



**ESTADO  
DE LA REGIÓN**

**Séptimo Informe Estado de la Región 2024**

## **Investigación**

Indicadores de cambio climático  
a nivel territorial para los  
países de Centroamérica y  
República Dominicana

**Investigador:**

Paula Marcela Pérez-Briceño

Adolfo Quesada-Román

Pascal Girot Pignot

San José | 2025



UNIVERSIDAD DE  
COSTA RICA



Escuela de  
Geografía

551.63  
P438i

Pérez-Briceño, Paula Marcela  
Indicadores de cambio climático a nivel territorial para los países de Centroamérica y República Dominicana / Paula Marcela Pérez-Briceño, Adolfo Quesada-Román, Pascal Girot Pignot. -- San José, C.R. : CONARE - PEN, 2025.

1 recurso en línea (116 páginas): archivo de texto PDF, 16.100 KB

ISBN 978-9930-636-91-6

Investigación para el Séptimo Informe Estado de la Región 2024

1. INDICADORES. 2. CAMBIOS CLIMÁTICOS. 3. PRECIPITACIÓN. 4. OBSERVATORIOS METEOROLÓGICOS. 4. REPÚBLICA DOMINICANA. 5. AMÉRICA CENTRAL. 6. COSTA RICA. I. Quesada Román, Adolfo. II. Girot Pignot, Pascal. III. Título.



#### Información de los autores

**M.Sc. Paula M. Pérez-Briceño.** <https://orcid.org/0000-0002-7217-8495>

Bachiller en Geografía y Máster en Gestión Integrada de Zonas Tropicales por la UCR. Actualmente, se encuentra realizando su doctorado en Geografía con énfasis en GIScience y GeoAI en la Universidad de Montreal at du monde en Canadá.

**Dr. Adolfo Quesada-Román.** <https://orcid.org/0000-0001-6601-5254>

Doctor en Ciencias Ambientales por la Universidad de Ginebra en Suiza. Profesor e investigador en la Universidad de Costa Rica. Ha liderado proyectos con enfoque en geomorfología, gestión del riesgo de desastres y ordenamiento territorial.

**DEA. Pascal Girot Pignot.**

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



## Índice

Descargo de responsabilidad .....	4
Resumen ejecutivo .....	4
Presentación .....	6
Datos .....	8
Delimitación político-administrativa.....	8
Escenarios de cambio climático .....	9
Caracterización territorial .....	10
Calidad de los datos .....	12
Datos por país .....	13
Resumen de los datos disponibles .....	16
Metodología.....	17
Escenarios de cambio climático por área administrativa.....	17
Caracterización territorial .....	19
Estaciones meteorológicas .....	19
Infraestructura crítica .....	20
Uso .....	22
Social.....	23
Cartografía.....	24
Mosaicos de escenarios de cambio climático .....	24
Caracterización territorial .....	27
Estaciones meteorológicas .....	28
Infraestructura crítica .....	28
Uso .....	29
Social.....	29
Resultados.....	30
Escenarios de cambio climático .....	30
Precipitación .....	30
Temperatura .....	38
Aridez.....	44

*Indicadores de cambio climático a nivel territorial para los países de  
Centroamérica y República Dominicana*

---

Caracterización territorial .....	50
Estaciones meteorológicas .....	50
Infraestructura crítica .....	54
Uso del suelo .....	70
Datos sociales.....	71
Discusión.....	78
Recomendaciones.....	79
Limitantes.....	80
Referencias.....	80
Anexos.....	83

## **Descargo de responsabilidad**

Esta investigación se realizó para el *Séptimo Informe Estado de la Región 2025*. 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.

## **Agradecimiento**

Se agradece la colaboración de los siguientes asistentes para la realización de esta investigación: Santiago Brenes Salas, Gabriela Becerra Sandoval, Armando Picado Monge, María Sofía Moya Bonilla, Nataly Fabiana Montoya Campos

## **Resumen ejecutivo**

Se proyecta que América Central y República Dominicana se verán afectados por el cambio climático. Su ubicación interoceánica e ístmica entre dos grandes masas de agua hace que esté expuesta a cambio en precipitación, temperatura y por tanto en aridez.

Aquí se presentan tres escenarios del sexto informe del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), basado en las rutas socioeconómicas (SSP): un escenario optimista (SSP1-2.6), un escenario intermedio SSP2-4.5 y un escenario pesimista SSP5-8.5, este último basado en un escenario de combustibles fósiles. A partir de una primera modelación a escala de 1km generada dentro del proyecto INCENTIVA por parte del Centro de Investigaciones Geofísicas y supervisado por el Instituto Centroamericano de Administración Pública (ICAP). Se generalizaron de los escenarios para la precipitación, temperatura, P10, P90 y Aridez a nivel país, departamento/provincia, y municipio/cantón, con el fin de tener un valor por área político-administrativa y que sea vinculante para políticas públicas. De forma general, América Central se volverá más seca, más caliente y árida, principalmente en el escenario basado en combustible fósiles (SSP5.8.5).

Como estos escenarios son de atención, en este informe se muestra como está expuesta infraestructura crítica tales como centrales de hidroeléctricas, centros de salud, hospitales, aeropuertos, carreteras, entre otros, que busca examinar los posibles impactos del cambio climático.

Puntos claves:

- **Precipitación:** Nicaragua es el país con mayor porcentaje de municipios en donde disminuirá la lluvia. Costa Rica y Panamá tienen los porcentajes menores.
- **Temperatura:** se esperan aumentos de más de 3° en más del 70% de municipios de Guatemala, 80% en Honduras, 100% en Nicaragua, Costa Rica, Panamá y República Dominicana para finales de siglo en el escenario SSP5-8.5.
- **Aridez:** Belice, Honduras, EL Salvador, Nicaragua, y República Dominicana tendrán departamentos considerados semi-áridos al final del siglo. Costa Rica y Panamá son los países donde la aridez no será tan significativa a excepción de la provincia Guanacaste.
- **Infraestructura Crítica:** toda la infraestructura se verá afectada por los cambios en las variables climáticas. Por ejemplo, las centrales hidroeléctricas se verán afectadas por la disminución de lluvia. Centros de salud se podrán ver saturados por el aumento de la temperatura y a causa de esto incremento en enfermedades vectoriales (dengue, zika); Universidad y centros de educativos podrán experimentar la falta de recurso para su buen funcionamiento como por ejemplo el agua para la higiene, afectación del servicio eléctrico o enfermedades de los usuarios. Los aeropuertos, puertos y línea férrea podrán experimentar problemas debido a las altas temperaturas y al aumento de eventos extremos húmedos (P90). Hoteles y Marinas verán afectadas sus instalaciones por el aumento del nivel del mar, así como el acceso al agua provocada por la aridez.
- **Uso del suelo:** el uso intensivo del suelo ha generado que en la región las tierras fértiles estén sobreexplotadas de manera que las áreas de conversación tengan presiones externas para poder utilizarlas. La zona construida cada vez se agranda y vuelve el suelo impermeable de manera que contribuye a inundaciones urbanas.
- **Población:** los más de 62 millones de habitantes de la región experimentarán cambios en su modo de vida a raíz del cambio en las variables climáticas. A nivel de salud física podrán

experimentar choques de calor que dificulten el desarrollo diario, la deshidratación, enfermedades vectoriales; en la salud mental el clima influye en el comportamiento de las personas, pudiendo agravar conflictos sociales.

- **Producto Interno Bruto:** América Central depende mucho de actividades agrícolas por lo que el cambio climático puede venir a reducir los réditos de estas actividades, por inundaciones o grandes sequías.

## **Presentación**

Este documento muestra variables climáticas y territoriales que se pueden utilizar como indicadores de cambio climático a múltiples escalas territoriales para países centroamericanos y República Dominicana (Mapa 1), examinando aspectos como temperatura, precipitación, aridez, infraestructura crítica y población en la región. La base climática fue generada en una primera modelación generada por el Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI) de la Universidad de Costa Rica a solicitud del Instituto Centroamericano de Administración Pública (ICAP), a nivel de los ocho países miembros del Sistema de Integración Centroamericana (SICA) con el fin de contar con información a escala local y de última generación. Los escenarios de cambio climático tienen una resolución de 1 km x 1 km.

En este segundo esfuerzo se traslada esa información a nivel de unidades administrativas: país, provincia/departamento, municipio/cantón con el fin de obtener indicadores en estas tres escalas para examinar los posibles impactos del cambio climático. Posteriormente, se podrá analizar detenidamente 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, como también, considerar medidas de adaptación/mitigación en los territorios.

La metodología contempla una primera etapa de preparación, estandarización de datos climáticos, uniones y agregaciones espaciales sucesivas se derivan métricas a nivel municipal/cantonal, provincial/departamental y nacional. En una segunda fase, se identificaron datos para la caracterización territorial sobre infraestructura pública, estaciones meteorológicas, infraestructura turística, población y coberturas de suelo para caracterizar

territorios y entender posibles impactos del cambio modelado. Seguidamente, se presenta una descripción del territorio para que en la fase final se generen visualizaciones cartográficas para análisis, junto a un informe metodológico con descripciones de los hallazgos para cada país. En conjunto, las fases buscan cuantificar y cualificar los efectos esperados del cambio climático sobre diferentes lugares para apoyar en planificación adaptativa.

La información espacial ha sido el principal obstáculo al que nos hemos enfrentado, ya que al ser un análisis regional debemos contar con la información de todos los países para tomar decisiones y hacer la caracterización, de manera que la información sea comparable entre naciones. Cabe resaltar que homogenizar la información ha sido desafiante ya que cada consultor nacional entrega información en diversos formatos.

### Mapa 1

#### Ubicación de América Central y República Dominicana en el mundo



## Datos

### Delimitación Político-administrativa

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>1</sup>, por lo que al ser cantones muy nuevos no se tienen datos sociales, por tanto, la Cuadro 1 resume la cantidad de municipios/cantones, departamentos/provincias, por país. La información fue utilizada en formato vectorial ajustándose a la escala necesaria: país, departamentos/provincias, municipios/cantones. El mapa 2 ilustra la delimitación político administrativa del área de estudio.

#### Cuadro 1

Descripción delimitación administrativa para los ocho países del SICA

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	Redhonduras
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

Elaboración propia.

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

## Mapa 1

### Delimitación político-administrativa en América Central y República Dominicana



## Escenarios de Cambio Climático

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 la Cuadro 2 y fueron almacenados en ráster en formato TIFF, con píxeles cuadrados de 1 x 1 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.

Cuadro 2

Cuadro de los modelos climáticos de Circulación General usados

Dato	Período	Resolución temporal	Resolución espacial
ERA5	1979- 2014	Mensual	0.25° x 0.25°
World Clim	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°

Nota: Los primeros dos productos (ERA5 y World Clim) corresponden a datos que se usaron para el procedimiento de cambio de escala estadístico y el resto a los GCMs.

Fuente: Elaboración propia

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 radiativos. 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.

## **Caracterización Territorial**

La información para la caracterización territorial proviene de consultores nacionales y de otras fuentes de datos confiables de instituciones que trabajan en la región. En cuanto a la información facilitada por consultores nacionales se recibió información de Panamá, Honduras, Guatemala, Costa Rica, El Salvador y República Dominicana. Nicaragua y Belice no fue facilitada. Por las diferencias entre países fue necesaria una revisión exhaustiva de los datos. El cuadro 2 contiene la información de fecha de entrega de la información y fecha de actualización de los datos, esto es importante de señalar ya que, a pesar de tener información desde marzo, esta se ha tenido que volver a revisar por mejorar realizadas y no en todos los casos se señalan claramente donde se realizaron.

Cuadro 3

Datos resumen con fecha de entrega, cantidad de información

País	Fecha de entrega	Fecha de actualización	Mb
Panamá	19 de marzo	16 de abril	5760
Honduras	22 de marzo	No Aplica	80
Guatemala	19 de marzo	17 de mayo	315
Costa Rica	18 de abril	17 de mayo	785
El Salvador	28 de mayo	5 de mayo	238
República Dominicana	9 de julio	No Aplica	226
Belice	No Aplica	No Aplica	No Aplica
Nicaragua	No Aplica	No Aplica	No Aplica

Fuente: Elaboración propia.

Para complementar la información facilitada por los equipos de consultores nacionales se incluyeron otras fuentes de información como el GeoPortal de la Comisión Económica para América Latina y El Caribe (CEPAL), disponible en: <https://statistics.cepal.org/geo/geo-cepals-tat/?lang=es>; la Cobertura Global de uso del suelo basada en Sentinel (Karra, Kontgis, *et al.*, 2021) y Natural Earth Data<sup>2</sup>.

Es importante recalcar que no se sustituyó la información de los consultores nacionales, pero se utilizará de referencia para subsanar problemas en la calidad de los datos (siguiente apartado) y que estos datos están homogenizados para la región.

Las variables fueron agrupadas en cuatro categorías, que se presentan en la figura 3.

<sup>2</sup> <https://www.naturalearthdata.com/>

Figura 3  
Agrupación de las variables por categorías



Elaboración propia

### **Calidad de los datos**

Los datos deben satisfacer las necesidades del estudio, de manera que sean datos útiles y confiables para la caracterización territorial de la región centroamericana y República Dominicana.

Una forma de evaluar esa calidad es el Modelo de Calidad de Datos Espaciales (MCDE), desarrollado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) de México, y abarca seis dimensiones:

1. **Exactitud posicional:** este aspecto gran cantidad de los datos manifiestan su ubicación real. Sin embargo, hay variables que no fueron ubicadas con precisión, por ejemplo, en Guatemala solo indica la cantidad de hoteles por departamento, por lo que no es posible hacer un análisis a nivel municipal porque no se cuenta con las coordenadas de latitud y longitud.
2. **Exactitud de atributos:** este aspecto es bastante desafiante ya que no hay uniformidad en el nombre de los campos, los tipos de campos y los atributos que entregan. El hecho de generar la capa regional supone un gran esfuerzo a la hora de unificar los cuadros de atributos de los diferentes países. Este punto ha sido uno en los que más tiempo se ha tenido que in-

vertir ya que los consultores nacionales no contaron con la información requerida para hacer el estudio regional. Esto se pudo haber subsanado al indicar en los términos de referencia la geometría, atributos y tipos de campos.

3. Consistencia lógica y coherencia topológica: Se pueden encontrar ejemplos de las capas de uso de la tierra de Guatemala presentan errores topológicos al sobreponer polígonos de diferentes usos.
4. Compleción: hay variables faltantes en países, que se detallan en la Cuadro 6.
5. Calidad temporal: En este aspecto se debe recalcar que la información entre los países no coincide de manera temporal. Honduras no incluyó la información temporal de los datos espaciales.
6. Procedencia: este aspecto es vital para conocer la fuente de los datos. Se entiende que los consultores nacionales realizaron la búsqueda y en la documentación escrita hay menciones de algunas fuentes de los datos, sin embargo, en su mayoría los metadatos están ausentes.

La evaluación de los datos se realizó por medio de una revisión visual, se examinaron los cuadros de atributos de forma manual y se comparó con datos de referencia como OpenStreetMap.

En síntesis, la calidad de los datos no es ideal, pero se trabajó de manera que los datos útiles y confiables para la toma de decisiones. Esto ha implicado un esfuerzo muy grande por parte del equipo de la Escuela de Geografía que no estaba contemplado al inicio de la investigación.

### ***Datos por país***

La información base fue facilitada por consultores nacionales. El Cuadro 4 muestran el resumen de los datos que se brindaron, en donde se han procesado más de 2.5 millones de entidades espaciales. En el Anexo 1 se detallan los datos por país que se clasifican según la categoría, el tipo de archivo, formato, la cantidad de entidades y la fecha del dato.

**Cuadro 4**  
**Resumen de datos facilitados por consultores nacionales**

<b>País</b>	<b>Variables</b>	<b>Total de entidades</b>
Guatemala	Áreas protegidas públicas y privadas, Hospitales, Escuelas Primarias y Secundarias, Hidroeléctricas_menores5MW, Hidroeléctricas_Mayores_5MW, Geotérmicas mayores a 20MW, Centros Turísticos, Universidades Públicas y privadas, Palma Africana, Hule, Caña Azúcar, Café, Banano y Plátano, Aeropuertos Internacionales, Zonas Portuarias, Carreteras, Estaciones Climáticas, Estaciones Hidrométricas, Centros Educativos Primaria Básicos.	107,184
Belice	NA	0
Honduras	Estaciones meteorológicas, Aeropuertos, Carreteras, Centros educativos, Hidroeléctricas, Hospitales públicos, Puertos, Universidades públicas y privadas, Infraestructura turística	15,219
El Salvador	Centros escolares, Centros educativos, Estaciones, Hospitales, Plantas (Generadoras), Plantas (Generadoras Corregidas), Plantas hidroeléctricas, Puertos y otros, Universidades, Estaciones (SHPEFI-1), Límites Municipales	6,765
Nicaragua	NA	0
Costa Rica	Aeropuertos, Áreas Silvestres protegidas, Centrales Eléctricas, Centros de Salud, Centros Educativos, Café, Cultivos General, Palma, Piña, Embalses, Estaciones Automáticas, Estaciones Hidrométricas, Estaciones Mareográficas, Estaciones Mecánicas, Instrumentos, PNE, Historico de daños y pérdidas 2005 – 2023, Historico de perdidas 1991 – 2023, Hospedajes declarados, Hospitales, Hospitales CCSS, Red Vial, Red Ferrea, Marinas, Puertos, Universidades	269,397
Panamá	Zonas Francas, Universidades Públicas, Universidades, OSM_roads(Caminos), Infraestructura vial, Hospitales, Escuelas y colegios, Cuencas hidrográficas 250k, Cobertura Boscosa Uso de suelo 25k, Cobertura Boscosa Uso de suelo 50k, Cobertura Boscosa 2012 50k, Centrales térmicas, Centrales Solares, Centrales hidroeléctricas, Centrales Eólicas, Hoteles y Restaurantes por departamento	1,945,927
República Dominicana	Aeropuertos Internacionales, Aeropuertos Nacionales, Atracaderos, Áreas Protegidas SINAP, Zonas Amortiguamiento SINAP, Centros Salud Privados Data, Centros Salud Públicos, Centros Primer Nivel, Centros privados, Centros públicos RD, Estaciones Pluviométricas, Estaciones Hidrométricas, Caminos vecinales mopc, Circunvalaciones nacional, Peajes mopc, Puentes mopc, Red local RD, Red troncal RD, Carreteras regionales.	227,957
<b>Total</b>		<b>2,572,449</b>

Elaboración propia.

Para complementar la información de los consultores naciones se agregó la información de la Cuadro 5

### Cuadro 5

#### Fuente de información complementarias agregadas al estudio

Variable	Fuente	Nombre de la capa	Observaciones
Aeropuertos	GeoPortal-CEPALSTAT	Aeropuertos	Se unió con información enviada por consultores nacionales.
Puertos	GeoPortal-CEPALSTAT	Puertos	Se unió con información enviada por consultores nacionales. Belice sin datos.
Centros de Salud	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.
Centrales Eólicas	GeoPortal-CEPALSTAT	Parques Eólicos	Se unió con información enviada por consultores nacionales. Belice sin datos.
Centrales Solares	GeoPortal-CEPALSTAT	Plantas Solares	Se unió con información enviada por consultores nacionales. Belice sin datos.
Línea Férrea	Natural Earth	Línea Férrea	Se unió con información enviada por consultores nacionales.
Marinas	Marinas.com	Marinas	Salvador y Nicaragua sin datos.
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).

Elaboración propia

Finalmente, se aportan dos variables sociales más que aportan información al estudio:

1. **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).

2. **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.

**Resumen de los datos disponibles**

Luego de la incorporación de otras fuentes de información además de los consultores nacionales, la Cuadro 6 muestra los variables que se trabajaron

Cuadro 6

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	●	●	●	●	●	●
	Centros de Salud	●	●	●	●	●	●
	Universidades	●	●	●	●	●	●
	Centros Educativos	●	●	●	●	●	●
	Línea férrea	●	●	●	●	●	●
	Hoteles*	●	●	●	●	●	●
	Marinas	●	●	●	●	●	●
Uso	Agricultura	●	●	●	●	●	●
	Pastos	●	●	●	●	●	●
	Bosques	●	●	●	●	●	●
	Urbano	●	●	●	●	●	●
EG	Población	●	●	●	●	●	●
	Producto Interno Bruto	●	●	●	●	●	●

Elaboración propia.

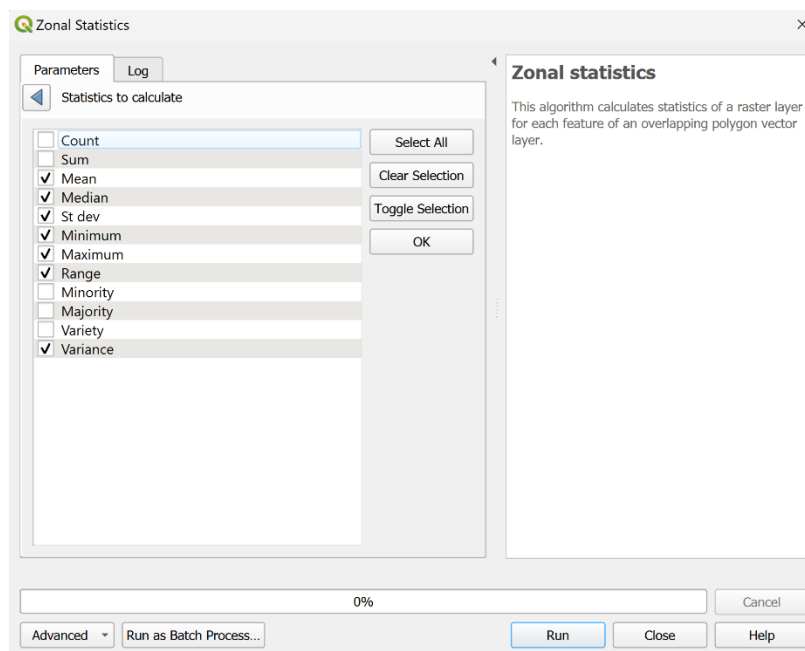
Los datos por variable se encuentran disponibles en: [02 Infraestructura Crítica](#), que están en coordenadas geográficas. Es importante señalar que se trabajó en la homologación de los cuadros de atributos entre los distintos países.

## Metodología

### Escenarios de Cambio Climático por área administrativa

En esta fase se asignan los valores climáticos de precipitación, temperatura, percentiles 10 y 90 (como indicadores de eventos extremos) 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 análisis permite calcular varios estadísticos descriptivos a la vez (Figura 2) y finalmente como salida devuelve un archivo vectorial.

Figura 2  
Estadísticos descriptivos disponibles en la administración político-administrativa



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 3), 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 2, se elige el lugar de almacenamiento (QGIS, 2024). Se ejecuta nueve veces por variable, cambiando el escenario y periodo para finalmente nombrarlo según corresponda. Como resultado se observa la figura 3.

Figura 3

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

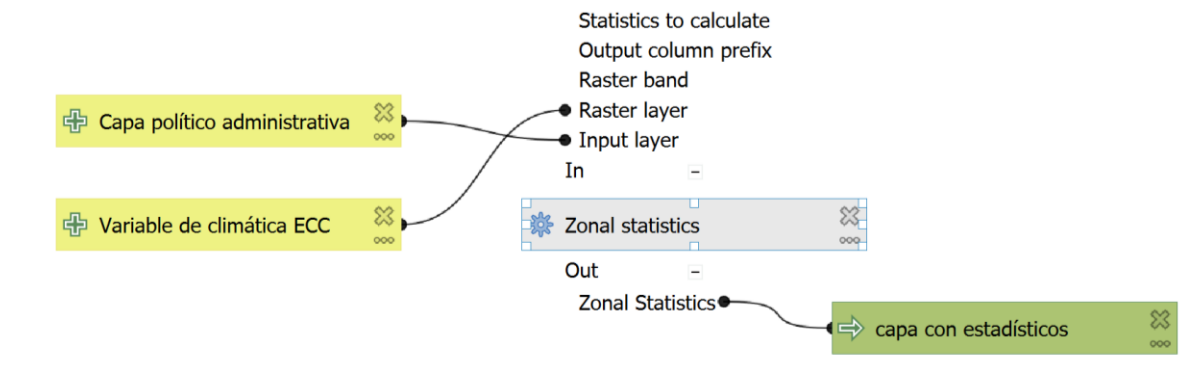


Figura 4

Ejemplo del cuadro de atributos con los estadísticos por variable

scalerank	admin	adm0_a3	_mean	_median	_stdev	_min	_max	_range	_variance
1	1 Belize	BLZ	4.19997757720...	4.62557840347...	3.70215881626...	-6.6999602317...	20.1110973358...	26.8110575675...	13.7059799008...
2	1 Costa Rica	CRI	3.43512885933...	2.87076640129...	4.50956972703...	-12.533182144...	32.2408447265...	44.7740268707...	20.3362191229...
3	1 Dominican Rep...	DOM	1.01430627226...	1.14565074443...	3.77019963221...	-12.894969940...	14.1211433410...	27.0161132812...	14.2144052667...
4	1 Guatemala	GTM	6.48535932503...	5.80796957015...	8.59601183288...	-18.453392028...	69.8737792968...	88.3271713256...	73.8914194310...
5	1 Honduras	HND	6.54615540013...	5.57742047309...	6.27149818264...	-14.734562873...	46.1437377929...	60.8783006668...	39.3316894549...
6	1 Nicaragua	NIC	3.06768469643...	3.86508345603...	6.45776208897...	-35.907684326...	29.0385704040...	64.9462547302...	41.7026911978...
7	1 Panama	PAN	5.25266240405...	4.96714067459...	3.82575908123...	-7.5609865188...	30.3112487792...	37.8722352981...	14.6364325476...
8	1 El Salvador	SLV	11.8501457821...	7.46439695358...	15.9259920561...	-20.112604141...	70.9067611694...	91.0193653106...	253.637222972...

## **Caracterización Territorial**

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 los cuadros de atributos. Si los nombres de los campos no son exactamente igual, los agrega como campos nuevos.

Al utilizar la herramienta de *Unión*, es necesario trabajar el cuadro de atributos para homogenizar 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 cuadro donde se unió la información y se creó una capa de puntos (EPSG 4326). La cuadro 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:

1. *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.
2. *Estaciones Hidrológicas*: están las estaciones hidrométricas y las hidrológicas de Panamá.
3. *Estaciones Medición Nivel del Mar*: están las estaciones Mareográficas y Oceanográficas.
4. *Estaciones Tipo A*: están las estaciones automáticas y estaciones tipo A automática y mixta
5. *Radiosondeos*: están los instrumentos radar

6. *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 4) 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 cuantos puntos (estaciones meteorológicas) hay dentro de cada polígono (país, departamento/provincia, municipio/cantón), dando como resultado una nueva capa con el cuadro 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 4  
Herramienta contar puntos por polígono



Fuente: QGIS 3.34

### ***Infraestructura crítica***

Se define la infraestructura pública crítica como 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 todo esto definido en el Decreto

Lineamientos generales para la incorporación de las medidas de resiliencia en infraestructura pública N° 42465- MOPT-MINAE-MIVAH de Costa Rica.

Por tanto, 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 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:

1. 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.
2. En el cuadro 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:  $\$area / 1\ 000\ 000$ . 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.

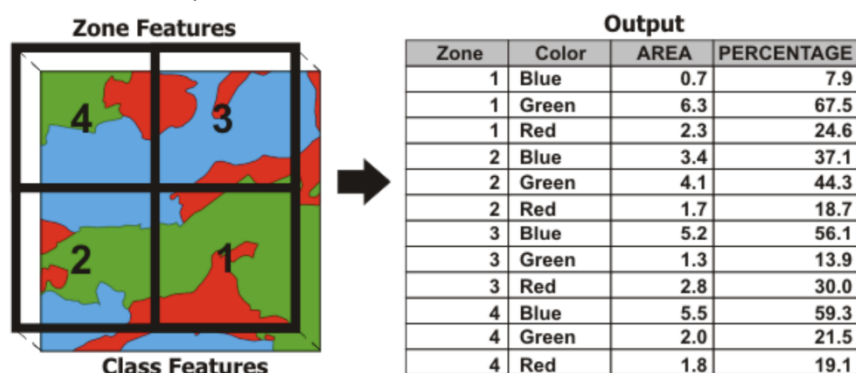
3. Para crear el campo de Densidad vial o ferroviaria, se configura el campo en número decimal y se calcula con los campos creados (LENGTH y AREA) la siguiente expresión:  $(\text{LENGTH}' / 1\ 000) / \text{AREA}'$ . En este caso, puesto que la unidad por defecto es metros, también se realiza la conversión correspondiente de metros a kilómetros para obtener la unidad de densidad vial en  $\text{km}/\text{km}^2$ .
4. Posteriormente, se pasan los datos a la elaboración cartográfica.

### Uso

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 (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). 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 obtuvo 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 5  
Ilustración del proceso de la herramienta Tabulate Intersección



Fuente: ESRI, 2024.

<sup>3</sup> <https://livingatlas.arcgis.com/landcoverexplorer/#mapCenter=-85.49742%2C14.02413%2C7.393113714679248&mode=step&timeExtent=2017%2C2023&year=2023&renderingRule=0>

## **Social**

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 usando 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 descargaron en formato vectorial de tipo polígono mediante un geopaquete (gpk), con el fin de unir los valores PIB a cada uno de los límites político-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 corresponde 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 cuadros 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 político-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.

## **Cartografía**

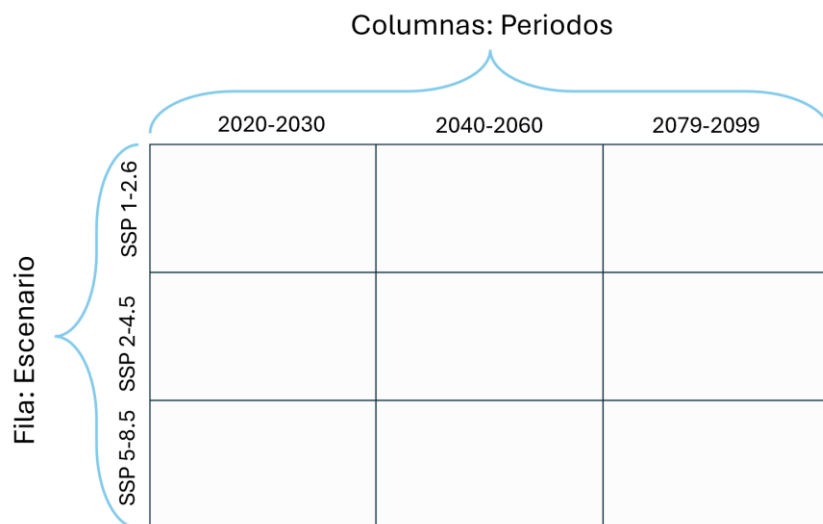
La cartografía temática estática tiene un tamaño de 292 x 210 mm y maneja un concepto simple y sutil, que permite enfocarse en las diversas representaciones de los fenómenos espaciales. Como mapa base se utiliza Light Canva de ESRI en el software ArcGIS Pro por su simplicidad y facilidad de dar contexto espacial al lector sin competir visualmente con los fenómenos que se quieren representar. A continuación, se especifica la elaboración de los mapas de escenarios climáticos y la caracterización territorial.

## **Mosaicos de Escenarios de Cambio Climático**

Un mosaico permite acomodar los tres escenarios con los tres periodos que es necesario representar a cada escala administrativa. Por tanto, se acomodaron en filas los escenarios: SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP5-8.5 y en columnas por periodo: 2020-2030, 2040-2060, 2079-2099 (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**6). Se generaron mapas por cada variable a nivel país, departamento/provincia, cantón/municipio. Por tanto, son en total 15 mapas, tres por cada variable.

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 6  
Esquema de la organización de los mosaicos

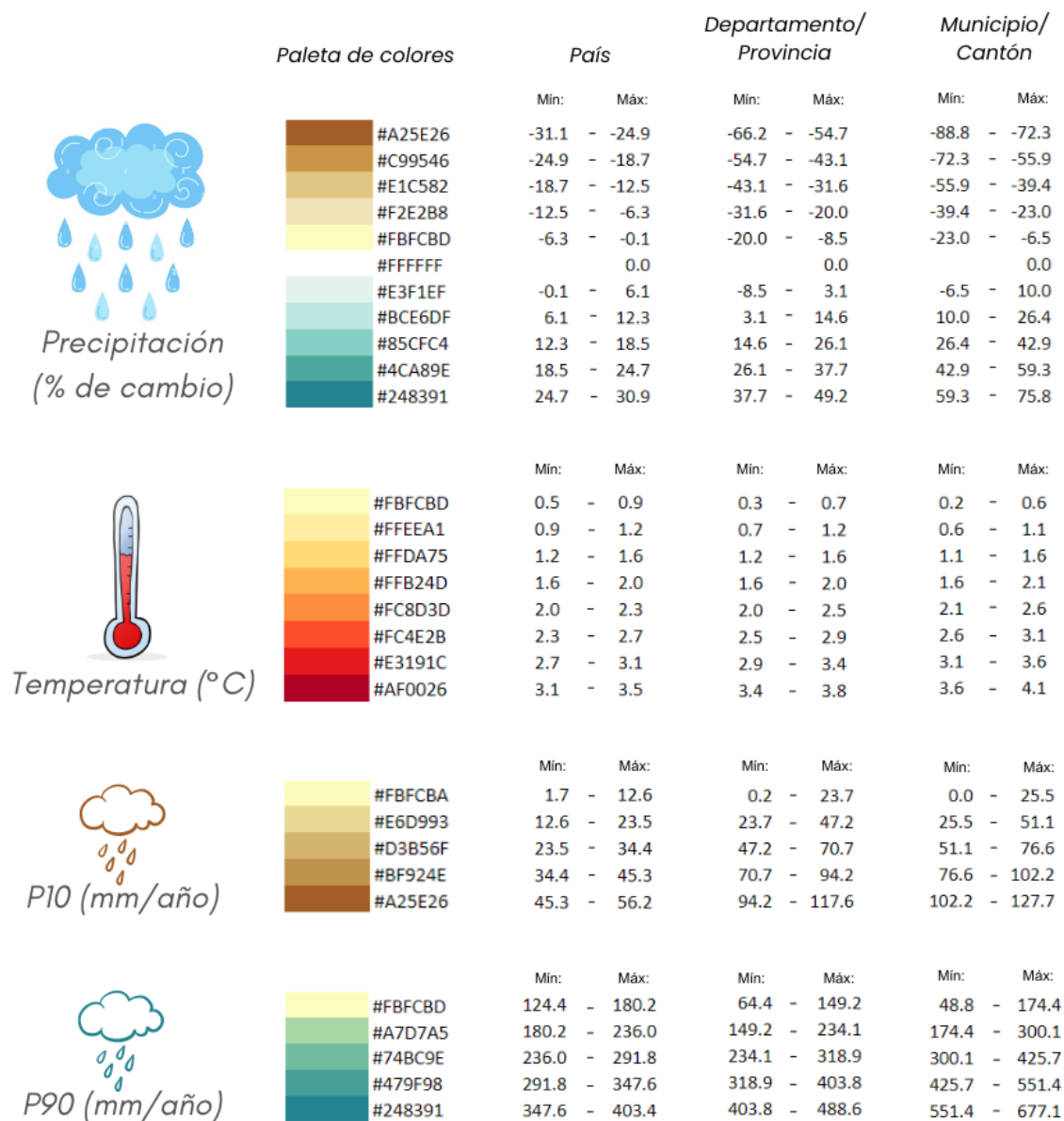


Elaboración propia

La figura 7 muestra 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 (Cuadro 7).







Figura 7  
Paletas de colores para los escenarios de cambio climático



Elaboración propia.

**Cuadro 7**

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: Modificado de FAO, 1993.

### **Caracterización Territorial**

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 de verdeazulado 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.

Figura 8

Paleta de colores para mapas de coropletas de las estaciones meteorológicas

Blue-Green Light to Dark



Menos estaciones

Más estaciones

Fuente: ArcGIS Pro

### **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 (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Se escogió este color para que se preste atención a esta infraestructura ante el cambio climático (Brewer, 2016).

Figura 9

Paleta de colores para mapas de coropletas de Infraestructura Crítica

## Oranges (Continuous)



Menos entidades

Más entidades

Fuente: ArcGIS Pro.

### Uso

Para la elaboración de la cartografía del uso del suelo se utilizó la misma paleta de colores propuesta por Impact Observatory y ESRI (2021). El cuadro 8 muestra la clase, el color y el código de celda (GridCode).

Cuadro 8

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.

### Social

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 (figura 10). Se escogió esta paleta para diferencias de las otras variables y se puede asociar con población y variables económicas o de riqueza (Brewer (2016)).

Figura 10  
Paleta de colores para mapas de coropletas de datos sociales



Fuente: ArcGIS Pro.

## Resultados

### Escenarios de Cambio climático

Un aspecto muy importante sobre estos mapas de los escenarios de cambio climático es que se está utilizando la división político-administrativa la cual no obedece a criterios naturales sino a decisiones de personas, por lo que se puede encontrar que un país, departamento/provincia, municipio/cantón posea características de ambos regímenes de precipitación en la región. Al trabajarse con esta división hay que tomar con cautela la información ya que las variaciones espaciales se generalizan al estar representados en mapas de coropletas puede llegar representar un contraste donde no lo existe ya que se generaliza a un solo valor por área política-administrativa, y aquí se está representado promedio de la variable dentro de cada polígono.

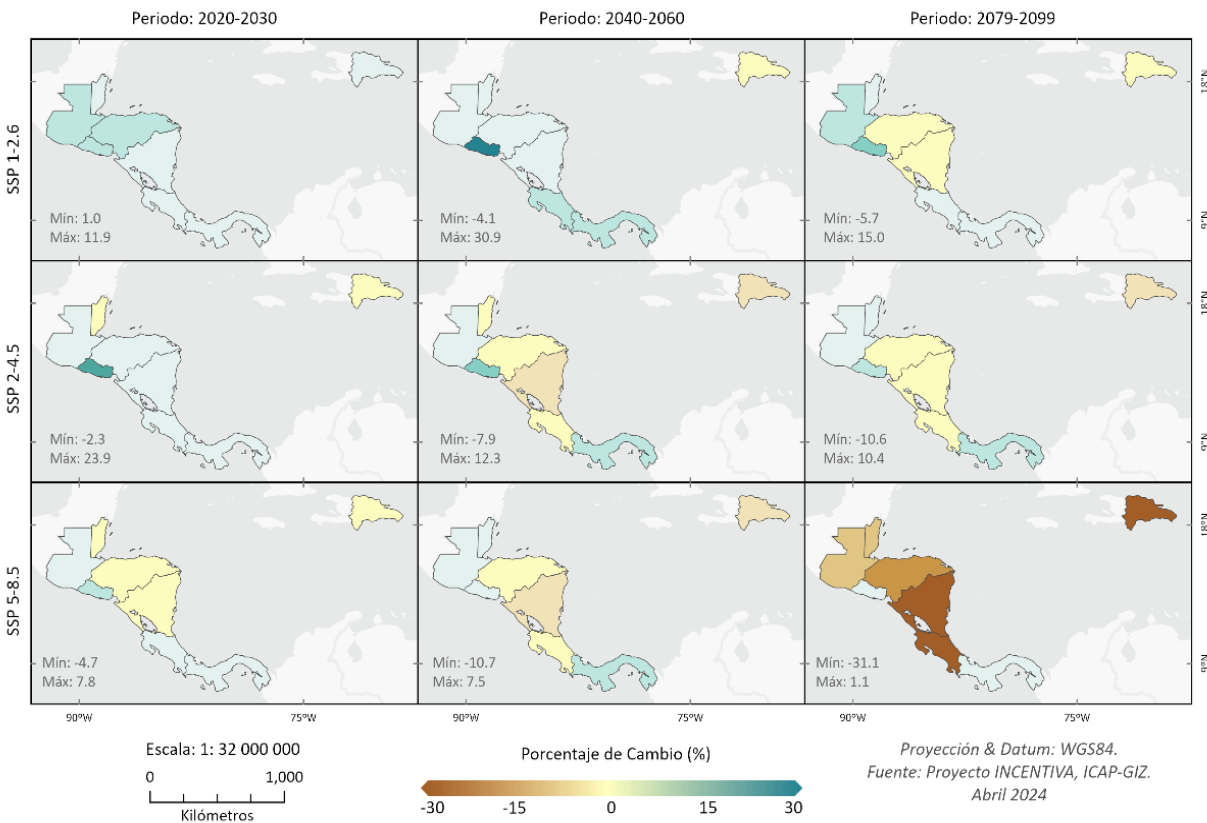
### Precipitación

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 2). Hay una tendencia a 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 estaría experimentando la disminución (Mapa 2). 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).

## Mapa 2

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



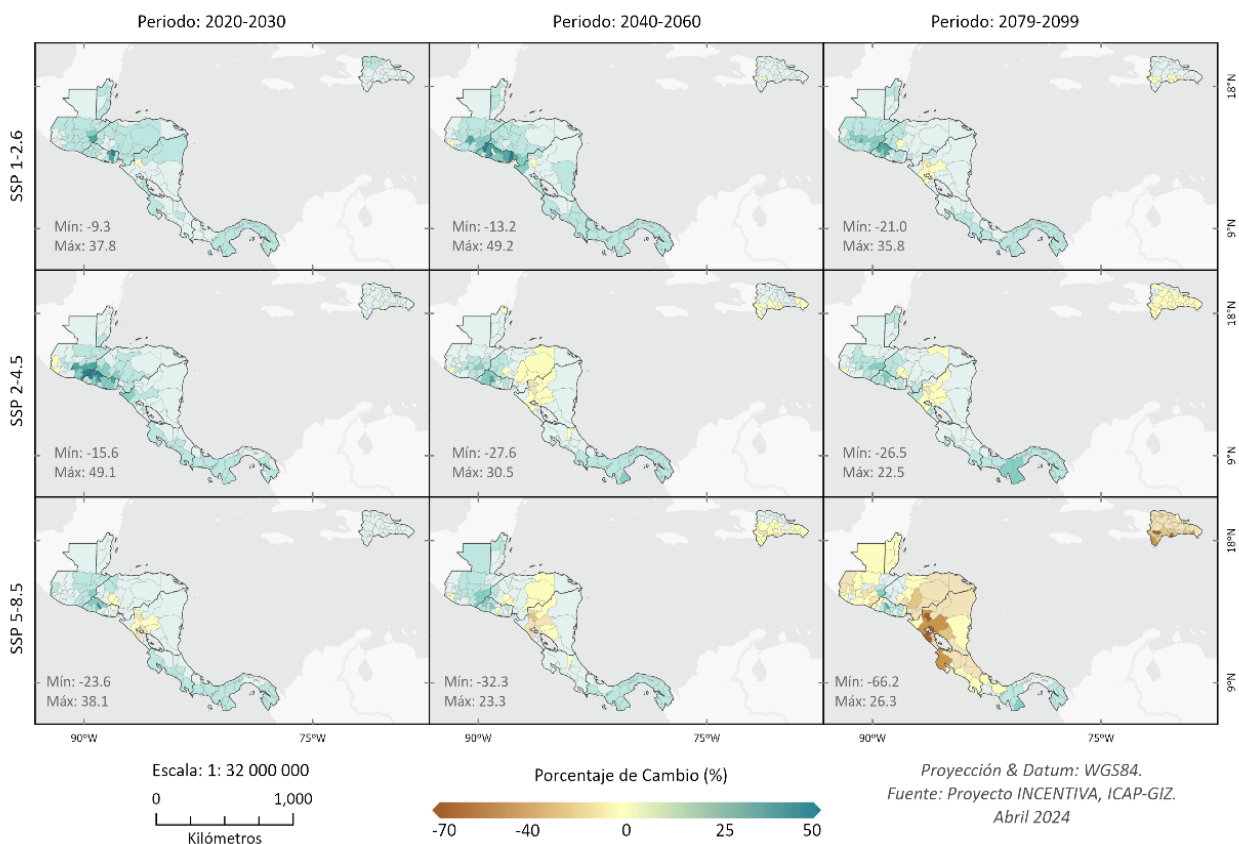
En el caso de los departamentos/provincias al ser polígonos más pequeños que los países, la generalización obtiene un rango más amplio de datos. Se mantienen el patrón entre los escenarios con respecto al mosaico de países, pero en este caso se pueden observar diferencias a los internos de cada nación. Haciendo énfasis en el escenario SSP5-8.5 que se presenta en la última fila del mapa 4 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 repartan 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 aumentan la precipitación en departamentos en el Pacífico.

Mapa 3

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



Cuadro 9

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

% 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	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		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			

Elaboración propia.

Cuadro 10

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 -2	67		100	29		29			15
-21 a -30						43			
-31 a -40						14			
						14			

Elaboración propia.

Cuadro 11

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 -3		6	56	29	24	24
-31 a -40			22	1	6	6
-41 a -50			13			29
-51 a -60			6			18
-61 a -70					6	

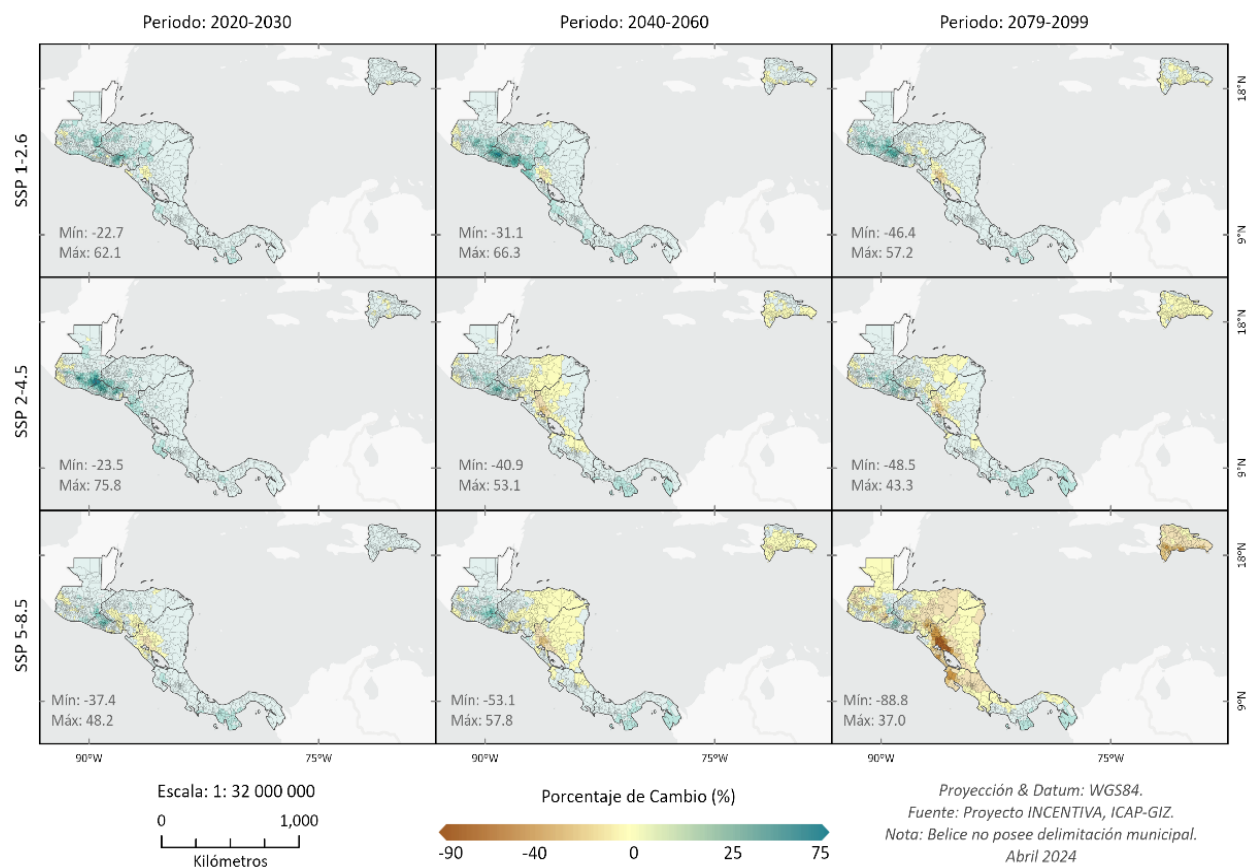
Elaboración propia

En la escala de municipio 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%.

#### Mapa 4

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



Para complementar la información del mapa 5, la Cuadro 12, Cuadro 13 y Cuadro 14 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%, que 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 experimentarán 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 periodo esta reducción puede andar en el orden de hasta el 30% mientras que para el segundo periodo podría llegar a 60% menos. 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 13).

En Costa Rica es hasta finales de siglo donde se evidencia una reducción en la precipitación entre el 1y 20% de los cantones. En Panamá la disminución solo 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 14).

**Cuadro 12**

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

Elaboración propia.

**Cuadro 13**

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

Elaboración propia.

**Cuadro 14**

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	8	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	

Elaboración propia.

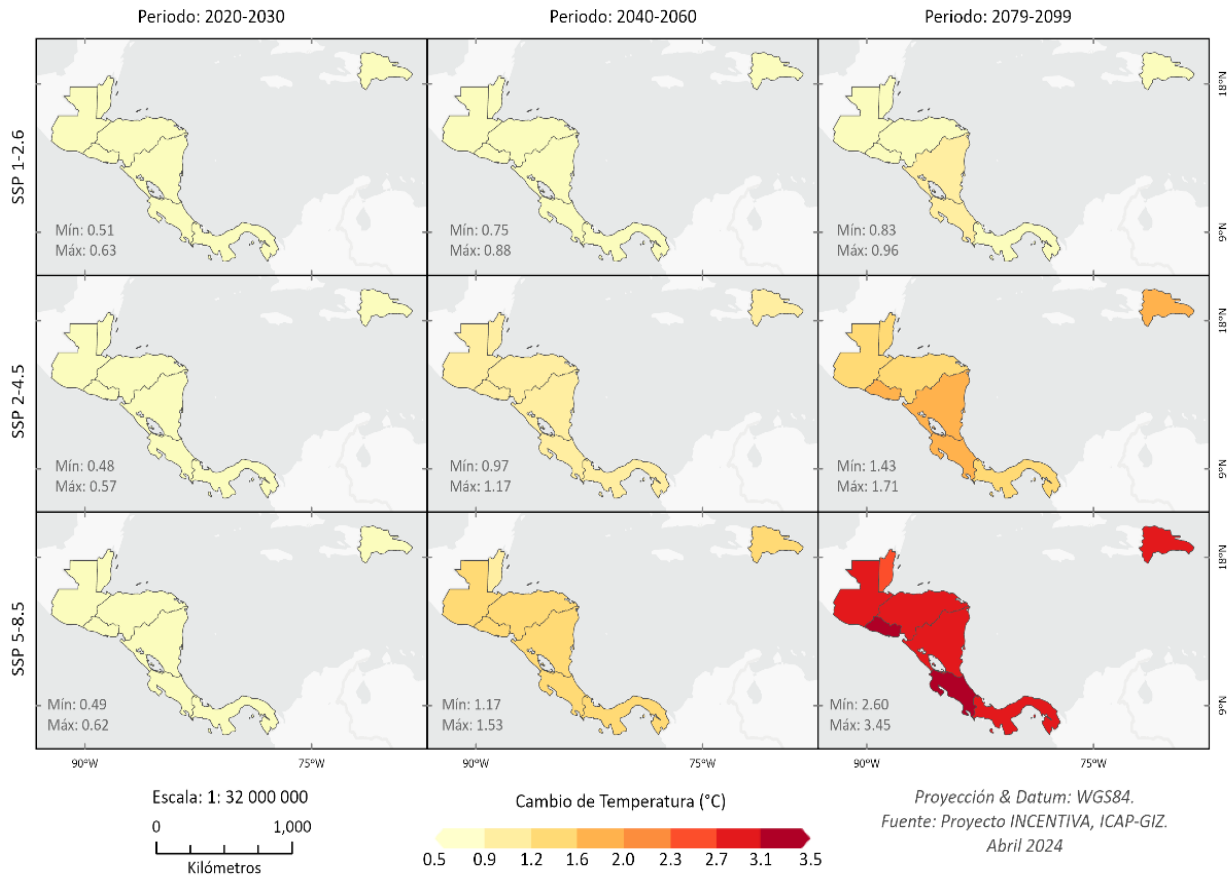
## Temperatura

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 6).

### Mapa 6

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

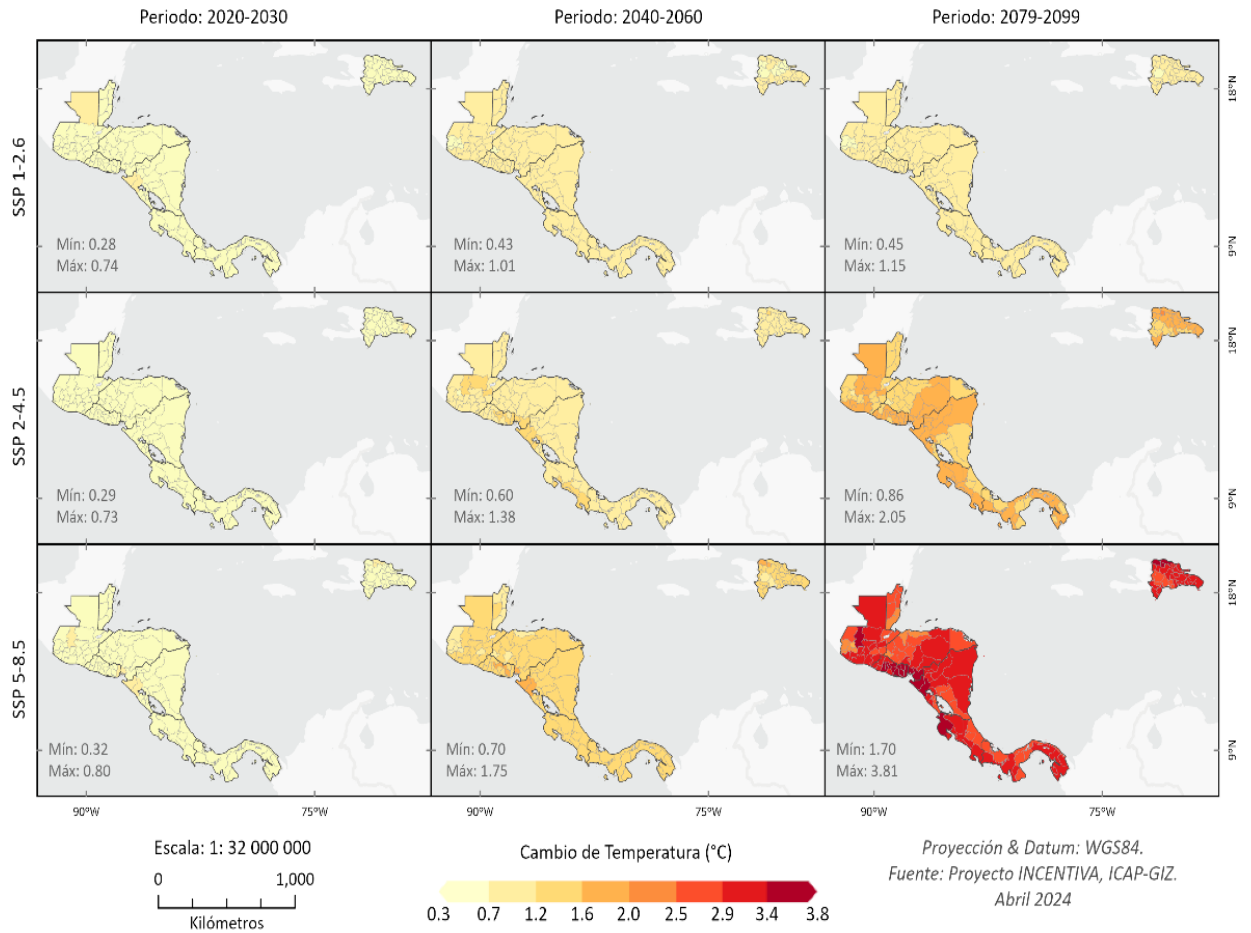


Si bien la temperatura no se comporta de la misma forma que la precipitación, ya que está condicionada por la altitud, a nivel de departamento se pueden identificar lugares donde se esperaría que aumente más la temperatura con respecto a la tendencia general de 0,5 °C (mapa 7). En Quiché (Guatemala), 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 experimentarían 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 podría 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 7.

Mapa 5

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



El mapa 7 muestra como estará aumentada la temperatura en los departamentos de América Central y República Dominicana y para complementar la representación cartográfica del Cuadro 15 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 15

Aumento de temperatura por departamento/provincia

País	Periodo	0,5°C	1,0°C	1,5°C	2°C	2,5°C	3°C	3,5°C	4°C
Guatemala 22 depart.	2020-2030	18	82						
	2040-2060		5	95					
	2079-2099				5	14	27	55	
Belice 6 distr.	2020-2030	67	33	0					
	2040-2060			100					
	2079-2099					33	67		
Costa Rica 7 prov.	2020-2030		100						
	2040-2060			71	29				
	2079-2099						29	71	
El Salvador 14 depart.	2020-2030		100						
	2040-2060			36	64				
	2079-2099							43	57
Honduras 18 depart.	2020-2030	11	89						
	2040-2060			83	11				
	2079-2099					17	72	6	6
Nicaragua 17 depart.	2020-2030		100						
	2040-2060			88	12				
	2079-2099						71	18	12
Panamá 13 prov.	2020-2030	15	85						
	2040-2060			100					
	2079-2099						85	15	
República Dominicana 32 depart.	2020-2030	31	69						
	2040-2060			78	22				
	2079-2099						28	69	3

Elaboración propia

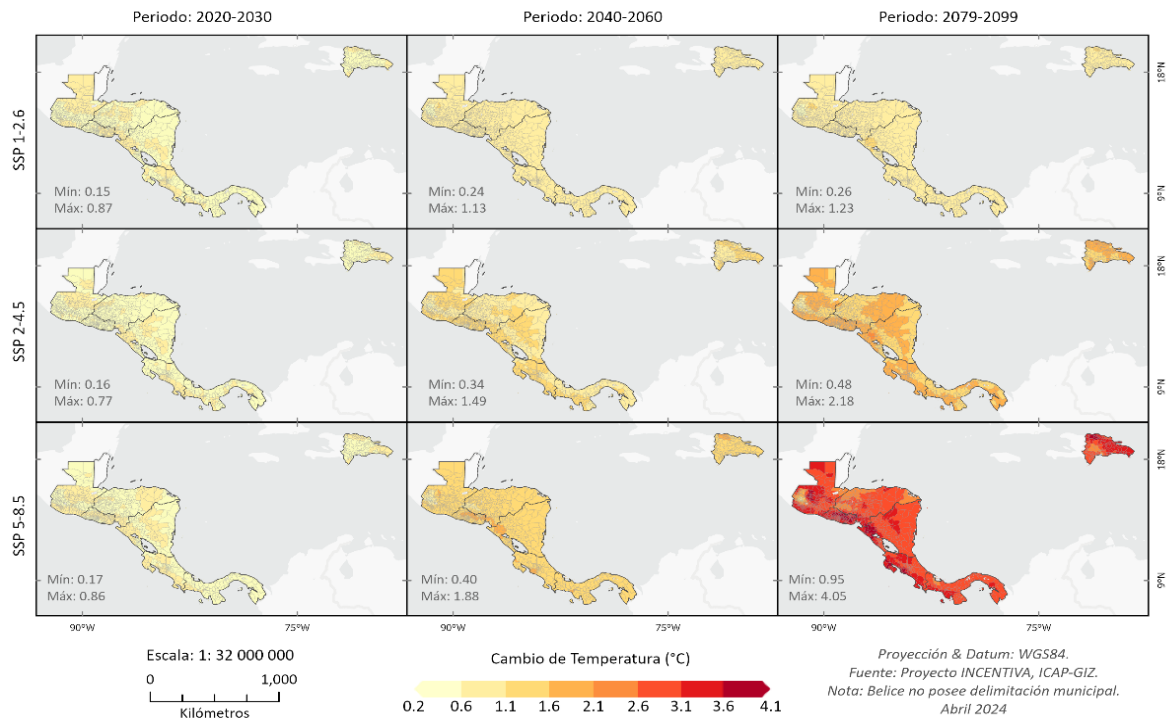
Al analizar los datos a nivel municipal/cantonal de la temperatura para el escenario SSP5-8.5 (tercera fila del **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) para el periodo 2020-2030 (primera columna) la mayoría de los municipios en América Central experimentarán el aumento de temperatura 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).

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 8). 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 esperarn 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, Turrubares 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 8). 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), Guanamico, Villa Isabale, Los Hidalgos (Puerto Plata), Bisonó, Villa González (Santiago), Esperaza, Laguna Salda y Mao (Valverde).

Mapa 8

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



Para completar el mapa 8, la Cuadro 16 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 16**

**Aumento de temperatura por municipio/cantón**

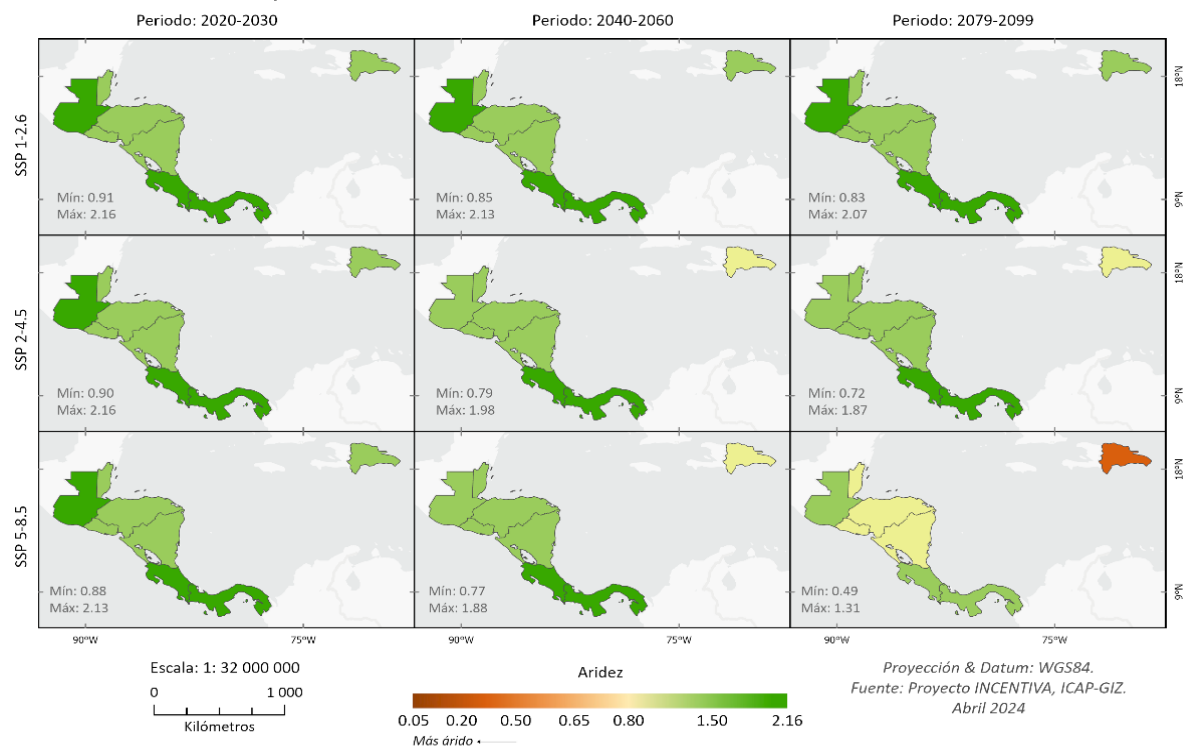
País	Periodo	0,5°C	1,0°C	1,5°C	2°C	2,5°C	3°C	3,5°C	4 °C
Guatemala	2020-2030	26	73	1					
	2040-2060		17	76	4				
	2079-2099		1	5	8	11	28	41	5
Honduras	2020-2030	13	79	7	1				
	2040-2060		6	79	15				
	2079-2099					17	58	15	10
El Salvador	2020-2030	1	99						
	2040-2060			40	60				
	2079-2099						3	55	42
Nicaragua	2020-2030		1	8	7	12			
	2040-2060	1		81	18				
	2079-2099						60	27	1
Costa Rica	2020-2030	4	96						
	2040-2060			77	2				
	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						28	61	8

Elaboración propia.

**Aridez**

La aridez indica la relación entre la lluvia que humedece el suelo y la necesidad de agua de la atmósfera. Por tanto, el mapa 9 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 9).

Mapa 9  
Escenarios de la aridez por País



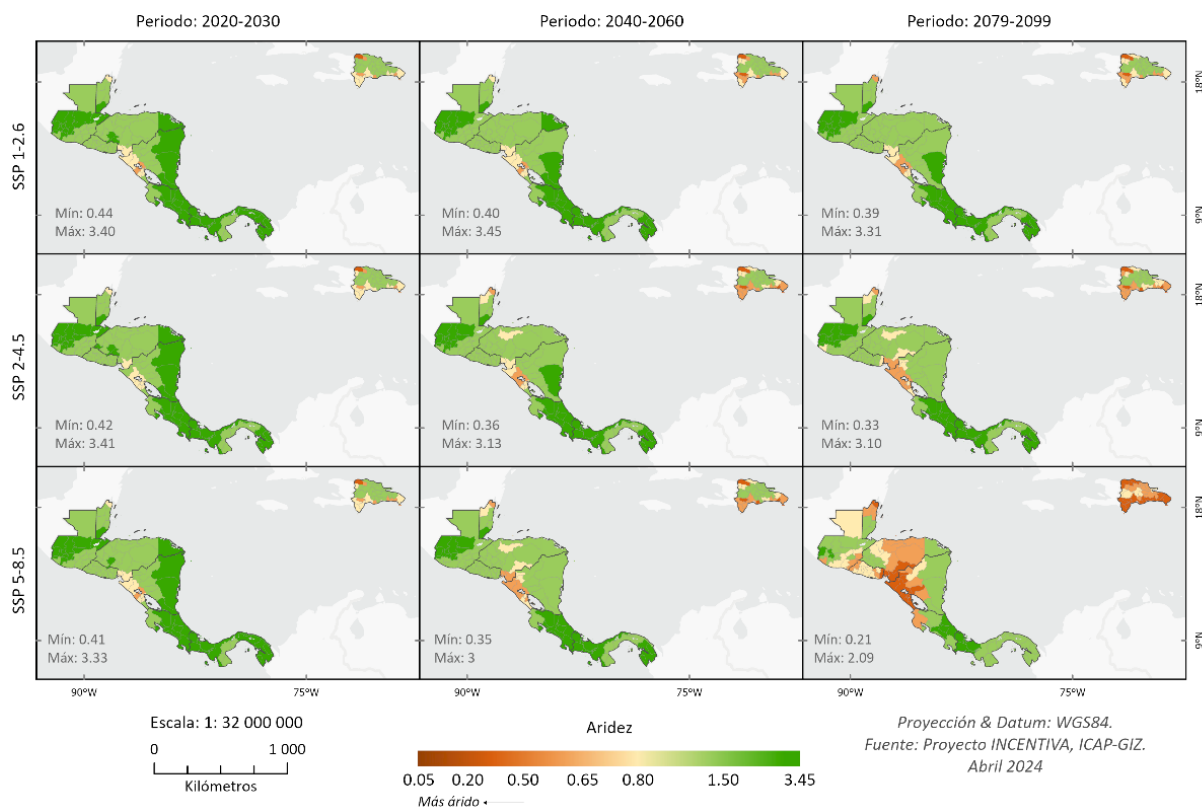
El comportamiento de la aridez a nivel departamental/provincial permite observar con mayor detalle los cambios que ocurrirán en el territorio (mapa 10). El escenario SSP5-8.5 (tercera fila) muestra como el área de estudio se volverá más seco. En el periodo 2020-2030 (primera columna) los departamentos 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.

Mapa 10  
Escenarios de la aridez por Departamento/provincia



El Cuadro 17 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 presente desde el periodo 2020-2030 con un 3%, 2040-2060 con un 16% y 2079-2099 con un 53%.

**Cuadro 17**

**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	2	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		

Elaboración propia.

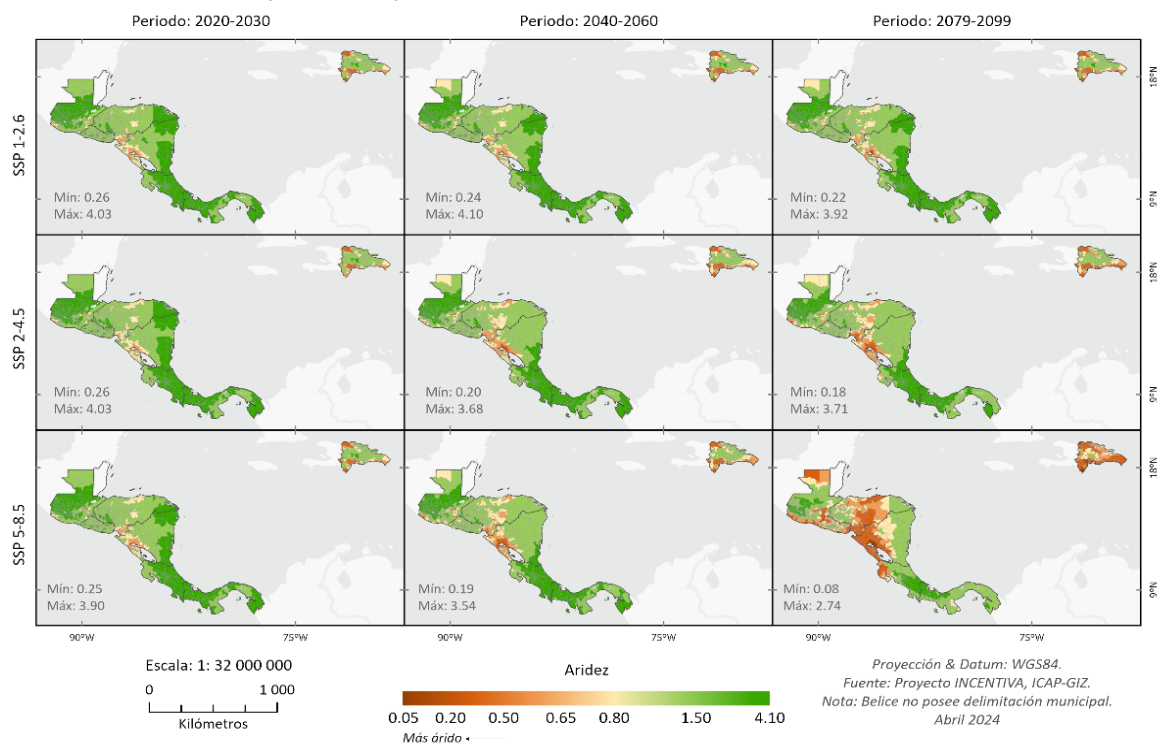
En la escala de municipio/cantón para el escenario SSP5-8.5, el cual se visualiza en la última fila del mapa 11, se puede observar como en la región se presenta la condición de seco-subhúmedo, semi-árido y árido. Para el periodo 2020-2030, 31 municipios dentro del CSC se clasifica como seco-subhúmedo, 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-subhúmedo entre ellos Luperón y Villa Isabela Puerto Plata), Consuelo, Guayacanes y San Pedro de Macorís (San Pedro de Macorís). Como semi-árido 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 seca, 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 será semiáridos.

### Mapa 11

#### Escenarios de la aridez por municipio/cantón



El **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** 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 11, se incrementa el porcentaje de municipios en condiciones más secas. República Dominicana llama la atención a finales de siglo porque el 48% de sus municipios serán semi-áridos.

**Cuadro 18**  
Porcentaje de aridez por municipio/cantón

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

*Indicadores de cambio climático a nivel territorial para los países de  
Centroamérica y República Dominicana*

País	Periodo	Hiper- árido	Árido	Semi- árido	Seco subhúmedo	Subhúmedo	Húmedo	Muy húmedo
República Dominicana	2040- 2060		1	22	18	22	38	
	2079- 2099		11	48	23	15	3	

Elaboración propia.

## **Caracterización Territorial**

En esta sección se presenta el componente humano presente en América Central y República Dominicana. La ubicación de estaciones meteorológicas como la capacidad instalada para la recopilación de datos atmosféricos y poder contar con una serie de datos base para diferentes análisis en la región. Se visualiza la ubicación de infraestructura crítica: como centrales hidroeléctricas, carreteras, puertos, entre otras que se verán enfrentadas al cambio climático. Un elemento clave de analizar en la región es el uso del suelo, y aquí se presentan los usos predominantes, para finalmente observar la distribución de la población y el producto interno bruto como un indicador económico.

### ***Estaciones Meteorológicas***

Una estación meteorológica es una instalación destinada a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas, como Precipitación, Temperatura y Humedad del aire, Presión Barométrica, Velocidad y Dirección del Viento, Temperatura y Humedad del Suelo, Radiación Solar, Medición de horas Luz, entre otros (Instituto de Meteorología e Hidrología de Panamá, 2024). El Cuadro 19 muestra la cantidad de estaciones recopiladas en el área de estudio, y mapa 12 muestra la distribución espacial donde se puede apreciar un vacío de información en la vertiente caribe centroamericana, en cuanto a las estaciones meteorológicas, en este mismo apartado se incluyen otros instrumentos de medición como por ejemplo los mareógrafos (puntos azules), radar y sonar (puntos rojos) presente en la región. No se cuenta con información para Belice ni Nicaragua.

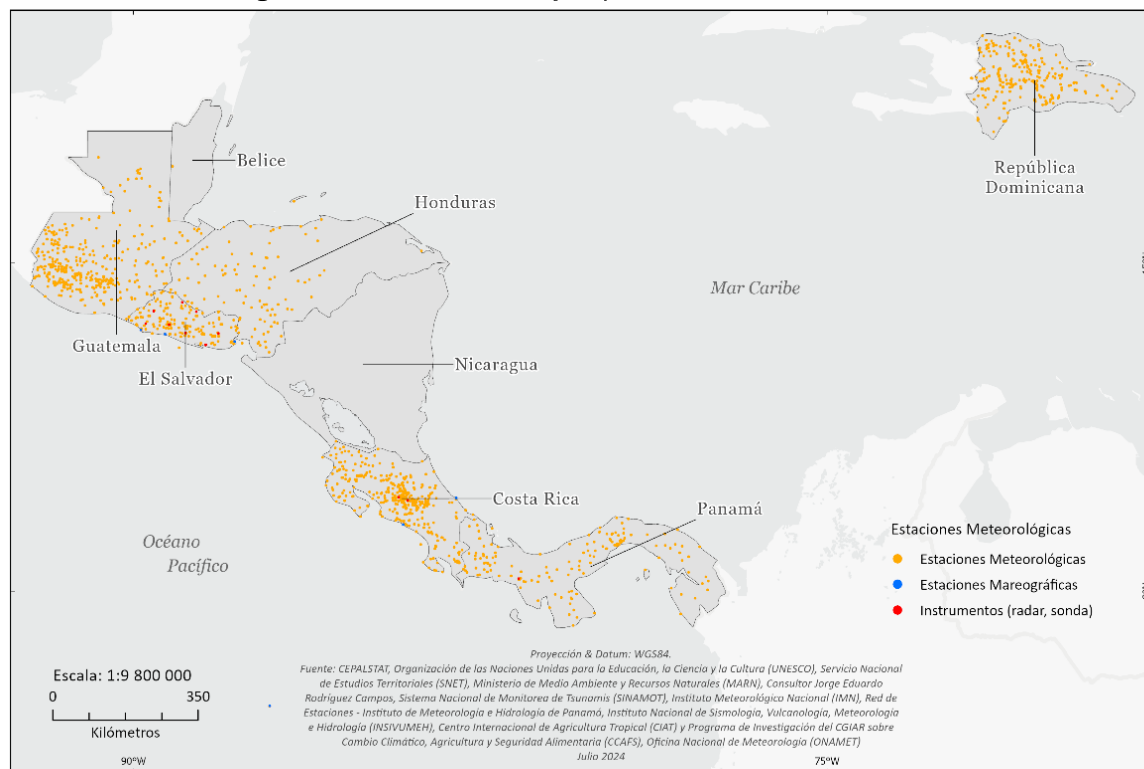
Cuadro 19

Cantidad de estaciones meteorológicas en América Central y República Dominicana

País	Cantidad
Guatemala	430
Honduras	96
El Salvador	182
Costa Rica	438
Panamá	327
República Dominicana	256
<b>Total</b>	<b>1729</b>

Mapa 12

Estaciones meteorológicas en América Central y República Dominicana

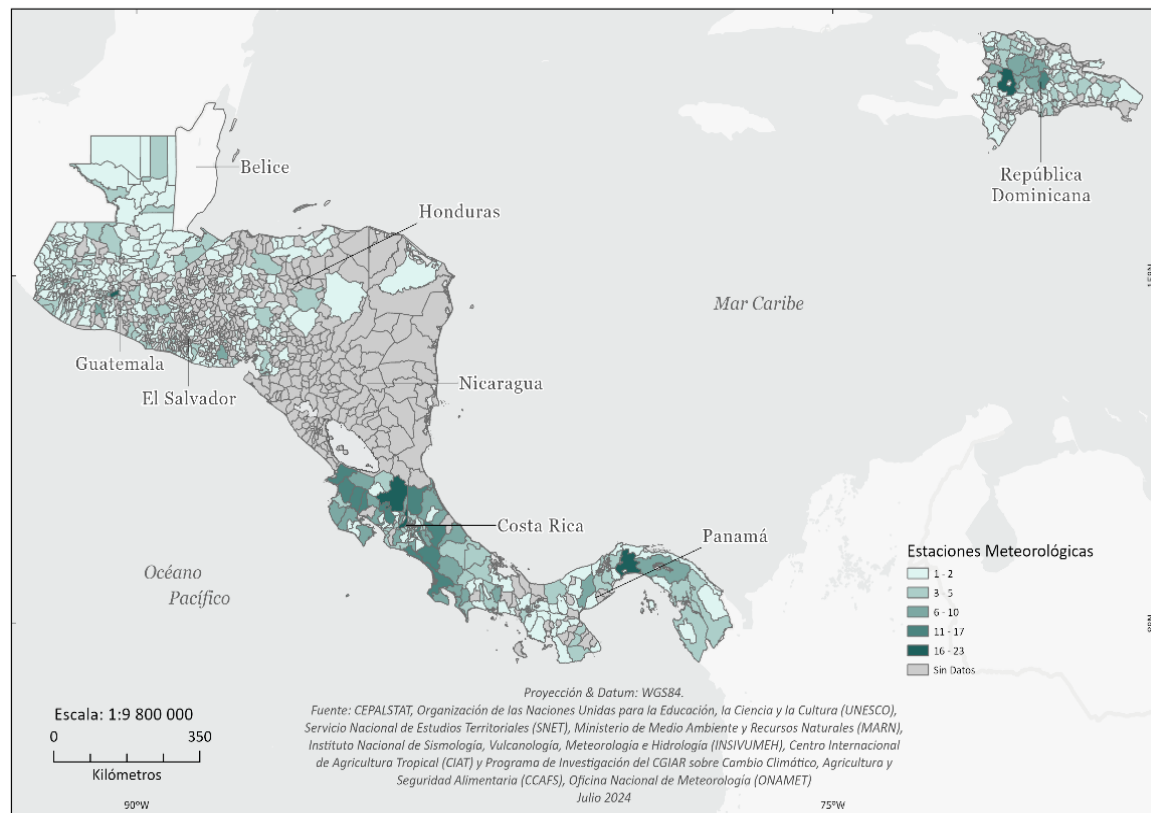


## Estaciones Meteorológicas

En América Central y República Dominicana cada país cuenta con su propio sistema de monitoreo de las variables atmosféricas. El mapa 13 muestra con tonalidad de verde aquellos municipios/cantones en donde existen alguna estación meteorológica.

### Mapa 13

Estaciones meteorológicas por municipio/departamento en América Central y República Dominicana



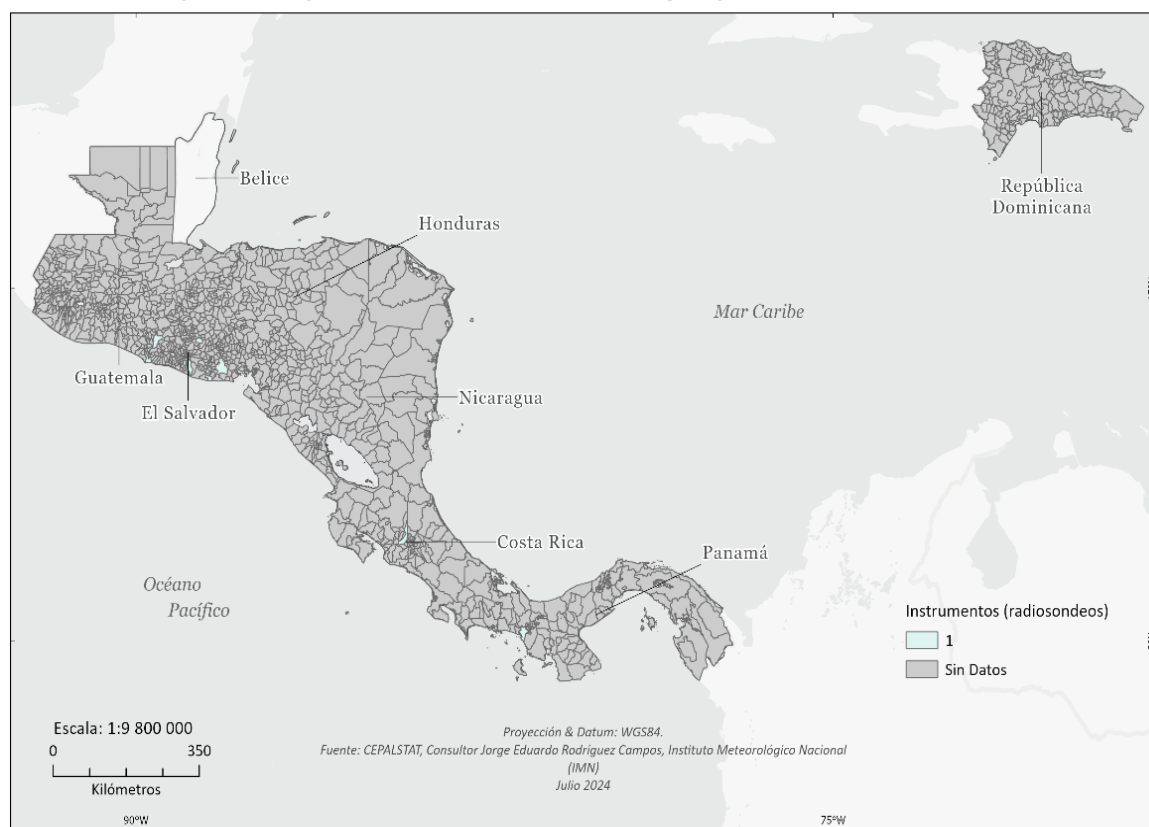
## Radiosondeo

La radiosonda es un dispositivo que se coloca en los globos meteorológicos para medir parámetros atmosféricos y transmitirlos vía frecuencias de radio al receptor. Las radiosondas más modernas miden y calculan: Presión atmosférica, Temperatura, Viento (velocidad y dirección), Posición geográfica, Altitud, Humedad relativa (Servicio Meteorológico de Guatemala, 2024).

**Cuadro 20**  
**Cantidad de Radiosondeos en América Central**

País	Cantidad
El Salvador	1
Costa Rica	2
Panamá	8
Total	11

**Mapa 14**  
**Radiosondeos por municipio/cantón en América Central y República Dominicana**

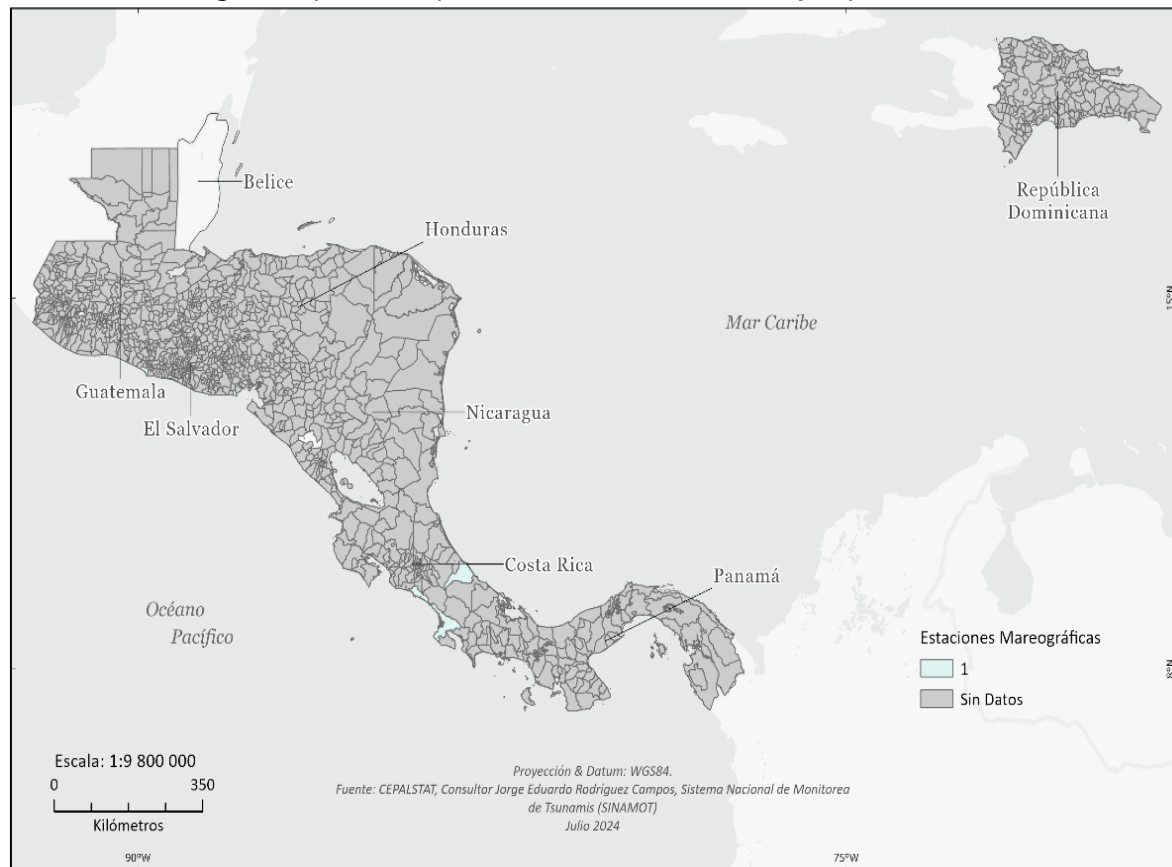


### Estaciones Mareográficas

Las estaciones mareográficas permiten medir variables oceanográficas como la altura del nivel del mar, temperatura, salinidad. Se identificaron solo dos países con estos instrumentos: El Salvador y Costa Rica con tres cada uno, para un total de seis. El mapa 12 muestra su ubicación en la región y el mapa 26 la cantidad de estaciones por municipio/cantón.

Mapa 15

Estaciones Mareográficas por Municipio/cantón en América Central y República Dominicana



**Infraestructura Crítica**

En este apartado se presentan infraestructura crítica que es indispensable para preservar y mantener la soberanía nacional y el funcionamiento social-económico y la salud del país y 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.

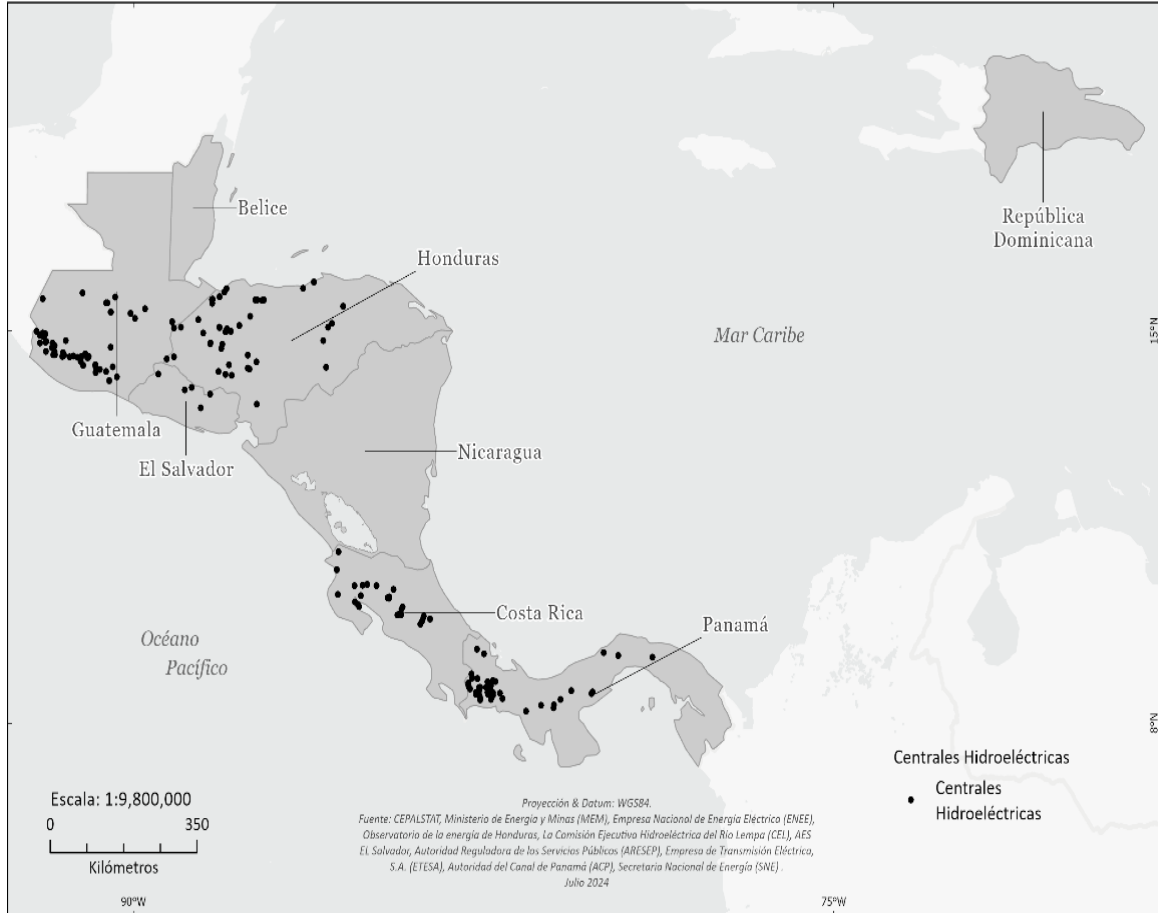
### Centrales Hidroeléctricas

Se refieren tanto a las hidroeléctricas que poseen embalse como las de caída libre. Se ubicaron en la región (mapa 16) y se determinó la cantidad por municipio/cantón (Mapa). A nivel país (Mapa) y departamento/provincia (

Mapa 58) se encuentran en el Anexo E.

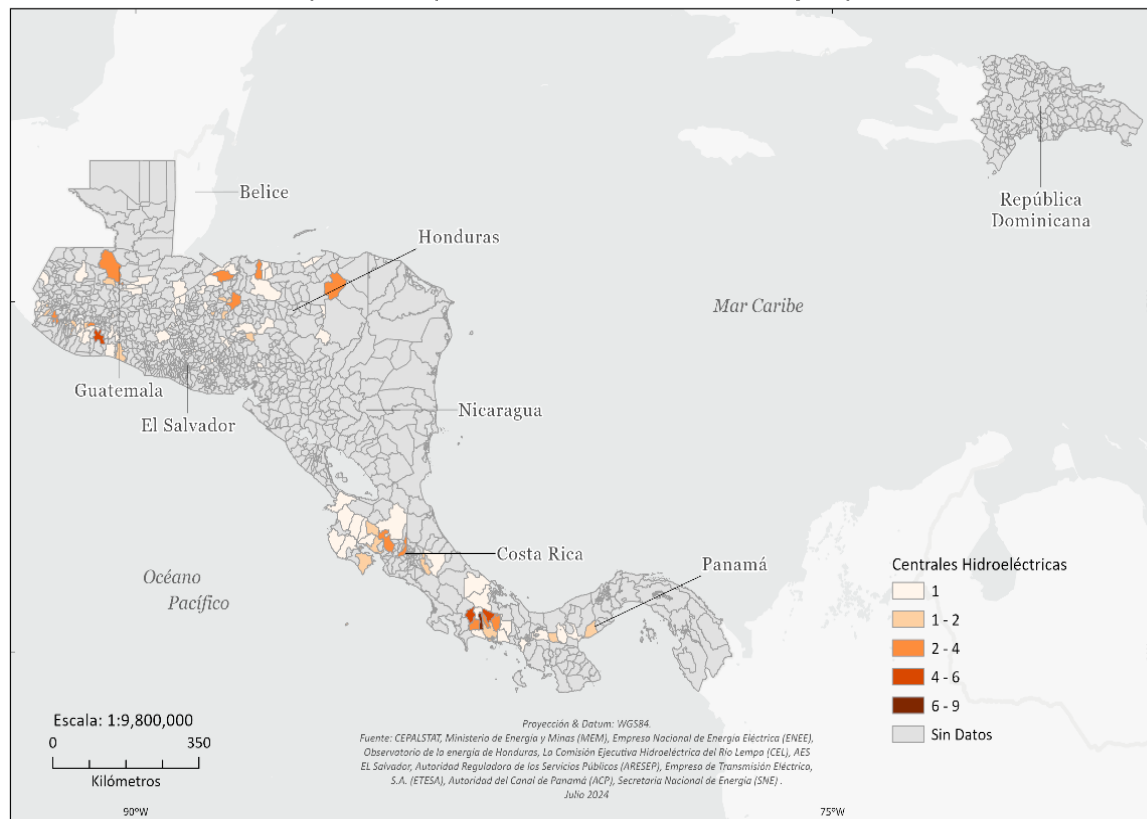
### Mapa 16

### Centrales hidroeléctricas en América Central y República Dominicana



### Mapa 17

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



### Centrales eólicas y solares

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 (mapa 18). 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. El mapa 19 muestra la cantidad de centrales eólicas por municipios, y el mapa 20 el número de centrales solares para la misma delimitación político-administrativa. En el anexo E se pueden ver el Mapa 59 y mapa 61, figura 57 para país y la figura 60 y figura 62 para departamento/provincia, centrales eólicas y centros solares, respectivamente.

Cuadro 21

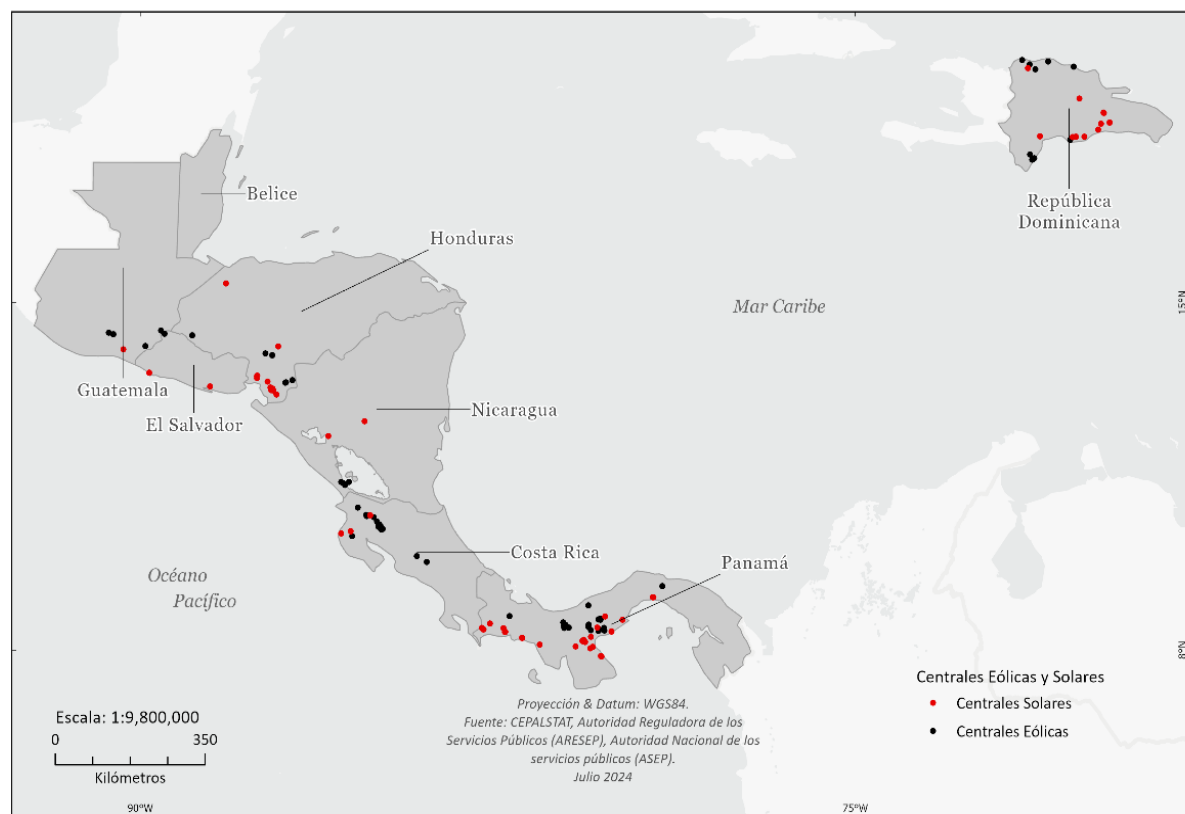
Cantidad de centrales eólicas y solares por país en América Central y República Dominicana

País	Centrales Eólicas	Centrales Solares
Guatemala	4	2
Honduras	8	15
El Salvador	1	3
Nicaragua	5	7
Costa Rica	17	3
Panamá	27	33
República Dominicana	13	13
<b>Total</b>	<b>75</b>	<b>76</b>

Elaboración propia

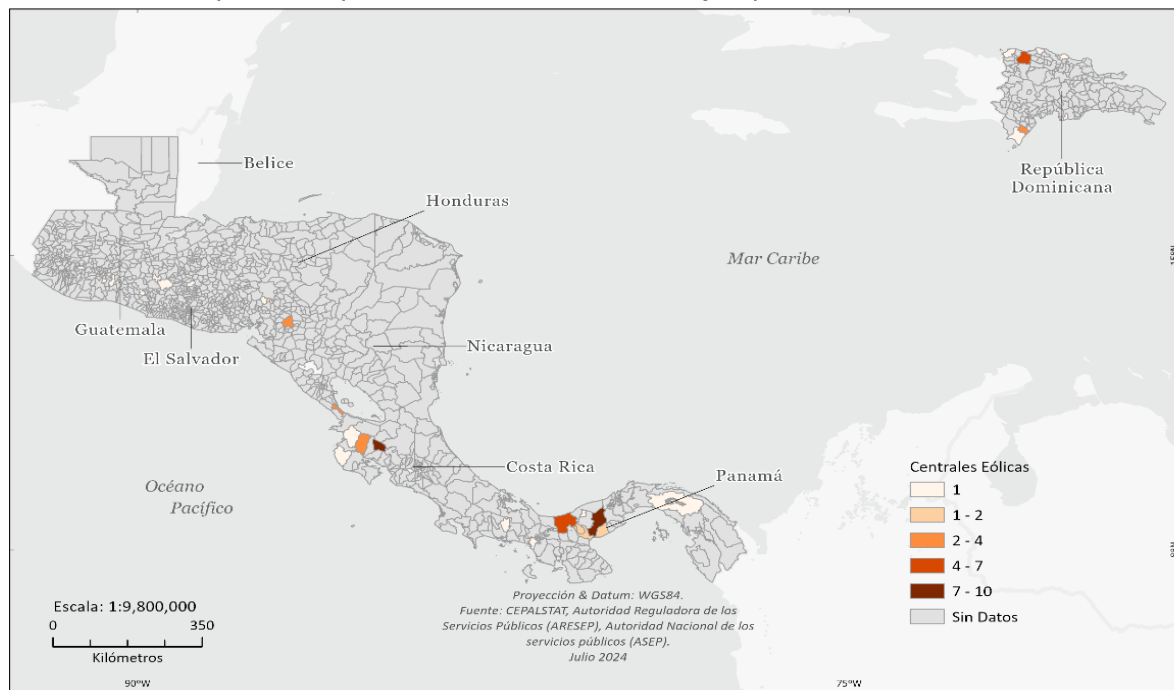
Mapa 18

Centrales Eólicas y Solares en América Central y República Dominicana



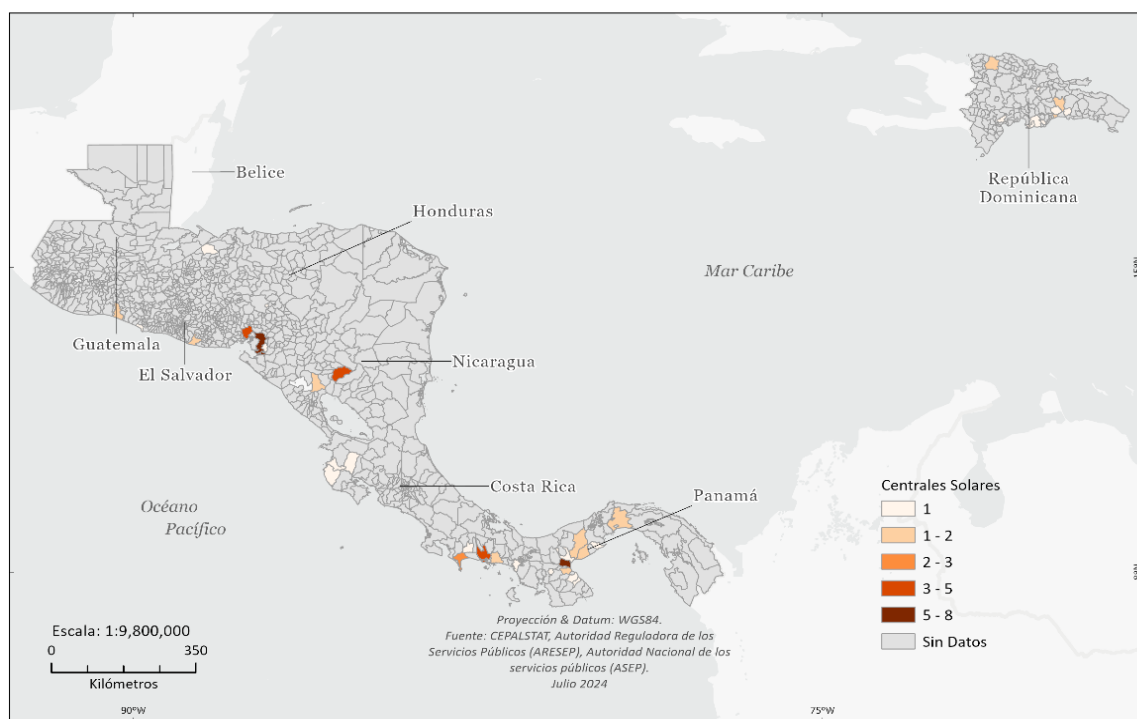
Mapa 19

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



Mapa 20

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

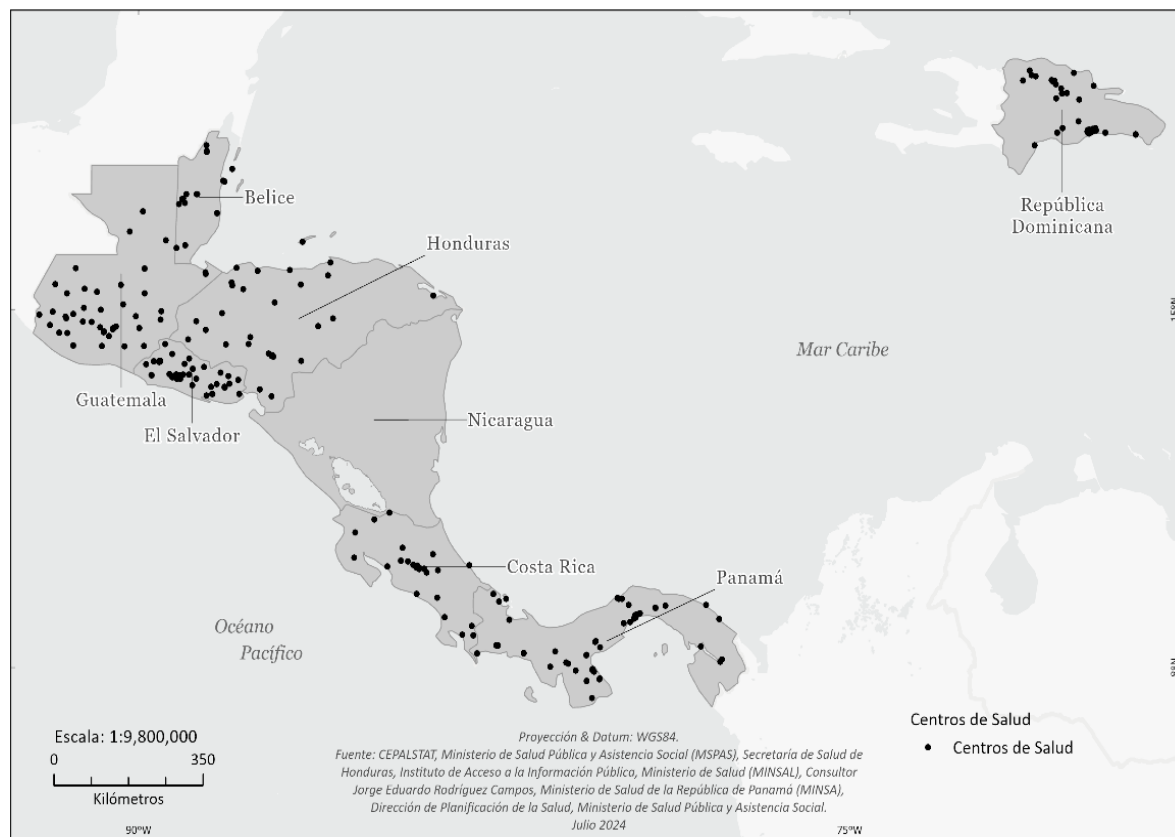


## Centros de Salud primarios

El mapa 21 ubica los principales centros de salud como Hospitales o clínicas en la región de estudio. El mapa 22 identifica aquellos municipios/cantones con la presencia de este tipo de infraestructura, que en su mayoría son hospitales.

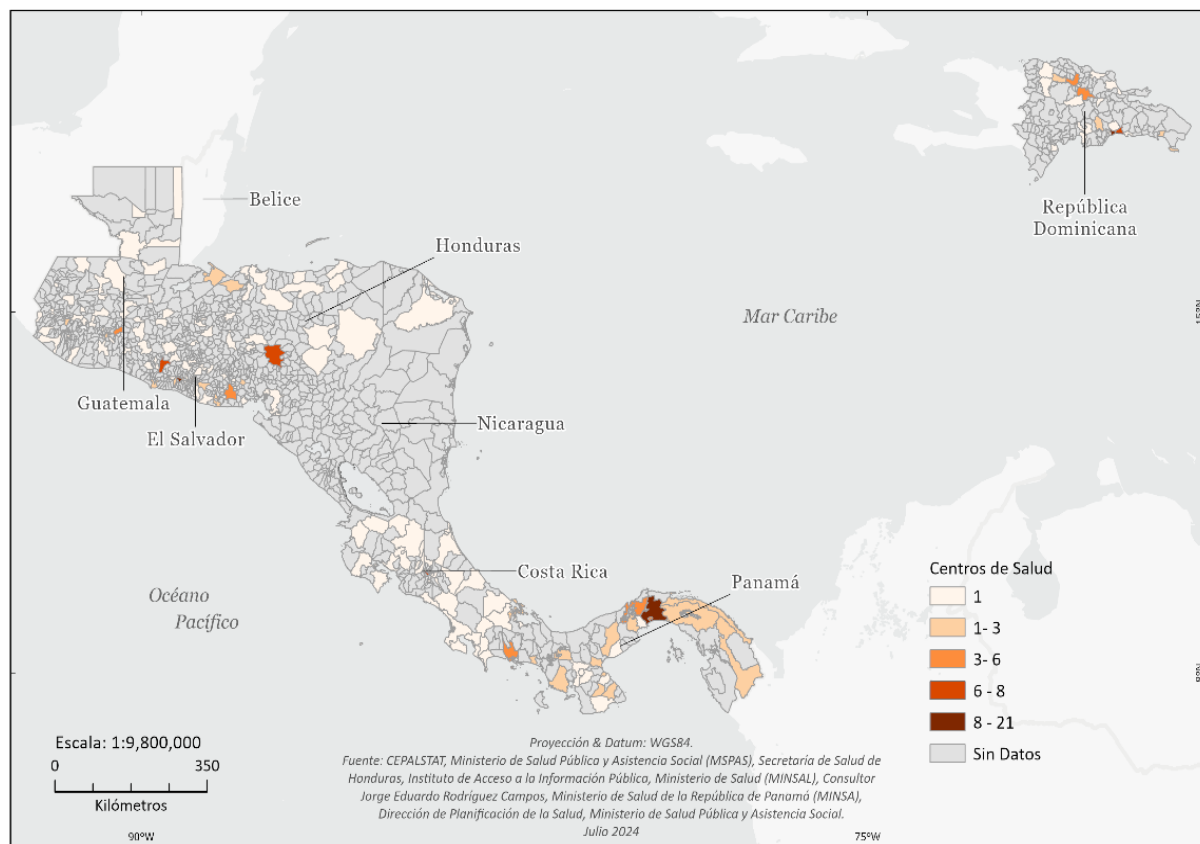
### Mapa 21

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



## Mapa 22

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

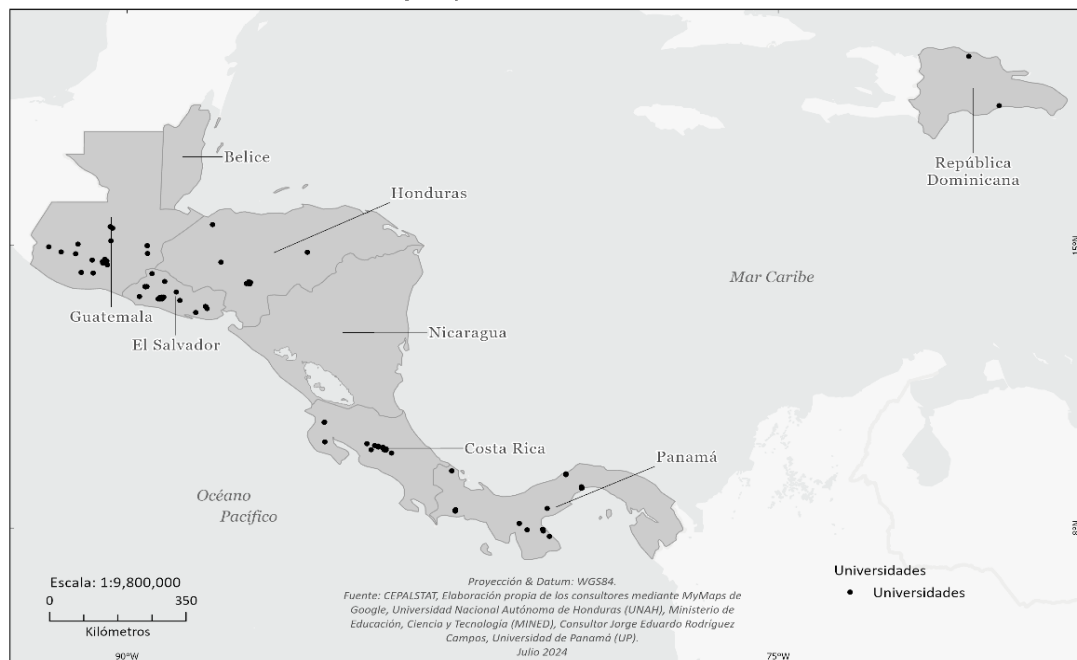


## Universidades

La educación superior es clave para el desarrollo de la región a nivel de ciencia, tecnología y desarrollo humano. El mapa 23 permite observar la distribución de estas instituciones en la región. El mapa 24 muestra la cantidad de universidad por municipio/cantón. A nivel país (mapa 65) y departamento/provincia (mapa 66) se encuentran en el anexo E.

### Mapa 23

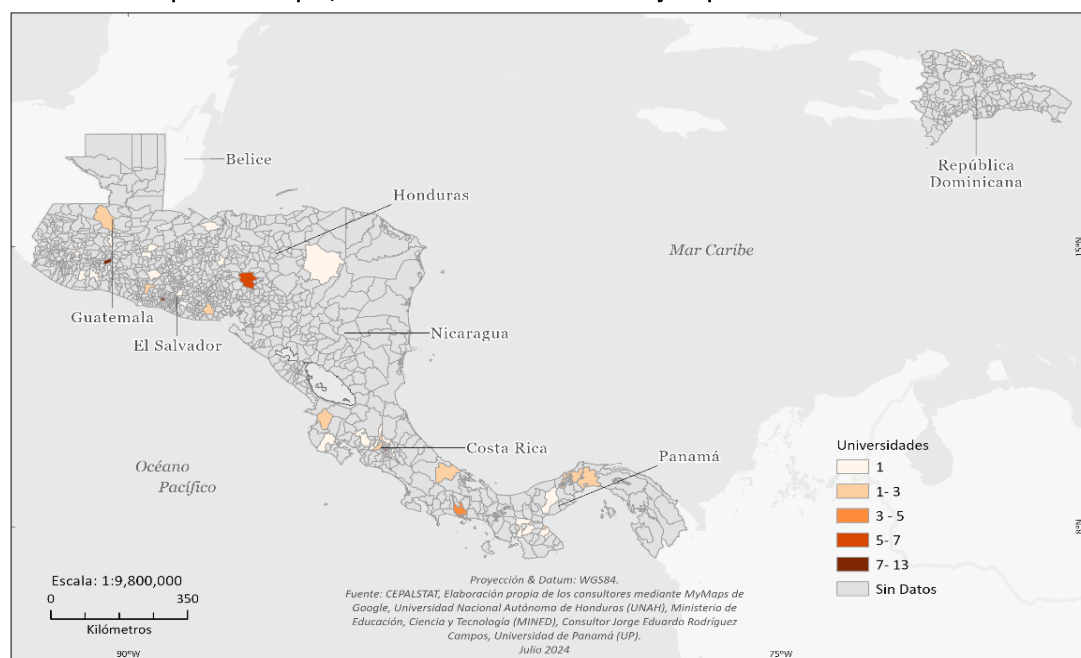
#### Universidades en América Central y República Dominicana



El mapa 24 ilustra cuales son aquellos municipios/cantones que cuenta con estas casas de enseñanza.

### Mapa 25

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

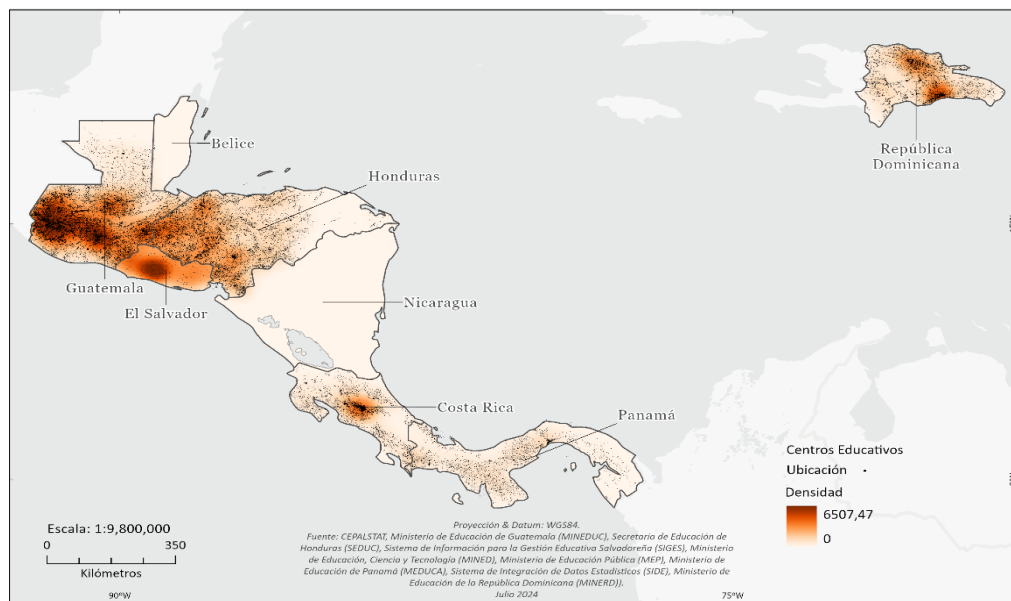


## Centros Educativos

Los centros educativos en la región se concentran en los centros urbanos. El mapa 25 muestra la concentración en cada país. El mapa 26 la cantidad por municipios/cantón.

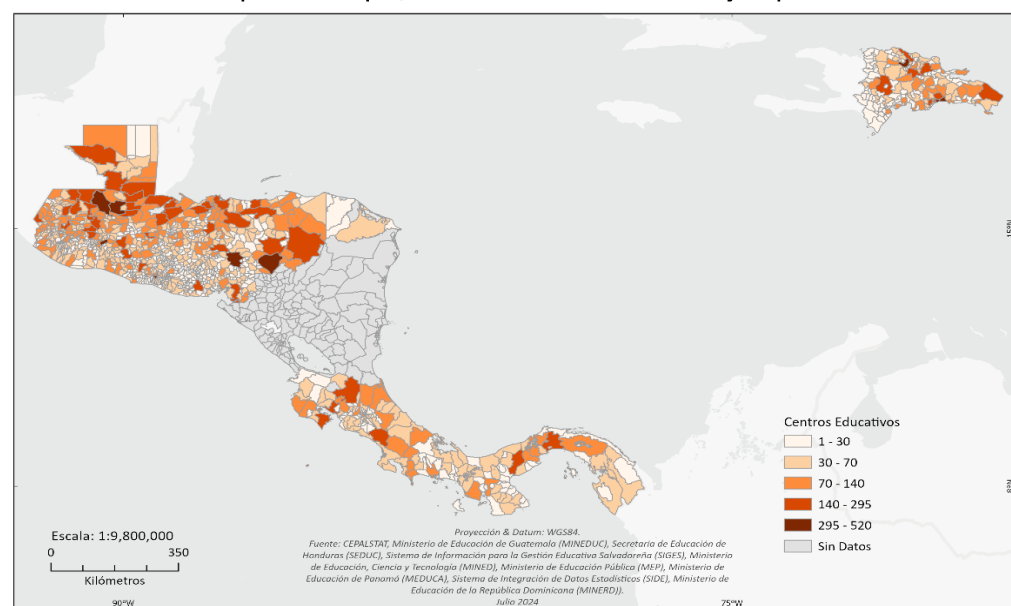
### Mapa 25

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



### Mapa 7

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

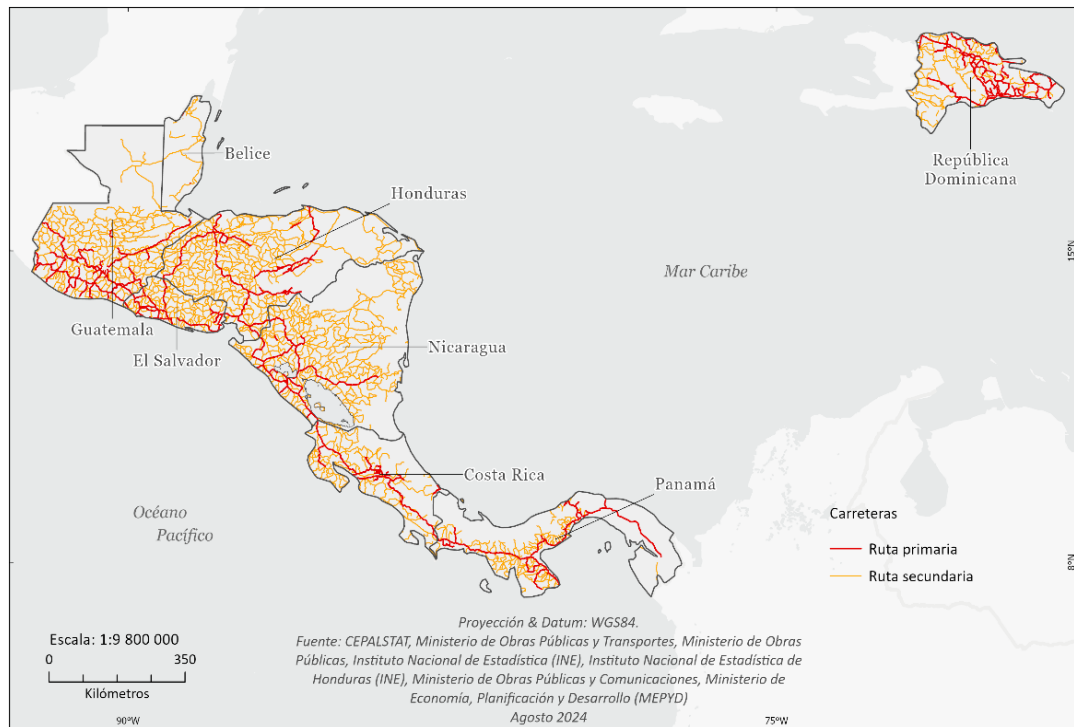


## Carreteras

El mapa 27 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 27

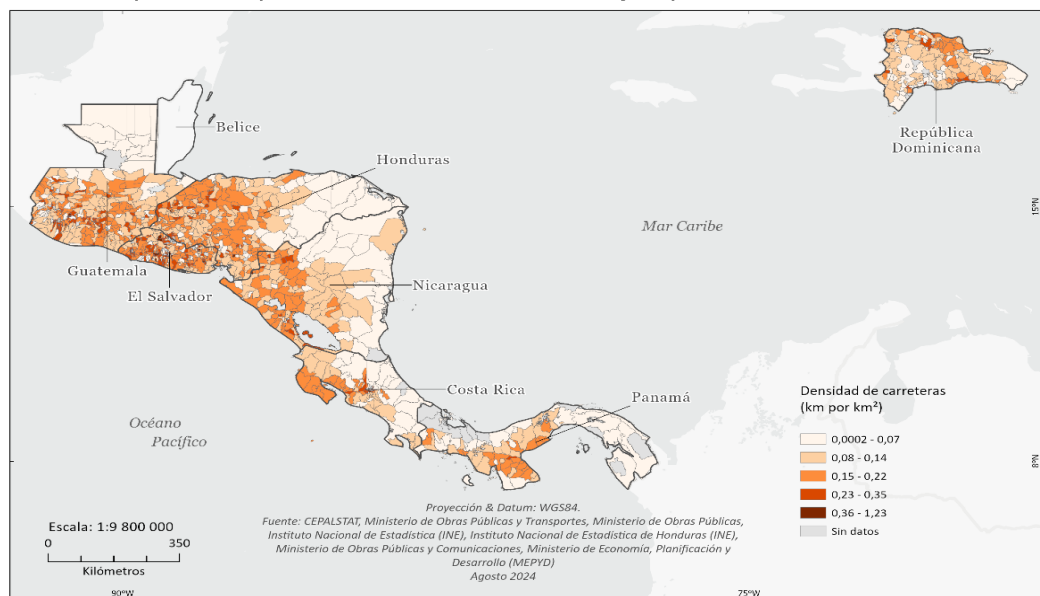
#### Carreteras en América Central y República Dominicana



El mapa 28 muestra la cantidad de kilómetros lineales entre 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 28

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



### Aeropuertos, puertos y línea férrea

En cuanto a la infraestructura de transporte en la región, el mapa 29 muestra la ubicación de los principales puertos (puntos azules), aeropuertos (puntos naranjas) y la conexión vía ferrocarril.

### Mapa 29

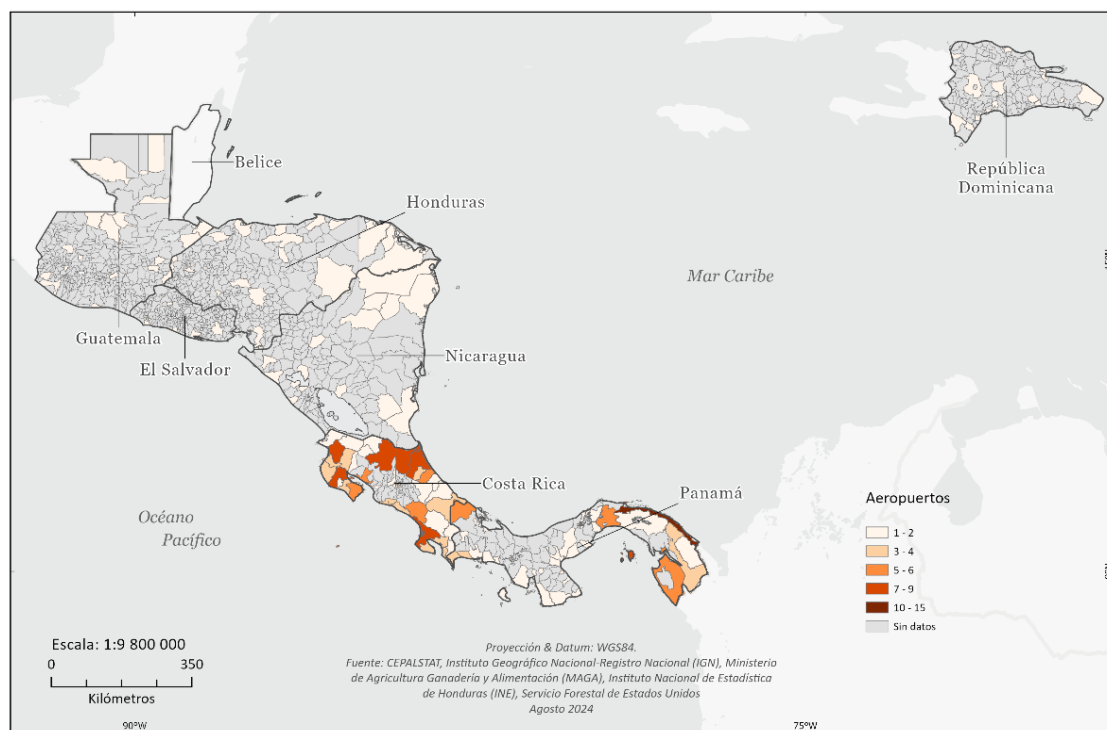
#### Aeropuertos, Puertos y Línea férrea en América Central y República Dominicana



El mapa 30 muestra la cantidad de aeropuertos por municipio/cantón. Costa Rica indica la presencia de más sitio de conexión aérea que el resto de los países. A nivel país (Mapa 71) y departamento/provincia (mapa 12 y mapa 58) se encuentran en el anexo E. El mapa 31 presenta la cantidad de puertos por municipio y cantón, estos son zonas de conexión con el mercado internacional. A nivel país (Mapa) y departamento/provincia (Mapa) se encuentran en el Anexo E. En el mapa 32 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 (Mapa) y departamento/provincia (Mapa) se encuentran en el Anexo E.

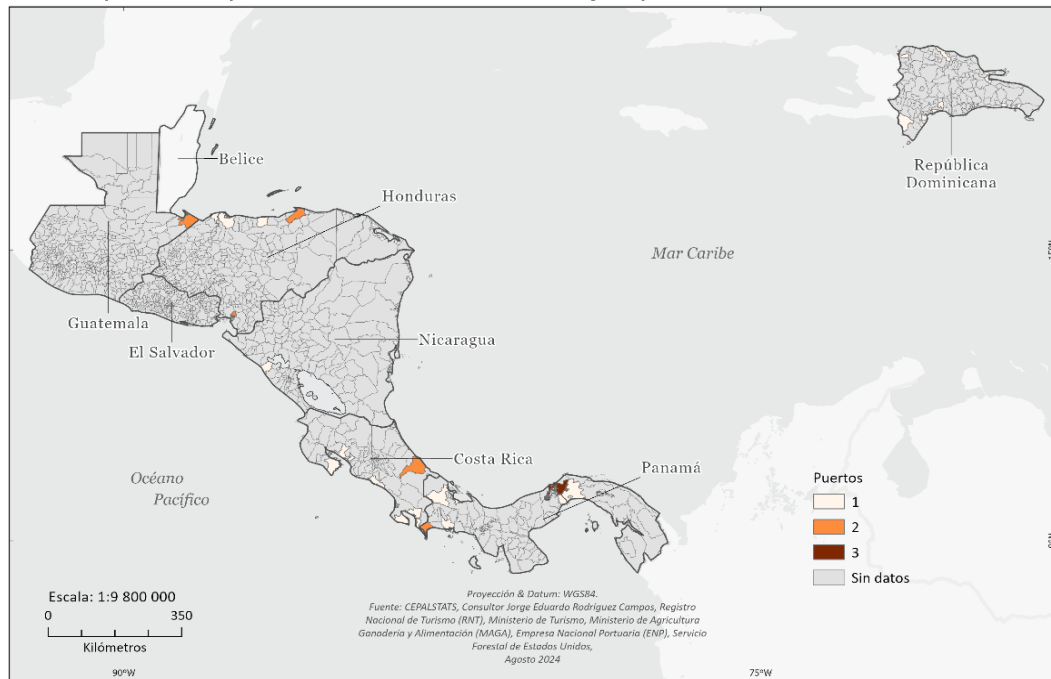
### Mapa 30

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



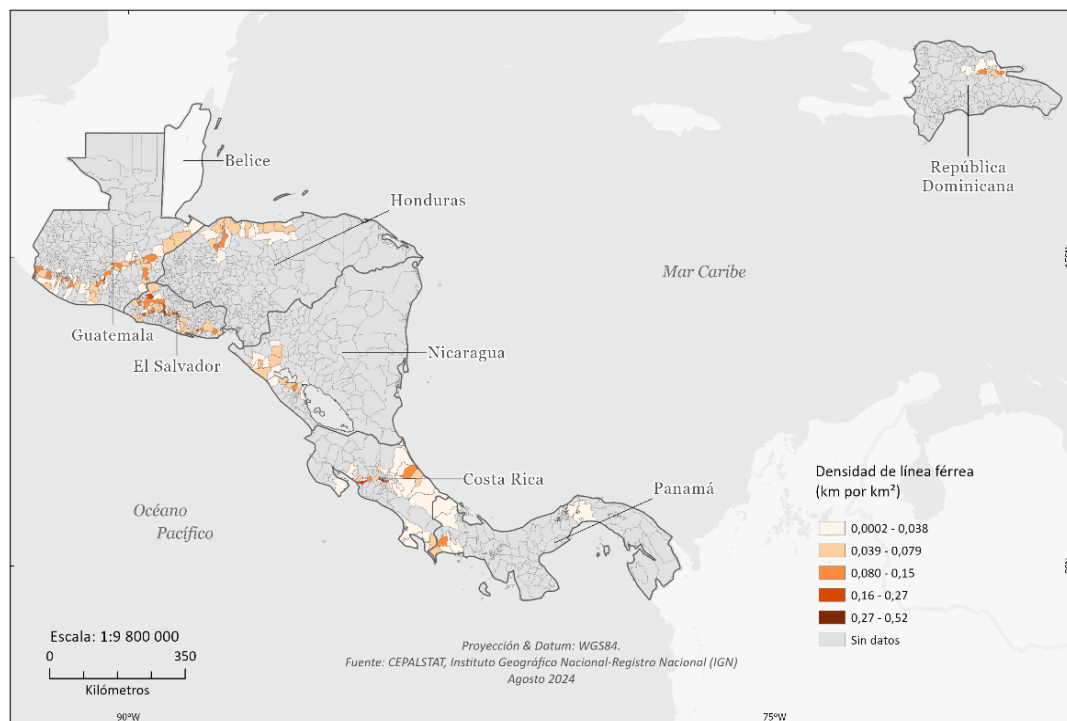
Mapa 31

Puertos por municipio/cantón en América Central y República Dominicana



Mapa 82

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



## 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 22 posee la cantidad de infraestructura que se verá afectada en la costa, y el mapa 33 su ubicación en el área de estudio.

### Cuadro 22

#### 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
Total	2530	30

### Mapa 33

#### Hoteles costeros en América Central y República Dominicana

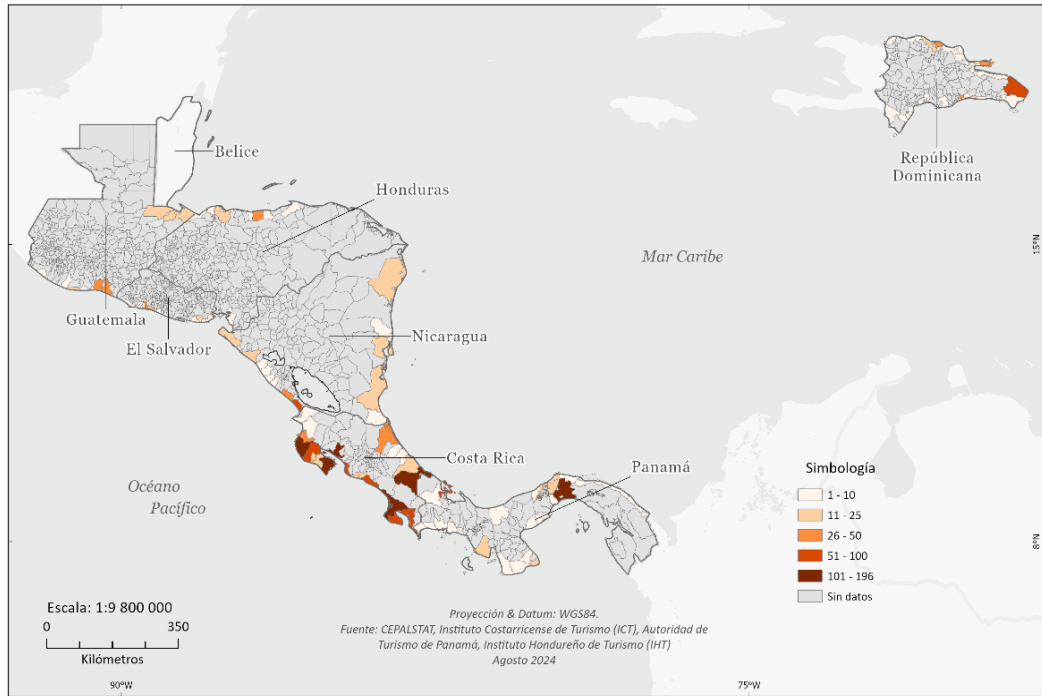


El mapa 34 muestra la cantidad de hoteles por municipio/cantón costero. En el mapa se pueden identificar aquellos sitios que ofrecen turismo de sol y playa. A nivel país (Mapa) y departamento/provincia (Mapa) se encuentran en el Anexo E.

El mapa 35 presencia de marinas (atracaaderos turísticos), lugares donde llegan embarcaciones internacionales principalmente. A nivel país (Mapa) y departamento/provincia (Mapa) se encuentran en el anexo E.

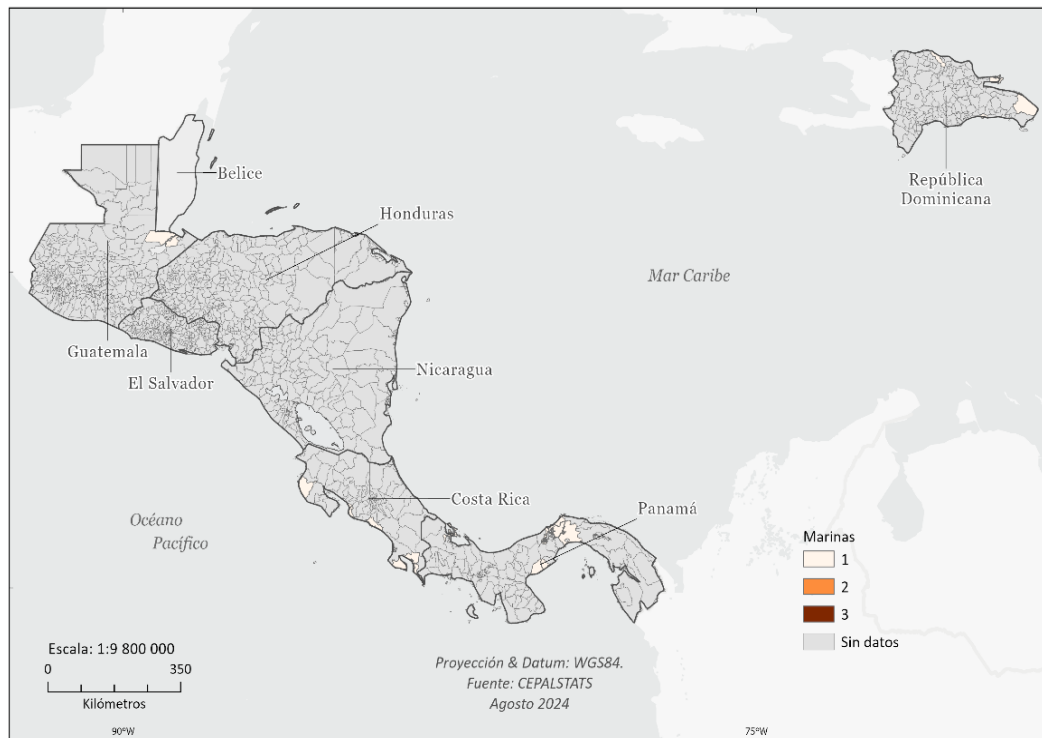
Mapa 34

Hoteles por municipio/cantón en América Central y República Dominicana



Mapa 35

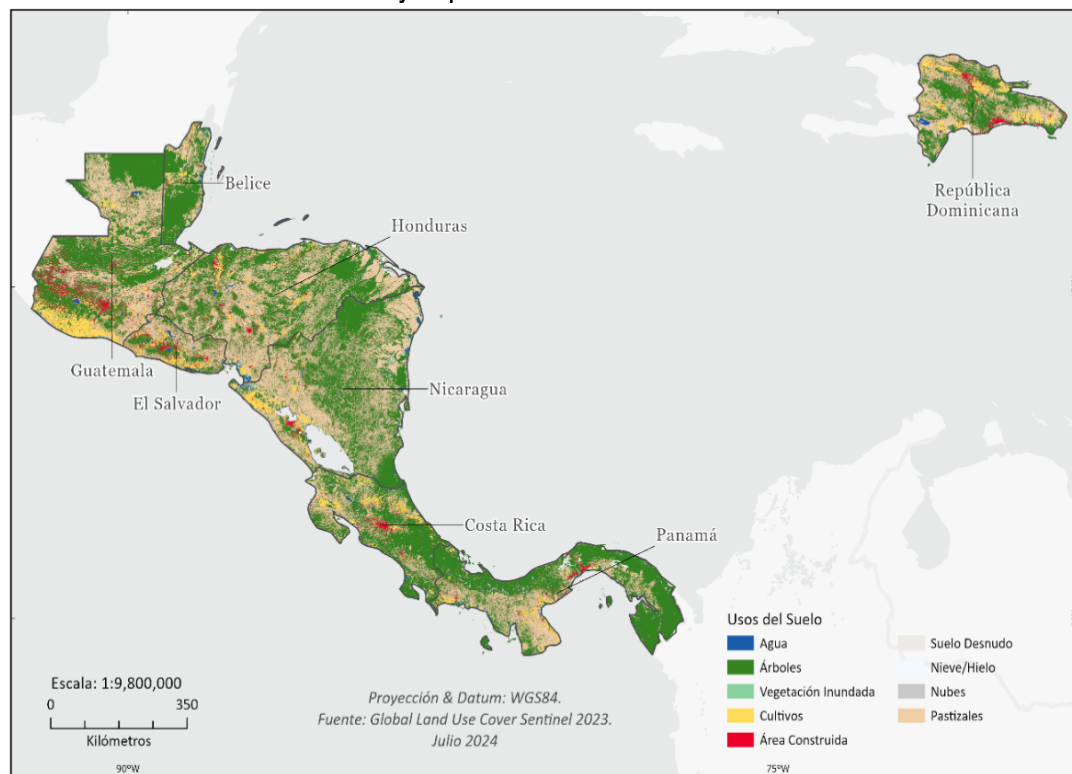
Marinas por municipio/cantón en América Central y República Dominicana



### 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 36 generado a partir de imágenes satelitales Sentinel muestra principalmente cinco usos: agua, árboles, cultivos, área construida y pastizales. El uso predominante en la región es la presencia de árboles (color verde), de hecho, la Mapa (Anexo E) indica que este es el mayor porcentaje por cada país. Los pastizales y cultivos son los siguiente 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 (Belize), 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).

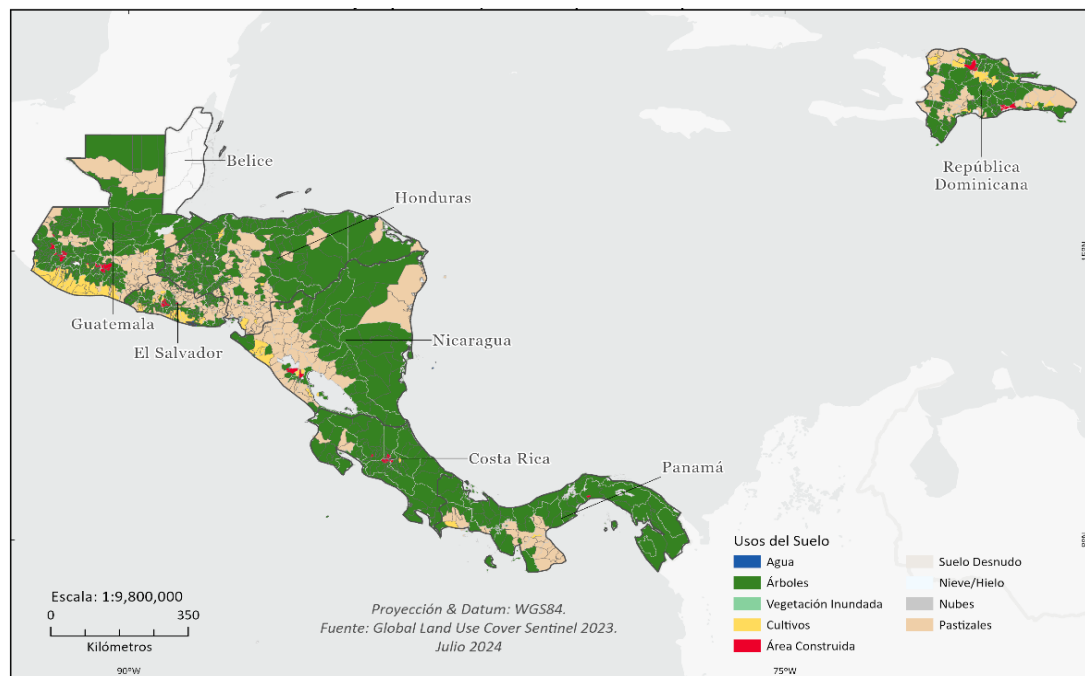
Mapa 36  
Uso del suelo en América Central y República Dominicana



El mapa 37 mapea cual es el uso con mayor porcentaje para cada municipio/cantón, de forma tal que se puede identificar cómo hay municipio/cantones dedicados a la agricultura y ganadera, o si más bien se perciben como centro urbano, o si su mayor área está dedicada a la conservación.

### Mapa 37

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



### 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 mapa 38 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 23 y Mapa). Es decir que, Guatemala y República Dominicana son los países con mayor cantidad de habitantes, mientras Belice es el menos poblado.

### Cuadro 23

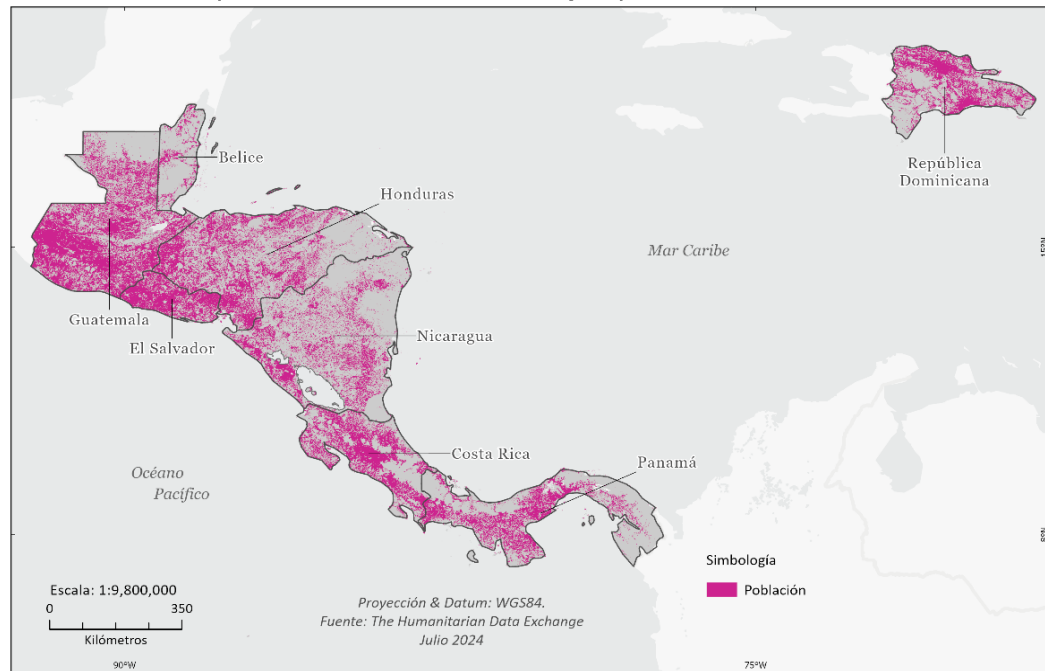
#### Población en América Central

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 38

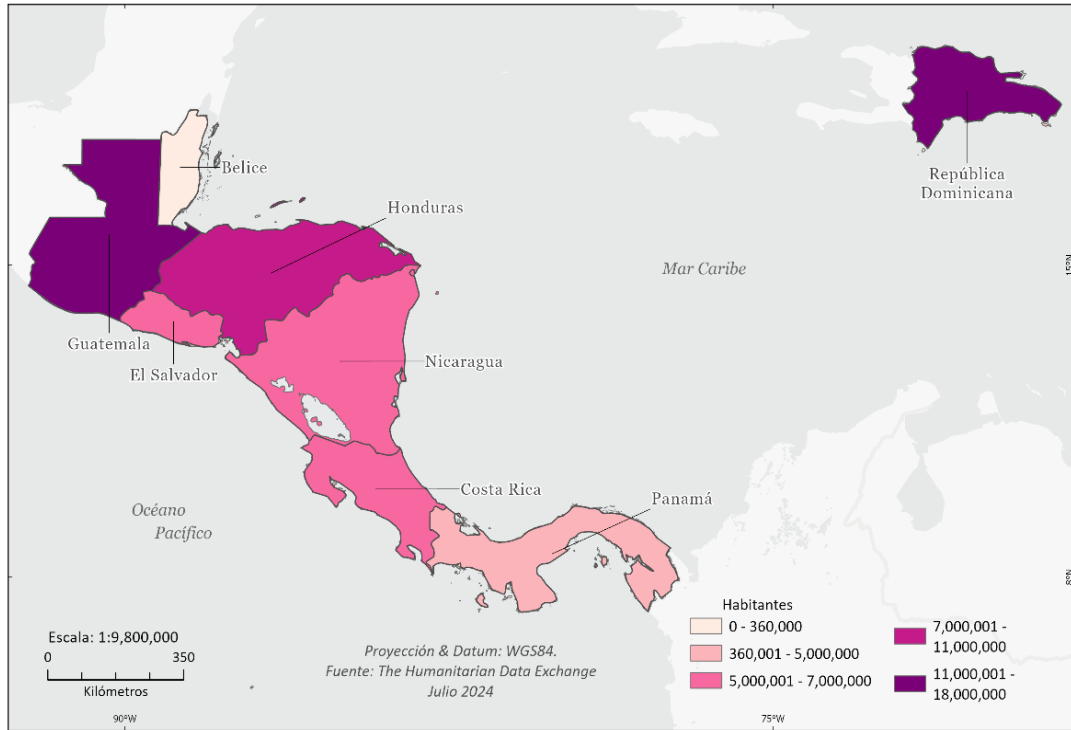
#### Distribución de la población en América Central y República Dominicana



El mapa 40 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 265 000 personas. El mapa 41 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.

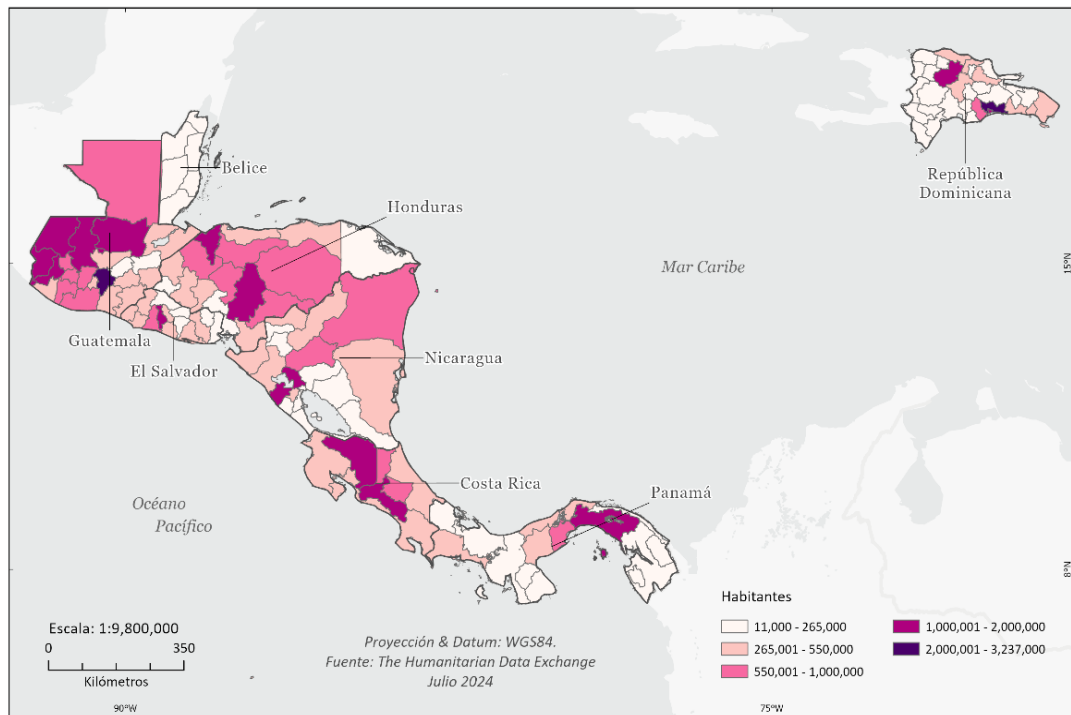
Mapa 39

Población por país en América Central y República Dominicana



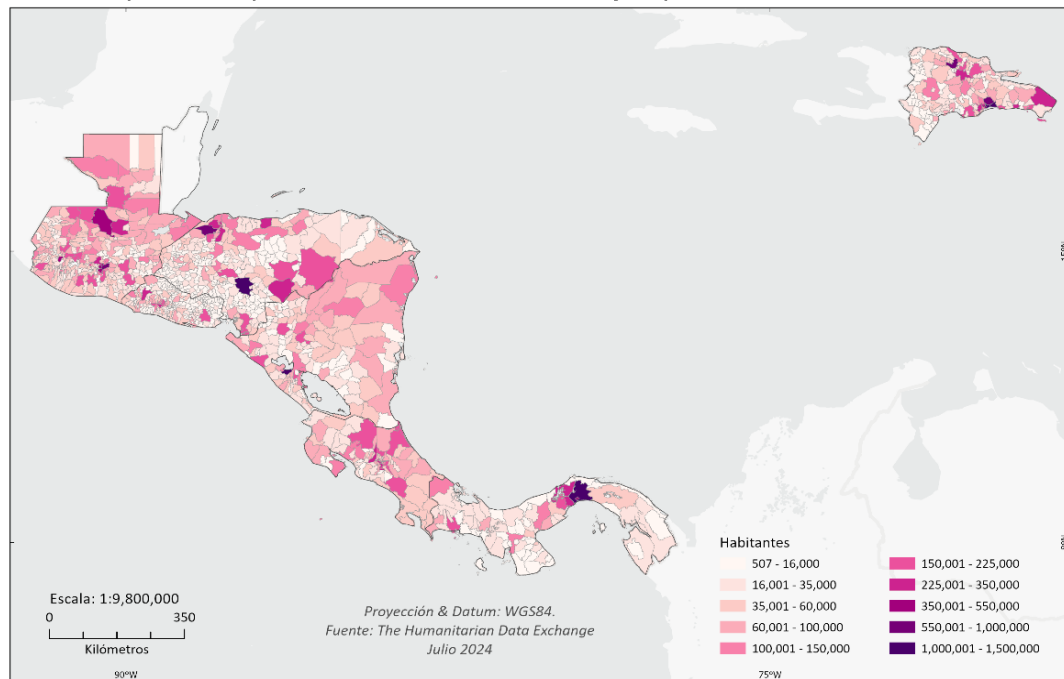
Mapa 40

Población por departamento/provincia en América Central y República Dominicana



Mapa 41

Población por municipio/cantón en América Central y República Dominicana



Producto Interno Bruto

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

Cuadro 24

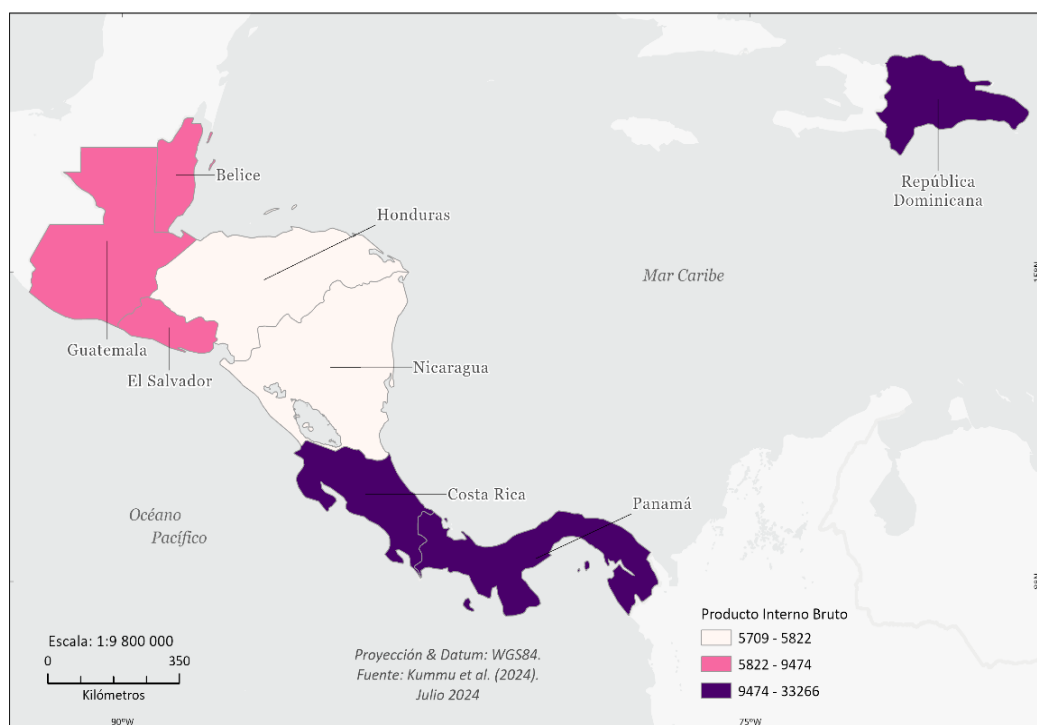
Producto interno bruto en América Central y República Dominicana, 2019 y 2020.

País	Código	2019 (Millones USD*)	2020 (Millones USD*)	Cambio (Millones USD*)	Porcentaje de Crecimiento
Belize	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

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.

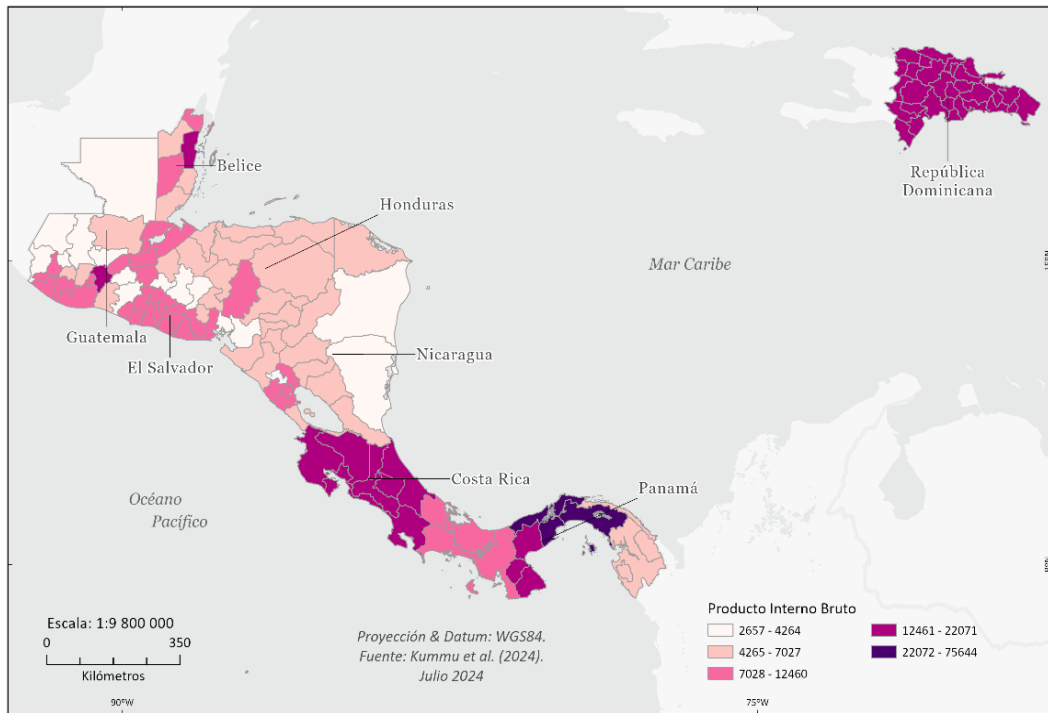
#### Mapa 42

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



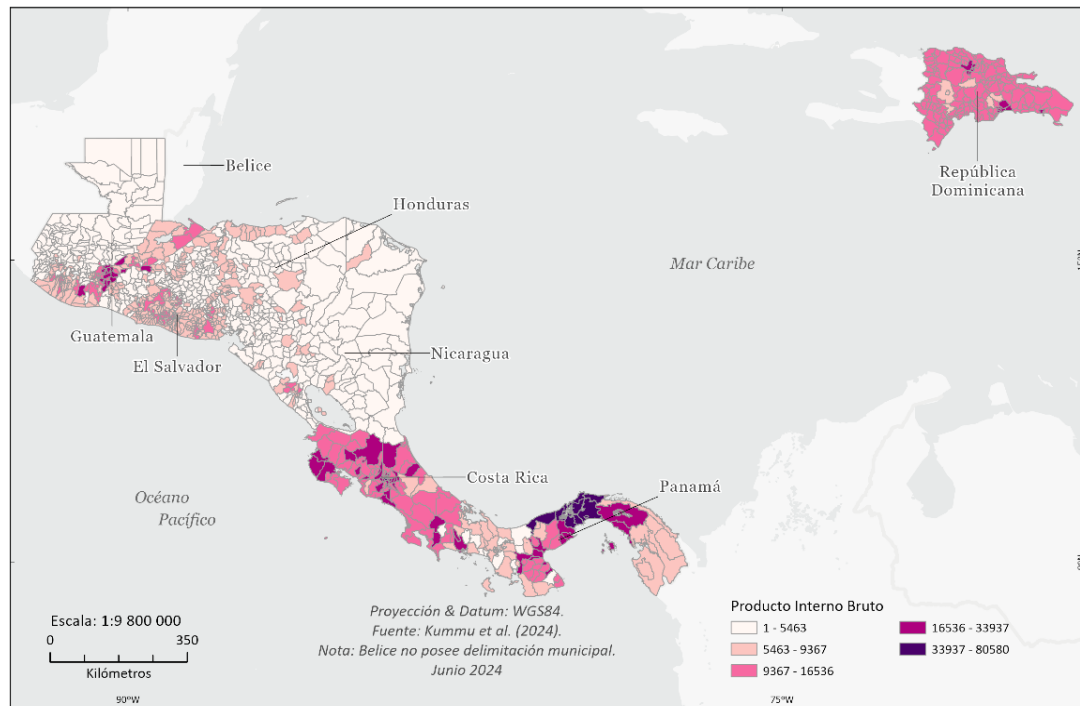
Mapa 43

Producto Interno Bruto por país en América Central y República Dominicana



Mapa 44

Producto Interno Bruto por país en América Central y República Dominicana



## **Discusión**

Para el análisis de los resultados de la caracterización territorial con los escenarios de cambio climático el estudio se enfocará en el escenario SSP5-8.5, el cual está basado en combustibles fósiles.

Infraestructura crítica como las centrales hidroeléctricas se encuentran en municipios (mapa 17) que se espera una disminución de la precipitación (mapa 5), por lo que la producción de energía eléctrica a partir de agua podría verse afectada en Costa Rica, Honduras y Guatemala en el periodo 2079-2099. En cuanto a las centrales solares y eólicas, se necesitan estudios específicos en las variables de radiación solar y viento.

Los centros de salud de la región podrán verse saturados debido a enfermedades por el aumento de la temperatura como choques de calor, deshidratación, enfermedad crónica renal, e inclusive a enfermedades vectoriales, lo que supone una presión sobre el sistema de salud de los países. En cuanto a los centros educativos, como la población concentrada en zonas urbanas, se verán expuestas a la disminución de la precipitación en los países del norte de la región y al incremento de las temperaturas. La adaptación de la infraestructura debe desarrollarse con tecnologías que maximicen el uso del agua y la climatización, y con la educación en el uso de los recursos de la población. Los usuarios de estos centros se pueden enfrentar a olas de calor que condicionaría su aprendizaje.

La infraestructura de transporte se puede ver afectada por la parte climática en el caso de ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos como deslizamientos, inundaciones y sequías, ya que pueden desestabilizar el terreno. Además, las altas temperaturas pueden afectar la calzada depende del tipo de material con que estén construidas. Por lo que las carreteras de Pacífico en Guatemala, El Salvador y Nicaragua pueden experimentar mayores problemas a finales de siglo.

La afectación que pueden sufrir los aeropuertos, puertos y líneas férreas por cambio climático, pueden estar relacionados con las temperaturas ya que los materiales con que se construyen pueden verse afectados en cuanto a la durabilidad. En el caso de los puertos al igual que las marinas (atracaeros turísticos), el aumento del nivel del mar es una variable que los afectará

en el futuro cercano por situaciones como inundaciones costeras o erosión, por eso la importancia de aumentar la cantidad de mareógrafos y no solo con los que se identificaron en este estudio

Si bien se cuenta con proyecciones de precipitación, no se tienen proyecciones del uso del suelo, pero donde actualmente se identifica con cultivos presentarán disminución de la precipitación y la aridez aumentará, principalmente en la costa pacífica de Guatemala, El Salvador y Nicaragua.

La población que se ubica en los centros más poblados de Guatemala, Honduras, El Salvador, Nicaragua y República Dominicana a finales de siglo experimentarán condiciones áridas y semiáridas. Esto se traduce en una falta de recursos para el desarrollo de la vida como agua, alimento y trabajo, por el comportamiento de la sociedad puede verse afectado, ya sea en la generación de conflictos por competencia de recursos o por el desplazamiento de migrantes climáticos.

## **Recomendaciones**

- 1- Para conocer la afectación de las centrales eólicas y solares en la región se recomienda hacer un estudio donde se involucre la variable del viento y posible cambios en la radiación solar, ya que a partir de la información disponible no es posible llegar a conclusiones.
- 2- Se ha generado mucha información espacial que se puede utilizar para generar un portal web donde se pueda consultar la información de manera dinámica.
- 3- Que el Estado de la Región genere su Infraestructura de Base de Datos Espaciales alimentada por entes de la región.
- 4- Una alternativa a la infraestructura de datos de la región es utilizar bases de datos de organismos de la región que han realizado esfuerzos por sistematizar información regional y que se basan en entes nacionales, por lo que debería ser aprovechado ese recurso con mayor frecuencia.

- 5- Generar un análisis multicriterio para la identificación de aquellos territorios que por sus características de infraestructura crítica y datos sociales pueden experimentar más desafíos frente al cambio climático.
- 6- Actualización y seguimiento de las bases de datos espaciales para el desarrollo de futuros trabajos.

## **Limitantes**

- 1- La disparidad de la información, en fechas de entrega, diferentes formatos y capas de información obstaculizó mucho el proceso de los datos, generación de cartografía y análisis. Se trató de identificar las variables que más se puedan comparar entre sí. La actualización de los datos si bien es una mejora, supone un atraso en el avance de la investigación, ya que obliga al equipo a rehacer tareas y análisis.
- 2- El no recibir la última versión desde el inicio y que se reciban actualizaciones aún en el mes de junio ha dificultado esta labor, ya que en vez de avanzar con el análisis se debe retroceder para la correcta incorporación de los datos.
- 3- El corto tiempo para el desarrollo de este arduo y complejo trabajo ha sido un reto para el equipo.
- 4- Los términos de referencia no son consecuentes con la información entregada, se exige mucho, pero la calidad de los datos entregados no es la óptima.

## **Referencias**

- 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>
- 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.
- 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.
- 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>
- 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>
- Instituto de Meteorología e Hidrología de Panamá. (2024). *Red de estaciones*. <https://www.imhpa.gob.pa/es/red-estaciones>
- 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>
- 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.ijdr.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)
- Servicio Meteorológico de Guatemala. (2024). *Radiosondas*. <https://www.smg.gt/radiosondas/>
- 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>

## **Anexos**

### **A. Productos del entregable #1**

<b>#</b>	<b>Descripción</b>	<b>Observación</b>	<b>Avance</b>
1	Documentación del proceso de preparación y estandarización de datos (Word)	Documento realizado. Se incorporan las sugerencias del primer entregable.	100%
2	Indicadores climáticos a nivel municipal/cantonal, provincial/departamental y nacional (shp)	Se encuentran en la carpeta 00_Resultados/Climáticos/... y cada una de las 5 variables: precipitación, temperatura, percentiles 90 y 10, aridez, separado por carpeta. Dentro de cada carpeta hay 4 carpetas más: 01_país, 02_departamento, 03_cantones, 04_Mapas. Cada capa vectorial contiene la media, desviación estándar, mínimo y máximo de cada polígono.	100%
3	1 mapa por país a escala municipal/cantonal con simbología apropiada por cada uno de los escenarios modelados (SSP1-2.6, SSP2-4.5 y SSP5-8.5) en los siguientes períodos de tiempo: 2020-2030, 2040-2060, 2070-2099.	A pesar de que indica un mapa a escala municipal, sería 5 mapas uno por cada variable: precipitación, temperatura, P10, P90 y aridez.	100%
4	1 mapa por país a escala departamental/provincial con simbología apropiada por cada uno de los escenarios modelados (SSP1-2.6, SSP2-4.5 y SSP5-8.5) en los siguientes períodos de tiempo: 2020-2030, 2040-2060, 2070-2099.	A pesar de que indica un mapa a escala departamental, sería 5 mapas a escala municipal uno por cada variable: precipitación, temperatura, P10, P90 y aridez.	100%
5	1 mapa a escala nacional con simbología apropiada por cada uno de los escenarios modelados (SSP1-2.6, SSP2-4.5 y SSP5-8.5) en los siguientes períodos de tiempo: 2020-2030, 2040-2060, 2070-2099.	A pesar de que indica un mapa a escala nacional, sería 5 mapas uno por cada variable: precipitación, temperatura, P10, P90 y aridez. En esta cartografía se obtiene la visión regional.	100%

La cartografía corregida se encuentra disponible en: Mapas Aridez, identificados como versión 02.

Cabe hacer la aclaración que, en el caso de las otras variables por estar mapeando el promedio de la variable según cada polígono: país, departamento/provincia, cantón/municipio, se ajustó la simbología a cada escala para poder realizar una comparación regional, pero no es posible hacer la comparación entre las escalas porque los valores cambian. Esta situación fue se discutió con el señor Iván Cerdas. Es importante recordar que la representación en modelo ráster responde al comportamiento de la variable a nivel espacial, mientras la agregación por división político-administrativo que en nuestra región no es acorde a las características topográficas o climáticas del territorio responde a los valores internos del polígono.

#### **B. Productos del entregable #2**

<b>#</b>	<b>Descripción</b>	<b>Observación</b>	<b>Avance</b>
1	Documento de revisión de la información geoespacial que será recibida por parte de los consultores nacionales. El documento tiene como fin que la Escuela de Geografía cuente con una herramienta que le permita señalar por qué se decidió utilizar la información geoespacial y por qué no, según la calidad recibida de los datos (Word).	Documento realizado	100%
2	Estadística descriptiva por país en función de provincias/departamentos y municipios/cantones (Excel)		100%
3	Mapas de caracterización territorial a nivel de municipio/cantón	Cartografía elaborada	100%
4	Mapas de caracterización territorial a nivel de provincia/departamento	Cartografía elaborada	100%
5	Mapas de caracterización territorial a nivel país	Cartografía elaborada	100%
6	Mapas de caracterización territorial a nivel región	Cartografía elaborada	100%
7	Mapa del área metropolitana donde se encuentre la capital	En esta sección no fue sido posible identificar las áreas metropolitanas de los países (capa)	10%
8	Archivo Shapefile y aprx de cada uno de los mapas	Se encuentran en la carpeta 00_Resultados/ Caracterización Territorial/	100%

**C. Productos del entregable #3**

#	Descripción	Observación	Avance
1	Informe metodológico		100%
2	Reporte de Análisis descriptivos por país		100%
3	Elaboración de la cartografía temática de caracterización territorial para América Central y República Dominicana	Se tuvo atraso por los datos de Belice, que ala final no llegaron.	100%
4	Resumen ejecutivo de principales hallazgos		100%

**D. Detalle de los datos por país**

Los siguientes cuadros muestran el detalle de los datos suministrados por los consultores nacionales. El cuadro 25 para Panamá, Cuadro 26 para Guatemala, Cuadro 27 para Honduras y Cuadro 29 para Costa Rica.

En Panamá la información se encuentra en formato vectorial lo que facilita el análisis, fue entregada en la proyección UTM zona 17. Hay variables que no contienen el año del dato, por lo que hay que tratar el dato con cautela (Cuadro 25).

**Cuadro 25**

**Información espacial de Panamá**

Datos	Categoría	Tipo de archivo	Formato	Cantidad de entidades	Fecha
Zonas francas	NA	shp	Punto	18	-
Universidades públicas	Infraestructura Crítica	shp	Punto	16	-
Universidades	Infraestructura Crítica	shp	Punto	10	-
Osm_roads(camino)	Infraestructura Crítica	shp	Línea	38513	2018
Infraestructura_vial	Infraestructura Crítica	shp	Línea	38513	-
Hospitales	Infraestructura Crítica	shp	Punto	78	-
Escuelas_colegios	Infraestructura Crítica	shp	Punto	3172	-
Cuencas hidrográficas 250k	Uso	shp	polígonos	58	2020
Cobertura boscosa_uso de suelo 25k	Uso	shp	polígonos	597716	2021

*Indicadores de cambio climático a nivel territorial para los países de  
Centroamérica y República Dominicana*

Datos	Categoría	Tipo de archivo	Formato	Cantidad de entidades	Fecha
Cobertura boscosa_uso de suelo 50k	Uso	shp	polígonos	846333	2012
Cobertura boscosa 2012 50k	Uso	shp	polígonos	419903	2019
Centrales térmicas	Infraestructura Crítica	shp	Punto	16	-
Centrales solares	Infraestructura Crítica	shp	Punto	31	-
Centrales hidroeléctricas	Infraestructura Crítica	shp	Punto	105	-
Centrales eólicas	Infraestructura Crítica	shp	Punto	58	-
Hoteles_restaurantes por departamento	Infraestructura Crítica	Excel	Número	1387	2023

Elaboración Propia

En Guatemala se recibió la mayoría de la información en formato vectorial con la proyección UTM Zona 15, la cual también se re proyectó a coordenadas geográficas. Hay datos sin año, y otra información con antigüedad mayor a 15 años (Cuadro 26).

**Cuadro 26**  
**Información espacial de Guatemala**

Datos	Categoría	Tipo de archivo	Formato	Cantidad de entidades	Fecha
Area_protegidas_publicas_privadas	Uso	shp	polígonos	408	2024
Hospitales_guatemala_v2	Infraestructura Crítica	shp	Punto	49	2024
Hospitales_guatemala_v3_actualizado	Infraestructura Crítica	shp	Punto	45	-
Escuelas_primarias_secundarias	Infraestructura Crítica	shp	Punto	15015	2007
Escuelas_primarias_secundarias_actualizada	Infraestructura Crítica	shp	Punto	19628	2024
Escuelas_primarias_secundarias_actualizada_utm15n	Infraestructura Crítica	shp	Punto	19628	2024
Escuelas_primarias_secundariasutm15n	Infraestructura Crítica	shp	Punto	15015	2024

*Indicadores de cambio climático a nivel territorial para los países de  
Centroamérica y República Dominicana*

<b>Datos</b>	<b>Categoría</b>	<b>Tipo de archivo</b>	<b>Formato</b>	<b>Cantidad de entidades</b>	<b>Fecha</b>
Hidroelectricas_menores5mw_todasdjuntas	Infraestructura Crítica	shp	Punto	59	2024
Hidroelectricas_mayores_5mw_todasdjuntas	Infraestructura Crítica	shp	Punto	37	2024
Geotermicas_mayores_20mw	Infraestructura Crítica	shp	Punto	2	-
Centros_turisticos_lineacostero_guatemala	Infraestructura Turística	shp	Punto	26	-
Centros_turisticos_lineacostero_guatemala_utm15n	Infraestructura Turística	shp	Punto	26	2024
Universidades_publicas_privadas_guatemala	Infraestructura Crítica	shp	Punto	31	2024
Universidades_publicas_privadas_guatemala_utm15n_v	Infraestructura Crítica	shp	Punto	31	2024
Palma_africana	Uso	shp	polígonos	619	2020
Hule	Uso	shp	polígonos	1050	2020
Caña_azucar	Uso	shp	polígonos	897	2020
Café	Uso	shp	polígonos	1687	2020
Banano_platano	Uso	shp	polígonos	397	2020
Aeropuertos_internacionales	Infraestructura Crítica	shp	polígonos	3	2021
Zonas_portuarias_gt	Infraestructura Crítica	shp	polígonos	7	2021
Carreteras_guatemala	Infraestructura Crítica	shp	Linea	4823	2012
Carreteras_guatemala_actu08marzo2024	Infraestructura Crítica	shp	Linea	5889	-
Estaciones_climaticas	Estaciones meteorológicas	shp	Punto	999	2024
Estaciones_climaticas_utm15n	Estaciones meteorológicas	shp	Punto	999	2024
Estaciones_hidrometricas	Estaciones meteorológicas	shp	Punto	65	-
Estaciones_hidrometricas_utm_zona15n	Estaciones meteorológicas	shp	Punto	65	2024
Centros_educativos_primaria_basicos_08marzo_2024	Infraestructura Crítica	Excel	numérico	19639	2024
Actualización_hospitales	Infraestructura Crítica	Excel	numérico	45	-

Elaboración Propia

Los datos de Honduras presentaron problemas a la hora de abrir los cuadros de atributos, los archivos estaban corruptos, lo que atrasó el proceso. Los datos no indican el año, y el envío en doble formato generó confusión. A pesar de esto se pudo solucionar la visualización al trabajar de manera interoperable entre QGIS y ArcGIS Pro (Cuadro 27).

### Cuadro 27

#### Información espacial de Honduras

Datos	Categoría	Tipo de archivo	Formato	Cantidad de entidades	Fecha
Estaciones metereológicas	Estaciones meteorológicas	shp	Punto	96	-
1.1_estaciones_meteorológicas	Estaciones meteorológicas	Excel		97	-
Aeropuertos_hn	Infraestructura Crítica	shp	Punto	4	-
Aeropuertos	Infraestructura Crítica	Excel		4	-
Carreteras_honduras	Infraestructura Crítica	shp	Línea	839	-
Centros educativos_hn	Infraestructura Crítica	shp	Punto	14175	-
Centros educativos_hn	Infraestructura crítica	Excel		17526	-
Hidroeléctricas	Infraestructura crítica	Shp	Punto	46	-
Hidroeléctricas	Infraestructura crítica	Excel		51	-
Hospitales públicos_hn	Infraestructura crítica	Shp	Punto	31	-
Hospitales públicos	Infraestructura crítica	Excel		32	-
Puertos_hn	Infraestructura crítica	Shp	Punto	6	-
Puertos	Infraestructura crítica	Excel		6	-
Universidades_públicas y privadas	Infraestructura crítica	Shp	Puntos	11	-
Universidades_públicas y privadas	Infraestructura crítica	Excel		11	-
1.3_infraestructura turística	Infraestructura crítica	Shp	Puntos	11	-
1.3_infraestructura turística	Infraestructura crítica	Excel		11	-

Elaboración Propia

En El Salvador envió variables en geometría de puntos, lo que facilita el análisis de la información (Cuadro 28).

**Cuadro 28**

**Información espacial de El Salvador**

Datos	Categoría	Tipo de archivo	Formato	Cantidad de entidades	Fecha
Centros escolares	Infraestructura Crítica	Shp	Punto	6017 (se aprecian solo 7)	
Centros educ	Infraestructura Crítica	Shp	Punto	6017	
Estaciones	Estaciones	Shp	Punto	67	
Hospitales	Infraestructura Crítica	Shp	Punto	67	
Plantas(Generadoras)	Infraestructura Crítica	Shp	Punto	14	
Plantas(Gene-radorasCorregidas)	Infraestructura Crítica	Shp	Punto	13	
Plantas hidroeléctricas	Infraestructura Crítica	Shp	Punto	4	
Puertos y otros	Infraestructura Crítica	Shp	Punto	6	
Universidades	Infraestructura Crítica	Shp	Punto	40	
Estaciones(SHPEFI-1)	Estaciones	Shp	Punto	274	
LimitesMunicipales	División administra-tiva	Shp	Polígono	263	

Elaboración Propia

La información de Costa Rica está bastante completa en cuanto a las variables y a la información asociada a esta. Sin embargo, hay tres capas que no poseen año (Cuadro 29).

**Cuadro 29**

**Información espacial de Costa Rica**

Datos	Categoría	Tipo de archivo	Formato	Cantidad de entidades	Fecha
Aeropuertos	Infraestructura Crítica	Shp	Punto	4	2020
Áreas silvestres protegidas	Uso	Shp	polígono	173	2024
Centrales eléctricas	Infraestructura Crítica	Shp	Punto	60	2019
Centros de salud	Infraestructura Crítica	Shp	Punto	175	2022
Centros educativos	Infraestructura Crítica	Shp	Punto	17064	2021
Café	Uso	Shp	polígono	5367	2019
Cultivos en general	Uso	Shp	polígono	70824	2019

*Indicadores de cambio climático a nivel territorial para los países de  
Centroamérica y República Dominicana*

Datos	Categoría	Tipo de archivo	Formato	Cantidad de entidades	Fecha
Palma	Uso	Shp	polígono	2518	2024
Piña	Uso	Shp	polígono	3440	2024
Embalses	Uso	Shp	polígono	27	2020
Estaciones automáticas	Estaciones meteorológicas	Shp	Punto	196	2024
Estaciones hidrométricas	Estaciones meteorológicas	Shp	Punto	144	2024
Estaciones mareográficas	Estaciones meteorológicas	Shp	Punto	3	2024
Estaciones mecánicas	Estaciones meteorológicas	Shp	Punto	93	2024
Instrumentos	Estaciones meteorológicas	Shp	Punto	2	2024
PNE?		Shp	polígono	159515	-
Histórico de daños y pérdidas 2005 - 2023	NA	Excel	Numérico	2500	-
Histórico de pérdidas 1991 - 2023	NA		ND	704	-
Hospedajes declarados	Infraestructura Crítica	Shp	Punto	585	2024
Hospitales	Infraestructura Crítica	Shp	Punto	4	2024
Hospitales CCSS	Infraestructura Crítica	Shp	Punto	29	2024
Red vial	Infraestructura Crítica	Shp	línea	5730	-
Red férrea	Infraestructura Crítica	Shp	línea	43	2023
Marinas	Infraestructura Crítica	Shp	polígono	18	2024
Puertos	Infraestructura Crítica	Shp	Puntos	4	2024
Universidades	Infraestructura Crítica	Shp	Puntos	175	2022

Elaboración Propia

En República Dominicana se trabajó con los datos que están en la Cuadro 30 y que son comparables con el resto de los países.

**Cuadro 30**

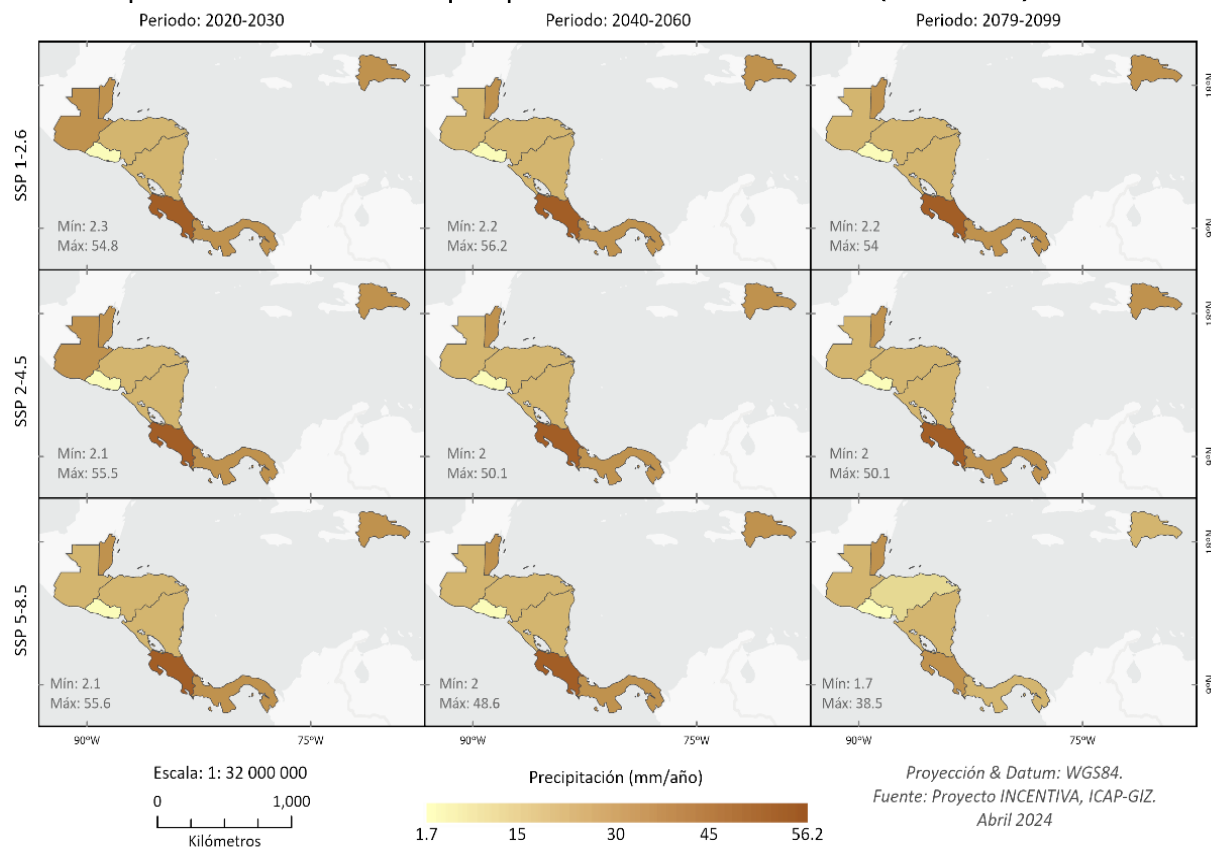
**Información espacial de República Dominicana**

<b>Datos</b>	<b>Categoría</b>	<b>Tipo de archivo</b>	<b>Formato</b>	<b>Cantidad de entidades</b>	<b>Fecha</b>
Aeropuertos Internacionales	Infraestructura Crítica	Shp	Punto	7	2021
Aeropuertos Nacionales	Infraestructura Crítica	Shp	Punto	4	2021
Atracaderos	Infraestructura Crítica	Shp	Punto	30	2021
Areas Protegidas SINAP	Uso	Shp	Polígono	141	2022
Zonas Amortiguamiento SINAP	Uso	Shp	Polígono	95	2021
Centros Salud Privados Data	Infraestructura Crítica	Shp	Punto	7041	2015
Centros Salud Públicos RD	Infraestructura Crítica	Shp	Punto	195	2015
Centros Primer Nivel RD	Infraestructura Crítica	Shp	Punto	1660	2015
Centros privados RD	Infraestructura Crítica	Shp	Punto	3680	2019
Centros públicos RD	Infraestructura Crítica	Shp	Punto	6557	2019
Estaciones Pluviométricas RD	Estaciones meteorológicas	Shp	Punto	17	2015
Estaciones Hidrométricas RD	Estaciones meteorológicas	Shp	Punto	247	2015
Caminos vecinales mopc	Infraestructura Crítica	Shp	Línea	13192	2021
Circunvalaciones nacional	Infraestructura Crítica	Shp	Línea	20	2021
Peajes mopc	Infraestructura Crítica	Shp	Punto	14	2021
Puentes mopc	Infraestructura Crítica	Shp	Punto	2655	2021
Red local RD	Infraestructura Crítica	Shp	Línea	163	2021
Red troncal RD	Infraestructura Crítica	Shp	Línea	100	2021
Carreteras regionales RD	Infraestructura Crítica	Shp	Línea	192139	

E. Cartografía complementaria  
a) Escenarios de Cambio Climático  
i. Percentil 10 (P10)

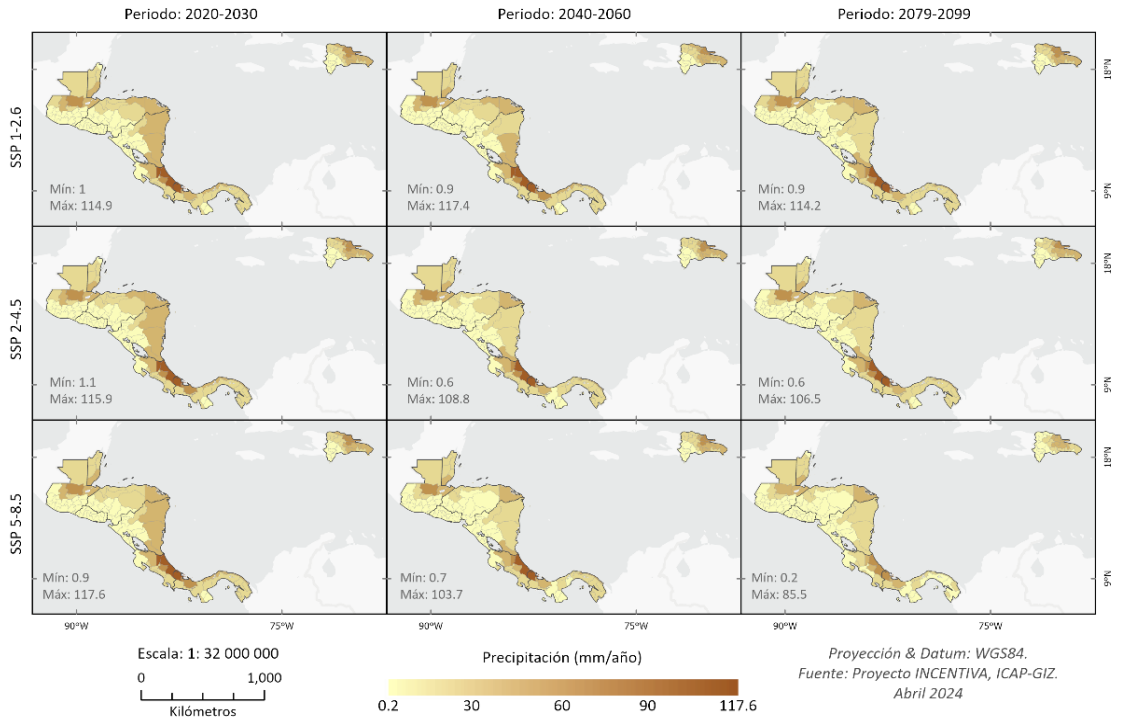
Mapa 45

Promedio por País: Percentil 10 de la precipitación del escenario histórico (1979-2014)



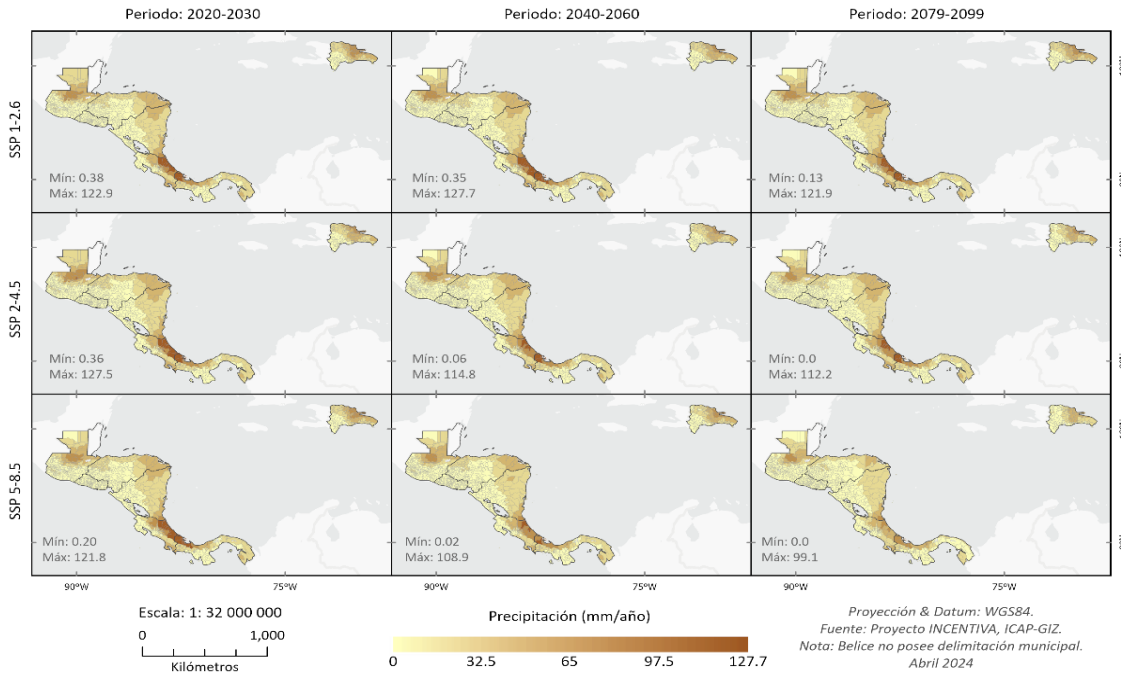
Mapa 46

Promedio por Departamento/Provincia: Percentil 10 de la precipitación del escenario histórico (1979-2014)



Mapa 47

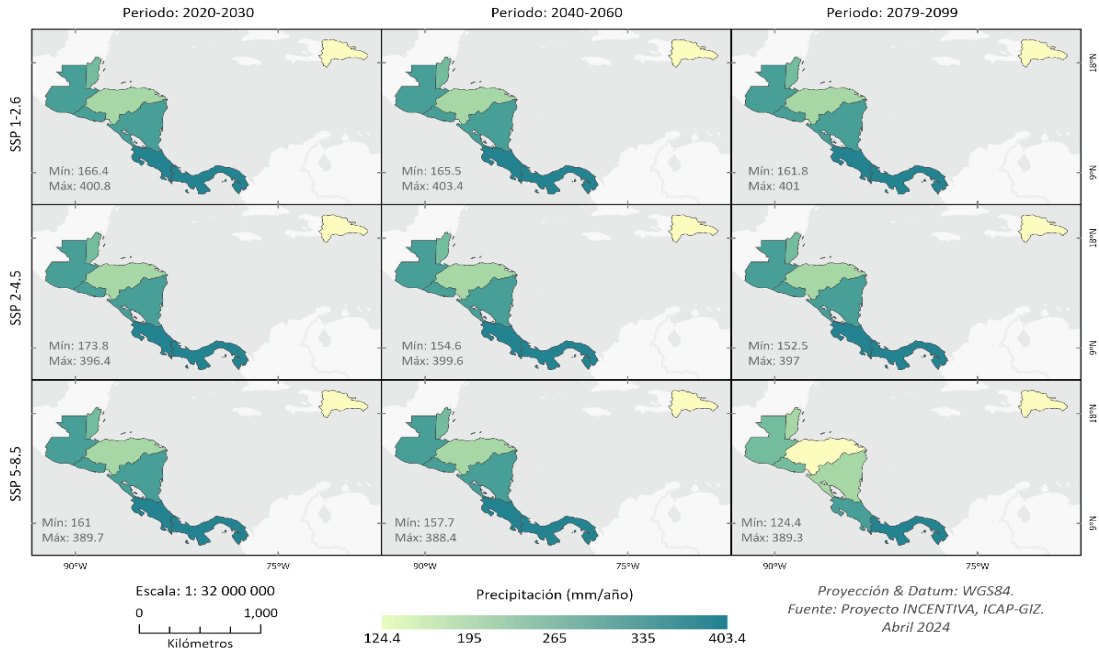
Promedio por Municipio/cantón: Percentil 10 de la precipitación del escenario histórico (1979-2014)



ii. Percentil 90 (P90)

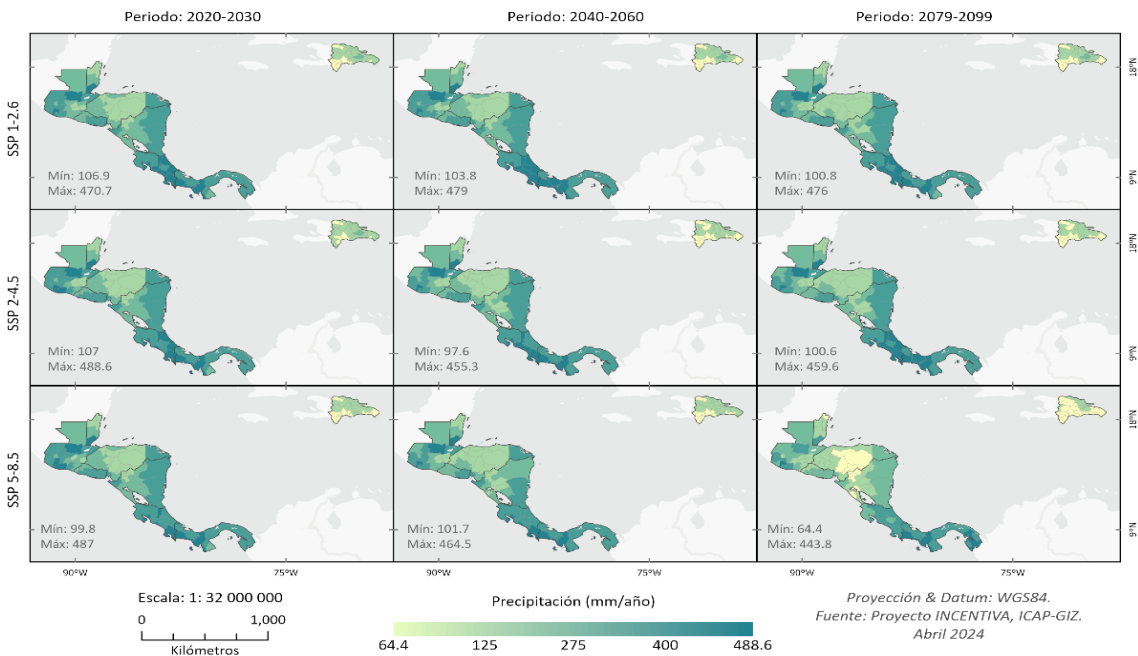
Mapa 48

Promedio por País: Percentil 90 de la precipitación del escenario histórico (1979-2014)



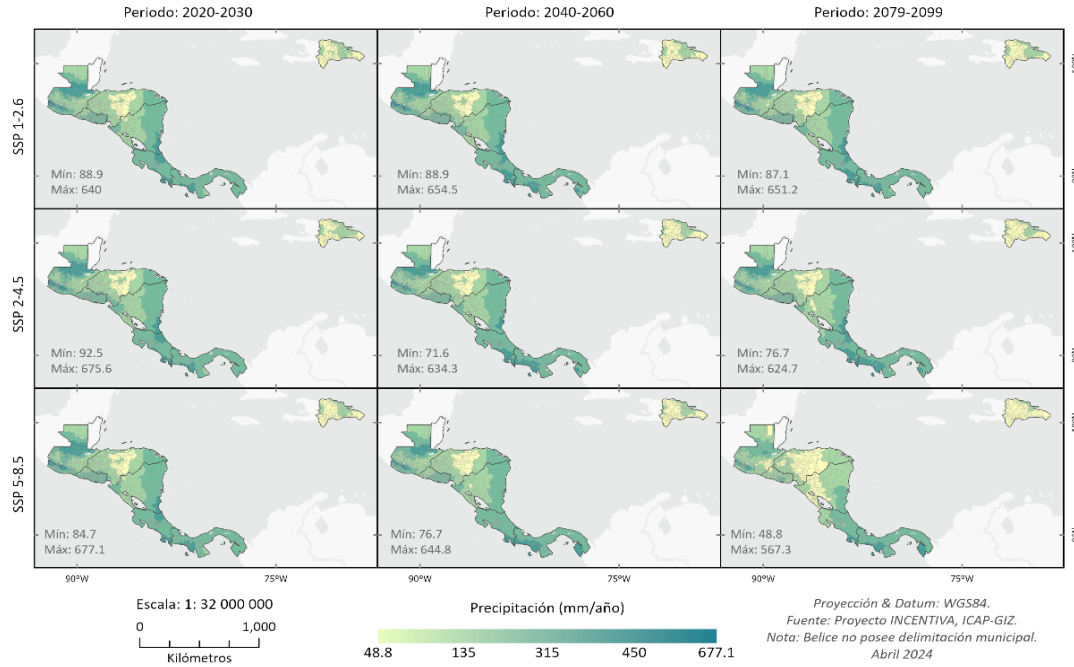
Mapa 49

Promedio por Departamento/provincia: Percentil 90 de la precipitación del escenario histórico (1979-2014)



Mapa 50

Promedio por Municipio/cantón: Percentil 90 de la precipitación del escenario histórico (1979-2014)



b) Caracterización Territorial  
i. Estaciones meteorológicas

Estaciones meteorológicas

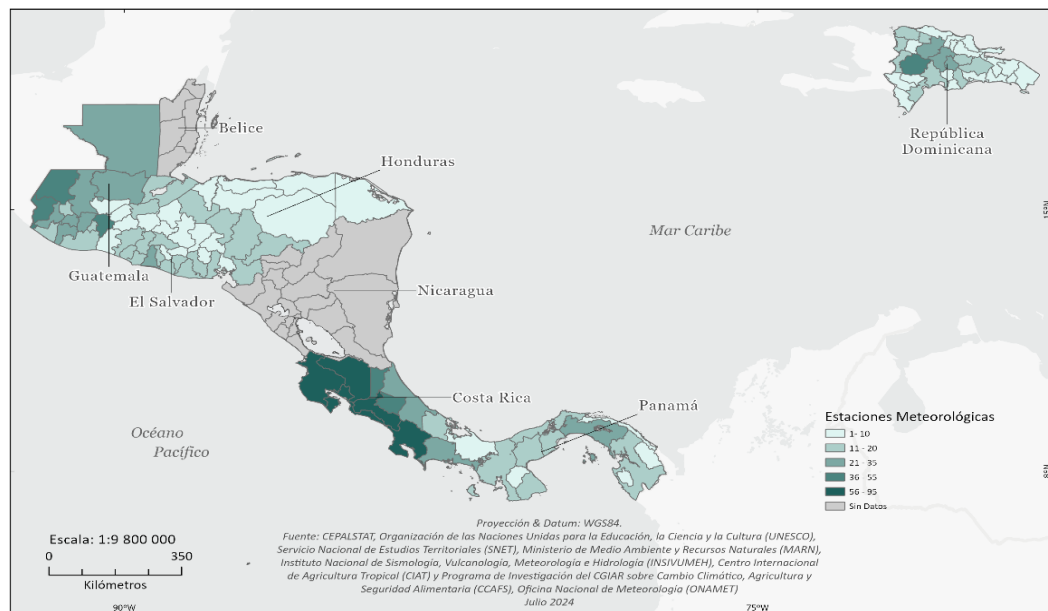
Mapa 51

Estaciones meteorológicas por país en América Central y República Dominicana



Mapa 52

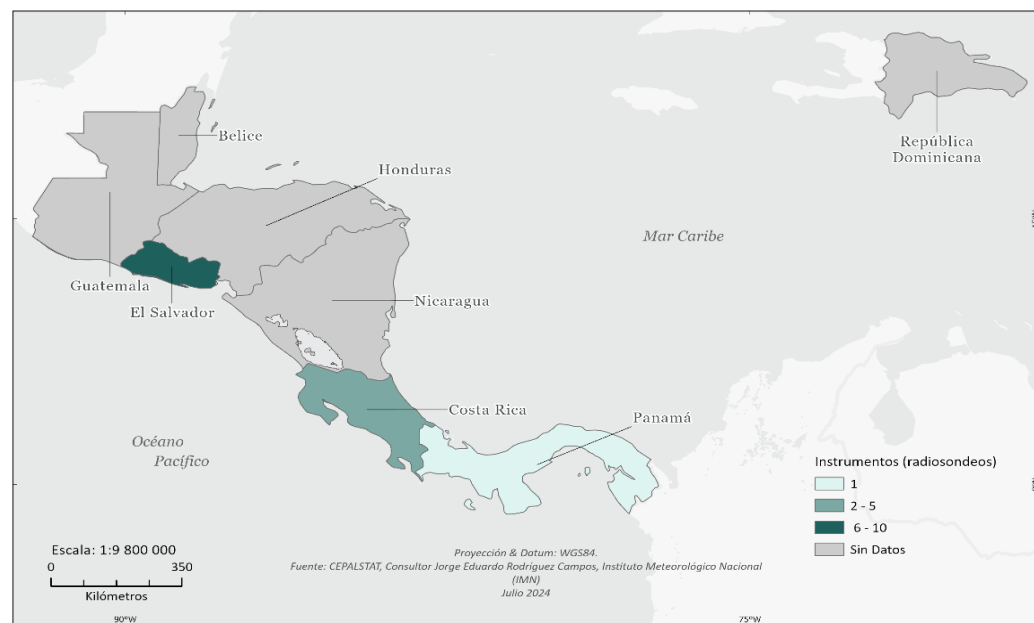
Estaciones meteorológicas por departamento/provincia en América Central y República Dominicana



Instrumentos (radar, sonda)

Mapa 53

Instrumentos por país en América Central y República Dominicana



### Mapa 53

#### Instrumentos por Departamento/provincia en América Central y República Dominicana



### Estaciones Mareográficas

### Mapa 55

#### Estaciones Mareográficas por país en América Central y República Dominicana



Mapa 56

Estaciones mareográficas por Departamento/provincia en América Central y República Dominicana

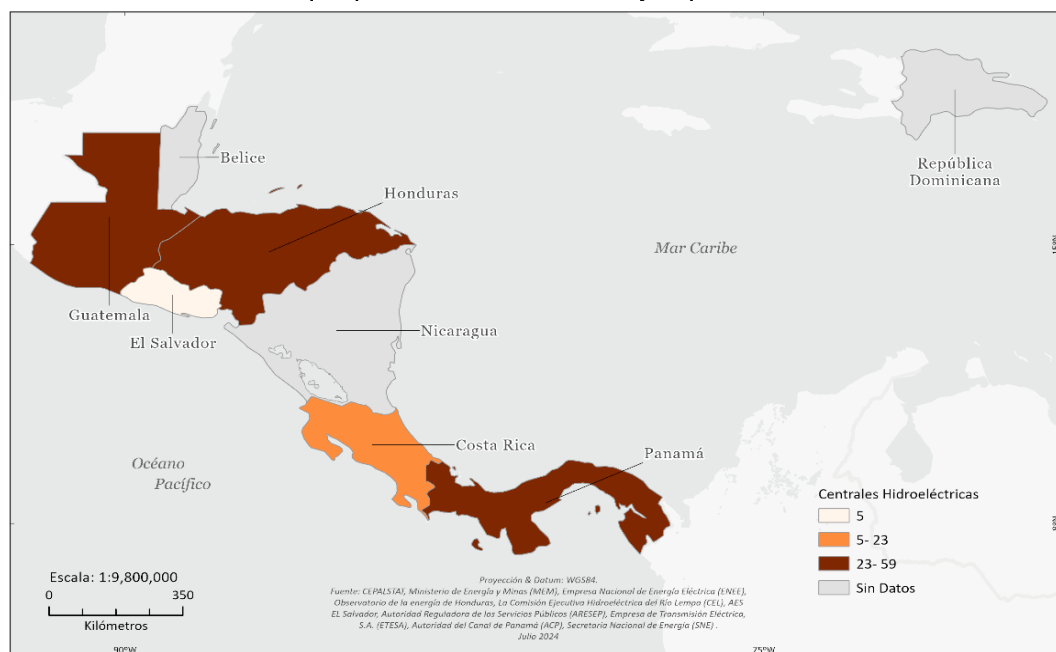


ii. Infraestructura crítica

Centrales Hidroeléctricas

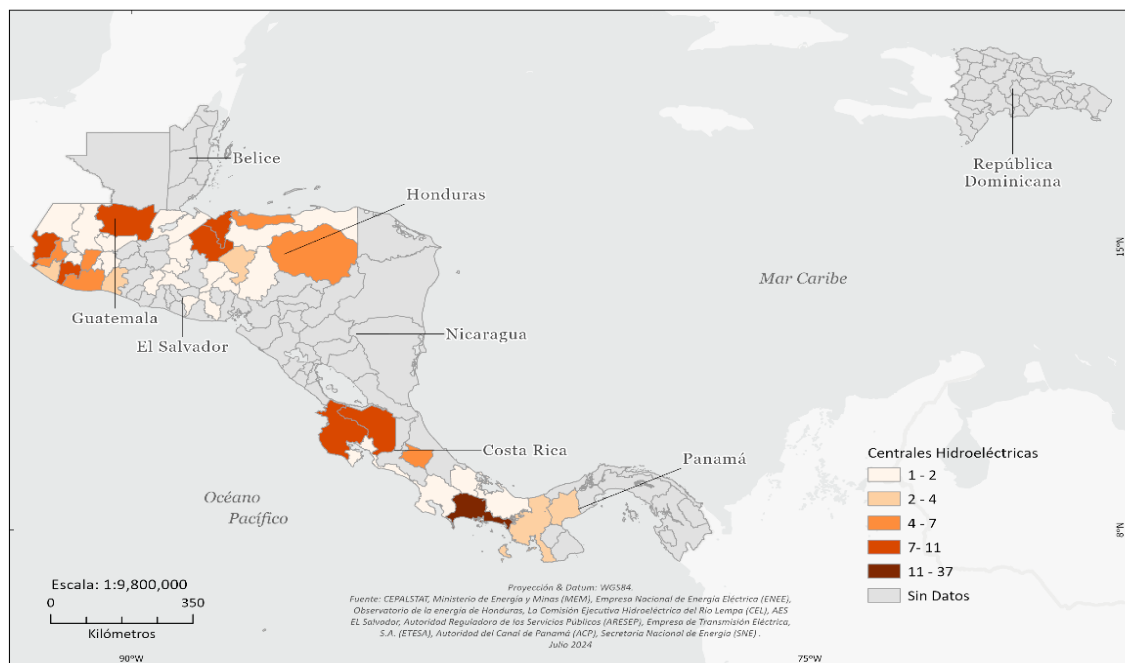
Mapa 57

Centrales Hidroeléctricas por país en América Central y República Dominicana



Mapa 58

Centrales Hidroeléctricas por departamento/provincia en América Central y República Dominicana



Centrales Eólicas y solares

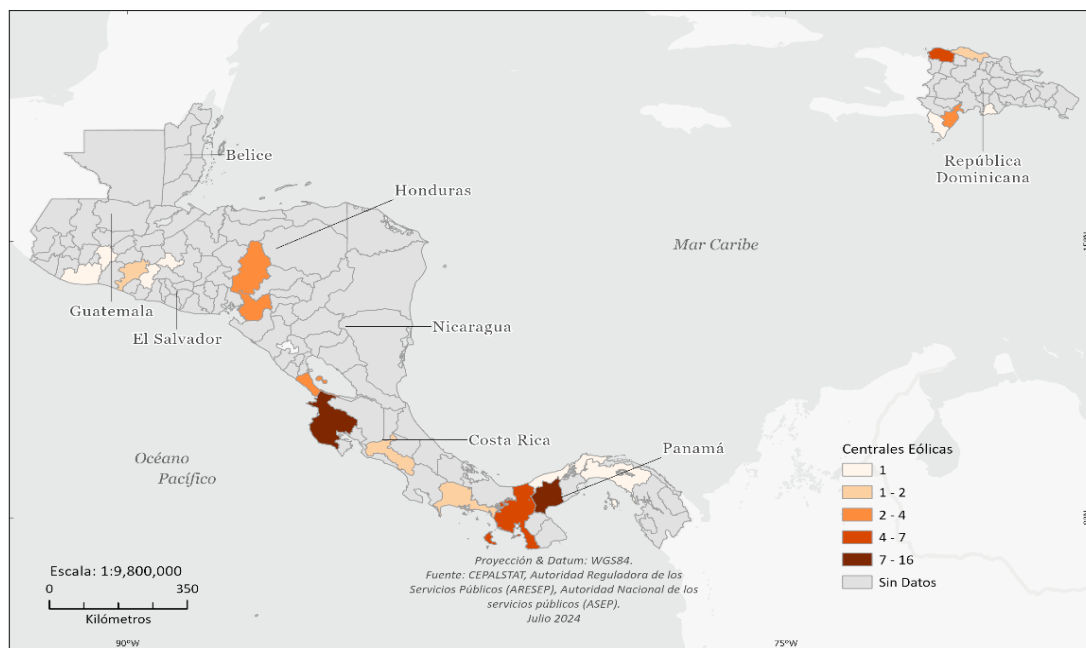
Mapa 59

Centrales eólicas por país en América Central y República Dominicana



Mapa 60

Centrales eólicas por departamento/provincia en América Central y República Dominicana



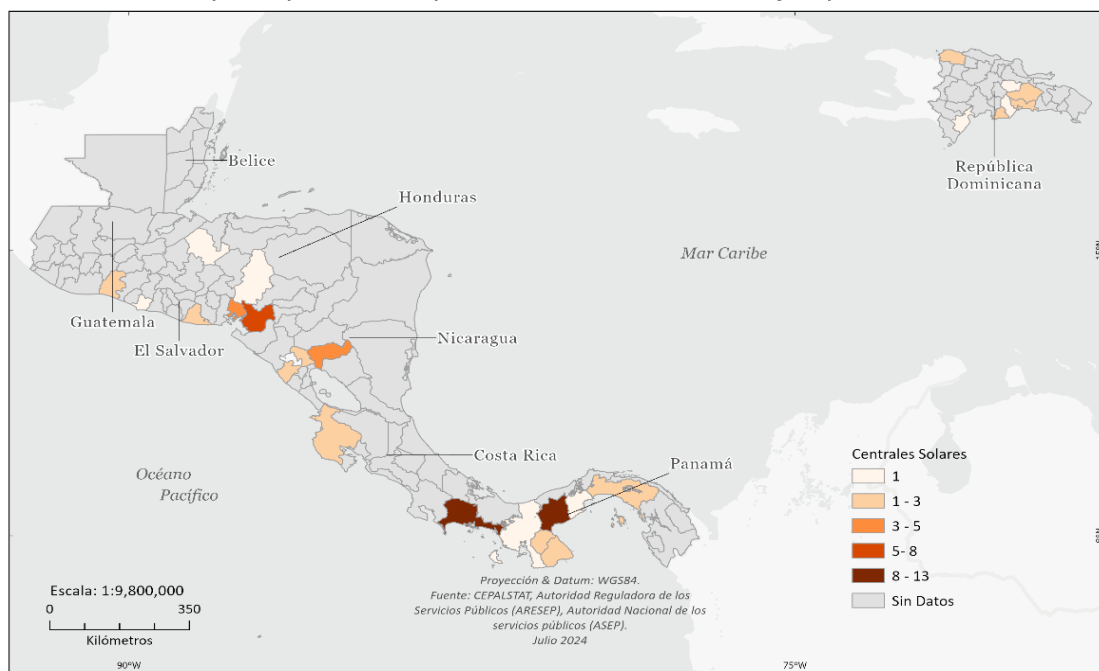
Mapa 61

Centrales Solares por país en América Central y República Dominicana



Mapa 62

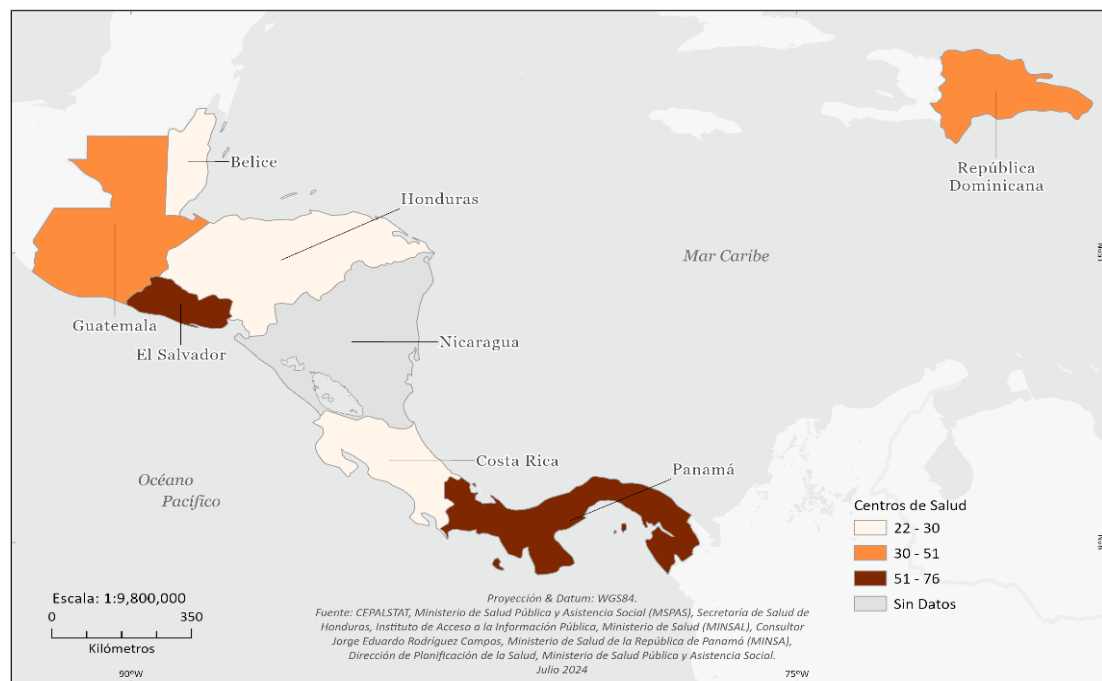
Centrales Solares por departamento/provincia en América Central y República Dominicana



Centros de Salud

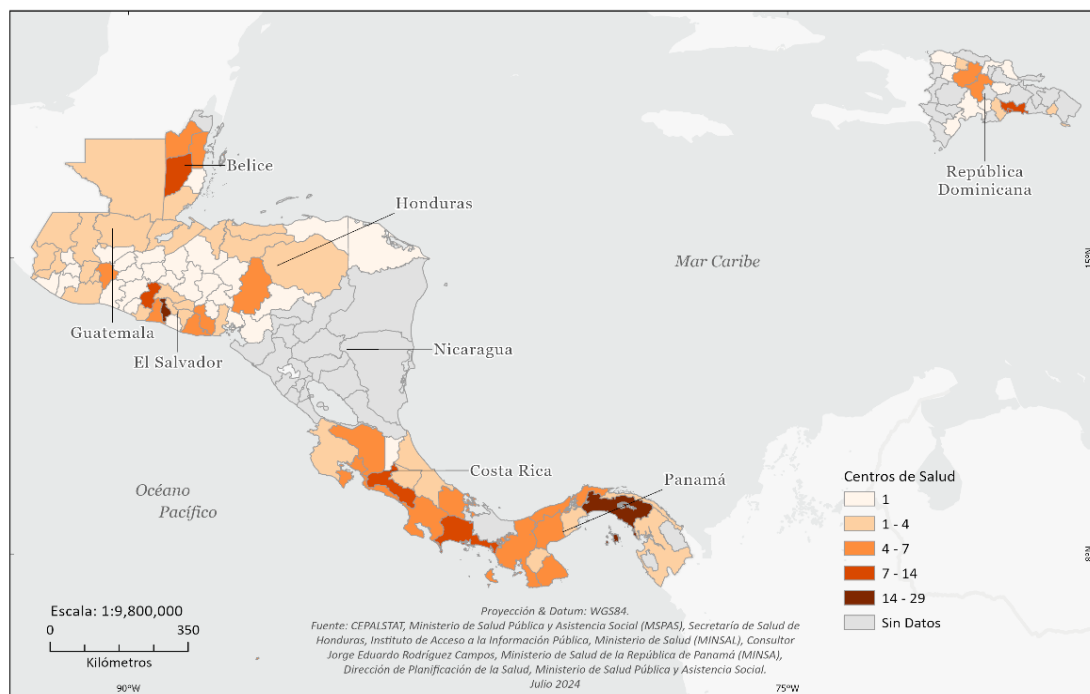
Mapa 63

Centros de salud por país en América Central y República Dominicana



Mapa 64

Centros de salud por departamento/provincia en América Central y República Dominicana



Universidades

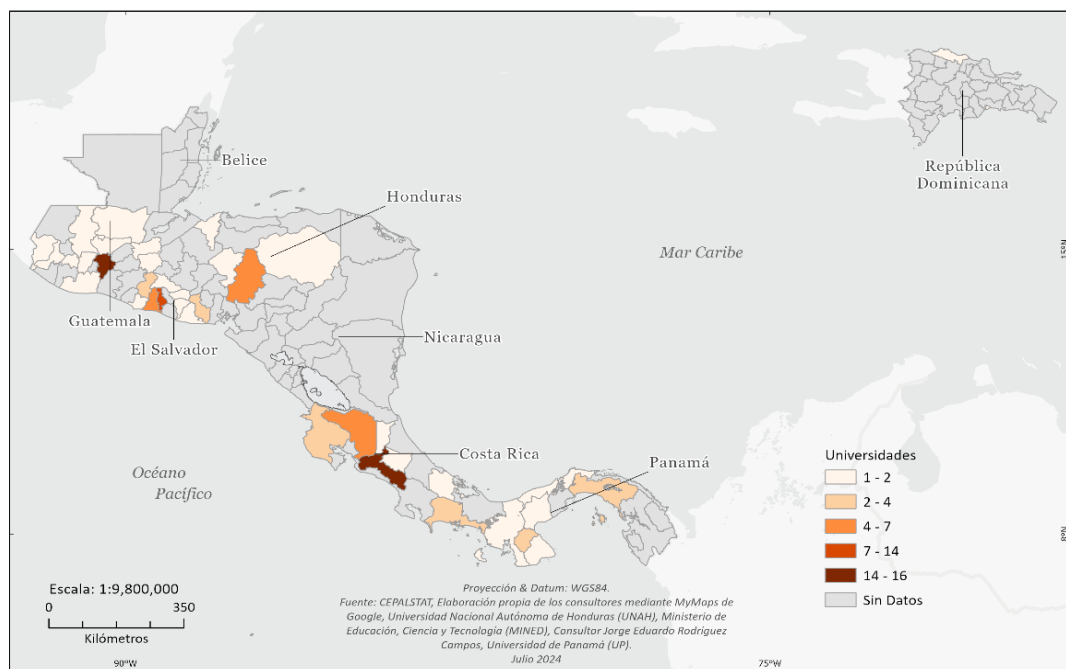
Mapa 65

Universidades por país en América Central y República Dominicana



Mapa 66

Universidades por departamento/provincia en América Central y República Dominicana



Centros Educativos

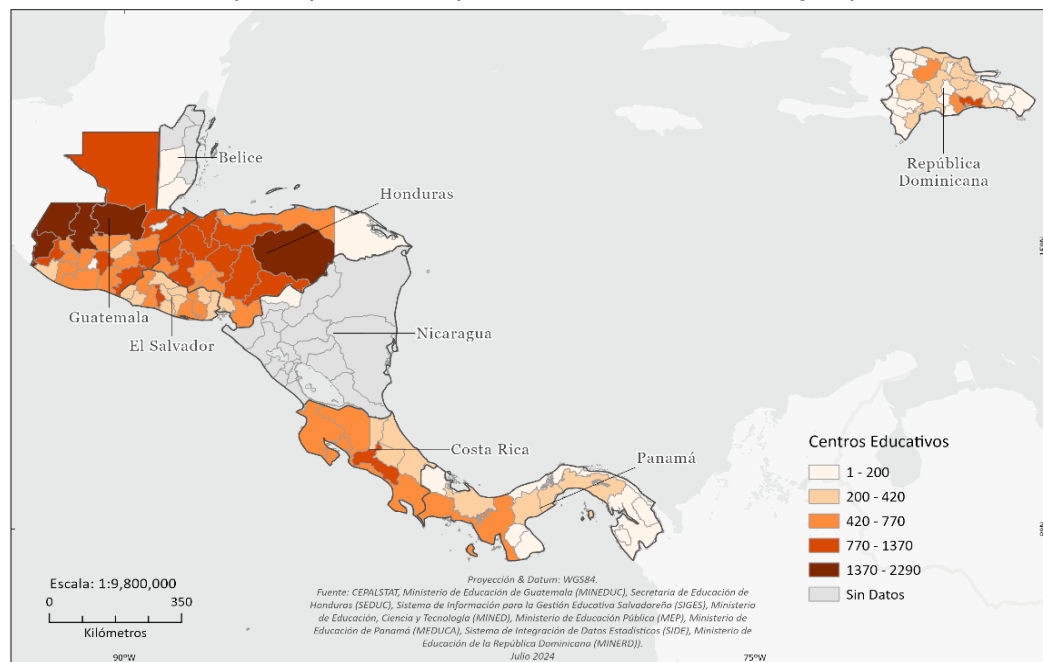
Mapa 67

Centros educativos por país en América Central y República Dominicana



Mapa 68

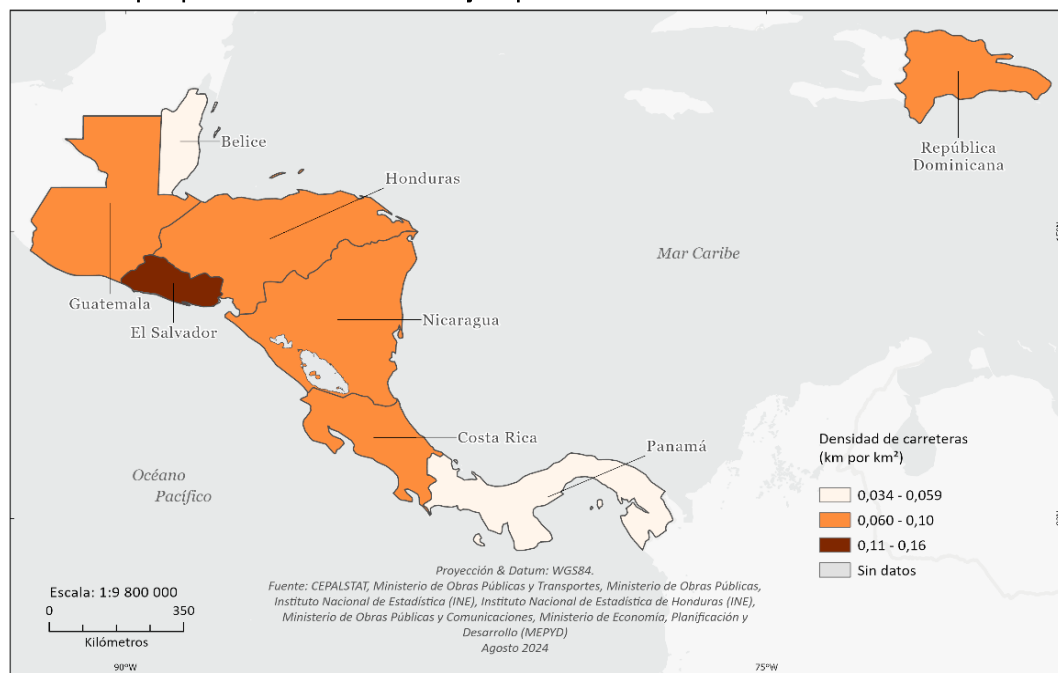
Centros educativos por departamento/provincia en América Central y República Dominicana



Carreteras

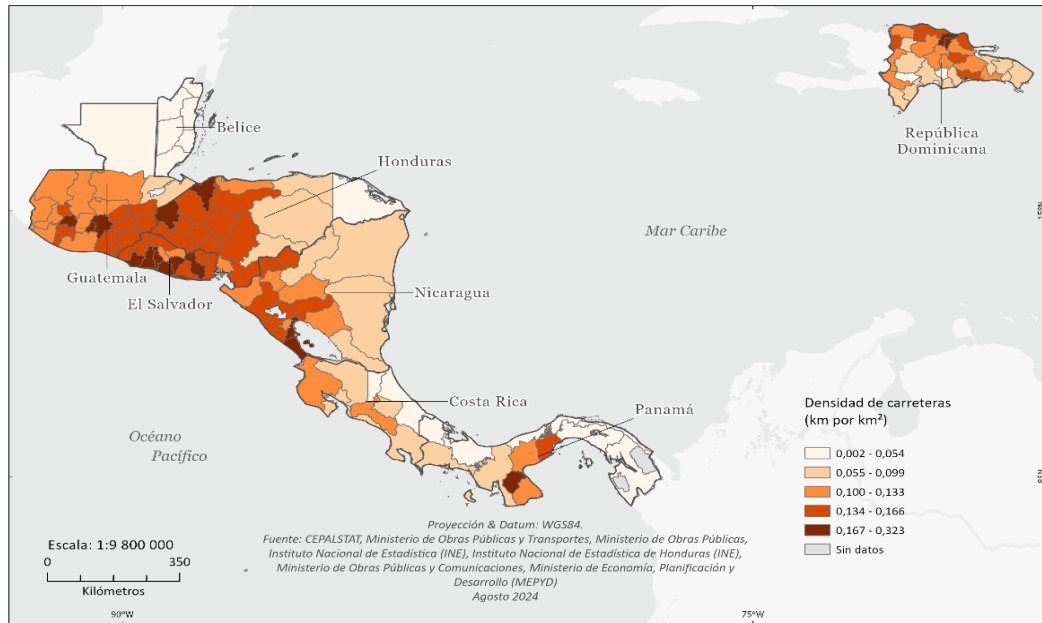
Mapa 69

Carreteras por país en América Central y República Dominicana



Mapa 7 0

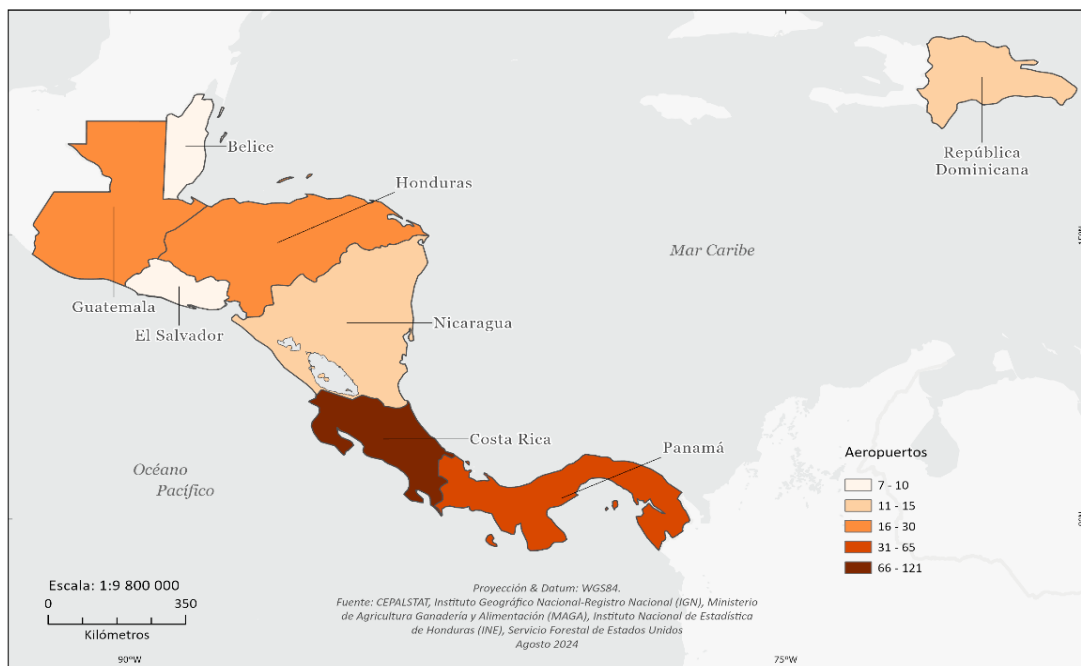
Carreteras por departamento/provincia en América Central y República Dominicana



Aeropuertos

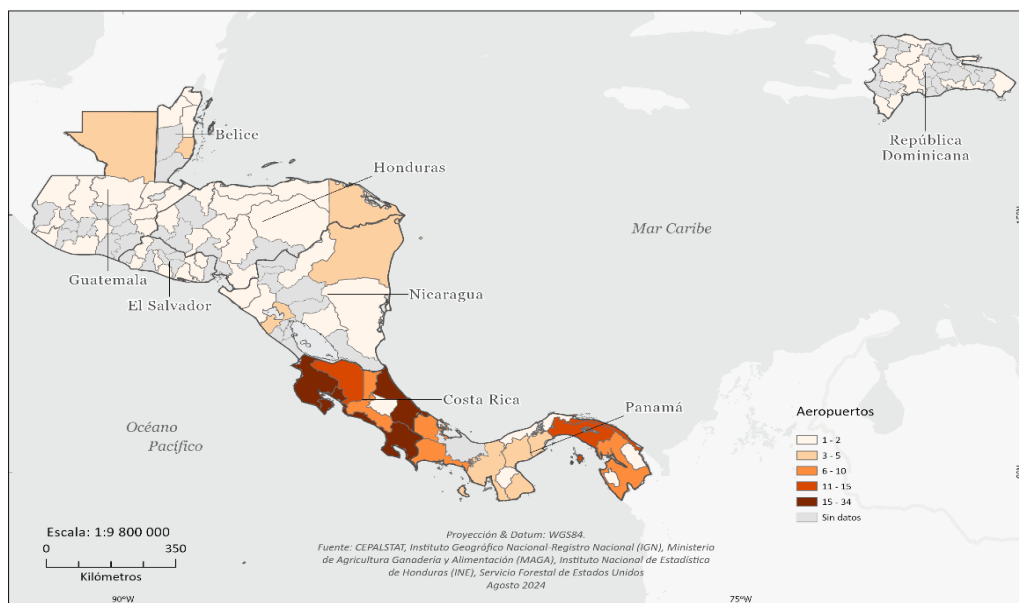
Mapa 71

Aeropuertos por país en América Central y República Dominicana



### Mapa 72

#### Aeropuertos por departamento/provincia en América Central y República Dominicana



### Puertos

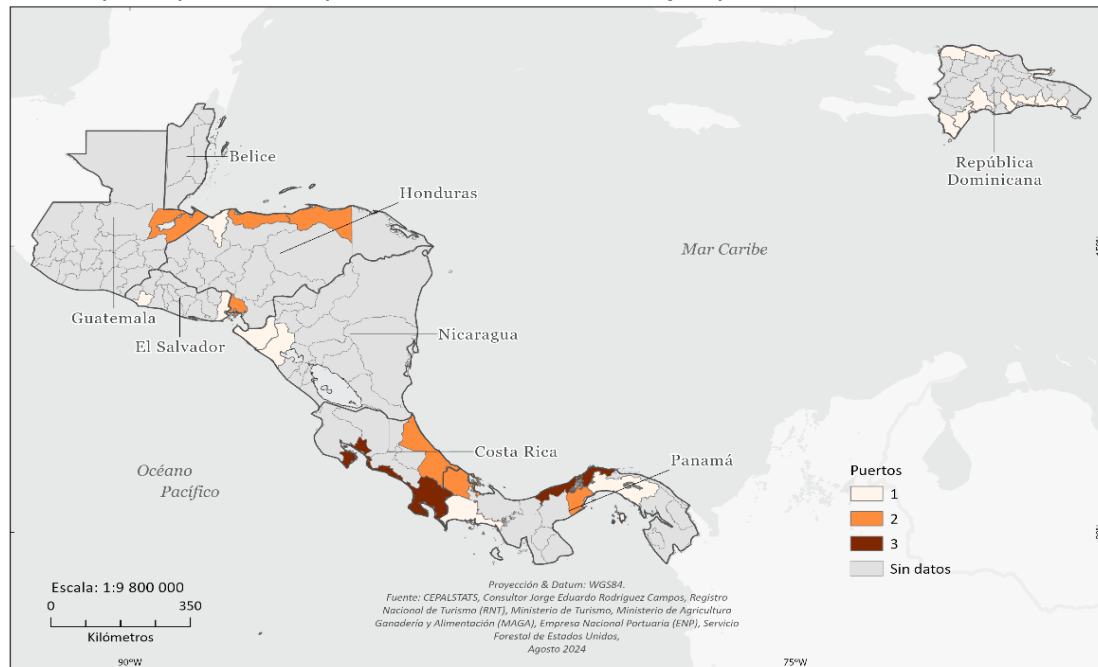
### Mapa 73

#### Puertos por país en América Central y República Dominicana



Mapa 74

Puertos por departamento/provincia en América Central y República Dominicana



Línea Férrea

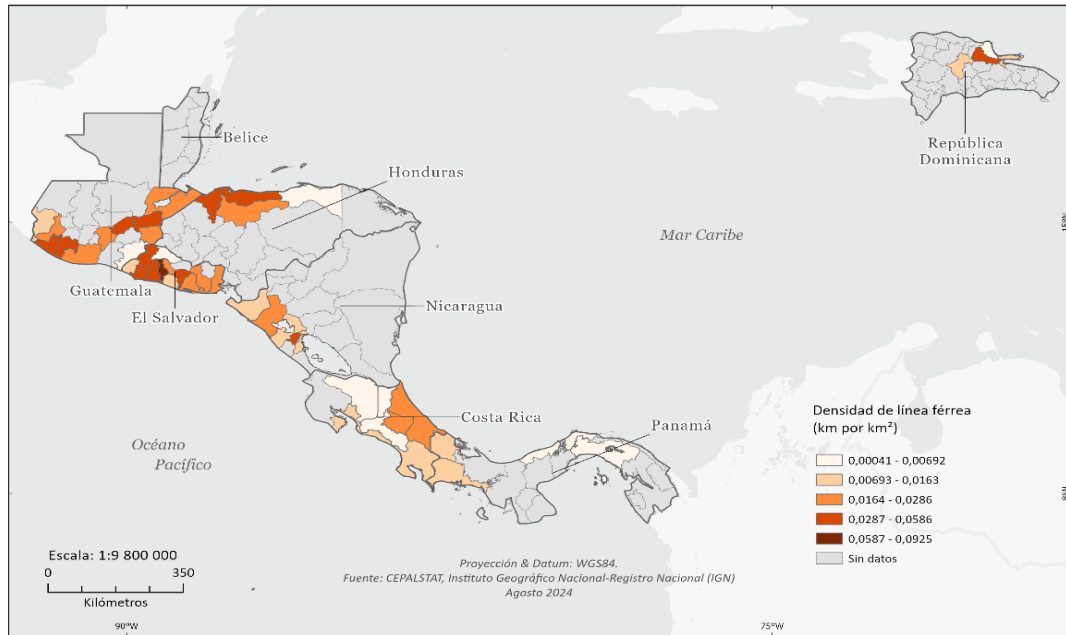
Mapa 75

Densidad de línea férrea por país en América Central y República Dominicana



Mapa 77

Densidad de línea férrea por departamento/provincia en América Central y República Dominicana



Hoteles

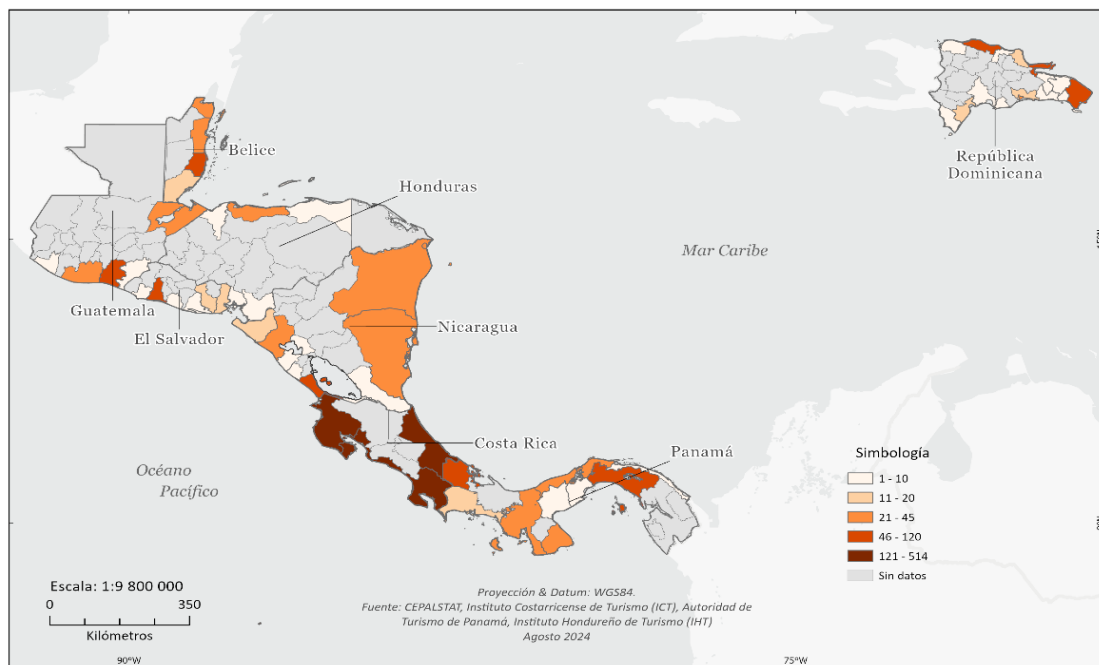
Mapa 77

Hoteles por país en América Central y República Dominicana



Mapa 78

Hoteles por departamento/provincia en América Central y República Dominicana



Marinas

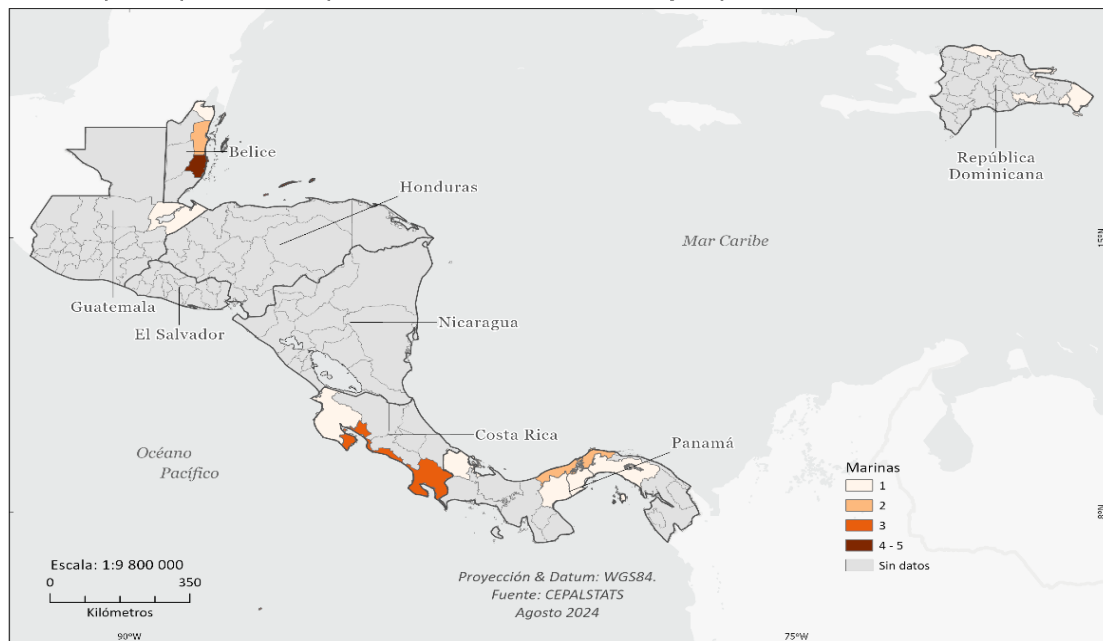
Mapa 79

Marinas por país en América Central y República Dominicana



Mapa 80

Marinas por departamento/provincia en América Central y República Dominicana



iii. Uso del suelo

Mapa 81

Mayor porcentaje de uso del suelo por país en América Central y República Dominicana



Mapa 82

Mayor porcentaje de uso del suelo por Departamento/Provincia en América Central y República Dominicana

