo en PIB con un aumento del 7,86%. Para Panamá y Honduras, estos presentan los menores porcentajes de crecimiento, con 1,46% y 1,69%, respectivamente. Costa Rica y República Dominicana destacan por los mayores incrementos absolutos en su PIB, con aumentos de 1.253 millones USD y 1.167 millones USD, respectivamente. Honduras tiene el incremento absoluto más bajo con solo 95 millones USD adicionales.

### Mapa 38

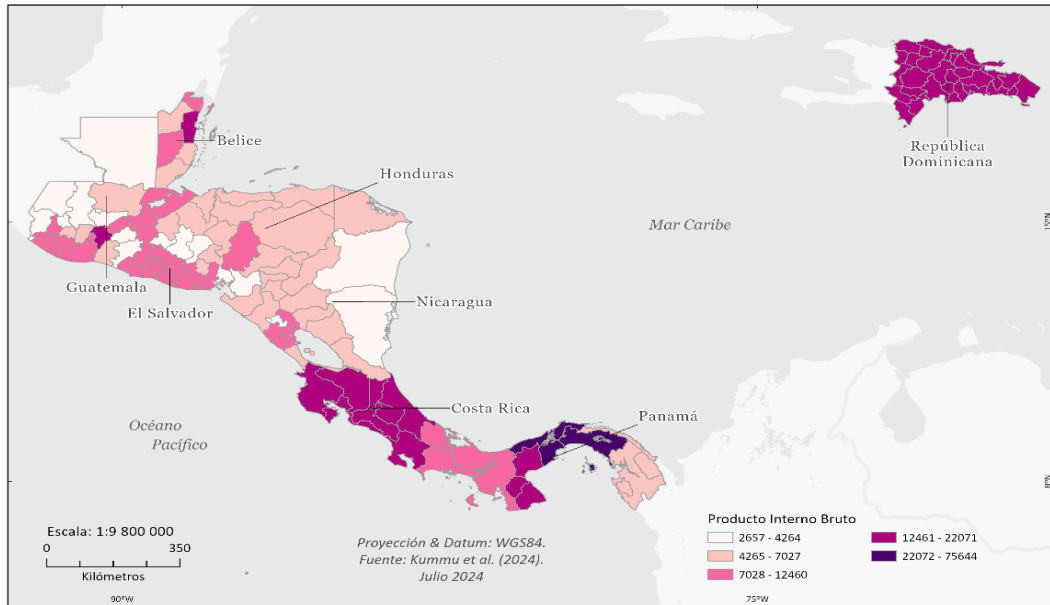
#### Producto Interno Bruto por país en América Central y República Dominicana



Fuente: Elaboración propia.

Mapa 39

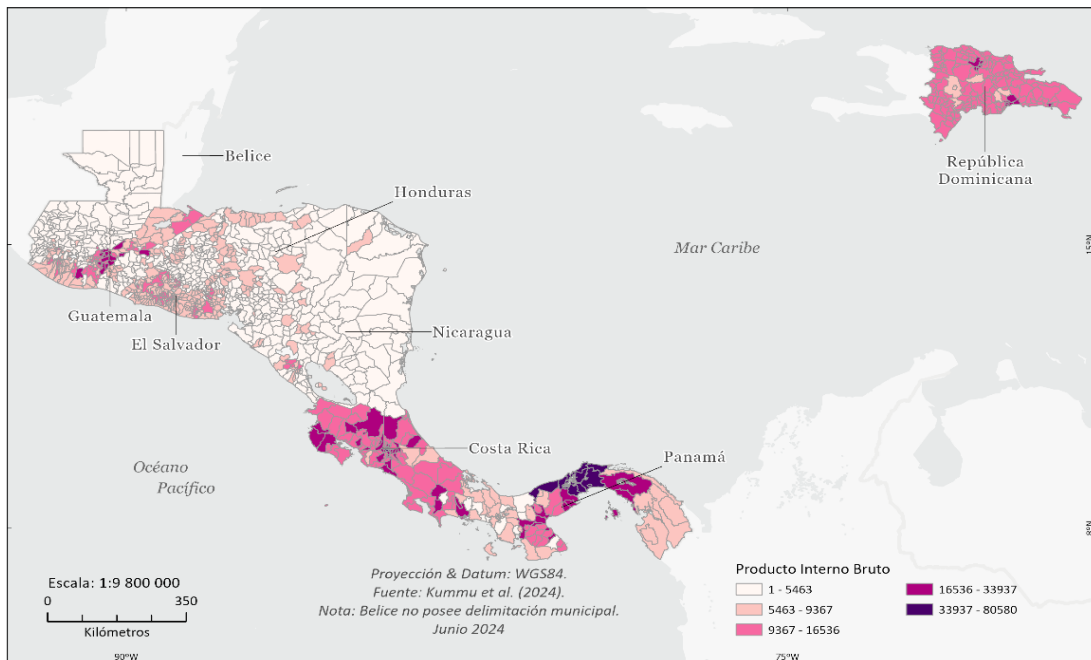
Producto Interno Bruto por departamento en América Central y República Dominicana



Fuente: Elaboración propia.

Mapa 40

Producto Interno Bruto por municipio en América Central y República Dominicana



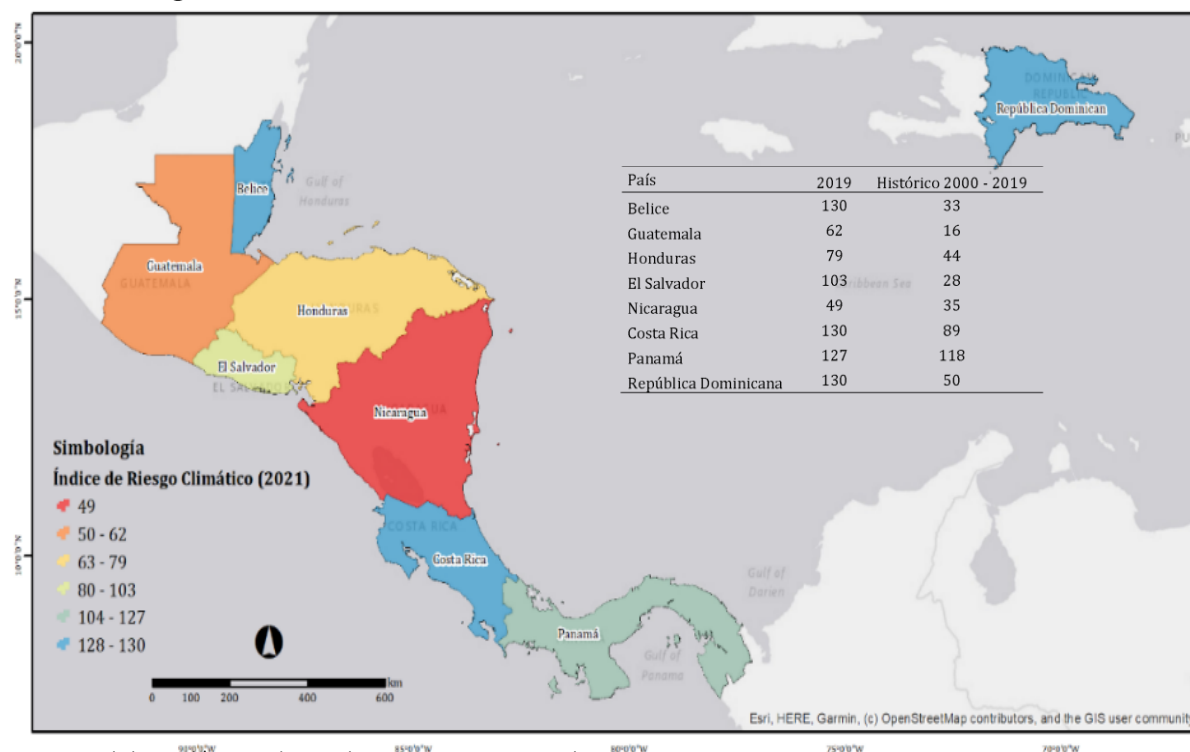
Fuente: Elaboración propia.

## Riesgos y desastres

Del mismo modo, se realizó un catastro de información geoespacial disponible referente riesgos y desastres. Por un lado, se utilizó el Índice de Riesgo Climático Global (IRC) de Germanwatch (mapa 41), la base de datos global EM-DAT (mapa 42) y DesInventar (mapa 43).

El Índice de Riesgo Climático Global de Germanwatch 2021 (mapa 41) es la decimosexta edición de este análisis anual. Su objetivo es contextualizar los debates sobre políticas climáticas en curso – especialmente las negociaciones internacionales sobre el clima – con impactos reales a nivel mundial durante el último año y los últimos 20 años. Un valor cercano a 1 indica un mayor riesgo y vulnerabilidad ante eventos climáticos extremos.

Mapa 41  
Índice de riesgo climático

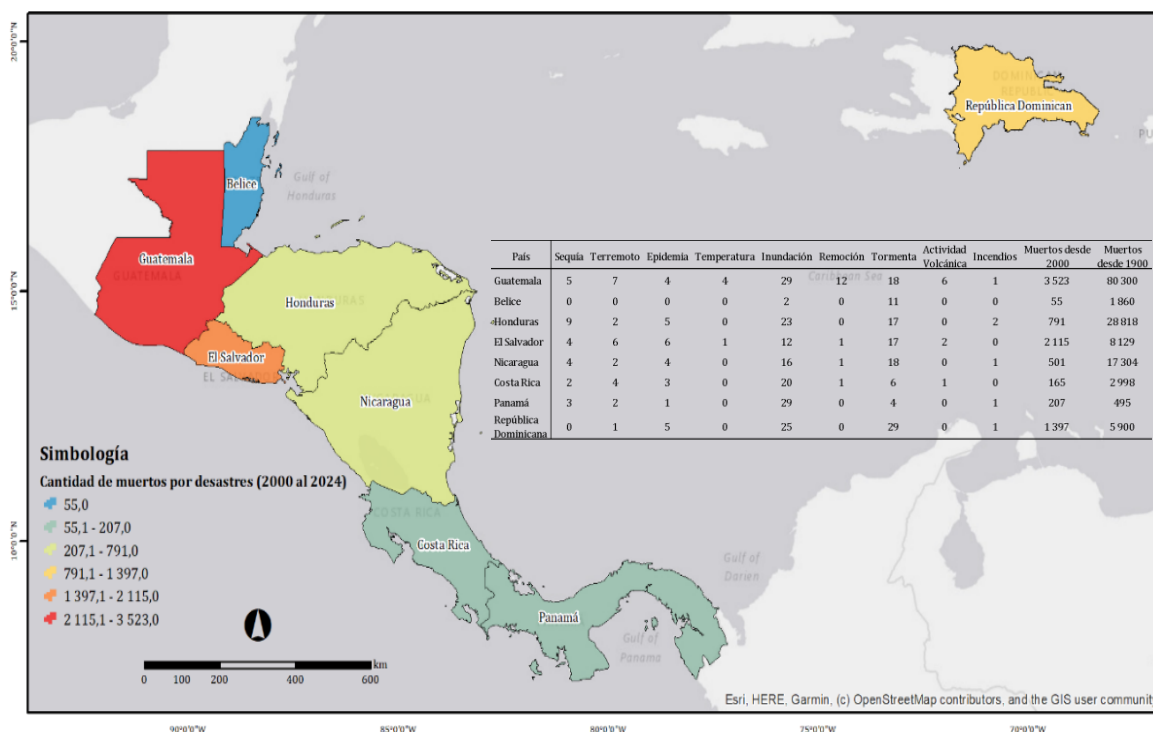


Fuente: Elaboración propia con base en Germanwatch.

Es importante destacar que este índice no solo evalúa la exposición a amenazas de origen natural, sino también la capacidad de resiliencia y adaptación de cada país para enfrentar estos eventos. Por lo tanto, países con recursos y preparación limitados suelen obtener puntajes más altos en el índice.

Por su parte, la Base de Datos Internacional sobre Desastres (EM-DAT) fue creada en 1988 como una iniciativa conjunta entre el Centro para la Investigación sobre la Epidemiología de los Desastres (CRED) y la Organización Mundial de la Salud (OMS). Esta base de datos contiene información sobre la ocurrencia e impactos de más de 26.000 desastres masivos en todo el mundo desde 1900 hasta la actualidad. En la siguiente cartografía es posible conocer la cantidad de muertos por desastres desde el año 2000 al 2024.

Mapa 42  
Cantidad de muertos por desastres

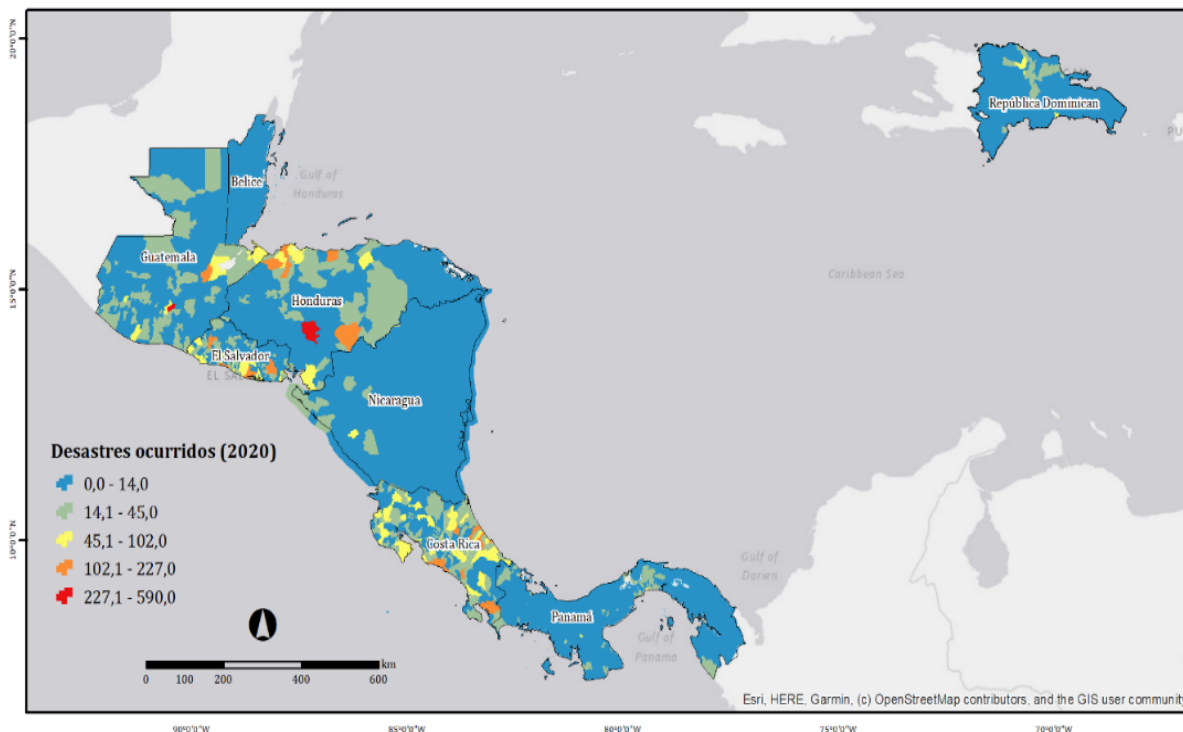


Fuente: Elaboración propia con base a Em-Dat.

Guatemala (3 523), El Salvador (2 115), Honduras (791) y Nicaragua (501) presentan la mayor cantidad de fallecidos desde el año 2000; del mismo modo, si se considera desde el 1900 qué países tienen una mayor cantidad de fallecidos por desastres, el ranking es liderado por Guatemala (80 300), Honduras (28 818), Nicaragua (17 304) y El Salvador (8 119).

Respecto de los desastres ocurridos, la base de datos DesInventar, proyecto que se conceptualizó y coordinó en el marco de La Red de Estudios en Prevención de Desastres en 1994 a través de la Corporación OSSO de Colombia, recopila información de desastres, amenazas, efectos e impactos a nivel municipal /cantonal, es apoyada por la incluyendo la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNDRR) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). En la siguiente cartografía es posible conocer la cantidad de desastres durante el año 2020 en los países de la región.

**Mapa 43**  
**Desastres ocurridos**



Fuente: Elaboración propia con base a DesInventar.

Teniendo en cuenta las deficiencias en la información geoespacial disponible en las instituciones estatales, que pueden variar desde la ausencia total de información hasta la falta de un formato geoespacial útil, ya sea en relación con los atributos o cualquier elemento de los metadatos, se realizó una comparación de las capas de información. Posteriormente, estas se clasificaron en siete variables distintas.

## **Priorización de necesidades de adaptación**

### ***Identificación y análisis de territorios críticos***

En respuesta a la creciente preocupación por los efectos del cambio climático en los países de América Central y la República Dominicana en variables como la temperatura y la precipitación, se ha generado un indicador de aridez el que combina ambas variables más la evapotranspiración potencial para establecer a priori los territorios críticos. En esta sección se presenta un análisis detallado del escenario más probable (SSP5-8,5), con los mismos períodos de las modelaciones anteriores (2020-2030, 2040-2060, y 2079-2099), pero a una escala territorial municipal/cantonal. Se utilizan cartografías específicas para cada período, donde se analiza la evolución de la aridez y sus posibles efectos e impactos en diversos municipios en cada uno de los países que abarca el estudio<sup>10</sup>. Este análisis busca identificar las áreas más afectadas, tanto en términos de condiciones ambientales como de la población e infraestructura crítica expuestas.

En general, las cartografías utilizadas permiten una interpretación visual del avance de la aridez, mostrando una transición significativa de condiciones subhúmedas a áridas extremas en varias regiones. Estos mapas son fundamentales para entender la distribución geográfica y la intensidad del fenómeno, proporcionando una base sólida para decisiones estratégicas en planificación urbana y rural, manejo de recursos naturales y preparación ante desastres. Este enfoque integral permite no solo identificar las áreas más expuestas, sino también facilitar la elaboración de necesidades adaptación que puedan ser implementadas tanto por el sector público como el privado. El objetivo es

---

<sup>10</sup> Belice y Nicaragua no fueron considerados en este análisis dado que no se contó con información geográfica referente a la infraestructura crítica expuesta.

minimizar los impactos negativos del cambio climático, asegurando un desarrollo sostenible y resiliente frente a los desafíos ambientales inminentes.

#### Guatemala

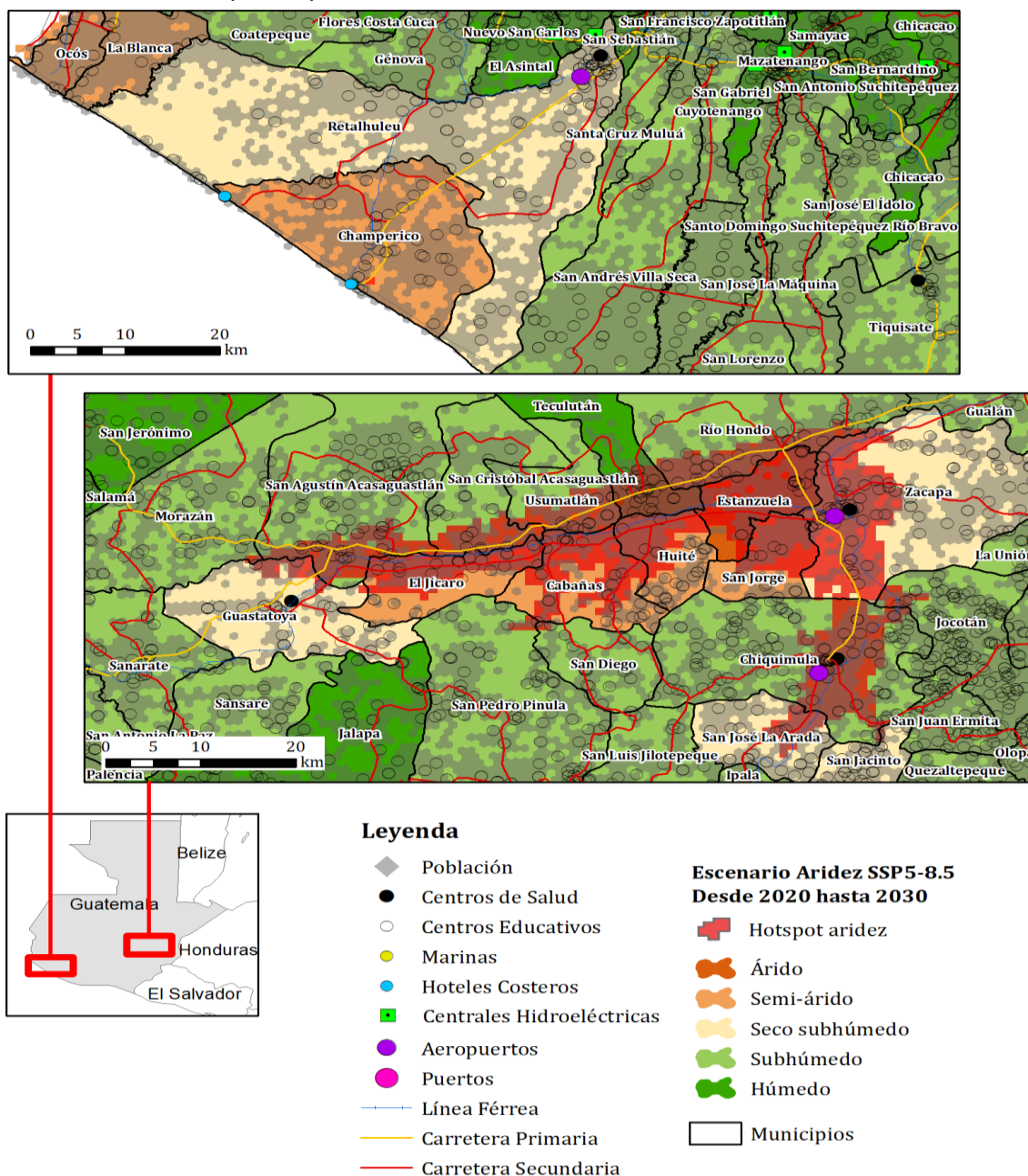
En el horizonte cercano (2020-2030), se observa en el mapa 44 que las regiones en el noroeste y suroeste del país ya presentan condiciones de aridez y semiaridez, especialmente en áreas cercanas a las fronteras con México y Honduras. Hay presencia significativa de población, centros educativos, y centros de salud expuestos a estas condiciones climáticas adversas.

En el horizonte mediano (2040-2060), la aridez se extiende hacia el centro del país, afectando de manera significativa las áreas de Huehuetenango, Chiquimula, y Zacapa (mapa 45). Regiones previamente semiáridas se tornan áridas. La expansión de la aridez afecta a infraestructuras críticas como centrales hidroeléctricas, carreteras principales y secundarias, además de mayor población y más centros educativos y de salud en zonas de alto riesgo.

En el horizonte Lejano (2079-2099), la aridez ha avanzado significativamente, cubriendo grandes extensiones del país, particularmente las áreas del noreste y sureste (mapa 46). Zacapa, Chiquimula, y Jalapa presentan las mayores concentraciones de áreas áridas y semiáridas. La mayoría de las infraestructuras críticas (carreteras, hospitales, centros educativos, y centrales hidroeléctricas) en estas regiones están ubicadas dentro de zonas áridas. Esto sugiere que la infraestructura existente será insuficiente o inadecuada para manejar las condiciones futuras.

Mapa 44

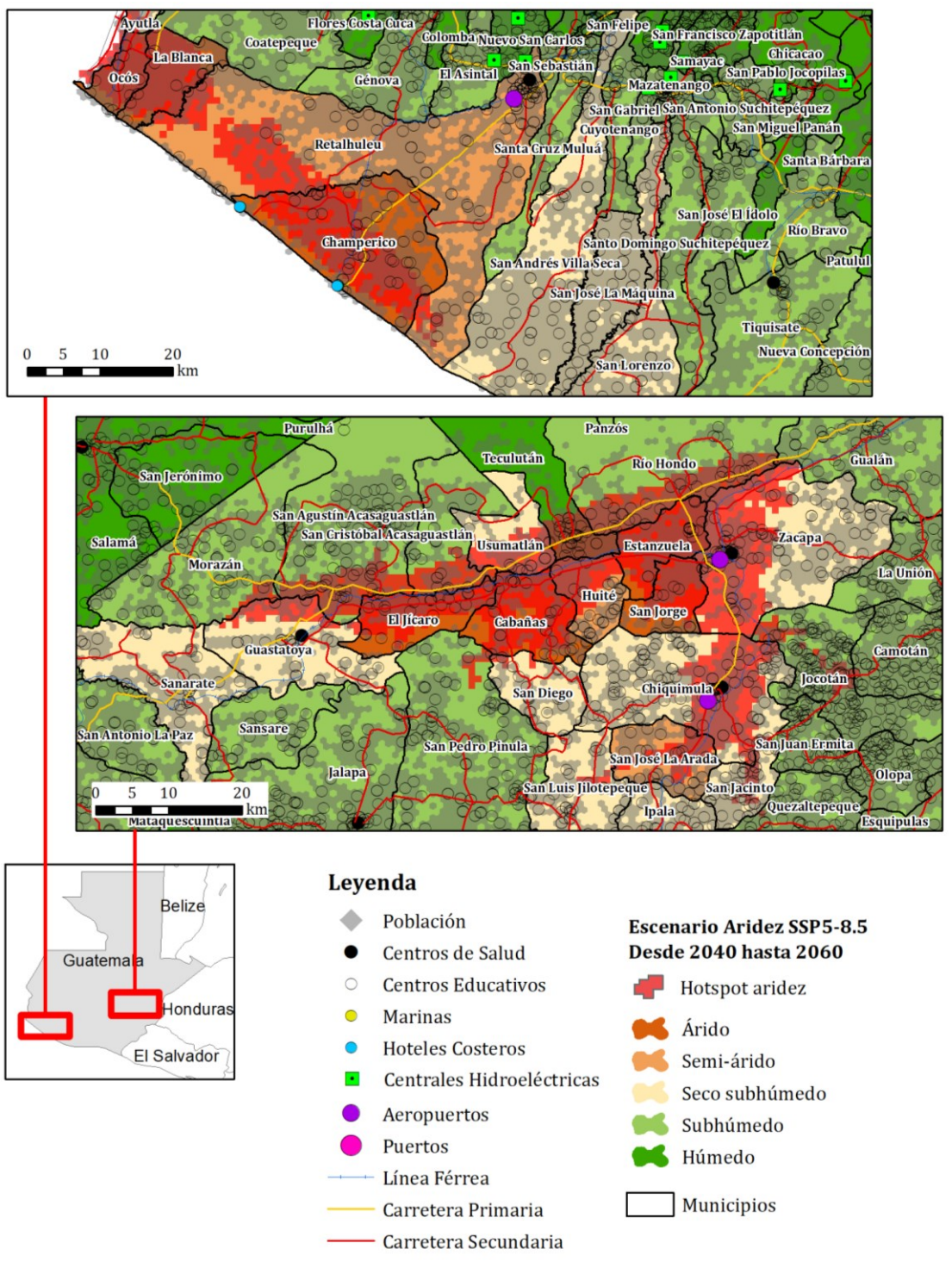
Modelación SSP5-8.5 para el período 2020 -2030 de Guatemala



Fuente: Elaboración propia.

Mapa 45

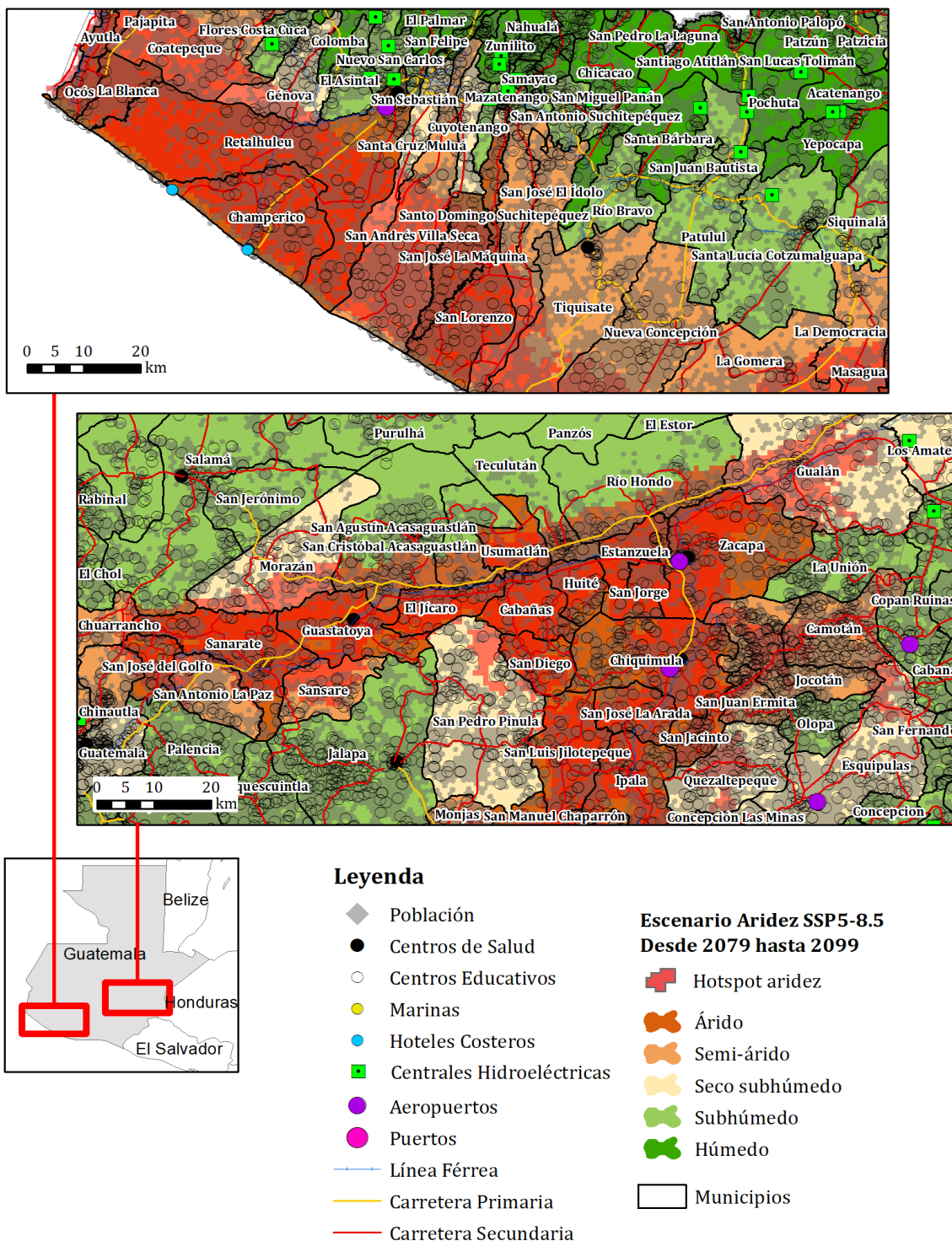
Modelación SSP5-8.5 para el período 2040 -2060 de Guatemala



Fuente: Elaboración propia.

Mapa 46

Modelación SSP5-8.5 para el período 2079 -2099 de Guatemala



Fuente: Elaboración propia.

Se seleccionaron 5 municipios en estado crítico según el indicador de aridez y sobre los cuales se realizan los siguientes análisis en función de información sociodemográfica, usos de suelo y de desastres hidrometeorológicos ocurridos<sup>11</sup>.

#### Cuadro 21

##### Datos socioeconómicos a nivel de municipio de Guatemala

Municipio	Cabañas	El Júcaro	Estanzuela	La Blanca	Ocós
Población	9.692.37	10.582.80	11.127.90	39.015.42	16.922.77
PIB (dólares)	12.518.00	10,404.00	7.141.00	4.580.00	4.580.00

Fuente: Elaboración propia con base a The Humanitarian Data Exchange, 2024 y Kummu et al., 2024.

El cuadro 21 muestra que los municipios como Cabañas tienen un PIB significativamente más alto (\$12 518) en comparación con Ocós y La Blanca (\$4 580). Esta disparidad económica sugiere que municipios como Ocós y La Blanca podrían tener menos recursos para invertir en medidas de adaptación al cambio climático, lo que aumenta su vulnerabilidad.

La Blanca es el municipio con la mayor población (39 015), lo que lo convierte en un área crítica en términos de impacto humano del cambio climático. Su alta densidad poblacional combinada con su dependencia agrícola aumenta la urgencia de implementar estrategias de resiliencia

#### Cuadro 22

##### Proporción de uso de suelo por municipio crítico a la aridez en Guatemala

Municipio	Cabañas	El Júcaro	Estanzuela	La Blanca	Ocós
Agua	0,62	1,28	1,22	1,78	3,76
Árboles	15,58	11,73	14,13	12,13	16,98
Vegetación Inundada	0,00	0,00	0,00	0,58	0,00
Cultivos	8,40	15,12	51,41	71,88	64,47
Área Construida	3,51	4,80	6,35	12,16	9,48
Suelo Desnudo	0,66	0,32	0,55	0,03	0,01
Nieve/Hielo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nubes	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pastizales	71,22	66,75	26,34	1,45	5,28

Fuente: Elaboración propia con base a Global Land Use Sentinel, 2023.

<sup>11</sup> Se sugiere ampliar el análisis a través de un dashboard interactivo en línea.

El cuadro 22 muestra que el municipio de Cabañas (71,22%) y El Júcaro (66,75%) tienen una alta proporción de pastizales. Aunque los pastizales pueden ser más resilientes en condiciones de aridez, su predominancia también indica una posible falta de diversificación en el uso de suelo, lo que podría limitar la adaptabilidad económica y la resiliencia de estos municipios frente al cambio climático.

La Blanca (71,88%) y Ocós (64,47%) tienen un uso del suelo mayoritariamente agrícola. Este alto nivel de dependencia de la agricultura en áreas con creciente aridez podría resultar en desafíos significativos, incluyendo la degradación de suelos, reducción en la productividad agrícola, y mayores riesgos de inseguridad alimentaria.

La presencia de áreas boscosas es más significativa en Ocós (16,98%) y Cabañas (15,58%), lo que podría proporcionar un cierto nivel de protección contra la erosión y mantener el microclima local. Sin embargo, el incremento de la aridez podría desafiar la supervivencia de estos ecosistemas.

Los municipios de Ocós (32 desastres), La Blanca (3 desastres), El Júcaro (0 desastres), Estanzuela (6 desastres), y Cabañas (6 desastres) presentan un panorama diverso en cuanto a la incidencia de desastres hidrometeorológicos. Ocós y Estanzuela sobresalen con un número significativo de desastres, lo que confirma su alta vulnerabilidad previamente identificada y refuerza la necesidad de priorizar medidas de adaptación en estas áreas. Aunque La Blanca y Cabañas muestran un menor número de desastres registrados, siguen siendo críticos debido a su exposición a la aridez y su dependencia agrícola. Por otro lado, El Júcaro, a pesar de no tener desastres registrados, sigue siendo vulnerable debido a su alta dependencia de la agricultura y antecedentes de sequías, lo que sugiere la necesidad de implementar estrategias de adaptación proactivas en todos estos municipios.

## Honduras

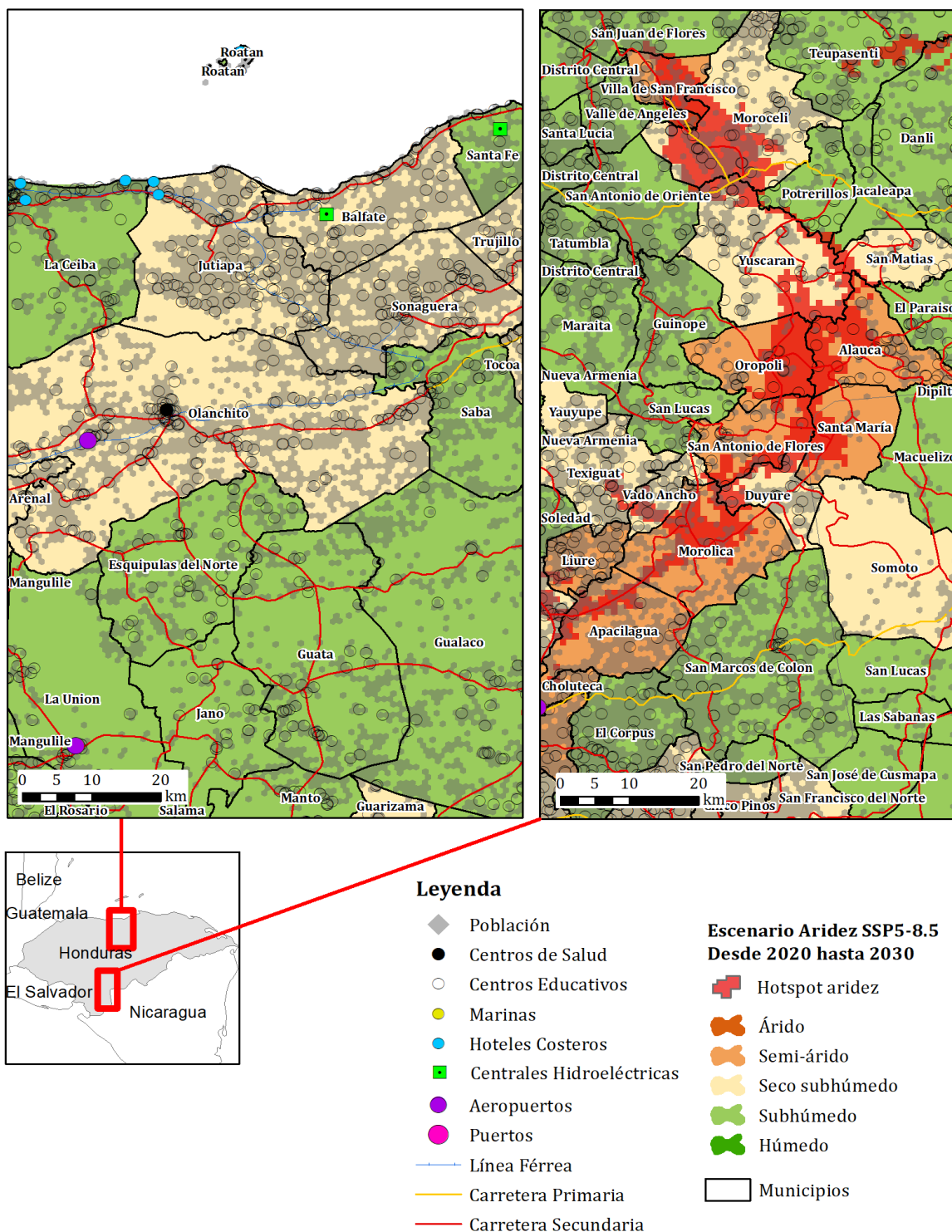
En el horizonte de tiempo 2020-2030 (mapa 47), se observa que las zonas más afectadas por la aridez se encuentran principalmente en el centro y sur del país, con algunos focos en el norte, especialmente en áreas como Olancho y partes de Francisco Morazán. Los hotspots de aridez ya comienzan a aparecer en regiones clave, particularmente alrededor de los municipios de Morolica y San Antonio de Flores en el sur, lo que indica que estas áreas podrían enfrentar desafíos significativos en cuanto a la disponibilidad de agua y el sustento agrícola.

En el horizonte de tiempo 2040-2060 (mapa 48), la aridez se expande significativamente, afectando a un mayor número de municipios en el sur y extendiéndose hacia el norte y noreste del país. Las áreas alrededor de Olancho y Francisco Morazán se vuelven más críticas. La red de infraestructura, como carreteras y centros de salud, en las zonas afectadas comienza a verse más comprometida debido a las condiciones climáticas más severas.

En el horizonte de tiempo 2079-2099 (mapa 49), la aridez se ha generalizado, cubriendo la mayor parte del territorio hondureño, con excepción de algunas zonas costeras y montañosas que permanecen subhúmedas. Con la aridez cubriendo gran parte del país, se proyecta que los municipios que dependen de la agricultura y otras actividades sensibles al clima enfrentarán graves crisis económicas y sociales.

Mapa 47

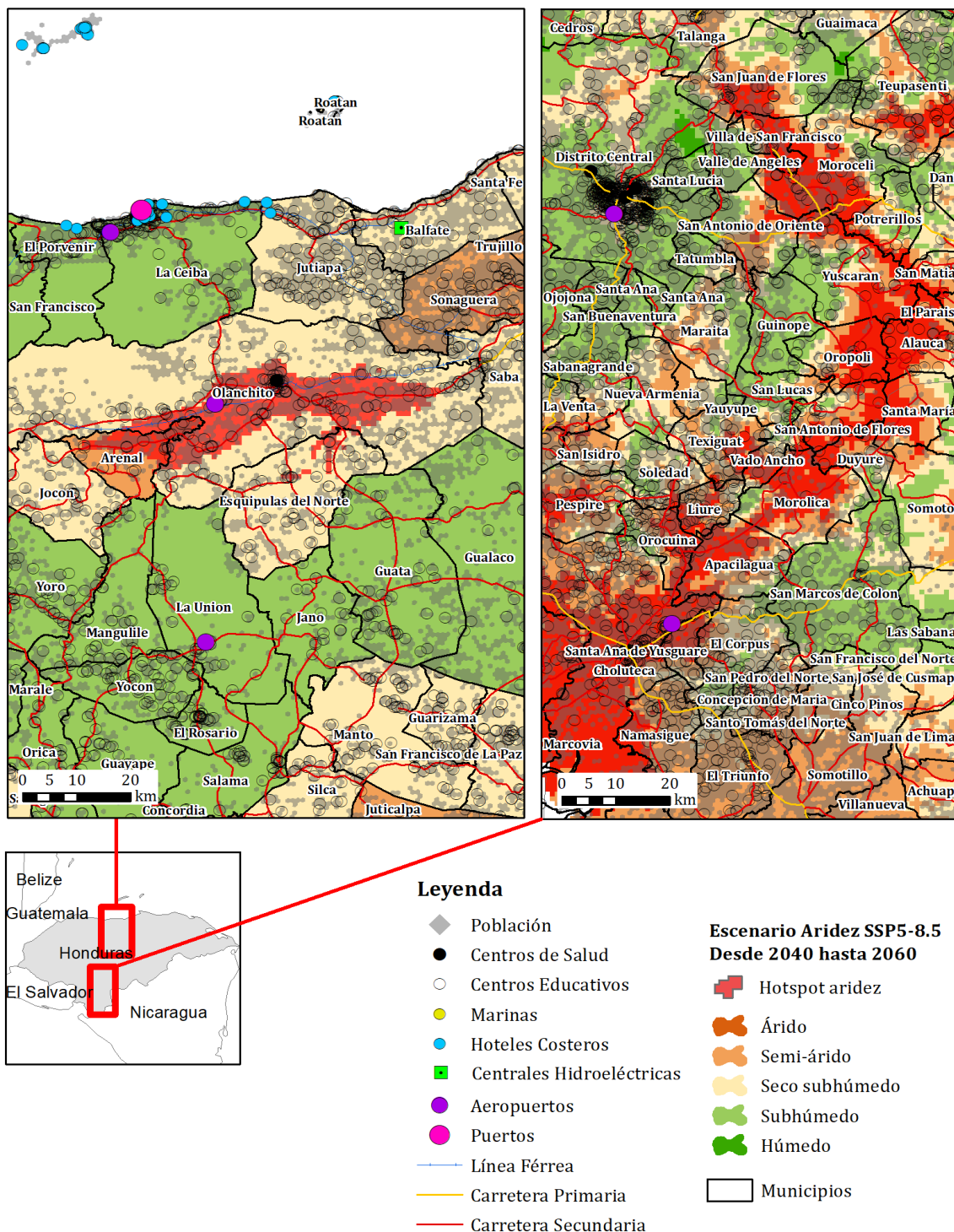
Modelación SSP5-8,5 para el período 2020 -2030 de Honduras



Fuente: Elaboración propia.

Mapa 48

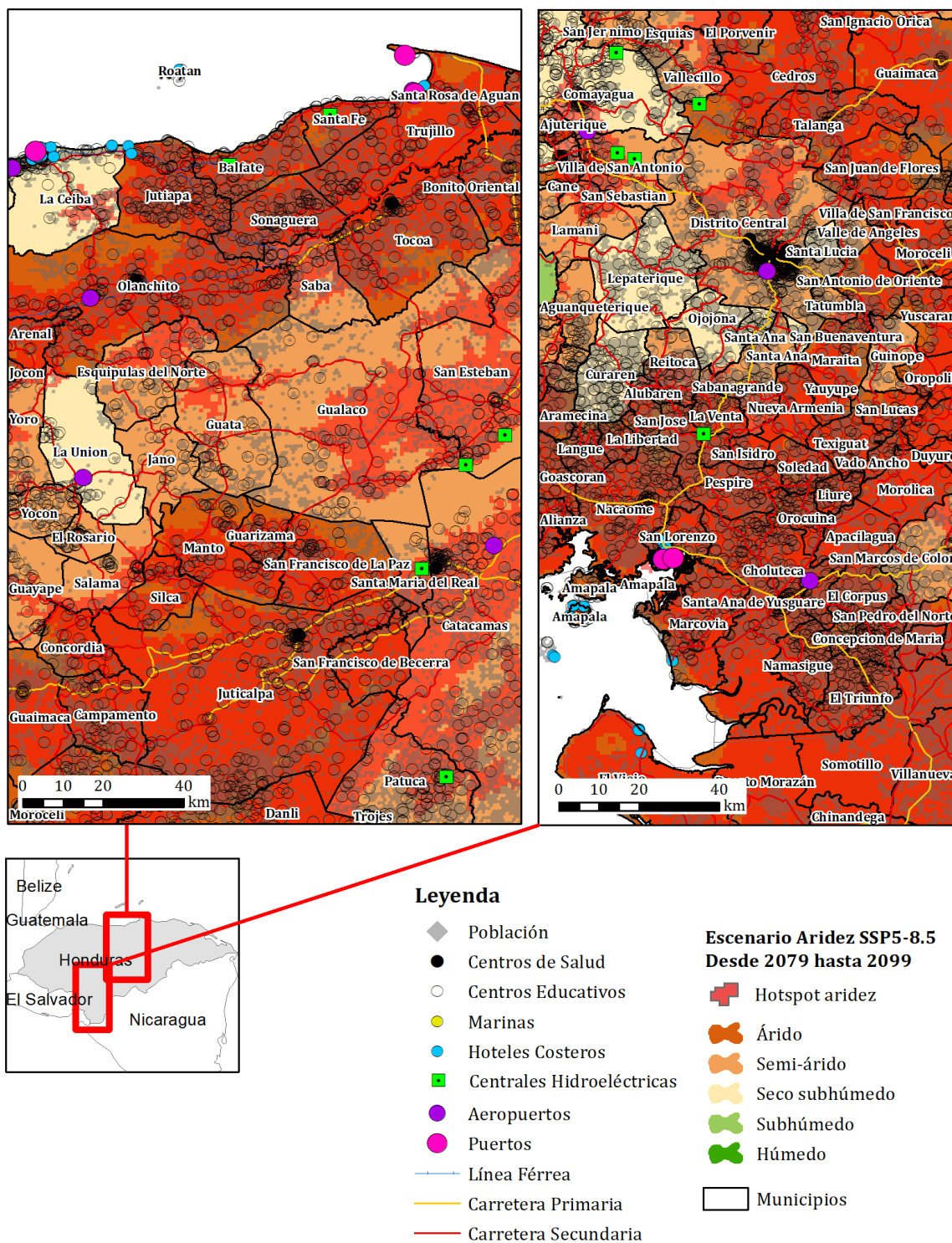
Modelación SSP5-8,5 para el período 2040 -2060 de Honduras



Fuente: Elaboración propia.

Mapa 49

Modelación SSP5-8,5 para el período 2079-2099 de Honduras



Fuente: Elaboración propia.

### Cuadro 23

#### Datos socioeconómicos a nivel de municipio de Honduras

Municipio	Choluteca	Marcovia	San Antonio de Flores	San Antonio de Flores	Amapala	San Lorenzo
Población	906 605.37	20 784.72	52 141.36	8 468.64	5 670.91	10 290.40
PIB	\$3 781.00	\$2 859.00	\$2 880.00	\$4 186.00	S/D	S/D

Fuente: Elaboración propia con base a The Humanitarian Data Exchange, 2024 y Kummu et al. 2024.

El cuadro 23 muestra que con una población de más de 900.000 personas y un PIB de \$3.781, Choluteca es uno de los municipios más poblados y económicamente activos en las áreas afectadas. La dependencia de la agricultura y la ganadería hace que su economía sea especialmente vulnerable a la aridez. Es fundamental fortalecer la infraestructura de agua, diversificar la economía e introducir tecnologías agrícolas adaptadas a climas más secos.

Marcovia, con una población menor pero una alta dependencia de la agricultura enfrenta un riesgo significativo de inseguridad alimentaria. Con un PIB de \$2.859, las opciones para la inversión en adaptación pueden ser limitadas. Priorizar la eficiencia en el uso del agua y la introducción de cultivos resistentes a la sequía será clave para la sostenibilidad.

San Antonio de Flores, tiene una población total significativa que depende en gran medida de la ganadería. La falta de diversificación económica aumenta la vulnerabilidad. Es necesario fomentar la diversificación económica y mejorar la gestión de pastizales son medidas urgentes para reducir la vulnerabilidad.

Amapala y San Lorenzo, tienen poblaciones más pequeñas, lo que podría complicar las inversiones en adaptación, especialmente en ausencia de datos precisos del PIB para Amapala. Sin embargo, la dependencia de la agricultura y los recursos naturales sigue siendo alta. Enfocar las intervenciones en el manejo sostenible de los recursos naturales y fortalecer la infraestructura para proteger a las comunidades.

**Cuadro 24**

Proporción de uso de suelo por municipio crítico a la aridez en Honduras

Municipio	Choluteca	Marcovia	San Antonio de Flores	San Antonio de Flores	Amapala	San Lorenzo
Agua	16,18	14,35	0,89	1,07	3,72	5,65
Árboles	12,97	15,78	30,09	34,50	56,41	14,30
Vegetación Inundada	4,24	4,74	0,00	0,00	3,01	17,11
Cultivos	11,92	39,99	1,07	0,09	0,50	2,96
Área Construida	5,59	4,41	6,82	2,89	5,38	11,14
Suelo Desnudo	1,37	0,33	0,00	0,07	0,39	0,08
Nieve/Hielo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nubes	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pastizales	47,47	17,52	61,13	61,38	16,24	47,21

Fuente: Elaboración propia con base a Global Land Use Sentinel, 2023.

El cuadro 24 evidencia que Choluteca, con un 47,47% del terreno dedicado a pastizales y 12,97% a árboles, tiene una dependencia significativa en la ganadería y la agricultura. La aridez podría reducir la productividad de estos sectores, exacerbando los problemas económicos. Es crucial introducir prácticas de manejo sostenible del suelo y diversificación económica para reducir la vulnerabilidad. Marcovia tiene un uso del suelo dominado por cultivos (39,99%) y pastizales (17,52%), lo que sugiere una alta dependencia de la agricultura. Con la aridez creciente, estos cultivos podrían fallar, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria. Invertir en tecnologías de riego eficiente y cultivo de especies más resistentes a la sequía es fundamental.

San Antonio de Flores, este municipio cuenta con un 61,13% de su suelo cubierto de pastizales, lo que indica una fuerte dependencia de la ganadería. La aridez podría llevar a la degradación del suelo y a una disminución en la productividad de las tierras.

Implementar rotación de pastizales y mejorar la gestión de los recursos hídricos serán clave para sostener la ganadería en condiciones más secas.

Amapala presenta una mezcla de terrenos dedicados a árboles (56,41%), agua (3,72%), y vegetación inundada (3,01%). Aunque esto podría sugerir una cierta resiliencia, la aridez prolongada podría alterar los ecosistemas y afectar la biodiversidad. La protección y manejo de los bosques y áreas de agua para mantener los servicios ecosistémicos será esencial.

San Lorenzo, con un 47,21% de su terreno cubierto de pastizales y 11,14% de área construida, enfrenta desafíos tanto en la agricultura como en la infraestructura urbana. La aridez podría afectar la calidad de vida y la economía local. Reforzar la infraestructura urbana y mejorar la gestión del agua será crucial para mantener la habitabilidad.

Respecto a los desastres hidrometeorológicos ocurridos, los municipios de Choluteca (65 desastres), Marcovia (27 desastres), San Antonio de Flores (4 desastres), San Lorenzo (31 desastres), y Amapala (75 desastres) destacan por su alta incidencia de desastres hidrometeorológicos registrados, lo que refleja su exposición frente a los efectos adversos del cambio climático. Estos municipios, ya identificados previamente como críticos debido a su exposición a la aridez y su dependencia económica en sectores sensibles como la agricultura, requieren una atención prioritaria en la implementación de medidas de adaptación. La recurrencia de desastres en estas áreas subraya la necesidad de estrategias de adaptación robustas para reducir el riesgo y aumentar la resiliencia de estas comunidades.

#### El Salvador

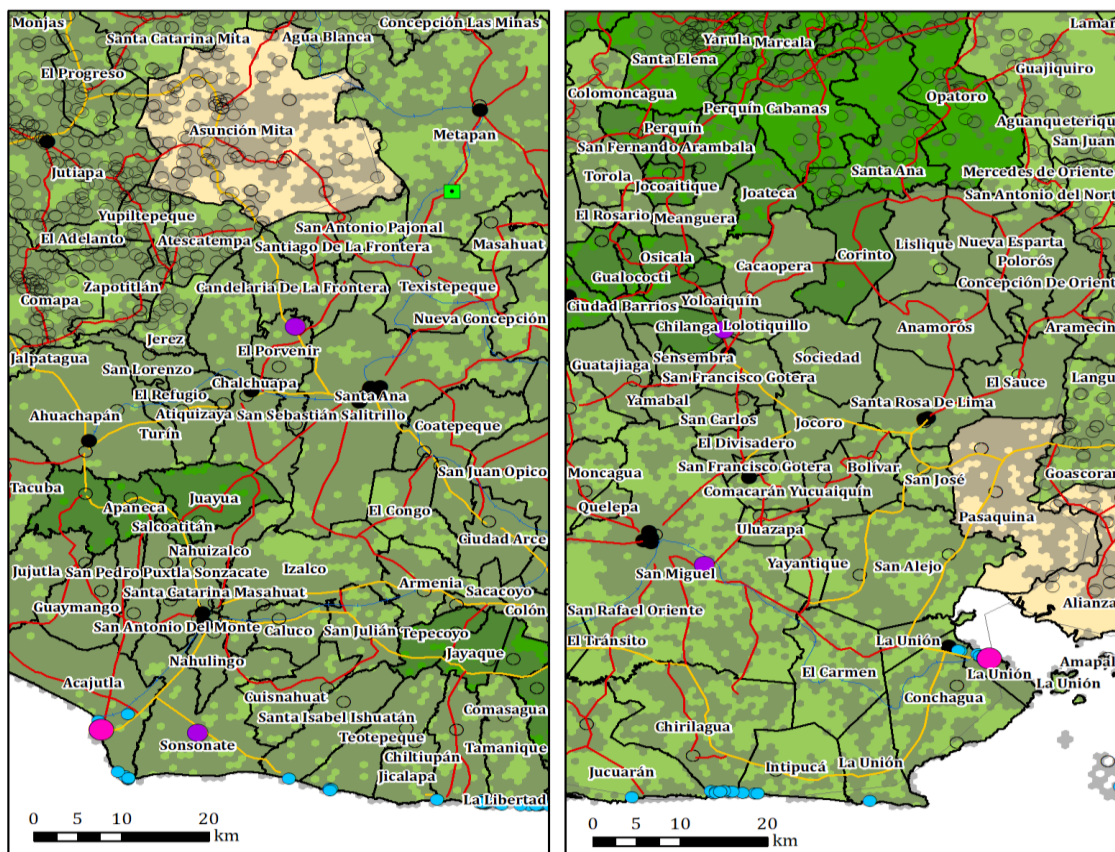
En el escenario 2020-2030 (mapa 50), la aridez comienza a manifestarse principalmente en el noroeste del país, afectando a municipios como San Antonio Pajonal y El Sauce. Estos municipios ya muestran signos de vulnerabilidad debido a su ubicación en áreas que empiezan a experimentar condiciones más secas. La infraestructura crítica, como carreteras y centros de salud en estas áreas, podría enfrentar desafíos si la aridez continúa aumentando. La población rural, dependiente de la agricultura y los pastizales, podría ver reducida la productividad debido a la menor disponibilidad de agua.

En el escenario 2040-2060 (mapa 51), la aridez se extiende hacia el este y el centro del país, afectando una mayor cantidad de municipios, incluidos La Unión y Pasaquina. Estas áreas empiezan a enfrentar mayores desafíos en términos de acceso al agua y sostenibilidad agrícola. La aridez en este período afecta a municipios con una mayor población, como La Unión, lo que podría llevar a una mayor presión sobre los recursos hídricos y un aumento en la competencia por tierras agrícolas viables.

En el escenario 2079-2099 (mapa 52), la aridez afecta a casi todo el país, con vastas áreas de El Salvador bajo condiciones áridas y semiáridas. Esto representa una amenaza directa a la seguridad alimentaria, la disponibilidad de agua potable y la habitabilidad en general. Municipios como San Alejo y La Unión, con grandes extensiones de tierra dedicadas a pastizales y agricultura, enfrentarán una disminución significativa en la productividad agrícola, lo que podría provocar crisis alimentarias y económicas.

Mapa 50

Modelación SSP5-8,5 para el período 2020 -2030 de El Salvador

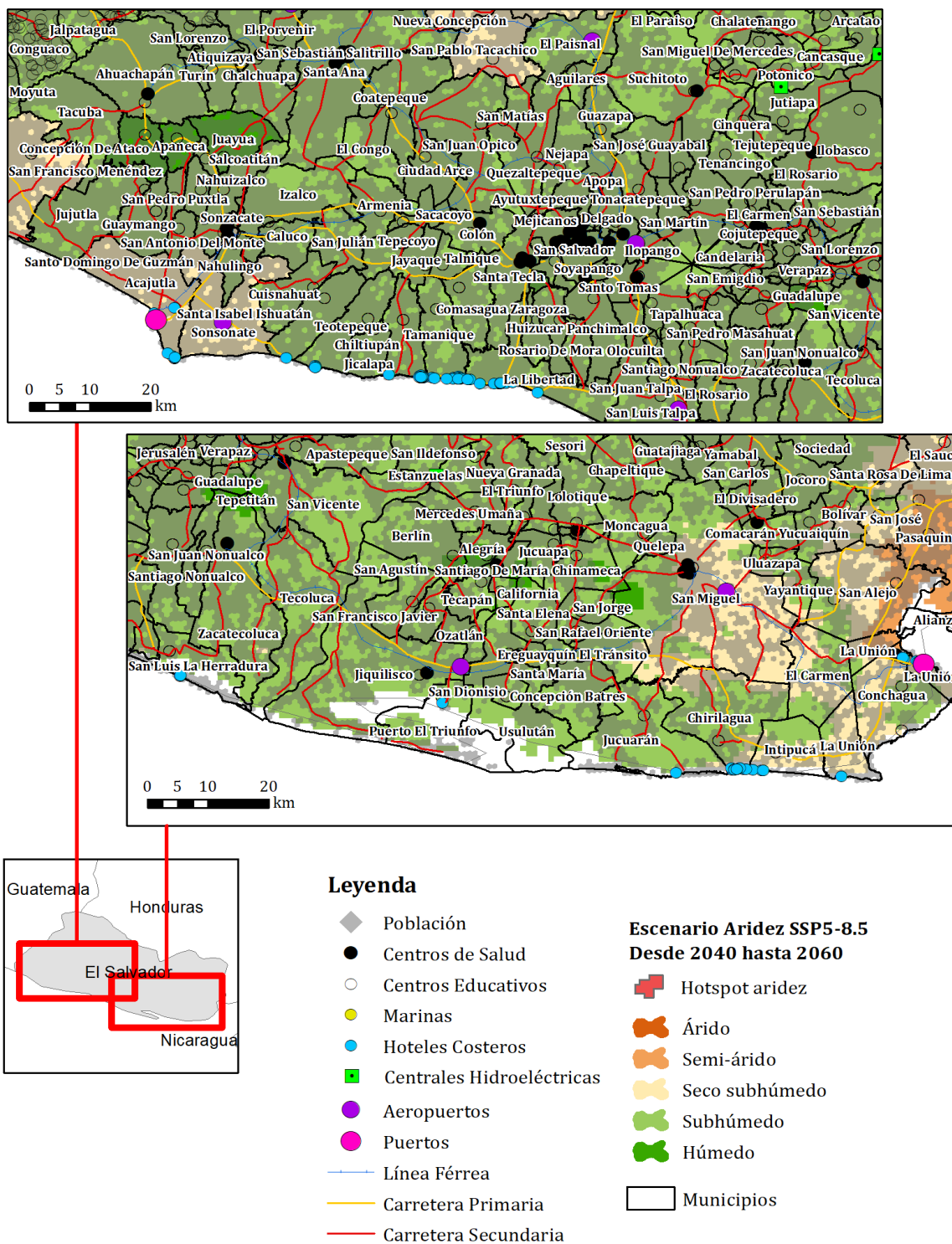


**Leyenda**

- ◆ Población
  - Centros de Salud
  - Centros Educativos
  - Marinas
  - Hoteles Costeros
  - Centrales Hidroeléctricas
  - Aeropuertos
  - Puertos
  - Línea Férrea
  - Carretera Primaria
  - Carretera Secundaria
- Escenario Aridez SSP5-8.5 Desde 2020 hasta 2030**
- Hotspot aridez
  - Árido
  - Semi-árido
  - Seco subhúmedo
  - Subhúmedo
  - Húmedo
  - Municipios

Fuente: Elaboración propia.

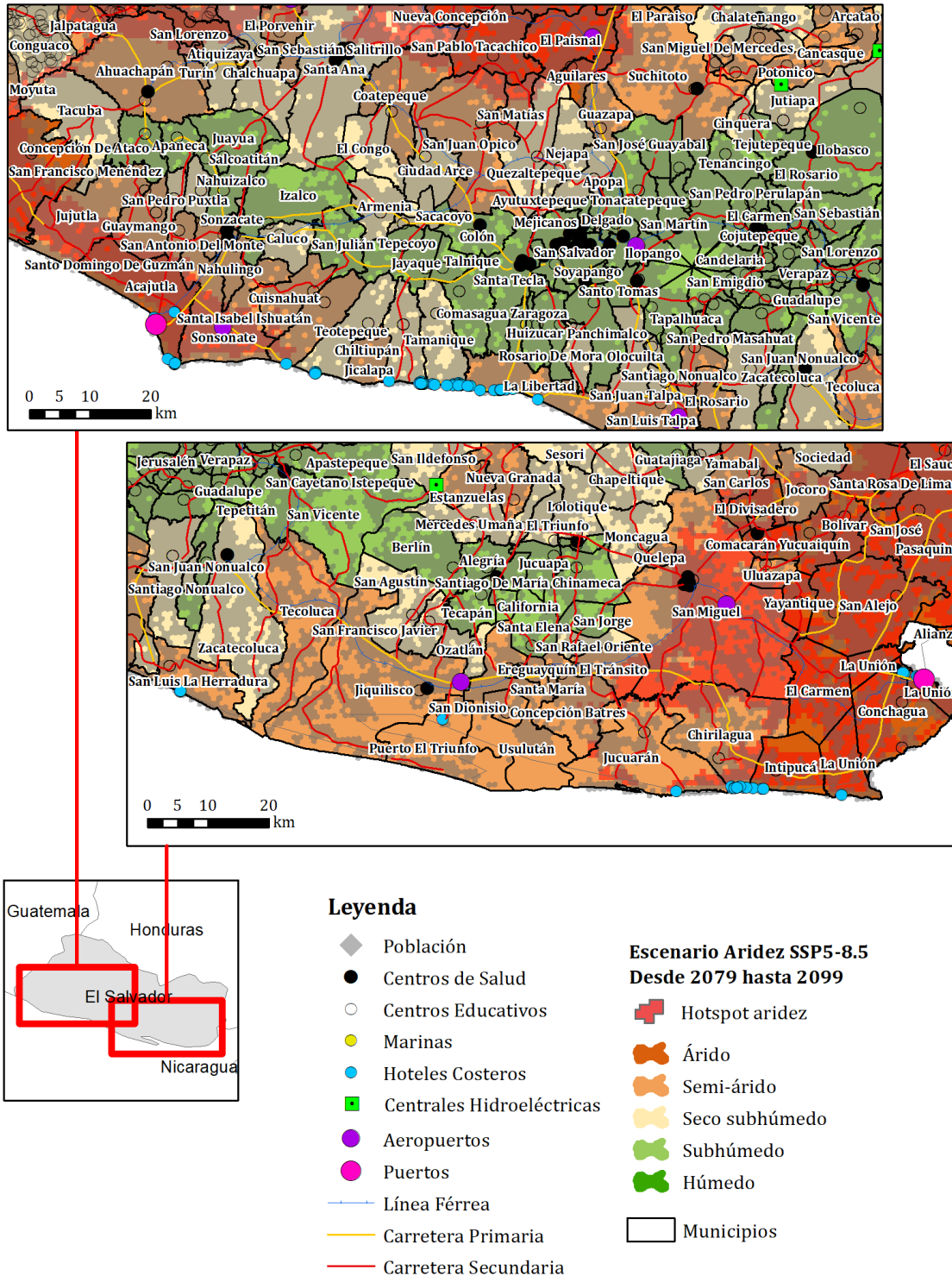
Mapa 51  
Modelación SSP5-8,5 para el período 2040 -2060 de El Salvador



Fuente: Elaboración propia.

Mapa 52

Modelación SSP5-8,5 para el período 2079-2099 de El Salvador



Fuente: Elaboración propia.

## Cuadro 25

Datos socioeconómicos a nivel de municipio de El Salvador

Municipios	San Antonio Pajonal	El Sauce	La Unión	Pasaquina	San Alejo
Población	3.778	5.107	26.087	12.766	13.404
PIB (dólares)	5.955	8.945	5.846	8.943	7.506

Fuente: Elaboración propia con base a The Humanitarian Data Exchange, 2024 y Kummu et al. 2024.

El cuadro 25 señala que con una población relativamente pequeña (3.778 habitantes) y un PIB de \$5.955, San Antonio Pajonal tiene una capacidad económica limitada para enfrentar los desafíos que plantea la aridez, por lo que fomentar la diversificación de fuentes de ingresos y mejorar la gestión del agua será crucial para reducir la vulnerabilidad de la población.

El Sauce, con una población de 5.107 habitantes y un PIB de \$8.945, enfrenta desafíos similares, aunque cuenta con un PIB ligeramente mayor, lo que podría facilitar la implementación de medidas de adaptación. Invertir en infraestructura para la gestión del agua y promover actividades económicas alternativas serán claves para enfrentar la aridez.

La Unión es el municipio más poblado entre los analizados (26.087 habitantes), pero su PIB de \$5.846 es relativamente bajo. Esto sugiere una alta presión sobre los recursos y una capacidad limitada para adaptarse a la aridez. Es necesario priorizar la implementación de sistemas de riego eficientes y programas de capacitación en técnicas agrícolas adaptadas a climas secos.

Con una población de 12.766 habitantes y un PIB de \$8.943, Pasaquina enfrenta desafíos significativos debido a su dependencia de la agricultura y la ganadería en un entorno cada vez más árido. Fomentar la diversificación de cultivos y la implementación de tecnologías de riego será crucial para mantener la productividad agrícola.

San Alejo, con una población de 13.404 habitantes y un PIB de \$7.506, enfrenta una situación similar a la de los otros municipios, con la aridez afectando tanto la agricultura como los recursos naturales. Promover la reforestación y la gestión sostenible de los recursos hídricos serán esenciales para reducir la vulnerabilidad de San Alejo frente a la aridez.

#### Cuadro 26

Proporción de uso de suelo por municipio crítico a la aridez en El Salvador

Municipio	San Antonio Pajonal	El Sauce	La Unión	Pasaquina	San Alejo
Agua	1,25	0,38	2,33	2,18	2,02
Árboles	17,70	23,73	48,18	19,82	37,61
Vegetación Inundada	0,00	0,00	1,49	0,93	0,58
Cultivos	2,05	0,06	4,35	3,56	1,46
Área Construida	5,81	5,26	16,24	5,31	5,81
Suelo Desnudo	0,00	0,00	0,01	0,35	0,02
Nieve/Hielo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nubes	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pastizales	73,19	70,57	27,36	67,85	52,50

Fuente: Elaboración propia con base a Global Land Use Sentinel, 2023.

El cuadro 26 advierte que con un 73,19% del terreno dedicado a pastizales y un 17,70% a árboles, San Antonio Pajonal depende en gran medida de la ganadería y los recursos forestales. La aridez podría reducir la disponibilidad de agua para estos usos, afectando la sostenibilidad de la ganadería y los servicios ecosistémicos proporcionados por los bosques. Implementar prácticas de manejo sostenible de los pastizales y mejorar la gestión de los recursos hídricos serán clave para mantener la productividad en condiciones más secas.

El Sauce tiene un uso del suelo similar, con 70,57% de pastizales y 23,73% de árboles. La dependencia de la ganadería y los recursos forestales coloca a este municipio en una posición vulnerable frente a la aridez. Fomentar la diversificación económica, como el ecoturismo o la producción de cultivos resistentes a la sequía, podría ser una estrategia efectiva para reducir la vulnerabilidad.

La Unión, con un 48,18% de su terreno cubierto de árboles y 27,36% de pastizales, enfrenta desafíos similares a El Sauce. Aunque cuenta con una mayor cobertura arbórea, la aridez podría afectar la salud de los bosques y la biodiversidad local.

Es fundamental implementar estrategias de conservación forestal y promover el manejo sostenible de los recursos hídricos para mantener los servicios ecosistémicos y proteger la biodiversidad. Con 67,85% de pastizales y 19,82% de árboles, Pasaquina enfrenta riesgos similares a los de San Antonio Pajonal y El Sauce.

La dependencia de la ganadería en un entorno cada vez más árido podría llevar a la degradación del suelo. Invertir en la rehabilitación del suelo y en tecnologías de riego eficiente será crucial para sostener la producción ganadera y agrícola. Por su parte, San Alejo presenta una combinación de pastizales (52,50%) y árboles (37,61%). La aridez en este municipio podría llevar a la degradación de los recursos forestales y a una disminución en la productividad agrícola. Promover la reforestación y la gestión sostenible de los recursos naturales será esencial para mantener la resiliencia del municipio frente a la aridez.

Respecto de los desastres hidrometeorológicos ocurridos en el pasado, los municipios de La Unión (65 desastres), San Alejo (14 desastres), Pasaquina (28 desastres), El Sauce (3 desastres) y San Antonio Pajonal (0 desastres) presentan un panorama variado en cuanto a la incidencia de desastres hidrometeorológicos. La Unión y Pasaquina destacan con un número significativo de desastres, lo que confirma su alta exposición previamente identificada y refuerza la necesidad de priorizar medidas de adaptación en estas áreas. Aunque San Alejo y El Sauce muestran un menor número de desastres registrados, siguen siendo críticos debido a su exposición a la aridez y su dependencia agrícola. Por otro lado, San Antonio Pajonal, a pesar de no tener desastres registrados, sigue siendo vulnerable debido a su alta dependencia de la agricultura y exposición futura a la aridez, lo que sugiere la necesidad de implementar estrategias de adaptación proactivas en todos estos municipios.

## Costa Rica

Durante el primer período (2020-2030), la aridez comienza a manifestarse en la región de Guanacaste, con municipios como Liberia, Carrillo y Santa Cruz mostrando signos de vulnerabilidad (mapa 53). Estas áreas son clave para la economía agrícola y ganadera del país, lo que las hace especialmente sensibles a los cambios en la disponibilidad de agua. La infraestructura crítica, como carreteras y centros de salud, podría enfrentar desafíos si la aridez continúa aumentando. La población, que depende en gran medida de la agricultura y los pastizales, podría ver reducida la productividad debido a la menor disponibilidad de agua.

En el segundo período de la modelación (2040-2060), la aridez se intensifica y se expande, afectando más áreas en Guanacaste y algunas partes de Puntarenas (mapa 54). Municipios como Bagaces y Nicoya empiezan a experimentar condiciones más severas, lo que podría impactar su economía y la vida cotidiana de sus habitantes. La expansión de la aridez hacia áreas con alta densidad de población y economía basada en la agricultura puede resultar en tensiones sobre los recursos hídricos y un aumento en los costos de vida debido a la escasez de agua y la disminución de la producción agrícola.

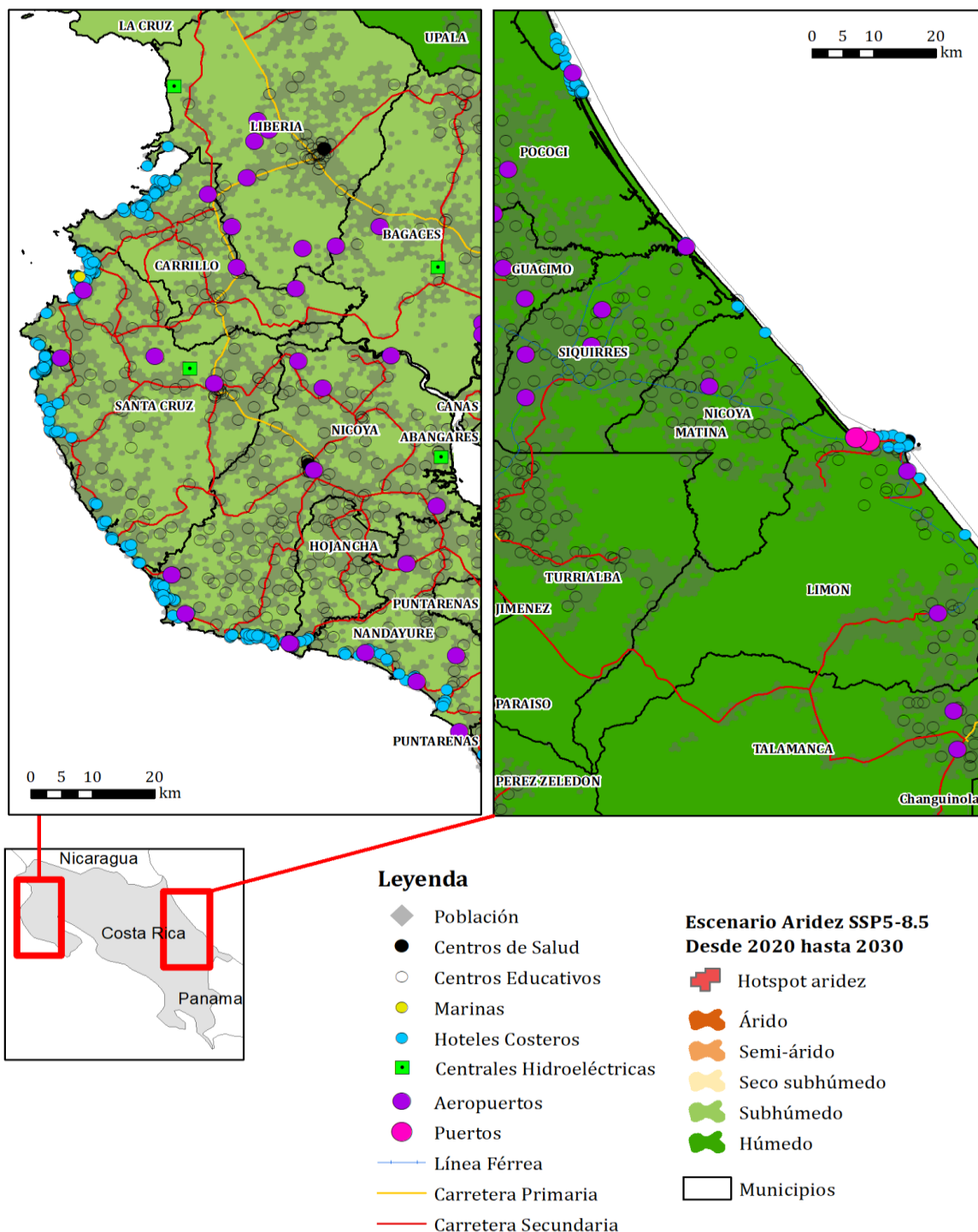
En el último período (2079-2099), la aridez afecta de manera severa a casi toda la región de Guanacaste (mapa 55). Los municipios de Liberia, Bagaces y Carrillo experimentarán condiciones áridas de manera permanente, lo que representa una amenaza directa a la seguridad alimentaria y a la sostenibilidad de sus economías locales. La reducción significativa en la productividad agrícola, junto con la posible degradación de los recursos naturales, podría llevar a crisis alimentarias y económicas, especialmente en municipios como Santa Cruz y Nicoya. La infraestructura, como los sistemas de riego y carreteras, también podría deteriorarse bajo estas condiciones extremas.

En contraste con las regiones noroeste y central de Costa Rica, que enfrentan un futuro marcado por la aridez creciente, la región del Caribe costarricense, particularmente la provincia de Limón muestra una resiliencia notable ante las condiciones áridas proyectadas. Según los escenarios climáticos analizados para el período 2020-2099, la

provincia de Limón se mantiene en condiciones subhúmedas o húmedas a lo largo del tiempo (mapas 53, 54 y 55).

Mapa 53

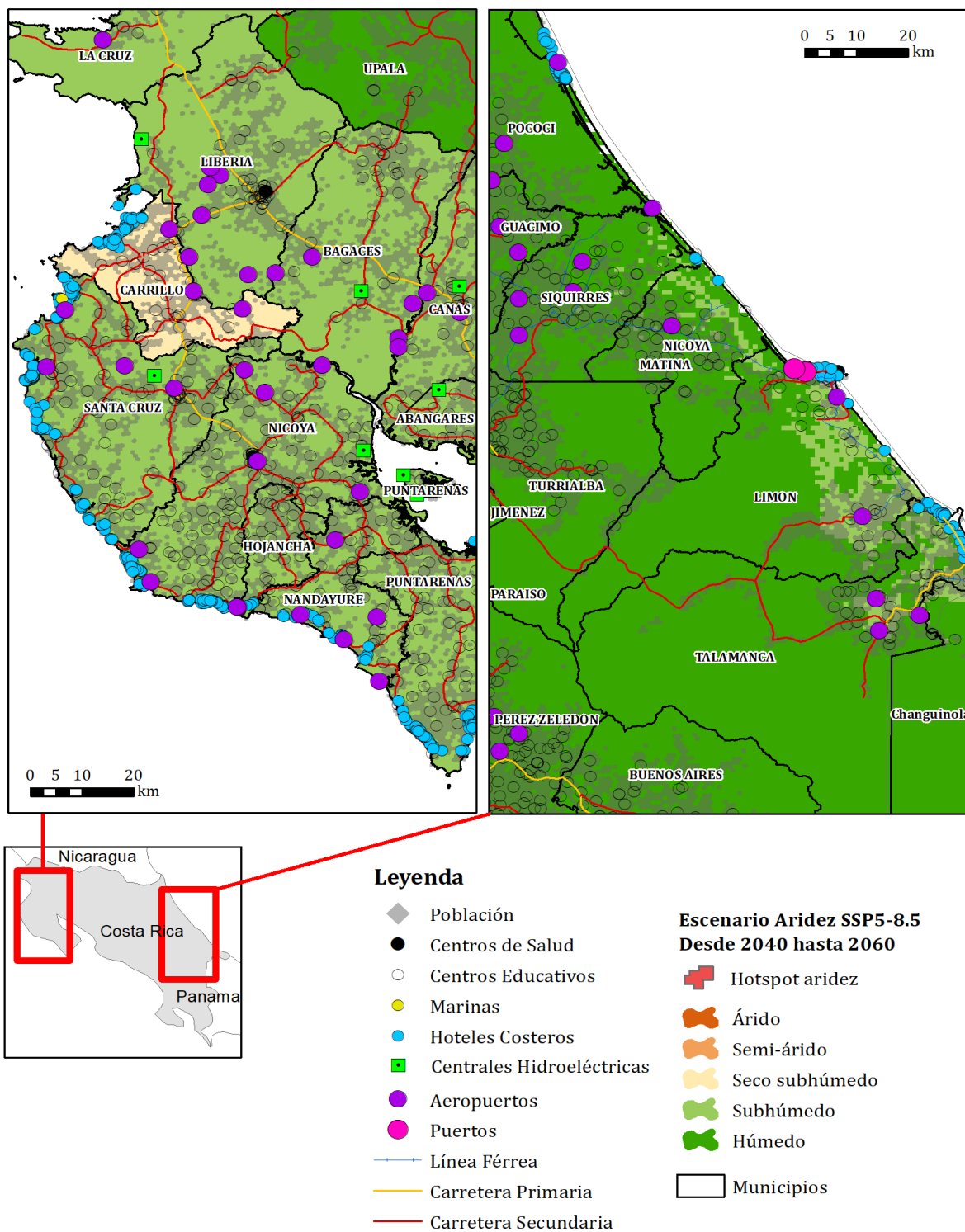
Modelación SSP5-8.5 para el período 2020 -2030 de Costa Rica



Fuente: Elaboración propia.

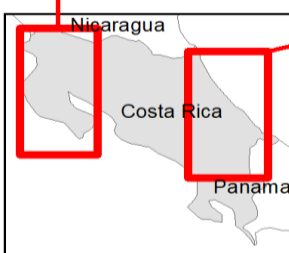
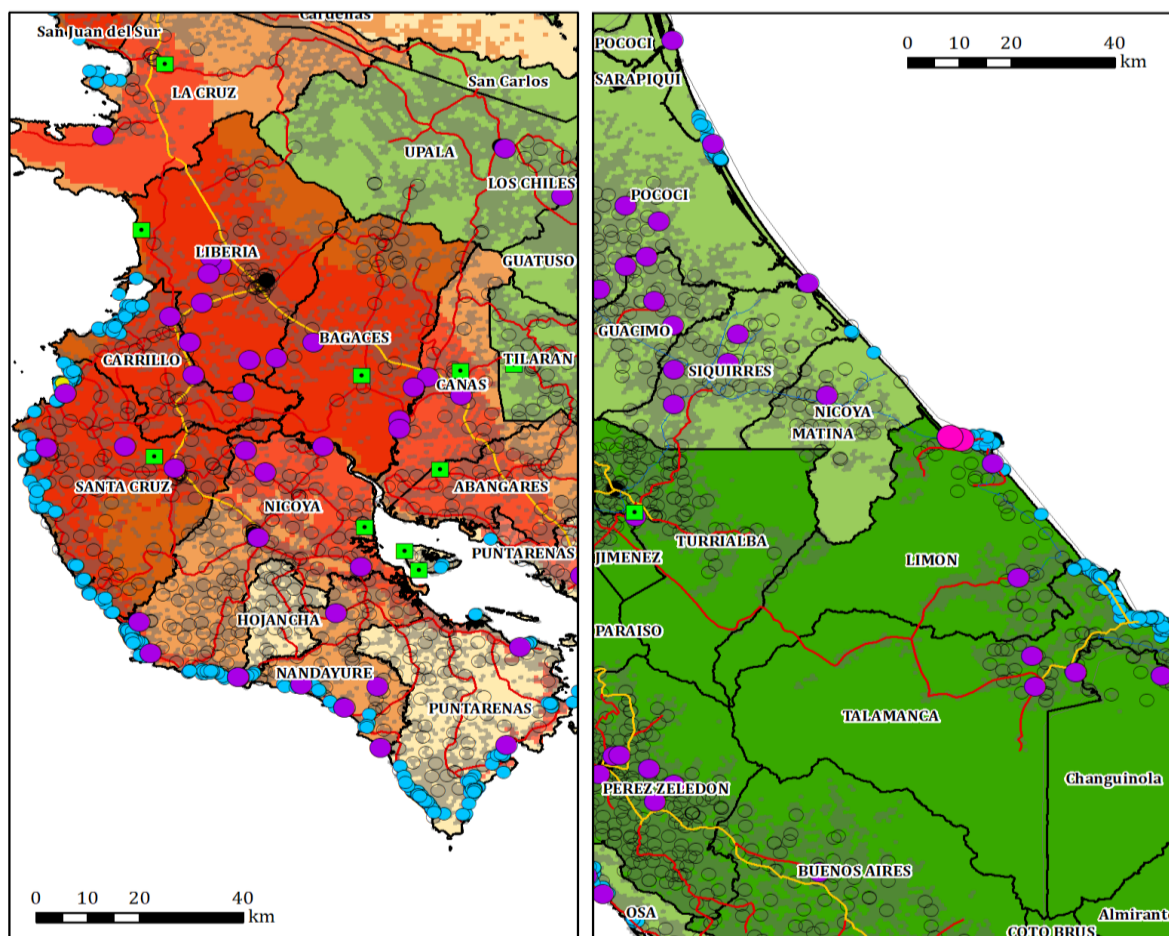
Mapa 54

Modelación SSP5-8.5 para el período 2040 -2060 de Costa Rica



Fuente: Elaboración propia.

Mapa 55  
Modelación SSP5-8.5 para el período 2079 -2099 de Costa Rica



**Leyenda**

- |                             |   |
|-----------------------------|---|
| ◆ Población                 | Escenario Aridez SSP5-8.5 Desde 2079 hasta 2099 |
| ● Centros de Salud          | Hotspot aridez                                  |
| ○ Centros Educativos        | Árido   |
| ● Marinas                   | Semi-árido                                      |
| ● Hoteles Costeros          | Seco subhúmedo                                  |
| ■ Centrales Hidroeléctricas | Subhúmedo                                       |
| ● Aeropuertos               | Húmedo  |
| ● Puertos                   | □ Municipios                                    |
| — Línea Férrea              |   |
| — Carretera Primaria        |   |
| — Carretera Secundaria      |   |

Fuente: Elaboración propia.

### Cuadro 27

#### Datos socioeconómicos a nivel de municipio de Costa Rica

Cantón	Bagaces	Carrillo	Liberia	Nicoya	Santa Cruz
Población	25.850	48.862	88.576	63.997	74.969
PIB (dólares)	13.127	16.666	9.867	20.825	19.484

Fuente: Elaboración propia con base a The Humanitarian Data Exchange, 2024) y Kummu et al, 2024.

El cuadro 27 señala que con una población de 25.850 habitantes y un PIB de \$13.127, Bagaces tiene recursos limitados para enfrentar los desafíos de la aridez. Será necesario fortalecer la infraestructura de agua y promover la diversificación económica para reducir la dependencia de actividades sensibles al clima.

Carrillo, con una población de 48.862 y un PIB de \$16.666, enfrenta un desafío significativo debido a su alta dependencia de la agricultura. Invertir en sistemas de riego y promover cultivos resistentes a la sequía será esencial para proteger su economía local.

Liberia es el municipio más poblado entre los analizados (88.576 habitantes), pero su PIB relativamente bajo (\$9.867) sugiere una capacidad limitada para invertir en adaptación. Estrategia de Adaptación: Será crucial priorizar la reforestación, la gestión eficiente del agua y la diversificación económica para enfrentar los desafíos de la aridez.

Con una población de 63.997 habitantes y un PIB de \$20.825, Nicoya tiene una economía más robusta, pero sigue siendo vulnerable debido a su alta dependencia de la ganadería. Promover prácticas de manejo sostenible de pastizales y diversificar las actividades económicas será fundamental para asegurar su resiliencia.

Santa Cruz, con una población de 74.969 habitantes y un PIB de \$19.484, enfrenta desafíos similares a Nicoya, con una economía basada en recursos naturales que es vulnerable a la aridez. Implementar la reforestación, mejorar la gestión del agua y diversificar la economía local será clave para reducir su vulnerabilidad a la aridez.

**Cuadro 28**

**Proporción de uso de suelo por municipio crítico a la aridez en Costa Rica**

Cantón	Bagaces	Carrillo	Liberia	Nicoya	Santa Cruz
Agua	0,19	0,59	0,29	0,53	0,27
Árboles	44,49	23,63	45,51	54,57	56,13
Vegetación Inundada	0,38	0,02	0,01	0,05	0,10
Cultivos	14,94	29,24	14,27	3,01	3,81
Área Construida	1,52	5,53	2,68	3,99	5,42
Suelo Desnudo	0,02	0,00	0,02	0,03	0,02
Nieve/Hielo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nubes	0,33	0,00	0,27	0,00	0,00
Pastizales	38,12	40,76	36,88	37,70	34,14

Fuente: Elaboración propia con base a Global Land Use Sentinel, 2023.

El cuadro 28 muestra que el municipio de Bagaces tiene un 38,12% de su terreno dedicado a pastizales y un 44,49% a árboles. La dependencia de estos recursos naturales, combinada con un 14,94% de suelos cultivados, lo hace vulnerable a la aridez. Fomentar la conservación forestal y la diversificación de actividades económicas será esencial para reducir la vulnerabilidad de Bagaces frente a la aridez.

Carrillo tiene un alto porcentaje de suelos dedicados a cultivos (29,24%) y pastizales (40,76%), lo que indica una fuerte dependencia de la agricultura. La aridez podría afectar significativamente su economía. Implementar tecnologías de riego eficiente y promover cultivos más resistentes a la sequía serán estrategias clave para reducir los efectos de la aridez en Carrillo.

Con un 45,51% de suelos forestales y un 36,88% de pastizales, Liberia es vulnerable a la degradación forestal y la pérdida de productividad agrícola debido a la aridez. Reforzar la gestión de los recursos hídricos y promover la reforestación serán esenciales para mantener la resiliencia de Liberia.

Nicoya se caracteriza por un alto porcentaje de terrenos forestales (54,57%) y pastizales (37,70%), con una menor dependencia de los cultivos (3,01%). A pesar de esto, la aridez podría impactar significativamente su economía basada en la ganadería. Es crucial implementar estrategias de manejo sostenible de los pastizales y diversificar la economía local para reducir los efectos de la aridez.

Santa Cruz tiene una combinación significativa de suelos forestales (56,13%) y pastizales (34,14%). La dependencia de estos recursos, junto con un pequeño porcentaje de cultivos (3,81%), hace que este municipio sea particularmente vulnerable a la aridez. Fomentar la reforestación y la gestión sostenible del agua, así como la diversificación de las fuentes de ingresos, será clave para proteger a Santa Cruz de los impactos de la aridez.

Respecto de los desastres ocurridos de componente hidrometeorológica, los municipios de Bagaces (34 desastres), Carrillo (52 desastres), Liberia (5 desastres), Nicoya (14 desastres), y Santa Cruz (42 desastres) presentan una variedad en cuanto a la incidencia de desastres hidrometeorológicos. Carrillo y Santa Cruz destacan con un número significativo de desastres, lo que refuerza la alta exposición previamente identificada y la necesidad de priorizar medidas adaptativas en estas áreas. Bagaces y Nicoya, aunque con un número moderado de desastres, también requieren atención urgente para implementar estrategias de adaptación, dadas sus características y riesgos inherentes. Liberia, a pesar de la baja incidencia de desastres, sigue siendo un municipio clave en términos de adaptación debido a su exposición futura a la aridez y su importancia regional. Lo anterior, subraya la importancia de una planificación adaptativa proactiva para enfrentar los desafíos climáticos en Costa Rica.

#### Panamá

Durante este primer período (2020-2030), la aridez afecta de manera limitada algunas áreas de Panamá, especialmente en la región occidental, cerca de la frontera con Costa Rica (mapa 56). No obstante, la mayoría del territorio panameño permanece en condiciones subhúmedas y húmedas, lo que indica una baja exposición inicial a la aridez. Dado que las áreas afectadas son relativamente pequeñas y localizadas, el impacto en la infraestructura y la población será limitado durante este período. Sin embargo, los municipios en las zonas afectadas deben comenzar a planificar medidas de adaptación para reducir futuros riesgos.

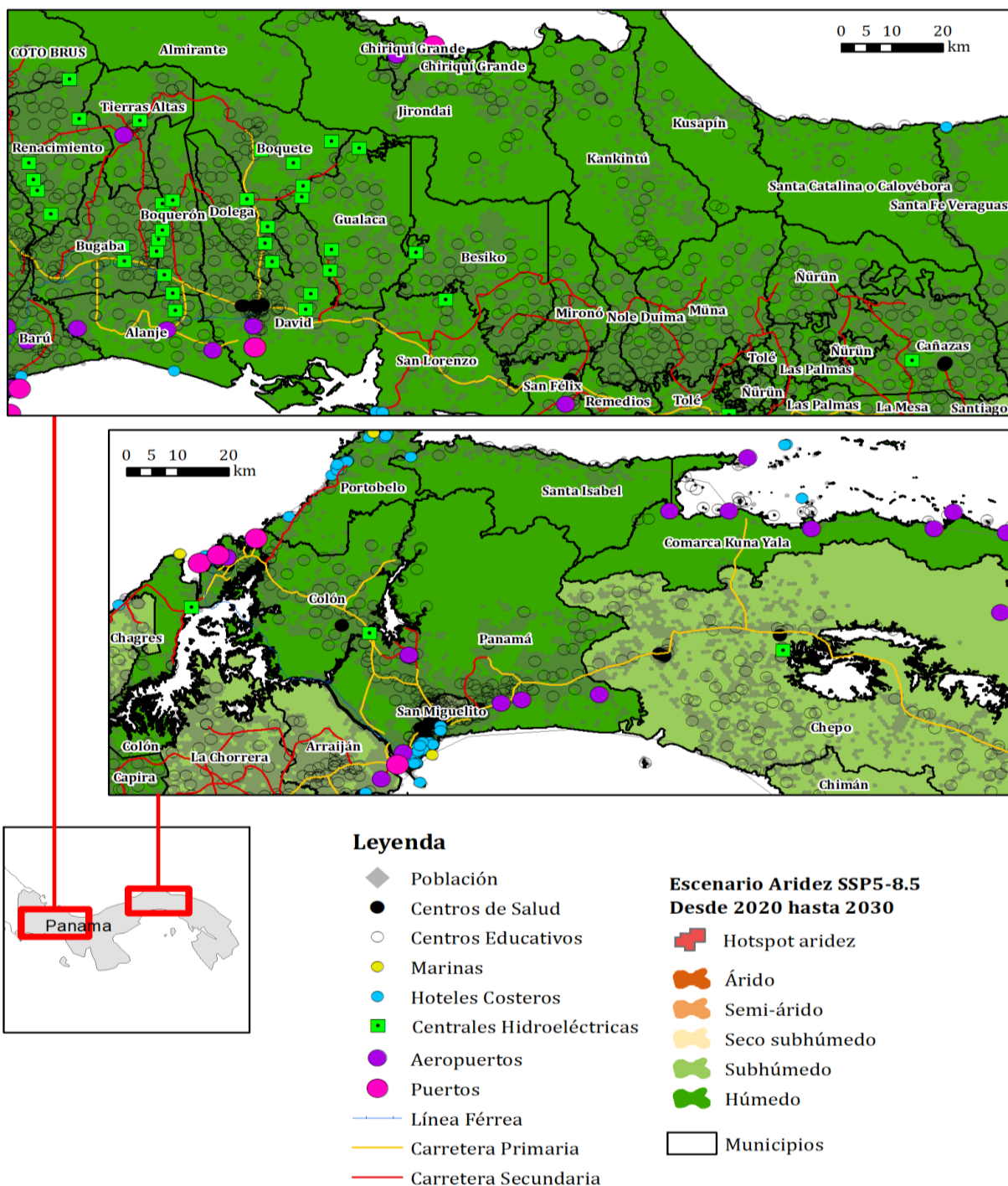
A medida que avanzamos hacia el 2040-2060, la aridez comienza a expandirse, especialmente en las regiones occidentales y algunas partes del centro del país. Municipios como David, Boquete y Bugaba empiezan a mostrar signos de exposición, ya que las condiciones climáticas comienzan a cambiar hacia un estado más seco (mapa 57). La expansión de la aridez podría empezar a afectar la agricultura y otras actividades económicas dependientes del agua en estas regiones. Es crucial que los municipios afectados implementen estrategias de manejo del agua y diversificación económica para adaptarse a las nuevas condiciones.

Para finales del siglo (2079-2099), se observa un aumento significativo en la extensión de las áreas áridas y semiáridas, especialmente en la región occidental y central de Panamá. Los municipios de la provincia de Chiriquí y partes de Veraguas podrían experimentar un impacto considerable en sus actividades económicas y la calidad de vida de sus habitantes (mapa 58). La aridez prolongada podría llevar a una disminución significativa en la productividad agrícola, afectando la seguridad alimentaria y la economía local. La infraestructura, como sistemas de riego y suministro de agua, también podría estar en riesgo, lo que requeriría inversiones significativas en su modernización y adaptación.

Sin embargo, aunque ciertas regiones de Panamá, especialmente en el oeste y centro del país, experimentarán un aumento en las condiciones de aridez, la gran mayoría del territorio panameño se mantendrá bajo condiciones húmedas y subhúmedas. Incluso, a priori, no se ven amenazadas las centrales hidroeléctricas del municipio de Tierras Altas, de Dolega, Boquerón, entre otros.

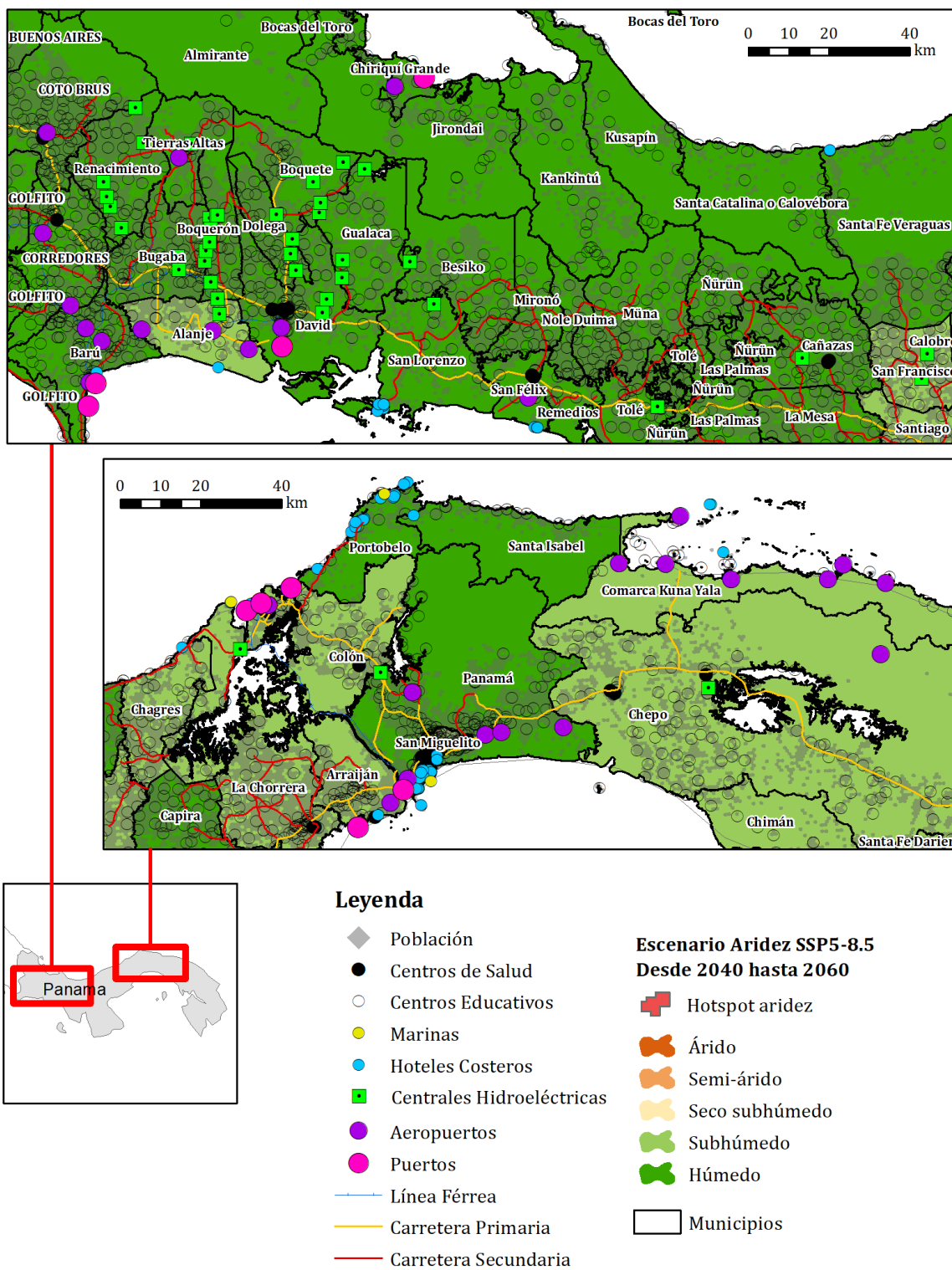
Mapa 56

Modelación SSP5-8.5 para el período 2020 -2030 de Panamá



Fuente: Elaboración propia.

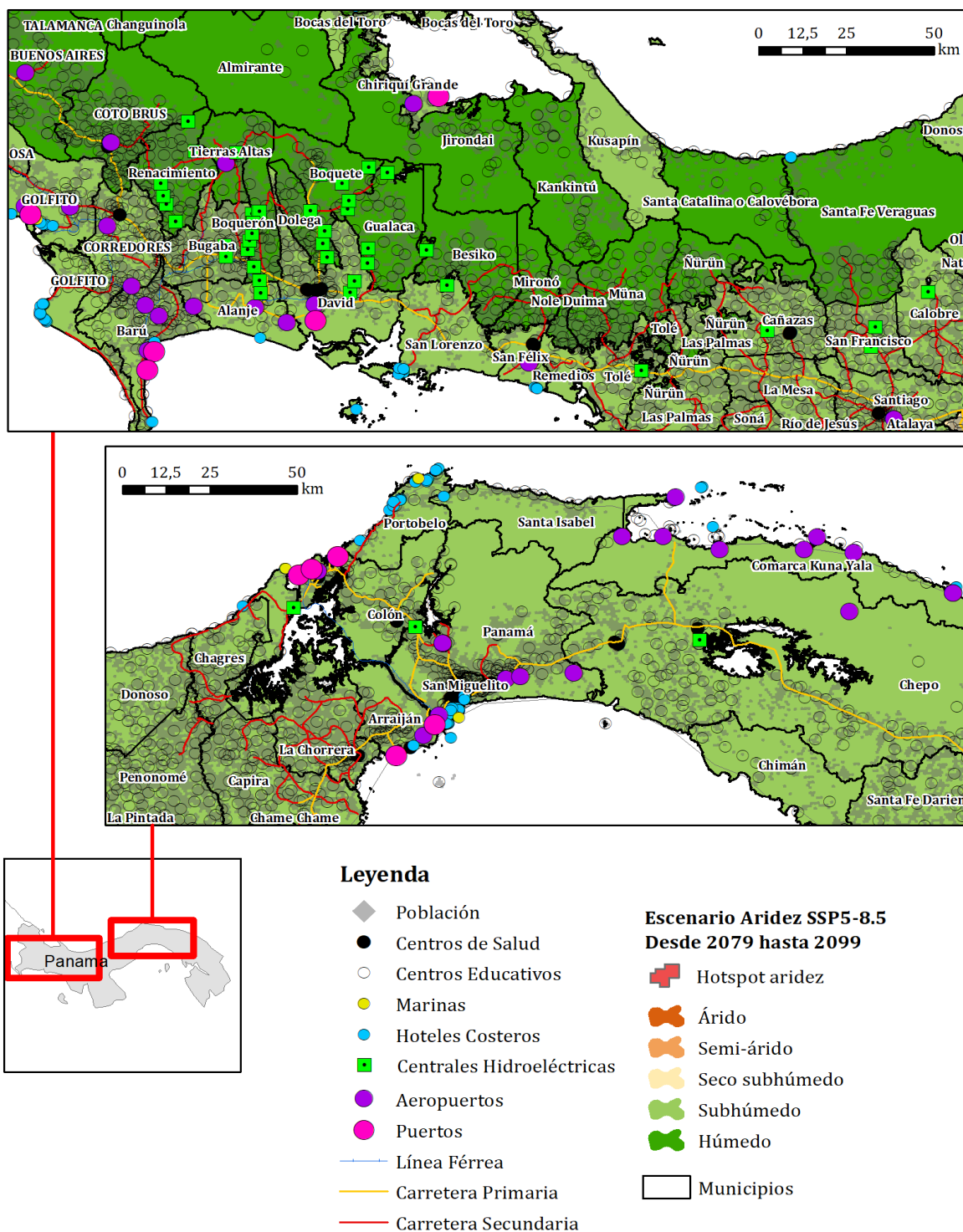
Mapa 57  
Modelación SSP5-8.5 para el período 2040 -2060 de Panamá



Fuente: Elaboración propia.

Mapa 58

Modelación SSP5-8.5 para el período 2079 -2099 de Panamá



Fuente: Elaboración propia.

De forma específica se analizan 5 municipios que son parte de los hotspots que contienen los territorios más críticos de Panamá según los mapas 56, 57 y 58. Entre 2020-2030 la aridez afecta de manera moderada algunas áreas de Panamá, especialmente en regiones como Aguadulce y Chitré. Aunque la mayoría del territorio se mantiene subhúmedo o húmedo, estas zonas comienzan a mostrar signos de fragilidad ambiental. El impacto en la infraestructura y la población será limitado durante este período, pero las áreas afectadas deben empezar a considerar medidas de adaptación para reducir futuros riesgos.

Entre 2040-2060, la aridez se expande, afectando más áreas en las provincias de Los Santos y Herrera. Municipios como Guararé y Los Santos empiezan a mostrar condiciones más secas, lo que podría impactar su agricultura y otras actividades económicas. La expansión de la aridez podría afectar la producción agrícola en estos municipios, donde una parte significativa del suelo está dedicado a cultivos y pastizales. Será crucial implementar estrategias de manejo del agua y diversificación económica.

Para finales del siglo (2079-2099), la aridez se extiende de manera significativa en Panamá, especialmente en las regiones centrales y occidentales. Municipios como Chitré y Aguadulce se verán fuertemente afectados, lo que podría tener un impacto negativo en su economía y calidad de vida. La aridez prolongada podría llevar a una disminución considerable en la productividad agrícola, afectando la seguridad alimentaria y la economía local. Además, la infraestructura, como los sistemas de riego y suministro de agua, requerirá adaptaciones significativas para mantenerse operativa bajo condiciones más extremas.

**Cuadro 29**  
Datos socioeconómicos a nivel de municipio de Panamá

Municipio	Aguadulce	Chitré	Guararé	Los Santos	Pocrí
Población	53.590	57.909	12.636	29.150	3.745
PIB (dólares)	20.937	18.579	22.498	16.351	13,268

Fuente: Elaboración propia con base a The Humanitarian Data Exchange, 2024 y Kummu et al. 2024.

El cuadro 29 evidencia que con una población de 53.590 habitantes y un PIB de \$20.937, Aguadulce tiene una economía relativamente fuerte, pero sigue estando expuesto debido a su alta dependencia de la agricultura. Será necesario fortalecer la infraestructura de agua y promover la diversificación económica para reducir la dependencia de actividades sensibles al clima.

Chitré, con una población de 57.909 y un PIB de \$18.579, enfrenta desafíos significativos debido a la expansión urbana y la competencia por los recursos hídricos. Estrategia de Adaptación: Invertir en sistemas de riego eficientes y planificar un desarrollo urbano sostenible serán claves para proteger la economía local de los efectos de la aridez.

Con una población de 12.636 habitantes y un PIB de \$22.498, Guararé tiene una economía dependiente de la agricultura, lo que agrava su exposición a la aridez. Es crucial priorizar la implementación de sistemas de riego eficientes y promover cultivos resistentes a la sequía para mantener la producción agrícola.

Los Santos, con una población de 29.150 habitantes y un PIB de \$16.351, enfrenta desafíos similares a otros municipios agrícolas. La aridez podría afectar significativamente su economía. Promover prácticas agrícolas sostenibles y mejorar la gestión del agua será fundamental para reducir la vulnerabilidad de Los Santos frente a la aridez.

Pocrí, con una población pequeña de 3.745 habitantes y un PIB de \$13.268, tiene recursos limitados para enfrentar los desafíos de la aridez. La cooperación regional y el apoyo de organizaciones internacionales serán cruciales para implementar estrategias de adaptación y proteger a la población de Pocrí de los impactos de la aridez.

Cuadro 30

Proporción de uso de suelo por municipio crítico a la aridez en Panamá

Municipio	Aguadulce	Chitré	Guararé	Los Santos	Pocrí
Agua	4,74	2,16	0,39	0,79	0,41
Árboles	15,77	11,09	9,45	6,24	8,71
Vegetación Inundada	0,47	0,13	0,00	0,05	0,04
Cultivos	23,84	21,94	31,17	30,72	33,94
Área Construida	6,84	26,90	5,51	6,27	1,27
Suelo Desnudo	5,23	0,60	0,00	0,03	0,01
Nieve/Hielo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nubes	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
Pastizales	43,12	37,18	53,44	55,90	55,62

Fuente: Elaboración propia con base a Global Land Use Sentinel, 2023.

El cuadro 30 señala que el municipio de Aguadulce tiene un 43,12% de su terreno dedicado a pastizales y un 23,84% a cultivos, lo que lo hace altamente dependiente de la agricultura y la ganadería. La aridez podría reducir la disponibilidad de agua para estas actividades, afectando la productividad. Es crucial implementar tecnologías de riego eficiente y promover la diversificación económica para reducir la vulnerabilidad de Aguadulce frente a la aridez.

Chitré tiene una combinación significativa de suelos dedicados a cultivos (21,94%) y áreas construidas (26,90%). La expansión urbana podría competir con las áreas agrícolas, exacerbando los efectos de la aridez. Fomentar el uso eficiente del agua en la agricultura y planificar un desarrollo urbano sostenible serán estrategias clave para reducir los efectos de la aridez en Chitré.

Distribución del Suelo: Con un 53,44% de pastizales y un 31,17% de cultivos, Guararé está expuesta a la degradación del suelo y la pérdida de productividad agrícola debido a la aridez. Reforzar la gestión de los recursos hídricos y promover la diversificación de cultivos resistentes a la sequía serán esenciales para mantener la resiliencia de Guararé.

Los Santos presenta un alto porcentaje de terrenos dedicados a pastizales (55,90%) y cultivos (30,72%), lo que sugiere una fuerte dependencia de la agricultura. La aridez podría tener un impacto severo en su economía local. Implementar prácticas agrícolas

sostenibles y mejorar la infraestructura de riego serán cruciales para mantener la producción agrícola en condiciones más secas.

Distribución del Suelo: Pocrí tiene una combinación de pastizales (55,62%) y cultivos (33,94%), lo que lo expone a la aridez. Con una población más pequeña, la capacidad para implementar medidas de adaptación podría ser limitada. Fomentar la colaboración entre los municipios y buscar apoyo de organizaciones internacionales para la implementación de estrategias de adaptación serán esenciales para proteger a Pocrí de los impactos de la aridez.

En cuanto a los desastres registrados de componente hidrometeorológica, los municipios de Aguadulce (29 desastres), Chitré (23 desastres), Guararé (5 desastres), Los Santos (19 desastres), y Pocrí (1 desastre) muestran variaciones en la incidencia de desastres hidrometeorológicos, reflejando sus respectivas vulnerabilidades y fortalezas. Aguadulce y Chitré destacan como áreas donde la alta incidencia de desastres, combinada con su dependencia agrícola, exige intervenciones rápidas y específicas en infraestructura hídrica y agrícola. Guararé y Los Santos, aunque con menos desastres, deben centrarse en la resiliencia agrícola y la diversificación económica para reducir futuros riesgos. Pocrí, a pesar de su baja incidencia de desastres, sigue siendo un municipio que requiere atención para evitar que la aridez proyectada y la dependencia agrícola se conviertan en factores críticos de vulnerabilidad.

#### República Dominicana

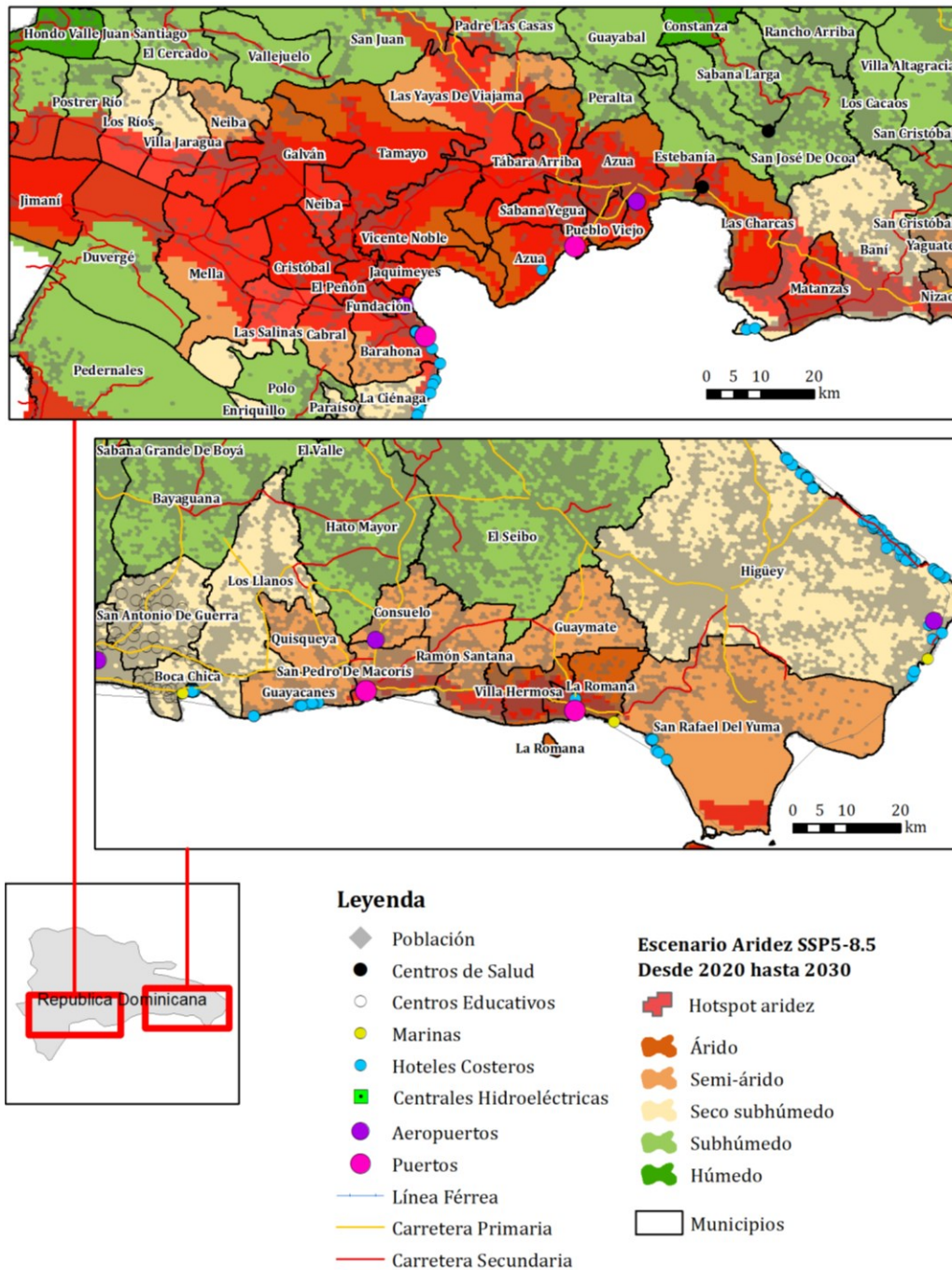
En este período inicial (2020-2030), la aridez comienza a manifestarse principalmente en el suroeste del país, afectando municipios como Pedernales, Barahona, y Azua (mapa 59). Estas áreas son conocidas por su dependencia en la agricultura y ganadería, lo que las hace particularmente vulnerables a las condiciones climáticas más secas. La infraestructura en estas áreas podría comenzar a experimentar desafíos debido a la disminución de la disponibilidad de agua. La población que depende de la agricultura podría ver reducida su productividad, lo que aumentaría la vulnerabilidad económica.

En el período mediano (2040-2060), la aridez se expande significativamente hacia el norte y el este del país, afectando municipios como San Juan, Neyba, y Elías Piña (mapa 60). Esto sugiere un impacto más amplio y severo en la economía agrícola y en la disponibilidad de agua en una mayor parte del territorio. La expansión de la aridez hacia áreas más pobladas y con una alta dependencia de la agricultura podría provocar tensiones sobre los recursos hídricos, una mayor competencia por tierras fértiles y potenciales desplazamientos de la población hacia áreas con mejores condiciones.

Para finales del siglo (2079-2099), la aridez se extiende a casi todo el sur del país y grandes porciones del este, afectando de manera crítica municipios como San Cristóbal, Santo Domingo, y La Romana (mapa 61). Esto representa una amenaza directa a la seguridad alimentaria, la disponibilidad de agua potable y la estabilidad socioeconómica en estas regiones. La aridez extrema en este escenario podría llevar a una crisis agrícola, afectando no solo a los agricultores locales, sino también a la economía nacional. La infraestructura crítica, como sistemas de riego, carreteras y centros de salud, necesitará adaptarse para soportar las nuevas condiciones climáticas.

Mapa 59

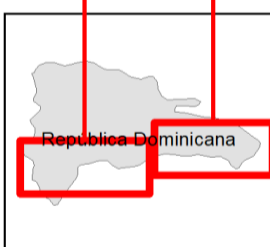
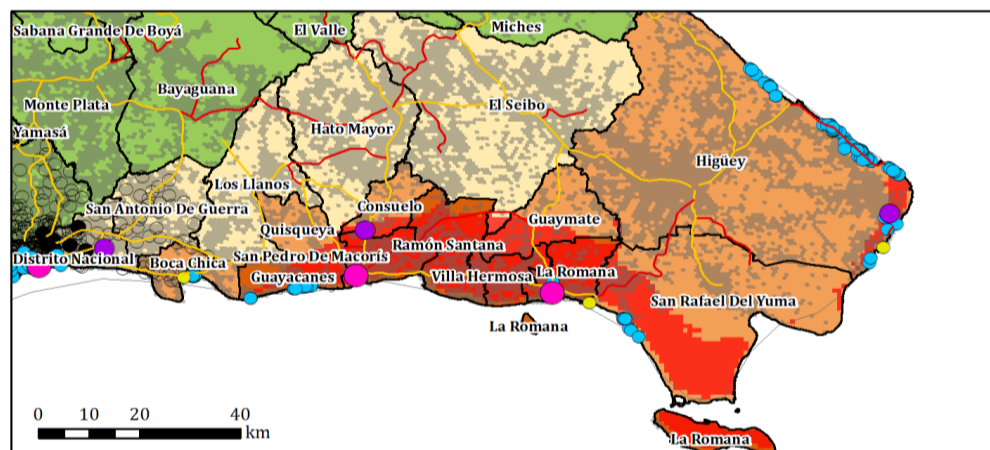
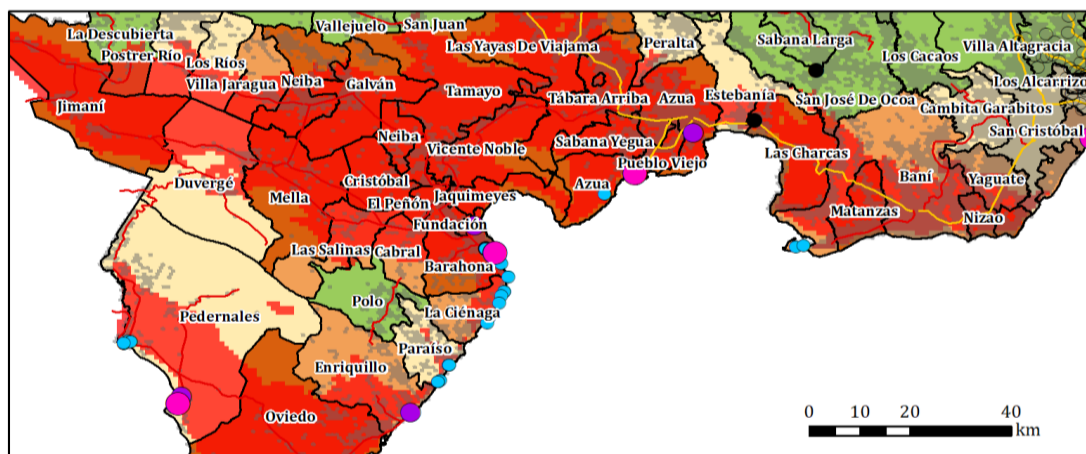
Modelación SSP5-8.5 para el período 2020 -2030 de República Dominicana



Fuente: Elaboración propia.

Mapa 60

Modelación SSP5-8.5 para el período 2040 -2060 de República Dominicana



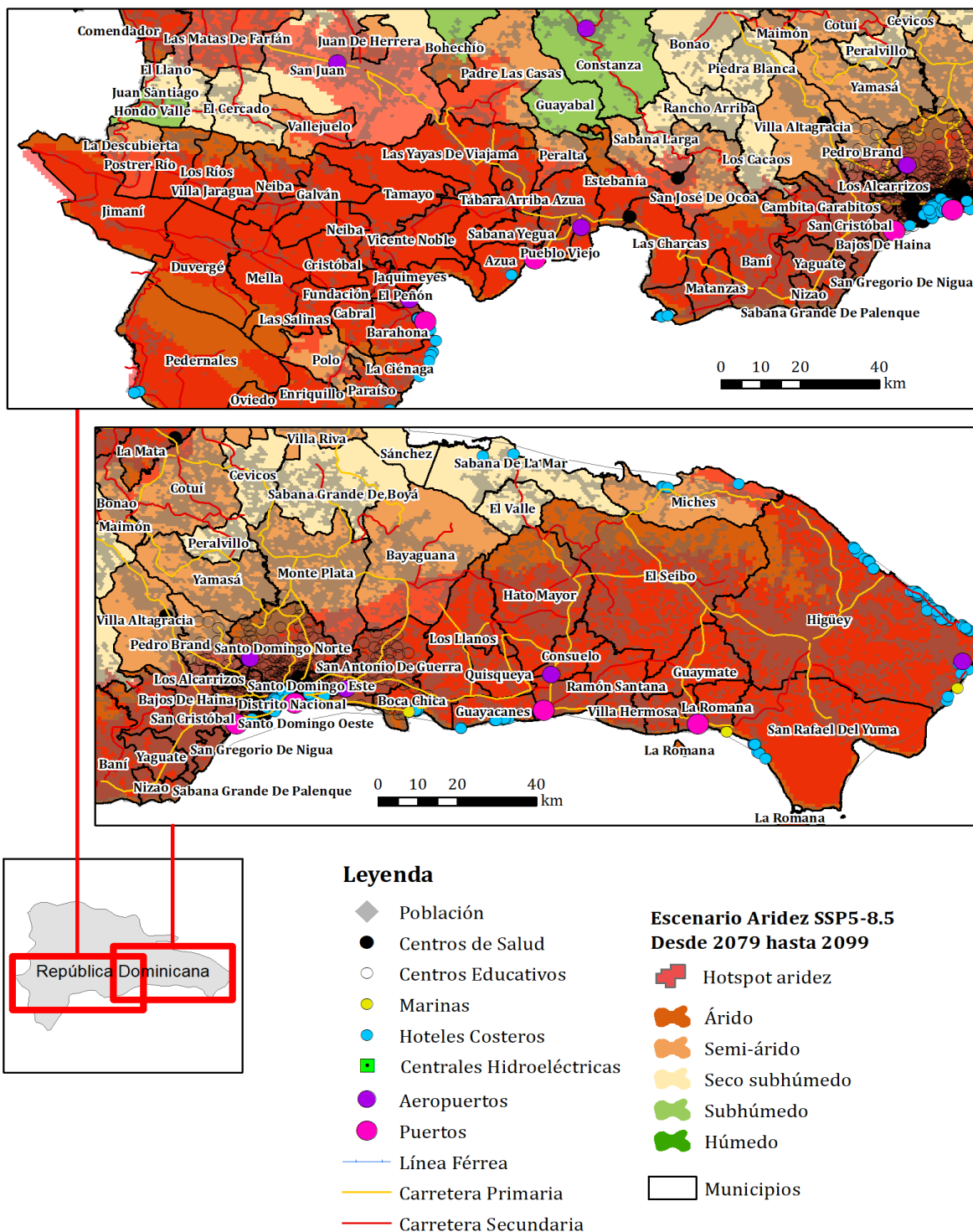
**Leyenda**

- |                             |   |
|-----------------------------|---|
| ◆ Población                 | Escenario Aridez SSP5-8.5 Desde 2040 hasta 2060 |
| ● Centros de Salud          | Hotspot aridez                                  |
| ○ Centros Educativos        | Árido   |
| ● Marinas                   | Semi-árido                                      |
| ● Hoteles Costeros          | Seco subhúmedo                                  |
| ■ Centrales Hidroeléctricas | Subhúmedo                                       |
| ● Aeropuertos               | Húmedo  |
| ● Puertos                   | □ Municipios                                    |
| — Línea Férrea              |   |
| — Carretera Primaria        |   |
| — Carretera Secundaria      |   |

Fuente: Elaboración propia.

Mapa 61

Modelación SSP5-8.5 para el período 2079 -2099 de República Dominicana



Fuente: Elaboración propia.

De forma más específica, cuando se analizan los cinco municipios más críticos que contienen los hotspot más intenso (mapas 59, 60 y 61), es posible apreciar que en el período de tiempo cercano (2020-2030), la aridez afecta principalmente a la región suroeste, con municipios como Pueblo Viejo, Cristóbal, y Fundación comenzando a experimentar condiciones secas. Estas áreas tienen una alta dependencia de la agricultura, lo que las expone a la aridez. La infraestructura agrícola y los recursos hídricos comienzan a mostrar signos de estrés, lo que podría reducir la productividad agrícola y afectar el bienestar económico de la población local.

En el período de tiempo mediano (2040-2060), la aridez se expande hacia más áreas del sur y este del país, afectando a municipios como Matanzas y El Peñón. Esto sugiere un impacto más amplio en la economía agrícola y una mayor competencia por los recursos hídricos. La creciente aridez podría intensificar las tensiones sobre la disponibilidad de agua, especialmente en municipios con alta dependencia de la agricultura, lo que podría llevar a un aumento de la pobreza rural y posibles migraciones internas.

En el período de tiempo lejano (2079-2099), la aridez afecta de manera crítica a gran parte del sur y este del país, incluyendo municipios como Matanzas, Pueblo Viejo, y Cristóbal. Esto representa una amenaza directa a la seguridad alimentaria, la disponibilidad de agua potable y la estabilidad socioeconómica en estas regiones. La aridez extrema podría causar una crisis agrícola, afectando no solo a los agricultores locales, sino también a la economía nacional. La infraestructura crítica, como los sistemas de riego y suministro de agua, necesitará adaptarse para soportar las nuevas condiciones climáticas.

### Cuadro 31

Datos socioeconómicos a nivel de municipio de República Dominicana

Municipios	Pueblo Viejo	El Peñón	Fundación	Cristóbal	Matanzas
<b>Población</b>	12 019	3 048	10 661	7 004	17 044
<b>PIB</b>	\$12 349	\$11 538	\$11 182	\$14 233	\$10 383

Fuente: Elaboración propia con base a The Humanitarian Data Exchange (2024) y Kummu et al. 2024.

El cuadro 31 señala que con una población de 12.019 habitantes y un PIB de \$12.349, Pueblo Viejo tiene una economía moderada, pero su alta dependencia de la agricultura lo expone mucho más a la aridez. Será necesario fortalecer la infraestructura de agua y promover la diversificación económica para reducir la dependencia de actividades sensibles al clima.

El Peñón, con una población de 3.048 y un PIB de \$11.538, enfrenta desafíos significativos debido a su pequeña base económica y alta dependencia de la agricultura. Estrategia de Adaptación: Invertir en sistemas de riego eficientes y diversificar las actividades económicas será clave para proteger a El Peñón de los efectos de la aridez.

Con una población de 10.661 habitantes y un PIB de \$11.182, Fundación tiene una economía dependiente de la agricultura, lo que lo hace vulnerable a la aridez. Es crucial priorizar la implementación de sistemas de riego eficientes y promover cultivos resistentes a la sequía para mantener la producción agrícola.

Cristóbal, con una población de 7.004 habitantes y un PIB de \$14.233, enfrenta desafíos similares a otros municipios agrícolas. La aridez podría afectar significativamente su economía. Promover prácticas agrícolas sostenibles y mejorar la gestión del agua será fundamental para reducir la exposición de Cristóbal frente a la aridez.

Matanzas, con una población de 17.044 habitantes y un PIB de \$10.383, tiene recursos limitados para enfrentar los desafíos de la aridez. La cooperación regional y el apoyo de organizaciones internacionales serán cruciales para implementar estrategias de adaptación y proteger a la población de Matanzas de los impactos de la aridez.

**Cuadro 32**

**Proporción de uso de suelo por municipio crítico a la aridez en República Dominicana**

Municipios	Pueblo Viejo	El Peñón	Fundación	Cristóbal	Matanzas
Agua	0,21	20,38	0,19	8,40	0,73
Árboles	5,81	5,47	11,43	10,86	17,81
Vegetación Inundada	0,00	0,28	1,67	0,00	0,00
Cultivos	84,64	57,19	68,58	30,91	12,78
Área Construida	6,17	2,68	5,43	1,03	8,15
Suelo Desnudo	0,02	0,07	0,32	0,69	0,08
Nieve/Hielo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nubes	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pastizales	3,16	13,94	12,38	48,11	60,45

Fuente: Elaboración propia con base a Global Land Use Sentinel, 2023.

Por su parte, el cuadro 32 muestra que el municipio Pueblo Viejo tiene un 84,64% de su terreno dedicado a cultivos y solo un 3,16% a pastizales, lo que lo hace altamente dependiente de la agricultura. La aridez podría reducir significativamente la productividad agrícola, afectando gravemente la economía local. Es crucial implementar tecnologías de riego eficiente y promover la diversificación económica para reducir la vulnerabilidad de Pueblo Viejo frente a la aridez.

El Peñón presenta un 57,19% de suelos cultivados y un 13,94% de pastizales, lo que sugiere una dependencia significativa de la agricultura. La aridez podría poner en riesgo tanto la producción agrícola como la ganadería. Fomentar el uso eficiente del agua y diversificar las actividades económicas será esencial para mantener la resiliencia de El Peñón.

Fundación tiene un 68,58% de su suelo dedicado a cultivos y un 12,38% a pastizales. La aridez podría afectar la disponibilidad de agua para estos cultivos, reduciendo la productividad y aumentando la vulnerabilidad económica. Reforzar la gestión de los recursos hídricos y promover la diversificación de cultivos resistentes a la sequía serán esenciales para mantener la resiliencia de Fundación.

Cristóbal tiene una alta proporción de pastizales (48,11%) y un 30,91% de suelos cultivados. Esto lo que la vuelve más expuesta a la aridez, que podría impactar negativamente tanto la agricultura como la ganadería. Implementar prácticas de manejo sostenible de pastizales y mejorar la infraestructura de riego será crucial para mantener la producción agrícola en condiciones más secas.

Matanzas tiene un 60,45% de su terreno dedicado a pastizales y un 12,78% a cultivos. La aridez podría afectar gravemente la ganadería, una actividad clave en la economía local. Fomentar prácticas de manejo sostenible de pastizales y buscar alternativas económicas serán esenciales para reducir la exposición de Matanzas frente a la aridez.

Finalmente, en cuanto a los desastres ocurridos, los municipios de Pueblo Viejo (0 desastres), El Peñón (2 desastres), Fundación (6 desastres), Cristóbal (4 desastres), y Matanzas (12 desastres) presentan una diversidad de exposiciones a desastres hidrometeorológicos, que van desde ninguna hasta una incidencia significativa. Matanzas emerge como el municipio con mayor ocurrencia de desastres, lo que sugiere una necesidad crítica de implementar medidas de adaptación robustas. Fundación y Cristóbal también muestran una mayor exposición que justifica la adopción de estrategias de gestión del agua y fortalecimiento de la infraestructura. Aunque Pueblo Viejo y El Peñón tienen registros históricos bajos de desastres, su dependencia de la agricultura y las proyecciones climáticas indican que deben prepararse para enfrentar condiciones más adversas en el futuro cercano.

### ***Acciones prioritarias de adaptación para los sectores público y privado***

Frente a los desafíos crecientes de la aridez y los impactos del cambio climático en América Central y el Caribe, es esencial que tanto los sectores públicos como privado implementen medidas de adaptación robustas y coordinadas. Los países de la región, aunque diversos en su geografía y economía, comparten una serie de desafíos comunes que requieren enfoques estratégicos y colaborativos para garantizar la resiliencia de sus comunidades y ecosistemas.

## Gestión sostenible de los recursos hídricos

La construcción de infraestructura para la captación y almacenamiento de agua, como embalses, tanques de almacenamiento y sistemas de recolección de agua de lluvia, es una necesidad crítica en municipios que enfrentarán una disminución en la disponibilidad de agua debido a la aridez creciente. Estos sistemas no sólo asegurarán el suministro de agua para la agricultura y el consumo humano, sino que también permitirán una gestión más eficiente y sostenible de este recurso vital.

*Ejemplo: El proyecto de cosecha de agua de la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA) en su sede Chorotega se enfoca en la implementación de tecnologías para la recolección y manejo del agua de lluvia, con el objetivo de mejorar la seguridad hídrica en las comunidades locales. Este proyecto ha sido particularmente beneficioso para el sector agrícola, ayudando a pequeños productores a establecer reservorios de agua que les permiten optimizar el uso del recurso hídrico en sus cultivos.*

*Además, el programa se ha centrado en fortalecer las capacidades de las Asociaciones Administradoras de Acueductos (Asadas) y ha promovido prácticas sostenibles que buscan no solo el aprovechamiento del agua, sino también la potabilización de esta para garantizar su calidad. La estrategia incluye la implementación de módulos de captación que pueden almacenar grandes volúmenes de agua, lo que resulta esencial durante las temporadas de sequía.*

*A través de estas iniciativas, la UNA busca mejorar la calidad de vida en las comunidades de la región Chorotega, fomentando un uso más eficiente del agua y contribuyendo al desarrollo sostenible de la zona<sup>12</sup>.*

---

<sup>12</sup> Ver en el siguiente link: <https://www.unacomunica.una.ac.cr/index.php/mayo-2024/5341-cosecha-de-agua-impacta-calidad-de-vida-en-comunidades>

## Diversificación económica y desarrollo sostenible

La diversificación económica es esencial en regiones altamente dependientes de la agricultura, que son particularmente vulnerables a la aridez. Fomentar sectores como el ecoturismo, la producción de artesanías locales y el desarrollo de pequeñas industrias no dependientes del agua puede reducir la vulnerabilidad económica y mejorar la resiliencia de las comunidades. Es crucial que los gobiernos implementen políticas que incentiven esta diversificación, proporcionando subsidios y apoyo técnico a las comunidades y empresas locales.

*Ejemplo: La Iniciativa de Ecoturismo en Costa Rica es un modelo global que muestra cómo el sector privado puede liderar la diversificación económica mientras protege el medio ambiente<sup>13</sup>.*

Pagos por Servicios Ambientales (PSA): Implementar un esquema de PSA donde los propietarios de tierras reciban compensaciones por conservar áreas forestales y reforestar áreas degradadas.

*Ejemplo: En Costa Rica, el Programa de Pago por Servicios Ambientales ha incentivado la reforestación y conservación, contribuyendo a la mejora de la calidad del agua y la reducción de la vulnerabilidad al cambio climático<sup>14</sup>. El programa busca fomentar la protección y el manejo forestal pagando a los dueños de los bosques por cuatro servicios ambientales que brindan sus bosques: carbono, biodiversidad, manejo de cuencas y belleza escénica (Miranda et al. 2003).*

Es importante considerar que a medida que aumenta la aridez y las fuentes de agua se vuelven más escasas, la competencia por el agua se intensificará, afectando tanto la sostenibilidad del turismo como el acceso de las comunidades locales a este recurso vital. Dado que el turismo, y especialmente el sector hotelero, es una de las principales fuentes de ingresos en la región, cualquier limitación en el suministro de agua impactará negativamente su capacidad operativa y competitividad. Es imperativo que los gobiernos

---

<sup>13</sup> Ver en el siguiente link: <https://www.ict.go.cr/pdf/Plan%20nacional%20de%20turismo%202022-2027.pdf>

<sup>14</sup> Ver en el siguiente enlace: <https://www.fonafifo.go.cr/es/servicios/pago-de-servicios-ambientales/>

y las empresas del sector adopten estrategias de diversificación económica y políticas de gestión sostenible del agua, fomentando prácticas que reduzcan el consumo hídrico en los establecimientos turísticos. Iniciativas como el ecoturismo y la incorporación de tecnologías de eficiencia hídrica en los hoteles podrían reducir los riesgos y contribuir a la resiliencia económica y ambiental del sector.

#### Innovación en tecnologías de riego y agricultura resiliente

La adopción de tecnologías de riego eficientes, como el riego por goteo o microaspersión, es fundamental para optimizar el uso del agua en la agricultura, especialmente en áreas donde este recurso es cada vez más escaso. Asimismo, la introducción de variedades de cultivos más resistentes a la sequía y la implementación de prácticas agrícolas sostenibles, como la rotación de cultivos y el uso de fertilizantes orgánicos, pueden contribuir significativamente a la resiliencia agrícola.

*Ejemplo: La tecnología de riego por goteo desarrollada en Israel ha permitido a los agricultores aumentar la productividad mientras reducen el consumo de agua, sirviendo como un referente para otras regiones afectadas por la aridez<sup>15</sup>.*

#### Conservación y restauración de ecosistemas críticos

La conservación de áreas forestales y vegetación natural es crucial para reducir los efectos de la aridez, ya que estos ecosistemas desempeñan un papel vital en la regulación del ciclo hidrológico, la retención de agua en el suelo y la protección contra la erosión. Además, las iniciativas de reforestación y manejo sostenible de los recursos forestales pueden fortalecer la resiliencia ecológica y proporcionar beneficios económicos a largo plazo. Incluso proyectos agrícolas y productivos pueden integrar prácticas sostenibles en el uso de los recursos naturales, fomentando la conservación del medio ambiente mientras se mejora la calidad de vida de las comunidades rurales.

---

<sup>15</sup> Ver en el siguiente enlace: <https://fontagro.org/es/publicaciones/prensa/fontagro-en-los-medios/en-israel-la-agricultura-se-desarrolla-desde-la-eficiencia-total/>

*Ejemplo: El Programa REDD+ en Brasil ha sido exitoso en reducir la deforestación y mejorar los sumideros de carbono, proporcionando un modelo para la conservación forestal en otras regiones<sup>16</sup>.*

*Ejemplo 2: El Gobierno de Costa Rica, a través de instituciones como el Instituto de Desarrollo Rural (Inder), establece una relación de colaboración y apoyo con los propietarios de fincas sostenibles, con el objetivo de promover un desarrollo rural equitativo y sostenible<sup>17</sup>.*

### Mejora y adaptación de infraestructuras críticas

Es esencial mejorar y adaptar la infraestructura existente, especialmente en municipios con alta exposición a la aridez, para asegurar la continuidad de los servicios básicos. Esto incluye la resiliencia de infraestructuras como carreteras, hospitales, centros educativos y sistemas de suministro de agua potable. Estas mejoras deben considerar los escenarios de variabilidad climática, asegurando que las infraestructuras sean capaces de soportar eventos climáticos extremos como sequías prolongadas.

*Ejemplo: La rehabilitación de infraestructuras en Filipinas después del tifón Haiyan ha mejorado la resiliencia de las comunidades afectadas, mostrando la importancia de infraestructuras adaptadas al cambio climático<sup>18</sup>.*

### Desarrollo de planes de contingencia y manejo de emergencias

Planes de Contingencia para Sequías Prolongadas: Crear y actualizar planes de emergencia para enfrentar eventos extremos relacionados con la aridez, como sequías prolongadas, que incluyan la reubicación temporal de comunidades si es necesario.

*Ejemplo: Chile ha implementado el Plan Nacional de Emergencia por Sequía, que incluye medidas preventivas y de respuesta rápida para asegurar el suministro de agua y proteger las comunidades vulnerables<sup>19</sup>.*

---

<sup>16</sup> Ver en el siguiente enlace: <https://unfccc.int/es/news/la-proteccion-de-los-bosques-en-brasil-se-intensifica-gracias-a-redd-plus>

<sup>17</sup> Ver en el siguiente enlace: [https://www.inder.go.cr/preguntas\\_frecuentes/](https://www.inder.go.cr/preguntas_frecuentes/)

<sup>18</sup> Ver en el siguiente enlace: <https://world-habitat.org/es/premios-mundiales-del-habitat/ganadores-y-finalistas/11212/>

<sup>19</sup> Ver el siguiente enlace: <https://dga.mop.gob.cl/noticias/Paginas/DetalledeNoticias.aspx?item=777>

Revisión y Actualización de los NAP: Los gobiernos deben revisar y actualizar regularmente sus Planes Nacionales de Adaptación (NAP) para reflejar las últimas proyecciones de cambio climático y priorizar acciones de adaptación sobre mitigación en los sectores más vulnerables. En países de América Central y el Caribe, donde las emisiones de gases de efecto invernadero son bajas en comparación con las grandes potencias, es crucial enfocar los recursos y políticas en mejorar la resiliencia frente a los impactos climáticos, como la aridez.

Aprovechamiento de las NDC para la Adaptación: Las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC) pueden ser una herramienta poderosa para atraer financiamiento internacional y apoyo técnico destinado a la adaptación. Los países deben destacar en sus NDC la necesidad urgente de adaptar sus infraestructuras, economías y ecosistemas al cambio climático, argumentando que, aunque sus emisiones son mínimas, sus poblaciones son extremadamente vulnerables a los impactos del clima.

*Ejemplo: Fiji, un pequeño estado insular en el Pacífico ha utilizado su NDC para priorizar la adaptación al cambio climático, subrayando la importancia de proteger a sus comunidades frente al aumento del nivel del mar y las tormentas más intensas, y logrando atraer financiamiento internacional para proyectos de adaptación a gran escala<sup>20</sup>.*

Desarrollo e Implementación de Planes de Gestión del Riesgo: Los gobiernos deben desarrollar e implementar planes específicos para la gestión del riesgo de desastres hidrometeorológicos, como inundaciones, deslizamientos, sequías, y tormentas, que son cada vez más frecuentes e intensos debido al cambio climático. Estos planes deben incluir estrategias para la reducción del riesgo, la preparación de las comunidades, la respuesta rápida y la recuperación. La integración de sistemas de alerta temprana, la capacitación de las comunidades locales y la construcción de infraestructuras resilientes son componentes clave de estos planes.

---

<sup>20</sup> Ver en el siguiente enlace: <https://ndcpartnership.org/country/fji>

*Ejemplo: Colombia ha implementado el Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (PNGRD), que incluye una estrategia integral para la reducción de riesgos hidrometeorológicos. Este plan ha fortalecido los sistemas de alerta temprana, promovido la construcción de infraestructuras resistentes a desastres, y mejorado la capacidad de respuesta rápida ante emergencias. Además, el PNGRD involucra a las comunidades locales en la planificación y la preparación, lo que ha mejorado la resiliencia frente a desastres climáticos<sup>21</sup>.*

#### Estrategia de alianza público-privada

Una estrategia efectiva para la adaptación al cambio climático podría ser la creación de consorcios público-privados que gestionen proyectos de infraestructura hídrica, reforestación y desarrollo de tecnologías de riego.

*Ejemplo1: En Sudáfrica, el Working for Water Program es un ejemplo exitoso de una alianza público-privada que combina la inversión del gobierno y la participación de empresas privadas para la gestión de recursos hídricos. Este programa emplea a miles de personas en la eliminación de especies invasoras que consumen grandes cantidades de agua, liberando así más recursos hídricos para su uso agrícola y humano<sup>22</sup>.*

*Ejemplo 2: Los Países Bajos, un país altamente vulnerable al aumento del nivel del mar y las inundaciones debido a su geografía baja, han implementado el Deltaprogramma, una estrategia nacional de adaptación costera que involucra una estrecha colaboración entre el gobierno, el sector privado y la sociedad civil. El programa se centra en proteger las áreas costeras y fluviales mediante la construcción de infraestructuras resilientes como diques, barreras contra tormentas y sistemas de gestión del agua. Además, incluye medidas de adaptación basadas en la naturaleza, como la restauración de dunas y humedales<sup>23</sup>.*

---

<sup>21</sup> Ver en el siguiente enlace: [https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/PNGRD/PNGRD\\_Informe6\\_v1.pdf](https://portal.gestiondelriesgo.gov.co/Documents/PNGRD/PNGRD_Informe6_v1.pdf)

<sup>22</sup> Ver en el siguiente enlace: <https://www.dffe.gov.za/working-water-wfw-programme>

<sup>23</sup> Ver en el siguiente enlace: <https://english.deltaprogramma.nl/delta-programme/what-is-the-delta-programme/adaptive-delta-management>

*Ejemplo 3: En Vietnam, el Programa de Resiliencia Climática en el Delta del Mekong es un esfuerzo conjunto entre el gobierno vietnamita, el sector privado, y organizaciones internacionales para mejorar la resiliencia de las comunidades en una de las regiones más vulnerables del mundo al cambio climático. Este programa se centra en la gestión del agua, la construcción de infraestructuras resilientes y la implementación de prácticas agrícolas sostenibles para enfrentar las amenazas de inundaciones, aumento del nivel del mar y salinización de los suelos<sup>24</sup>.*

## **Conclusiones y recomendaciones**

Las proyecciones del modelo SSP5-8.5 para las variables de precipitación, temperatura y aridez en América Central y la República Dominicana revelan un panorama de cambio climático significativo y progresivo a lo largo del siglo XXI. Se anticipa una mayor variabilidad en los patrones de precipitación, con algunas áreas experimentando aumentos considerables, mientras que otras enfrentarán reducciones severas. Esta variabilidad, combinada con un aumento generalizado de las temperaturas, que podría alcanzar hasta 4.05°C en algunas regiones hacia finales de siglo, plantea desafíos sustanciales tanto para los ecosistemas como para las actividades humanas. La intensificación de la aridez, particularmente en el Corredor Seco Centroamericano y gran parte de la República Dominicana, sugiere un futuro marcado por un mayor estrés hídrico. Estos cambios proyectados subrayan la necesidad urgente de implementar estrategias de adaptación robustas.

Los resultados indican que las infraestructuras críticas, incluidas las centrales hidroeléctricas, carreteras, y puertos, son especialmente vulnerables a los cambios proyectados en las variables climáticas, como la disminución de la precipitación y el aumento de las temperaturas extremas. Estas infraestructuras no solo son vitales para la economía y el bienestar social, sino que también juegan un papel crucial en la respuesta a emergencias climáticas. Por lo tanto, es fundamental priorizar la adaptación de estas

---

<sup>24</sup> Ver en el siguiente enlace: [https://www.worldbank.org/en/news/feature/2021/10/21/for-mekong-delta-farmers-diversification-is-the-key-to-climate-resilience?\\_gl=1\\*1w6o2ux\\*\\_gcl\\_au\\*MTQyMTA5NjEyNC4xNzIzNjk0NTYy](https://www.worldbank.org/en/news/feature/2021/10/21/for-mekong-delta-farmers-diversification-is-the-key-to-climate-resilience?_gl=1*1w6o2ux*_gcl_au*MTQyMTA5NjEyNC4xNzIzNjk0NTYy)

infraestructuras mediante la implementación de materiales resistentes al clima, la modernización de las instalaciones existentes y la planificación de nuevas infraestructuras que consideren los riesgos climáticos futuros. La falta de adaptación en este sector podría resultar en una mayor frecuencia de fallos estructurales y un aumento de los costos de reparación y mantenimiento, comprometiendo la resiliencia de las comunidades.

La planificación a largo plazo en sectores clave, como la gestión del agua, la agricultura, la conservación de la biodiversidad y el desarrollo urbano, será esencial para aumentar la resiliencia regional ante los cambios climáticos anticipados. Infraestructuras críticas, como las centrales hidroeléctricas, situadas en municipios donde se espera una disminución de la precipitación, podrían ver afectada su capacidad de producción de energía en países como Costa Rica, Honduras y Guatemala durante el periodo 2079-2099. Asimismo, se requiere un análisis específico sobre las variables de radiación solar y viento para asegurar la viabilidad futura de las centrales solares y eólicas.

Los centros de salud de la región podrían enfrentarse a una sobrecarga debido al aumento de enfermedades relacionadas con el calor, como golpes de calor, deshidratación, enfermedades renales crónicas, y enfermedades vectoriales, lo que supondrá una presión considerable sobre los sistemas de salud de estos países. Además, los centros educativos, especialmente en áreas urbanas, deberán adaptar su infraestructura para hacer frente a la disminución de la precipitación y el incremento de las temperaturas. Esto incluye el desarrollo de tecnologías que maximicen el uso eficiente del agua y la climatización, así como la educación de la población en el uso sostenible de los recursos. Las olas de calor pueden afectar negativamente el rendimiento académico, condicionando el ambiente de aprendizaje de los estudiantes.

La infraestructura de transporte también se verá afectada por los eventos hidrometeorológicos extremos, como deslizamientos, inundaciones y sequías, que pueden desestabilizar el terreno. Las altas temperaturas podrían comprometer la integridad de las carreteras, dependiendo del tipo de material utilizado en su

construcción. Las carreteras del Pacífico en Guatemala, El Salvador y Nicaragua podrían enfrentar problemas significativos hacia finales de siglo.

Infraestructuras como aeropuertos, puertos y líneas férreas también pueden verse afectadas por el cambio climático, especialmente debido al aumento de las temperaturas, que puede reducir la durabilidad de los materiales de construcción. En el caso de los puertos y marinas (atracaderos turísticos), el aumento del nivel del mar es una amenaza creciente que podría provocar inundaciones costeras y erosión. Por ello, es fundamental incrementar la cantidad de mareógrafos en estas zonas, más allá de los identificados en este estudio.

Aunque se cuentan con proyecciones de precipitación, no se dispone de proyecciones detalladas sobre el uso del suelo. Sin embargo, se espera que, en las áreas actualmente dedicadas a cultivos, especialmente en la costa del Pacífico de Guatemala, El Salvador y Nicaragua, la disminución de la precipitación y el aumento de la aridez empeoren las condiciones agrícolas.

La población en los centros más densamente poblados de Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua y la República Dominicana probablemente experimentará condiciones áridas y semiáridas hacia finales de siglo. Esto podría traducirse en una escasez de recursos esenciales para la vida, como agua, alimentos y empleo, lo que podría desencadenar conflictos por la competencia de recursos y un aumento en el desplazamiento de migrantes climáticos.

Es fundamental establecer sistemas de monitoreo y evaluación continua de los indicadores climáticos y socioeconómicos para adaptar las estrategias de respuesta en tiempo real. Además, la implementación de un sistema de evaluación periódica permitirá ajustar y mejorar las medidas de adaptación según su efectividad y la evolución del escenario climático.

La movilización de recursos financieros tanto nacionales como internacionales es crucial para implementar las estrategias de adaptación. Es esencial buscar financiamiento en fondos climáticos globales, como el Fondo Verde para el Clima, y promover inversiones privadas en proyectos de adaptación mediante incentivos como créditos fiscales y subsidios.

La cooperación regional entre los países del Sica (Sistema de Integración Centroamericana) es indispensable para enfrentar los desafíos climáticos. Fomentar la colaboración entre los países de América Central y El Caribe permitirá compartir conocimientos, recursos y tecnologías de adaptación. Además, la armonización de políticas y normativas relacionadas con el cambio climático asegurará un enfoque coherente y coordinado en la implementación de medidas adaptativas.

El éxito de las estrategias de adaptación depende de la participación de las comunidades locales. Es esencial involucrar a las comunidades en la planificación y ejecución de medidas adaptativas, asegurando que las soluciones sean culturalmente apropiadas y sostenibles. Programas de educación y sensibilización sobre el cambio climático deben ser desarrollados e implementados para todos los niveles de la sociedad.

Promover la investigación y desarrollo en tecnologías innovadoras, como sistemas avanzados de riego y cultivos resistentes a la sequía, es fundamental para reducir los efectos de la aridez. Además, la integración de tecnologías digitales, como la inteligencia artificial y los sistemas de información geográfica (SIG), puede optimizar la predicción de eventos climáticos extremos y mejorar la planificación de la adaptación.

Es crucial que las estrategias de adaptación integren principios de equidad y justicia climática, asegurando que las soluciones beneficien a las poblaciones más vulnerables. Asimismo, las políticas de adaptación deben estar alineadas con la protección de los derechos humanos, garantizando acceso a agua potable, alimentos, salud y un entorno seguro para todos.

El fortalecimiento de las capacidades institucionales es clave para gestionar de manera efectiva los desafíos del cambio climático. Esto incluye la formación continua del personal, la mejora de la infraestructura de datos y la creación de equipos especializados en cambio climático y resiliencia.

Finalmente, es esencial desarrollar y utilizar escenarios de futuro para planificar de manera proactiva frente a los diferentes posibles impactos del cambio climático. Esta planificación anticipada permitirá a los gobiernos y comunidades estar mejor preparados para enfrentar los retos venideros, asegurando un enfoque estratégico, inclusivo y efectivo en la adaptación al cambio climático en América Central y la República Dominicana.

Se establecen las siguientes recomendaciones específicas:

- Realizar estudios adicionales sobre las centrales eólicas y solares: Se recomienda llevar a cabo un estudio específico que analice las variables de viento y posibles cambios en la radiación solar en la región, ya que la información disponible actualmente no permite llegar a conclusiones definitivas sobre el impacto en estas fuentes de energía.
- Ampliar el análisis de territorios críticos a la aridez: Los análisis realizados se centraron en los territorios más críticos a la aridez en cada país. Es recomendable ampliar este análisis, idealmente a través de un sistema de información interactivo en la nube, aprovechando la gran cantidad de información geoespacial generada en el proyecto.
- Crear una Infraestructura de Datos Espaciales en la nube: Se sugiere que el Estado de la Región desarrolle una Infraestructura de Datos Espaciales que se actualice anualmente. Esto permitiría visualizar de manera interactiva y en tiempo real los cambios que experimenta la región, facilitando la toma de decisiones informadas.
- Aprovechar bases de datos regionales: En ausencia de información específica en los países, es altamente recomendable utilizar bases de datos proporcionadas por organismos regionales e internacionales que han sistematizado información a partir de

fuentes nacionales. Este recurso debería ser aprovechado con mayor frecuencia para complementar los análisis.

- **Actualizar y dar seguimiento a las bases de datos espaciales:** Es esencial mantener actualizadas y hacer un seguimiento continuo de las bases de datos espaciales para apoyar el desarrollo de trabajos futuros y asegurar la precisión y relevancia de los análisis.
- **Desarrollar una evaluación multicriterio en estudios futuros:** En futuros estudios, con mayor disponibilidad de tiempo y recursos, se recomienda desarrollar una evaluación multicriterio que involucre la variable “vulnerabilidad” para identificar aquellos territorios que, debido a su condición de vulnerabilidad, podrían enfrentar mayores desafíos frente al cambio climático.
- **Incorporar un análisis de escenarios futuros que integre la variación del nivel medio del mar:** Este análisis debe integrar múltiples modelos climáticos y sus posibles impactos en sectores económicos, sociales y ecosistemas costeros. Es oportuno, ya que incluir la modelación de la variación del nivel del mar proporciona una visión más detallada de los riesgos y oportunidades asociados al cambio climático, permitiendo una planificación a largo plazo más precisa y efectiva para las áreas costeras y sus actividades.
- **Desarrollar una evaluación económica de los impactos y costos de la adaptación:** En un futuro estudio, sería valioso incluir una evaluación económica que cuantifique los impactos financieros del cambio climático y los costos asociados con la implementación de medidas de adaptación. Este análisis puede ayudar a priorizar acciones y justificar la inversión en adaptación, demostrando un enfoque proactivo y económicamente eficiente.
- **La existencia de estudios que ya han detectado y atribuido eventos climáticos específicos en la región a la influencia del cambio climático,** como los trabajos de Pascale et al. (2021) y Anderson et al. (2023), refuerza la relevancia del presente estudio. Estos antecedentes proporcionan una base sólida para justificar la necesidad

de continuar desarrollando investigaciones en esta línea. Ampliar el conocimiento sobre los impactos del cambio climático ayudará a los municipios críticos a mejorar su planificación y manejo de recursos, promoviendo una mejor adaptación ante futuros escenarios climáticos adversos.

## **Referencias bibliográficas**

Almazroui M, Islam MN, Saeed F, Saeed S, Ismail M, Ehsan MA, Diallo I, O'Brien E, Ashfaq M, Martínez-Castro D, Cavazos T, Cerezo-Mota R, Tippet MK, Gutowski WJ, Alfaro EJ, Hidalgo HG, Vichot-Llano A, Campbell JD, Kamil S, Rashid IU, Sylla MB, Stephenson T, Taylor M, y Barlow M, 2021. Projected Changes in Temperature and Precipitation Over the United States, Central America, and the Caribbean in CMIP6 GCMs. *Earth Syst Environ* 5 (1). <https://doi.org/10.1007/s41748-021-00199-5>.

Anderson TG, McKinnon KA, Pons D, Anchukaitis KJ (2023) How Exceptional Was the 2015–2019 Central American Drought? *Geophysical Research Letters* 50: e2023GL105391. <https://doi.org/10.1029/2023GL105391>

ArcGIS Pro. (2024). *Métodos de clasificación de datos* [Ayuda]. Environmental System Research Institute, Inc. <http://pro.arcgis.com/es/pro-app/help/mapping/symbols-and-styles/data-classification-methods.htm>

Banco Interamericano de Desarrollo, 2020. Proadapt: movilizándolo el sector privado para la resiliencia al Cambio Climático. [https://publications.iadb.org/es/publications/spanish/viewer/Proadapt\\_Movilizando\\_el\\_sector\\_privado\\_para\\_la\\_resiliencia\\_al\\_cambio\\_clim%C3%A1tico.pdf](https://publications.iadb.org/es/publications/spanish/viewer/Proadapt_Movilizando_el_sector_privado_para_la_resiliencia_al_cambio_clim%C3%A1tico.pdf)

Banco Mundial, 2011. Guide to Climate Change Adaptation in Cities. The International Bank for Reconstruction and Development. <https://climate-adapt.eea.europa.eu/es/metadata/guidances/guide-to-climate-change-adaptation-in-cities/11237802/@@download/file>

- Brewer, C. A. (2016). Chapter 8: Color on maps. En *Designing better maps: A guide for GIS users* (Second edition, pp. 151–177). Esri Press.
- Bush, E. y Lemmen, D.S., editors. (2019): *Canada’s Changing Climate Report*; Government of Canada, Ottawa, ON. 444 p.
- Castellanos, E., Lemos, M. F., Astigarraga, L., Chacón, N., Cuvi, N., Huggel, C., et al. (2022). “Central and South America.” In: *climate change 2022: “Impacts, adaptation and vulnerability”* in Contribution of working group II to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. eds. H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck and A. Alegría et al. (Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press), 1689–1816.
- Cerda, I., Rosales, C., y Burgos, C. (2022). *Estudio de línea Base. Estado de la incorporación de la Gestión del Riesgo de Desastres y Cambio Climático en los SNIP de América Central y la República Dominicana*. ISBN 978-9977-20-155-9
- Centro de Investigación sobre la Epidemiología de los Desastres - CRED. (2020). *Base de Datos Internacional sobre Desastres EM-DAT*. <https://www.emdat.be/>
- ESRI. (2024). *Tabulate Intersection (Analysis)*. ArcGIS Pro. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/analysis/tabulate-intersection.htm>
- Gómez Escobar, María del Consuelo (2004b). III. El Lenguaje cartográfico. En *Métodos y técnicas de la cartografía temática* III. 4 (pp. 37-78). UNAM, Instituto de Geografía.
- Hidalgo, H., E. Alfaro, J. Amador, A. Bastidas, (2019). Precursors of quasi-decadal dry spells in the Central America Dry Corridor. *Climate Dynamics*. 53(3-4), 1307-1322. <https://doi.org/10.1007/s00382-019-04638-y>

Hidalgo, Hugo G. (2021). Climate Variability and Change in Central America: What Does It Mean for Water Managers? *Frontiers in Water*, Volume 2.

<https://doi.org/10.3389/frwa.2020.632739>

Hidalgo, H., Alfaro, E., Pérez-Briceño, P., Cerda-Escares, I., & Calderón-Solera, B. (2024). Escenarios de Cambio Climático de última generación para América Central y la República Dominicana: Implicancias en la gestión de la inversión pública.

[https://www.researchgate.net/publication/379076942\\_Escenarios\\_de\\_Cambio\\_Climatico\\_de\\_ultima\\_generacion\\_para\\_America\\_Central\\_y\\_la\\_Republica\\_Dominicana\\_Implicancias\\_en\\_la\\_gestion\\_de\\_la\\_inversion\\_publica](https://www.researchgate.net/publication/379076942_Escenarios_de_Cambio_Climatico_de_ultima_generacion_para_America_Central_y_la_Republica_Dominicana_Implicancias_en_la_gestion_de_la_inversion_publica)

IFRC. (2022). Informe Mundial sobre Desastres 2022. Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Medialuna Roja.

Impact Observatory and Esri. (2021). *Sentinel-2 10m land use/land cover time series*. ArcGIS Living Atlas.

<https://www.arcgis.com/home/item.html?id=cfc7609de5f478eb7666240902d4d3d>

IPCC (2021). AR6-Climate Change 2021 - The Physical Science Basis. Cambridge University Press, <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

Kummu, M., Kosonen, M., & Sayyar, S. M. (2024). *Downscaled gridded global dataset for Gross Domestic Product (GDP) per capita PPP over 1990-2022*.

<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4321741/v1>

Miranda, M., Porrás, I., and Moreno, M. (2003). The social impacts of payments for environmental services in Costa Rica. A quantitative field survey and analysis of the Virilla watershed. IIED, 75. Available online at: <https://iied.org/sites/default/files/pdfs/migrate/9245IIED.pdf> (accessed September 27, 2023).

Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastre, 2023. Integración de la reducción del riesgo de desastres y la adaptación al cambio climático en el Marco de Cooperación de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible.

<https://www.undrr.org/media/48496/download?startDownload=20240815>

OMM. (2024). *State of the Climate in Latin America and the Caribbean 2023*. United Nations. <https://library.wmo.int/records/item/68891-state-of-the-climate-in-latin-america-and-the-caribbean-2023>

Pascale S, Kapnick SB, Delworth TL, et al. (2021) Natural variability vs forced signal in the 2015–2019 Central American drought. *Climatic Change* 168:16.

<https://doi.org/10.1007/s10584-021-03228-4>

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2023). Resumen ejecutivo.

En: Informe sobre la Brecha de Adaptación 2023: Financiación y preparación deficientes. La falta de inversiones y planificación en materia de adaptación climática deja el mundo expuesto al peligro. Nairobi. <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/43796>

QGIS. (2024). *El Diseñador de Modelos*. QGIS Documentation.

[https://docs.qgis.org/3.34/es/docs/user\\_manual/processing/modeler.html](https://docs.qgis.org/3.34/es/docs/user_manual/processing/modeler.html)

Quesada-Hernández, L. E., Calvo-Solano, O. D., Hidalgo, H. G., Pérez-Briceño, P. M., & Alfaro, E. J. (2019). Dynamical delimitation of the Central American Dry Corridor (CADC) using drought indices and aridity values. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 43(5), 627–642.

<https://doi.org/10.1177/0309133319860224>

Quesada-Román, A. (2021). Landslide risk index map at the municipal scale for Costa Rica. *International journal of disaster risk reduction*, 56, 102144.

<https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102144>

Quesada-Román, A. (2022). Flood risk index development at the municipal level in Costa Rica: A methodological framework. *Environmental Science & Policy*, 133, 98–106.

<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.03.012>

Riaño, E. (2010). Densidad vial. En *Procesos de Ocupación, Poblamiento y Urbanización*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi. Bogotá, Colombia.

[https://sinchi.org.co/files/Base%20de%20Datos%20Inirida/PDF/18\\_Densidad%20vial.pdf](https://sinchi.org.co/files/Base%20de%20Datos%20Inirida/PDF/18_Densidad%20vial.pdf)

SIGCICAGT. (2020). *Áreas Protegidas UICN* [Map].

<https://www.arcgis.com/home/item.html?id=a0e14b531e1c4378b6b0246ab6f70274>

Slocum, T. A., McMaster, R. B., Kessler, F. C., & Howard, Hugh. H. 2022a. Chapter 5: Data Classification. En *Thematic Cartography and Geovisualization* (4a ed., pp. 83–98).

CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003150527>

Slocum, T. A., McMaster, R. B., Kessler, F. C., & Howard, Hugh. H., 2022b. Chapter 15: Coropleth Mapping. En *Thematic Cartography and Geovisualization* (4a ed., pp. 267–285). CRC Press.

<https://doi.org/10.1201/9781003150527>

Tatem, A. J., 2017. WorldPop, open data for spatial demography. *Scientific Data*, 4(1),

170004. <https://doi.org/10.1038/sdata.2017.4>

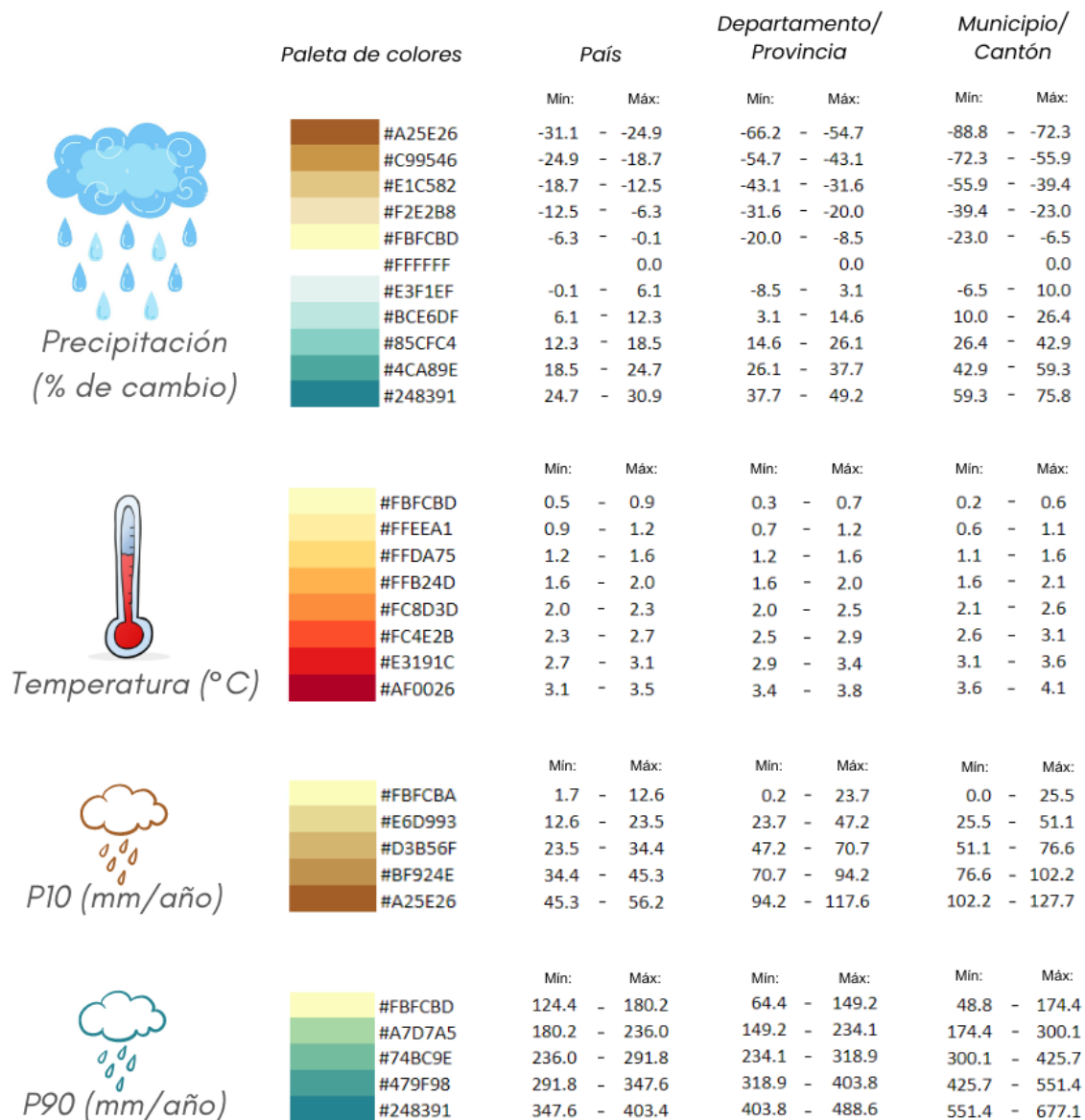
RIOCC., 2020. Costos de la inacción ante el cambio climático en América Central. Red de Investigación sobre la Calidad de la Educación en América Central.

The Royal Society., 2020: Climate Change: Evidence and causes.

[https://royalsociety.org/~media/royal\\_society\\_content/policy/projects/climate-evidence-causes/climate-change-evidence-causes.pdf](https://royalsociety.org/~media/royal_society_content/policy/projects/climate-evidence-causes/climate-change-evidence-causes.pdf)

## Anexo


Figura 4  
Paletas de colores para los escenarios de cambio climático



Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 4

Rangos del índice de Aridez, clasificación y colores con los código HTML y RGB

Índice de aridez	Clasificación	Color	HTML	RGB
$IA \leq 0.05$	Hiper-árido	-	-	-
$0.05 \leq IA < 0.20$	Árido		#954109	149, 65, 9
$0.20 \leq IA < 0.50$	Semi-árido		#d95f0d	217, 95, 13
$0.50 \leq IA < 0.65$	Seco subhúmedo		#f2a057	242, 160, 87
$0.65 \leq IA < 0.80$	Subhúmedo		#ffe000	255, 235, 176
$0.80 \leq IA < 1.5$	Húmedo		#9acc5c	154, 204, 92
$1.5 \leq IA$	Muy húmedo		#38a800	56, 168, 0

Fuente: Elaboración propia, modificado de FAO, 1993.

Figura 7

Paleta de colores para mapas de coropletas de las estaciones meteorológicas  
Blue-Green Light to Dark



Fuente: ArcGIS Pro.

Figura 8


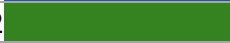
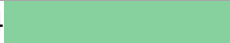



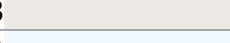
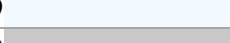

Paleta de colores para mapas de coropletas de Infraestructura Crítica  
Oranges (Continuous)



Fuente: ArcGIS Pro.

Cuadro 7

Paleta de colores para mapas de uso del suelo

Clases	GridCode	Color	Código HEX
Agua	1		#1a5bab
Árboles	2		#358221
Vegetación Inundada	4		#87d19e
Cultivos	5		#ffdb5c
Área Construida	7		#ed022a
Suelo Desnudo	8		#ede9e4
Nieve/Hielo	9		#f2faff
Nubes	10		#c8c8c8
Pastizales	11		#efcfa8

Fuente: Living Atlas.

Figura 9  
Paleta de colores para mapas de coropletas de datos sociales  
Multipart Color Scheme



Fuente: ArcGIS Pro.