

ESTUDIOS

Cambio global en América Central: desafíos socioambientales y oportunidades para la cooperación regional

Adolfo Quesada-Román¹

Resumen: El cambio global presenta grandes desafíos en América Central, como el cambio climático, desastres hidrometeorológicos, contaminación y degradación del suelo. Este estudio analiza tendencias de 1990 a 2020 mediante variables socioambientales del Banco Mundial y EM-DAT. A través de matrices de correlación por país, se identifican relaciones complejas entre factores socioeconómicos y ambientales. Los resultados revelan como la diversificación económica, más allá de la agricultura, impulsa el crecimiento del PIB y reduce las emisiones de CO₂, destacando el papel de la energía renovable en disminuir la huella de carbono. Además, resalta la gestión sostenible del agua dulce como clave para el desarrollo económico. Estos hallazgos son esenciales para informar políticas ambientales y estrategias de mitigación. Al adoptar enfoques integrados, América Central puede proteger su entorno natural y fomentar un desarrollo sostenible.

Palabras clave: Cambio global; Cambio climático; Gestión integrada de recursos hídricos; Impactos ambientales; Desarrollo sostenible; Gestión ambiental

Fecha de recepción: 9 de julio de 2025.

Fecha de admisión definitiva: 22 de julio de 2025.

¹ Universidad de Costa Rica, <https://orcid.org/0000-0001-6601-5254>, adolfo.quesadaroman@ucr.ac.cr.

Global Change in Central America: Socio-environmental Challenges and Opportunities for Regional Cooperation

Abstract: Global change poses major challenges in Central America, including climate change, hydrometeorological disasters, pollution, and soil degradation. This study analyzes trends from 1990 to 2020 using socio-environmental variables from the World Bank and EM-DAT. Through country-level correlation matrices, it identifies complex relationships between socioeconomic and environmental factors. The results reveal how economic diversification beyond agriculture drives GDP growth and reduces CO₂ emissions, highlighting the role of renewable energy in lowering the carbon footprint. Additionally, it emphasizes sustainable freshwater management as key to economic development. These findings are essential for informing environmental policies and mitigation strategies. By adopting integrated approaches, Central America can protect its natural environment and foster sustainable development.

Keywords: *Global change; Climate change; Integrated water resources management; Environmental impacts; Sustainable development; Environmental management.*

Changement global en Amérique centrale: défis socio-environnementaux et opportunités pour la coopération régionale

Résumé : Le changement global représente de grands défis en Amérique centrale, tels que le changement climatique, les catastrophes hydrométéorologiques, la pollution et la dégradation des sols. Cette étude analyse les tendances de 1990 à 2020 à l'aide de variables socio-environnementales issues de la Banque mondiale et d'EM-DAT. À travers des matrices de corrélation par pays, elle identifie des relations complexes entre les facteurs socioéconomiques et environnementaux. Les résultats révèlent comment la diversification économique au-delà de l'agriculture stimule la croissance du PIB et réduit les émissions de CO₂, en soulignant le rôle des énergies renouvelables dans la diminution de l'empreinte carbone. De plus, elle met en avant la gestion durable de l'eau douce comme élément clé du développement économique. Ces résultats sont essentiels pour éclairer les politiques environnementales et les stratégies de mitigation. En adoptant des approches intégrées, l'Amérique centrale peut protéger son environnement naturel et promouvoir un développement durable.

Mots clés : *Changement global ; Changement climatique ; Gestion intégrée des ressources en eau ; Impacts environnementaux ; Développement durable ; Gestion environnementale.*

I. Introducción

El cambio global se refiere a una serie de transformaciones y fenómenos interconectados que afectan diversos aspectos del Sistema Tierra (Steffen et al., 2005). Caracterizado por fenómenos como el cambio climático, la contaminación ambiental, la degradación del suelo y la pérdida de biodiversidad, el cambio global ha desencadenado importantes inestabilidades en el Sistema Tierra (Steffen et al., 2020). El cambio climático, con

el aumento de las temperaturas globales, ha influido en el aumento de los desastres hidrometeorológicos a nivel mundial, incluyendo tormentas, sequías, inundaciones y deslizamientos (Abbass et al., 2022). Entre 2000 y 2018, los desastres de origen natural resultaron en pérdidas económicas por 3,085 billones de dólares, siendo los desastres hidrometeorológicos los que causaron los impactos más destructivos en la economía y la sociedad (Kaur y Sood, 2020). Además, la pérdida de biodiversidad promueve la destrucción del hábitat, la sobreexplotación de especies y la introducción de especies invasoras (Sage, 2020). Adicionalmente, la conversión de ecosistemas naturales en tierras agrícolas o urbanas impacta significativamente el equilibrio ecológico, contribuyendo al cambio climático y la pérdida de biodiversidad (Borrelli et al., 2022). Si bien el concepto de cambio global surgió originalmente de las investigaciones sobre el cambio climático, se utiliza para adoptar una visión más sistémica de los cambios ambientales observados en las últimas décadas.

A pesar de un creciente cuerpo de investigación sobre el cambio global, persisten brechas en la comprensión de los impactos socioambientales específicos en regiones vulnerables como Centroamérica (Rodríguez-Robayo et al., 2022). Este estudio aborda la falta de análisis integrales que combinen dimensiones ambientales y socioeconómicas en los siete países centroamericanos. El cambio climático ha intensificado la recurrencia de ciclones tropicales, lluvias torrenciales, sequías, inundaciones y deslizamientos (Hagen et al., 2022; Quesada-Román, 2023), causando daños directos como pérdida de vidas e infraestructura, y efectos indirectos como degradación ambiental y pobreza (Quesada-Román y Campos-Durán, 2023; Panwar y Sen, 2019). Los esfuerzos de investigación suelen enfocarse en países o eventos aislados, dejando un vacío en análisis regionales que faciliten la cooperación transfronteriza. Factores como la apertura financiera y el consumo de energía agravan la degradación ambiental, mientras que el uso de energías renovables mitiga estos efectos (Koengkan et al., 2019). Las disparidades socioeconómicas exacerban la vulnerabilidad regional, destacando la necesidad de estrategias coordinadas y equitativas (Castellanos, 2022). Este documento propone un marco regional basado en análisis multivariados para fomentar una acción sostenible en Estados Miembros del SICA.

Enfrentar los desafíos del cambio climático en Centroamérica requiere estrategias como mejorar el monitoreo climático, zonificar peligros naturales y analizar sus implicaciones socioeconómicas. Esto incluye expandir redes de estaciones meteorológicas e hidrológicas para datos precisos (Hidalgo et al., 2013). Aunque se han propuesto estas estrategias, persisten brechas en la coordinación del intercambio transfronterizo de datos y respuestas colaborativas. El monitoreo de áreas propensas a desastres frecuentes como inundaciones y deslizamientos permite respuestas más efectivas (Acosta-Quesada y Quesada-Román, 2025; Garro-Quesada et al., 2023; Quesada-Román, 2021). La

resiliencia climática también exige capacitación comunitaria con enfoque de género y sostenibilidad (Van Niekerk et al., 2018).

Factores como la deforestación, contaminación y urbanización desordenada agravan la vulnerabilidad ambiental (Maria et al., 2017; Sánchez-Murillo et al., 2020). Además, la desigualdad socioeconómica aumenta la exposición a desastres y enfermedades (Ortiz et al., 2021). Países como Nicaragua y Guatemala enfrentan rápida deforestación, mientras que Costa Rica y Panamá mantienen coberturas forestales más estables (Redo et al., 2012). La contaminación ambiental causada por actividades industriales y domésticas afecta la salud y los ecosistemas (Ferronato y Torretta, 2019). El uso de la estadística exploratoria y el análisis multivariado son clave para entender estos procesos y promover cooperación regional. Este estudio utiliza análisis multivariados para evaluar desafíos ambientales y socioeconómicos transfronterizos, proponiendo estrategias de integración regional que involucren a sectores públicos, privados y académicos. Una acción conjunta puede mitigar los efectos del cambio global en esta región diversa y vulnerable (Hall, 1985). Esta iniciativa busca generar una línea de investigación y concientización política sobre la necesidad de mejores acciones y toma de decisiones respecto al cambio global con un enfoque regional de los Estados Miembros del SICA.

Este artículo aborda esta brecha al examinar las dimensiones socioeconómicas de la degradación ambiental en la región. Esto es esencial para enfrentar adecuadamente los desafíos del cambio global de manera sostenible y pertinente a la realidad regional. El objetivo de este artículo es analizar los impactos socioambientales del cambio global en América Central mediante un enfoque multivariado y regional. Busca identificar los factores determinantes clave, evaluar las vulnerabilidades y proponer estrategias coordinadas para fortalecer la resiliencia y la cooperación regional. La cooperación e integración regional sentarían las bases para la creación de planes de acción conjuntos que involucren a instituciones públicas, el ámbito académico, empresas privadas y organizaciones no gubernamentales, constituyendo la clave para abordar los problemas actuales y futuros en una región vulnerable al cambio global.

2. Metodología

2.1. Entorno físico y socioeconómico de Centroamérica

La topografía y el clima de América Central desempeñan un papel crucial en su panorama ambiental y socioeconómico (Figura 1). El Arco Volcánico Centroamericano, una cadena de volcanes que se extiende de Guatemala a Panamá, genera suelos fértiles

ideales para la agricultura, pero también implica riesgos de erupciones volcánicas y terremotos (Alvarado et al., 2017; Gazel et al., 2021). Las costas del Pacífico y el Caribe sustentan ecosistemas ricos que favorecen las industrias pesquera y turística (Caviedes et al., 2020). Además, los climas variados, desde selvas tropicales hasta tierras altas templadas, diversifican las prácticas agrícolas y la gestión hídrica (Harvey et al., 2005; Imbach et al., 2017; Quesada-Román et al., 2022).

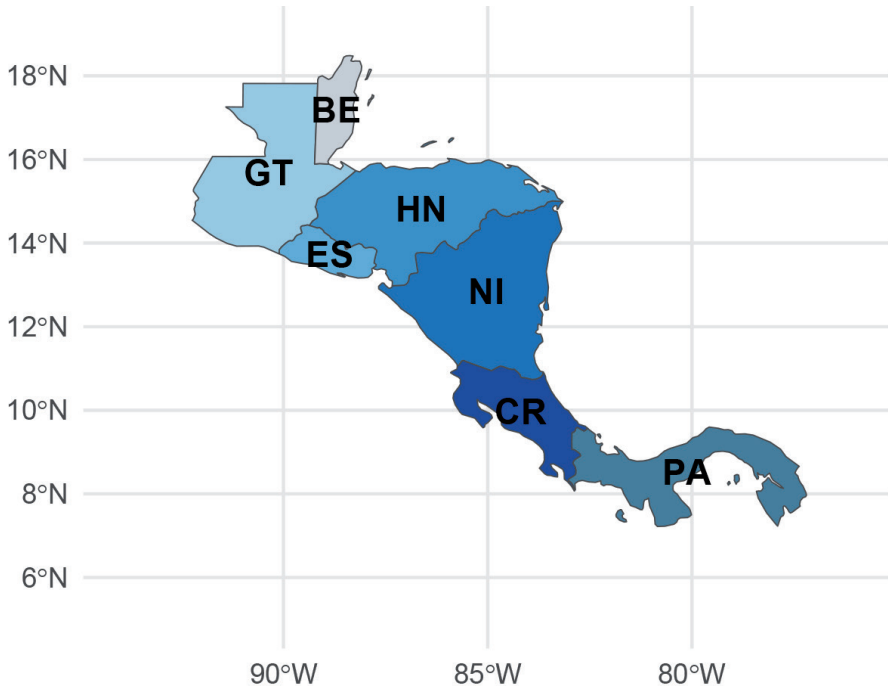
La susceptibilidad a desastres hidrometeorológicos define gran parte del contexto geográfico de la región. Huracanes, tormentas tropicales, inundaciones y deslizamientos son frecuentes, afectando zonas urbanas y rurales (Quesada-Román y Campos-Durán, 2023; Quesada-Román et al., 2024). Paralelamente, fenómenos como El Niño generan sequías severas que afectan la agricultura, la hidroelectricidad y el suministro de agua (Sánchez-Murillo et al., 2020). La interacción entre la topografía y los patrones climáticos subraya la importancia de estrategias de gestión y planificación enfocadas en la reducción de riesgos (Hidalgo et al., 2024).

Las economías de Centroamérica están estrechamente vinculadas a sus contextos geográficos y ambientales. Tradicionalmente agrarias, dependen de la agricultura, la silvicultura y la pesca, sectores vulnerables a la variabilidad climática (Ley et al., 2023). Cultivos como café, banano y caña de azúcar son clave para la exportación, pero requieren estabilidad climática y suelos fértiles (Goebel y Montero, 2021). En las últimas décadas, la diversificación económica ha ganado importancia, con inversiones en energía renovable, turismo y manufactura para reducir la vulnerabilidad a choques ambientales (Alpizar et al., 2020). Sin embargo, la creciente urbanización en ciudades como Tegucigalpa, San Salvador, San José y Ciudad de Guatemala enfrenta desafíos significativos como la contaminación y la gestión de recursos (Maria et al., 2017).

La contaminación del aire, agua y suelo causada por actividades industriales, agrícolas y residuos mal gestionados representa riesgos para la salud y los ecosistemas (Ortiz et al., 2021). La degradación del suelo, impulsada por la deforestación y prácticas agrícolas insostenibles, afecta la productividad y la fertilidad del terreno (Guerra et al., 2020). Estas problemáticas subrayan la necesidad de políticas integradas que mitiguen sus impactos.

La energía renovable y la gestión sostenible del agua son fundamentales para abordar estos desafíos. La región tiene gran potencial en energías hidroeléctrica, geotérmica, eólica y solar, que promueven sostenibilidad y desarrollo económico (Dolezal et al., 2013). Además, prácticas de gestión hídrica, como riego eficiente y protección de cuencas, son esenciales para garantizar el acceso al agua, clave para la agricultura, industria y uso doméstico (Nathaniel et al., 2021). Priorizar estas estrategias puede fortalecer la resiliencia de Centroamérica y fomentar un desarrollo sostenible.

FIGURA 1. Países de América Central: BE: Belice, GT: Guatemala, HN: Honduras, ES: El Salvador, NI: Nicaragua, CR: Costa Rica y PA: Panamá



2.2. Bases de datos utilizadas

Este estudio analizó las dinámicas socioeconómicas y ambientales del cambio global en Centroamérica entre 1990 y 2020, enfocándose en siete países: Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá. Los datos se obtuvieron de la base del Banco Mundial (<https://data.worldbank.org/>), que ofrece parámetros consistentes entre países, complementados con datos sobre pérdidas por desastres de EM-DAT (CRED, 2023). Se seleccionaron inicialmente once variables que representan aspectos críticos del cambio global, incluyendo emisiones de carbono y energía, uso del suelo, recursos hídricos e impactos económicos. Estas variables incluyeron:

- PIB per cápita (USD constantes de 2015) (GDP).
- Superficie boscosa (% del área terrestre) (FA).

- Tierra agrícola (% del área terrestre) (AL).
- Ingreso nacional neto ajustado per cápita (USD corrientes) (ANN).
- Emisiones de CO₂ (kt) (COKT).
- Emisiones de CO₂ (toneladas métricas per cápita) (COMT).
- Consumo de energía renovable (% del consumo total final de energía) (REC).
- Recursos internos renovables de agua per cápita (metros cúbicos) (RIF).
- Emisiones totales de gases de efecto invernadero (kt de CO₂ equivalente) (GGE).
- Rentas de recursos naturales (% del PIB) (NRR).
- Pérdidas económicas por desastres en miles de dólares (DL).

2.3. Tendencias regionales

Para explorar la evolución temporal de variables clave, se realizó un análisis de series temporales utilizando las variables GDP, AL, COMT, REC, RIF, NRR y DL. Los datos anuales de cada país fueron agregados y visualizados mediante gráficos de líneas para resaltar patrones, fluctuaciones y posibles factores de cambio. Estas visualizaciones facilitaron la identificación de tendencias a largo plazo (por ejemplo, aumentos, disminuciones o estabilidad) y permitieron contextualizar estas tendencias dentro de dinámicas regionales como el crecimiento económico, los cambios en el uso del suelo, la adopción de energías renovables y la vulnerabilidad ante desastres.

Al contrastar las trayectorias de los países individualmente, el análisis reveló similitudes y diferencias regionales. Por ejemplo, Panamá y Costa Rica mostraron un crecimiento constante del PIB, mientras que Honduras y Nicaragua evidenciaron un desarrollo económico más lento. El uso de tierras agrícolas disminuyó en países en proceso de urbanización como Costa Rica y Panamá, pero se mantuvo estable en economías dependientes de la agricultura como Honduras. Las emisiones de CO₂ variaron significativamente, reflejando diferencias en los niveles de industrialización y las políticas energéticas.

2.4. Análisis nacionales y subnacionales

Para abordar la multicolinealidad y garantizar la integridad del análisis, se realizó una evaluación del Factor de Inflación de la Varianza (VIF) y una matriz de correlación. Las variables con alta multicolinealidad (VIF > 10) o fuerte correlación ($|r|$ cercano a 1) fueron excluidas, resultando en la eliminación de FA, ANN, COKT y GGE. Las variables restantes (GDP, AL, COMT, REC, RIF, NRR y DL) fueron consideradas las más relevantes debido a su representación directa de las transformaciones socioeconómicas y ambientales en Centroamérica.

Posteriormente, se generaron matrices de correlación para inspeccionar visual y estadísticamente las relaciones entre las variables retenidas, resaltando los cambios durante las últimas tres décadas a nivel nacional y regional. El análisis reveló interconexiones y tendencias críticas entre variables, proporcionando información sobre impactos ambientales y económicos en toda la región. Para mejorar la interpretabilidad, las variables se normalizaron utilizando el método de escalamiento min-max, estandarizando los valores en un rango de 0 a 1. Los valores normalizados permitieron una comparación directa entre variables y países, asegurando la comparabilidad sin priorizar una categoría sobre otra (por ejemplo, económica vs. ambiental). Por ejemplo, un valor alto de PIB refleja un mejor desempeño económico, mientras que un valor alto de REC indica una mayor dependencia de energía renovable.

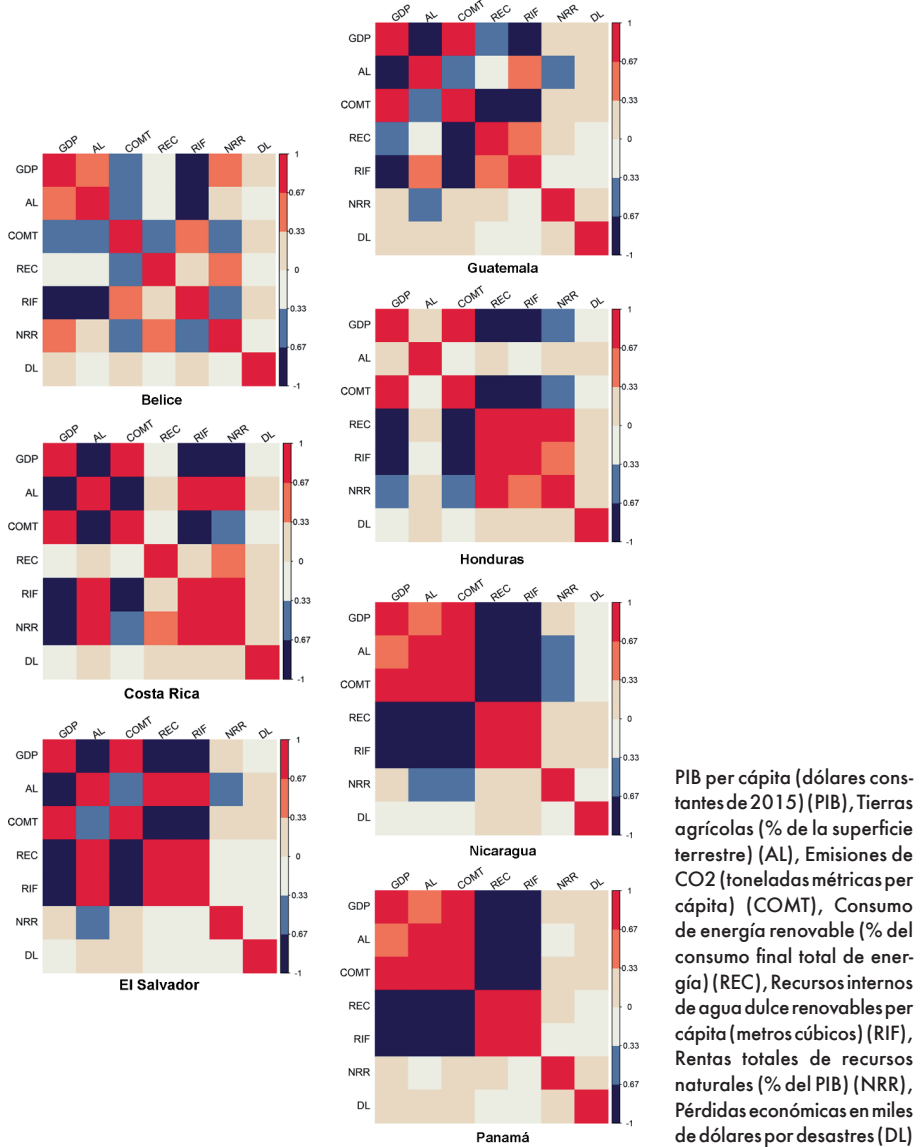
3. Resultados

3.1. *Análisis socioambiental a escala nacional*

Los resultados de este estudio revelan patrones clave del cambio global en los siete países centroamericanos entre 1990 y 2020. A través de un análisis detallado de la matriz de correlación, se identifican patrones significativos tanto a nivel regional como nacional, lo que proporciona una comprensión integral de las implicaciones del cambio global y sus desafíos (Figura 2). A nivel regional, la diversificación de la economía más allá de la agricultura está asociada con un mayor desarrollo económico. Esta tendencia es evidente en los países que han cambiado con éxito su enfoque económico de la agricultura a otros sectores, lo que se ha traducido en un mayor PIB per cápita. Sin embargo, este crecimiento económico también está vinculado a mayores emisiones de CO₂, lo que subraya la necesidad de equilibrar el crecimiento económico con la sostenibilidad ambiental (Figura 3).

El análisis destaca que la expansión del consumo de energía renovable está correlacionada positivamente con la reducción de las emisiones de CO₂, lo que indica que una transición a fuentes de energía renovables puede mitigar el impacto de las actividades económicas en el medio ambiente. Además, la gestión sostenible de los recursos de agua dulce surge como esencial para el desarrollo económico, dada su fuerte correlación positiva con el PIB per cápita. Esto subraya la importancia de las estrategias eficaces de gestión de los recursos hídricos para apoyar las actividades económicas y, al mismo tiempo, preservar la integridad ambiental (Figura 4a). Curiosamente, la variable de las pérdidas económicas en miles de dólares a causa de los desastres no muestra una fuerte relación positiva o negativa con otras variables ambientales o socioeconómicas

FIGURA 2. Matrices de correlación de las distintas variables utilizadas en el análisis por país



PIB per cápita (dólares constantes de 2015) (PIB), Tierras agrícolas (% de la superficie terrestre) (AL), Emisiones de CO2 (toneladas métricas per cápita) (COMT), Consumo de energía renovable (% del consumo final total de energía) (REC), Recursos internos de agua dulce renovables per cápita (metros cúbicos) (RIF), Rentas totales de recursos naturales (% del PIB) (NRR), Pérdidas económicas en miles de dólares por desastres (DL)

Fuente: elaboración propia a partir de los resultados del análisis.

en ninguno de los países (Figura 2). Esto sugiere que el impacto económico de los desastres está influenciado por una compleja interacción de factores que va más allá del alcance de las variables estudiadas aquí, lo que pone de relieve la naturaleza multifacética de la resiliencia y la recuperación de los desastres.

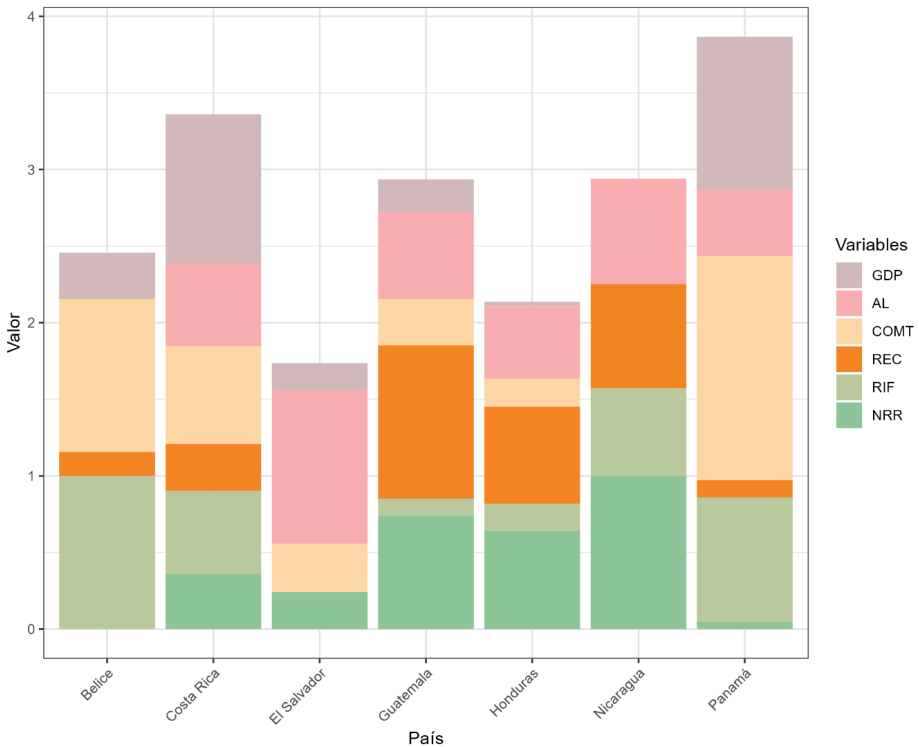
Los resultados específicos de cada país muestran particularidades y paralelismos interesantes entre los países (Figura 3). Belice muestra una fuerte correlación negativa entre los recursos internos renovables de agua dulce y el PIB per cápita. Este hallazgo pone de relieve el papel fundamental de los recursos de agua dulce en el desarrollo económico, destacando la necesidad de prácticas de gestión sostenible del agua para asegurar el crecimiento económico a largo plazo. Costa Rica muestra una correlación positiva entre las emisiones de CO₂ per cápita y el PIB per cápita, lo que indica que el desarrollo económico en el país está asociado con mayores emisiones. Esta relación subraya la importancia de implementar políticas verdes y promover la energía renovable para equilibrar el crecimiento económico con la sostenibilidad ambiental (Figura 4b). Al igual que Costa Rica, El Salvador muestra una correlación positiva entre las emisiones de CO₂ y el PIB per cápita. Esto sugiere que a medida que El Salvador continúa desarrollándose económicamente, hay un aumento correspondiente en las emisiones de CO₂, lo que requiere estrategias para disociar el crecimiento económico de la degradación ambiental.

La fuerte correlación negativa entre las tierras agrícolas y el PIB per cápita en Guatemala sugiere que una fuerte dependencia de la agricultura puede obstaculizar el desarrollo económico. Diversificar la economía y reducir la dependencia de la agricultura podría fomentar un mayor crecimiento económico y la sostenibilidad. Nicaragua muestra una fuerte correlación negativa entre el consumo de energía renovable y las emisiones de CO₂. Esto indica que aumentar la proporción de energía renovable en la matriz energética del país podría ayudar a reducir las emisiones de CO₂ y mejorar la sostenibilidad.

En Honduras, las correlaciones positivas entre las tierras agrícolas, el PIB per cápita y las emisiones de CO₂ per cápita indican que el aumento de las tierras agrícolas tiene un leve impacto en el desarrollo económico, pero también conduce a mayores emisiones. Este hallazgo destaca la necesidad de prácticas agrícolas sostenibles que respalden el crecimiento económico sin exacerbar la degradación ambiental. En Panamá, al igual que en Honduras, existen correlaciones positivas entre las tierras agrícolas, el PIB per cápita y las emisiones de CO₂ per cápita. Esto subraya la importancia de equilibrar la expansión agrícola con los esfuerzos de sostenibilidad ambiental para mitigar los impactos adversos del aumento de las emisiones. Los resultados indican que, si bien el desarrollo económico es crucial para la región, debe equilibrarse con los esfuerzos de sostenibilidad ambiental para mitigar los impactos negativos de las emisiones de

CO2. El consumo de energía renovable y la gestión sostenible de los recursos hídricos surgen como factores clave para promover la salud económica y ambiental (Figura 4c).

FIGURA 3. Gráfico de barras apiladas con las variables más influyentes normalizadas de 0 a 1, destacando sus influencias en cada país centroamericano



PIB per cápita (dólares constantes de 2015) (PIB), Tierras agrícolas (% de la superficie terrestre) (AL), Emisiones de CO2 (toneladas métricas per cápita) (COMT), Consumo de energía renovable (% del consumo final total de energía) (REC), Recursos internos de agua dulce renovables per cápita (metros cúbicos) (RIF), y Rentas totales de recursos naturales (% del PIB) (NRR).

Fuente: elaboración propia a partir de los resultados del análisis.

FIGURA 4. Los tres principales desafíos del cambio global que requieren atención urgente en Centroamérica: Gestión sostenible del agua (izquierda), Diversificación económica y sostenibilidad ambiental (centro) y Energía renovable y reducción de emisiones (derecha)



Créditos: Fátima Retana (Diseñadora gráfica).

El análisis revela importantes interdependencias en los factores ambientales y socioeconómicos de Centroamérica, como la vulnerabilidad compartida a los desastres hidrometeorológicos y la dependencia de economías basadas en recursos naturales. Estos puntos en común subrayan la importancia de la cooperación regional para desarrollar estrategias conjuntas de reducción del riesgo de desastres, gestión de recursos y desarrollo económico. Los resultados sugieren que los países de la región se beneficiarían de acciones políticas coordinadas que aprovechen las fortalezas colectivas y aborden los desafíos transfronterizos.

3.2. Variabilidad subnacional y dinámica socioambiental

Para profundizar la comprensión de cómo los impactos del cambio global se manifiestan de manera diferente dentro de las regiones de un país, se realizó una capa adicional de análisis a nivel subnacional utilizando ejemplos puntuales. En Guatemala, el departamento de Petén muestra un patrón contrastante en comparación con el promedio nacional. Si bien el país en general muestra una correlación negativa entre las tierras agrícolas y el PIB per cápita, Petén exhibe una ligera correlación positiva. Esto sugiere

que en las regiones con una expansión agrícola en curso hacia áreas forestales, las actividades económicas siguen estando fuertemente vinculadas a la agricultura, a diferencia de otras regiones en transición hacia economías más diversificadas. Se observaron patrones similares en Costa Rica, donde las provincias de Limón, Guanacaste y San José muestran dinámicas diferentes en cuanto a las emisiones de CO₂ y el crecimiento económico. Limón, que depende en gran medida del turismo y las actividades portuarias, tiene un menor crecimiento de las emisiones per cápita en comparación con el promedio nacional, mientras que Guanacaste y San José, con su importante base agrícola y urbana, se alinean más estrechamente con las tendencias nacionales.

En Honduras, por un lado, los departamentos de Cortés y Tegucigalpa muestran mayores emisiones de CO₂ per cápita en relación con el promedio nacional, impulsadas por sus actividades industriales y la expansión urbana, lo que pone de relieve la necesidad de estrategias específicas de reducción de emisiones. El departamento de Olancho, por otro lado, refleja la tendencia nacional de expansión de las tierras agrícolas que se correlaciona con un crecimiento modesto del PIB, lo que destaca la importancia de las prácticas agrícolas sostenibles. En Belice, el Distrito de Belice muestra una fuerte correlación negativa entre la disponibilidad de recursos hídricos y el PIB per cápita, impulsada por la alta dependencia del turismo y la agricultura, que requieren un uso intensivo del agua. En contraste, el Distrito de Cayo muestra un uso más equilibrado del agua, lo que sugiere que las políticas de conservación del agua podrían adaptarse regionalmente para abordar necesidades específicas.

En El Salvador, las áreas urbanas del departamento de San Salvador muestran una correlación positiva significativa entre el crecimiento económico y las emisiones de CO₂, lo que subraya la necesidad de políticas verdes urbanas. El departamento de Ahuachapán, con su enfoque en la agricultura, sigue la tendencia nacional de dependencia agrícola, lo que indica la necesidad de iniciativas de diversificación. De manera similar, en Panamá, las provincias de Panamá Oeste y Panamá, con su rápida urbanización y crecimiento industrial, muestran un marcado aumento de las emisiones de CO₂ per cápita, lo que requiere intervenciones sólidas de planificación urbana. Mientras tanto, las provincias rurales de Bocas del Toro o Chiriquí, con su dependencia de la agricultura, reflejan el patrón nacional de uso de la tierra agrícola en correlación con el crecimiento económico, lo que sugiere la necesidad de estrategias de desarrollo sostenible. En Nicaragua, el departamento de Managua se destaca con una alta correlación positiva entre el crecimiento económico y las emisiones de CO₂, impulsadas por las actividades industriales y urbanas, lo que destaca la urgencia de implementar controles de emisiones. Por el contrario, las numerosas regiones nicaragüenses muestran una mayor dependencia de la agricultura, lo que sugiere un enfoque diferenciado para la planificación económica regional.

4. Discusión

4.1. Factores socioeconómicos y ambientales claves en la región

El análisis revela que los factores socioeconómicos y ambientales más críticos que se fusionan en Centroamérica incluyen la diversificación económica, las prácticas agrícolas, las emisiones de CO₂, el consumo de energía renovable y la gestión de los recursos hídricos. La diversificación económica más allá de la agricultura se asocia positivamente con el crecimiento del PIB, pero también está vinculada al aumento de las emisiones de CO₂, lo que enfatiza la necesidad de un enfoque equilibrado para el desarrollo. Este hallazgo se alinea con estudios previos que indican que, si bien el cambio de una economía basada en la agricultura a otros sectores puede impulsar el crecimiento económico, a menudo se produce a costa de una mayor degradación ambiental (Booth et al., 2020). El consumo de energía renovable surge como un factor fundamental, mostrando una fuerte relación inversa con las emisiones de CO₂, lo que subraya su potencial para promover el crecimiento sostenible. Esta tendencia resalta el papel fundamental que pueden desempeñar las fuentes de energía renovables, como la solar y la eólica, en la reducción de la huella de carbono al tiempo que respaldan las actividades económicas (Dolezal et al., 2013). Los recursos hídricos, representados por los recursos internos renovables de agua dulce per cápita, también son cruciales, lo que pone de relieve la dependencia de la región de una gestión eficaz del agua para el desarrollo económico. La gestión sostenible de los recursos hídricos es esencial para mantener el equilibrio entre las necesidades económicas y la preservación del medio ambiente (Hidalgo, 2021).

4.2. Impactos futuros del cambio climático sobre las variables estudiadas

Los impactos futuros del cambio climático probablemente exacerbarán los desafíos existentes en la región. El aumento de la frecuencia e intensidad de los desastres hidrometeorológicos, como inundaciones, sequías y huracanes, ejercerán presión sobre los sistemas socioeconómicos y ambientales (Zorn, 2018). Se espera que estos eventos se vuelvan más severos con el cambio climático, causando interrupciones significativas en la infraestructura, la agricultura y los medios de vida (Strobl, 2012). A medida que avanza el cambio climático, la productividad agrícola podría verse aún más comprometida, afectando la seguridad alimentaria y los medios de vida (Imbach et al., 2017). Esto podría conducir a un aumento de la pobreza y la migración, lo que estresará aún más el tejido socioeconómico de la región. Las emisiones de CO₂ pueden seguir aumentando si el crecimiento económico no se desvincula del uso de combustibles fósiles,

lo que agravará el calentamiento global. Por lo tanto, es imperativo invertir en energía renovable, que desempeñará un papel aún más crítico, lo que requerirá inversiones sustanciales para compensar los impactos negativos del cambio climático. Los recursos hídricos serán cada vez más escasos, lo que requerirá estrategias de gestión innovadoras para garantizar la sostenibilidad y la resiliencia. Será esencial contar con medidas y tecnologías eficaces de conservación del agua para adaptarse al cambio climático y garantizar la disponibilidad de agua para todos los sectores (Huang et al., 2021).

4.3. Implicaciones de las disparidades intranacionales para las intervenciones de política

El análisis subnacional revela que los impactos del cambio global no son homogéneos dentro de los países, lo que sugiere que las intervenciones de política deben adaptarse a las especificidades regionales. Por ejemplo, en áreas como Petén en Guatemala, el norte de Costa Rica, la península de Azuero en Panamá y Santa Rosa en Honduras, donde el crecimiento económico sigue estando estrechamente vinculado a la expansión agrícola, las políticas deben centrarse en prácticas agrícolas sostenibles e incentivos de conservación forestal para mitigar la degradación ambiental. En cambio, las regiones dedicadas a la agricultura y el turismo en toda América Central podrían beneficiarse de políticas que promuevan el turismo verde y la gestión costera sostenible, aprovechando las menores emisiones de CO₂ asociadas con estas actividades. Estas estrategias específicas no solo abordarían los desafíos únicos que enfrentan las diferentes regiones, sino que también mejorarían la resiliencia nacional general al cambio global. Además, las disparidades observadas en la gestión de los recursos hídricos entre regiones como Guanacaste y el Valle Central en Costa Rica, Sula, Cortés y Tegucigalpa en Honduras, San Salvador, las provincias de Panamá Oeste y Panamá, y Managua resaltan la necesidad de esfuerzos localizados de conservación del agua. En regiones con escasez de agua, las inversiones en técnicas de riego eficientes y sistemas de recolección de agua de lluvia podrían mitigar significativamente los impactos de la variabilidad climática en la disponibilidad de agua.

4.4. Cambios de política realistas para mitigar el cambio global

Los responsables de las políticas en Centroamérica deben adoptar un enfoque multifacético para abordar los desafíos que plantea el cambio global. Promover la diversificación económica debe ser una prioridad, alentando a sectores más allá de la agricultura, como la tecnología y los servicios, a reducir la dependencia de la agricultura y promover un crecimiento económico sostenible (Nakamura et al., 2024). Esta

estrategia puede ayudar a mitigar el impacto ambiental asociado con la expansión agrícola y promover un desarrollo económico más equilibrado. Invertir en energía renovable es crucial, mejorando la infraestructura de energía renovable e incentivando su uso para ayudar a reducir las emisiones de CO₂ y promover la sostenibilidad ambiental (Vanegas Cantarero, 2020). Los responsables de las políticas deben crear condiciones favorables para las inversiones en energía renovable a través de subsidios, incentivos fiscales y marcos regulatorios que respalden las iniciativas de energía limpia (Lu et al., 2020). Se debe desarrollar una gestión integrada de los recursos hídricos, con políticas integrales que prioricen la conservación, el uso eficiente y la protección de los recursos hídricos. Esto incluye medidas como la fijación de precios del agua, el reciclaje y el desarrollo de infraestructura para el uso y la distribución eficientes del agua. Mejorar la preparación para desastres mediante el fortalecimiento de los sistemas de alerta temprana, la resiliencia de la infraestructura y la preparación de las comunidades puede mitigar los impactos de los desastres relacionados con el clima (Krichene et al., 2023; Alimonti y Mariani, 2024). La cooperación regional es esencial, y los países colaboran en iniciativas de políticas que aborden los desafíos ambientales transfronterizos y compartan las mejores prácticas. Los esfuerzos conjuntos en áreas como la gestión de cuencas hidrográficas, la respuesta a desastres y la adaptación al clima pueden generar beneficios significativos para todos los países involucrados (Karlsson et al., 2020).

4.5. Importancia del análisis regional para los estudios socioambientales y del cambio global

La realización de análisis regionales utilizando datos específicos de cada país es vital para comprender la dinámica compleja del cambio global y las interacciones socioambientales (Abbass et al., 2022). Este enfoque permite obtener información contextual, lo que proporciona una comprensión matizada de cómo se manifiestan los fenómenos globales a nivel local, teniendo en cuenta contextos geográficos, climáticos y sociopolíticos únicos. Al examinar los datos a nivel regional, los investigadores y los responsables de las políticas pueden identificar vulnerabilidades y fortalezas específicas, lo que orienta las intervenciones específicas y la asignación de recursos. Los estudios comparativos entre países pueden destacar las mejores prácticas y los desafíos comunes, lo que fomenta las soluciones colaborativas (Hoffmann et al., 2020).

Se recomienda fortalecer el enfoque regional incorporando el contexto del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA), destacando el papel de sus políticas e instancias en la gestión del cambio global. Este enfoque no solo amplía la perspectiva más allá del ámbito nacional, sino que permite que los hallazgos sean útiles y replicables entre los

Estados Miembros del SICA. Por ejemplo, las iniciativas de energía renovable exitosas en un país pueden servir de modelo para otros, mientras que los desafíos compartidos, como la escasez de agua, pueden abordarse mediante estrategias conjuntas. Además, los conocimientos de los análisis regionales pueden informar las estrategias globales para el desarrollo sostenible, lo que contribuye a una comprensión y una acción más amplias sobre el cambio global. Al integrar los hallazgos de diversas regiones, los análisis globales pueden captar mejor la complejidad de los sistemas ambientales y socioeconómicos, lo que conduce a políticas y acciones globales más efectivas (Jung et al., 2021). Por último, este estudio subraya la importancia de integrar los factores socioeconómicos y ambientales en la planificación de políticas para abordar los desafíos multifacéticos del cambio global en Centroamérica. Las investigaciones futuras deben seguir perfeccionando estos análisis, considerando los datos y las tendencias emergentes, para apoyar el desarrollo sostenible y la resiliencia en la región y más allá.

Los resultados de este estudio ponen de relieve la naturaleza interconectada de los desafíos ambientales y socioeconómicos en América Central. Por ejemplo, la alta correlación entre las pérdidas económicas relacionadas con los desastres y la degradación ambiental en varios países indica que las políticas nacionales aisladas pueden ser insuficientes para mitigar los efectos del cambio global. Por lo tanto, la cooperación regional es esencial para abordar estos problemas transfronterizos de manera eficaz. Los planes de acción conjuntos centrados en desafíos compartidos, como la expansión de la energía renovable y la reducción del riesgo de desastres, permitirían a los países aunar recursos, compartir conocimientos y desarrollar estrategias cohesivas que beneficien a toda la región. Asimismo, es crucial alinear estos esfuerzos con las estrategias e iniciativas regionales del SICA, lo cual fortalecería la articulación institucional y la implementación de políticas integradas frente al cambio global.

4.6. Limitaciones del estudio

Si bien este estudio ofrece una visión integral de las dinámicas socioambientales en Centroamérica, es importante reconocer ciertas limitaciones. La disponibilidad y calidad de los datos varían entre países y años, lo que podría afectar la precisión de algunas comparaciones. Además, el uso de fuentes secundarias como el Banco Mundial y EM-DAT puede implicar sesgos en la recolección de datos originales. Asimismo, la normalización de variables, aunque útil para la comparabilidad, podría simplificar excesivamente algunas complejidades locales. Reconocer estas limitaciones permite fortalecer la transparencia del análisis y orientar futuras investigaciones hacia la mejora de metodologías y la integración de datos complementarios a escalas más detalladas.

5. Conclusiones

El cambio global impacta significativamente las dinámicas ambientales y socioeconómicas en Centroamérica, evidenciando diferencias y puntos comunes entre países que impulsan la cooperación regional de los Estados Miembros del SICA. Este análisis revela una fuerte correlación negativa entre la tierra agrícola y el PIB per cápita en Belice, Costa Rica, El Salvador y Guatemala, destacando la necesidad de diversificar sus economías para reducir la dependencia agrícola y fomentar el crecimiento sostenible. En Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala y Honduras, la correlación positiva entre emisiones de CO₂ per cápita y PIB per cápita evidencia que el desarrollo económico aumenta las emisiones, subrayando la urgencia de políticas verdes eficientes. Por otro lado, en Guatemala, Honduras, Nicaragua y Panamá, una correlación negativa entre consumo de energía renovable y emisiones de CO₂ refuerza la importancia de fomentar energías limpias para una sostenibilidad a largo plazo. Además, la correlación negativa entre recursos hídricos y PIB per cápita en varios países resalta la necesidad de políticas modernas de gestión hídrica para garantizar el desarrollo sostenible. La complejidad de correlacionar las pérdidas por desastres con otras variables refleja la exposición y vulnerabilidad de la región. Este estudio proporciona información clave para diseñar políticas que promuevan la diversificación económica y la sostenibilidad. Los hallazgos destacan que abordar los desafíos del cambio global requiere cooperación regional, integrando dimensiones ambientales, económicas y sociales. Esto permitirá a Centroamérica lograr un crecimiento equilibrado y preservar el medio ambiente, asegurando un futuro sostenible.

6. Referencias

ABBASS, K., QASIM, M. Z., SONG, H., MURSHED, M., MAHMOOD, H., & YOUNIS, I. (2022). "A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures". *Environmental Science and Pollution Research*, 29(28), 42539-42559.

ACOSTA-QUESADA, M., & QUESADA-ROMÁN, A. (2025). "Landslide and flood risk assessment in a rapidly urbanizing municipality of Costa Rica". *Journal of South American Earth Sciences*, 152, 105330.

ALIMONTI, G., & MARIANI, L. (2024). "Is the number of global natural disasters increasing?". *Environmental Hazards*, 23(2), 186-202.

ALPÍZAR, F., SABORÍO-RODRÍGUEZ, M., MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ, M. R., VIGUERA, B., VIGNOLA, R., CAPITÁN, T., & HARVEY, C. A. (2020). "Determinants of food insecurity among smallholder

farmer households in Central America: recurrent versus extreme weather-driven events". *Regional Environmental Change*, 20, 1-16.

ALVARADO, G. E., BENITO, B., STALLER, A., CLIMENT, Á., CAMACHO, E., ROJAS, W.,... & LINDHOLM, C. (2017). "The new Central American seismic hazard zonation: Mutual consensus based on up to day seismotectonic framework". *Tectonophysics*, 721, 462-476.

BANCO MUNDIAL. (2023). *Indicadores nacionales*. World Bank Data. <https://data.worldbank.org/>

BORRELLI, P., ROBINSON, D. A., PANAGOS, P., LUGATO, E., YANG, J. E., ALEWELL, C., WUEPER, D., MONTANARELLA, L., & BALLABIO, C. (2020). "Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015-2070)". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(36), 21994-22001.

BOOTH, J. A., WADE, C. J., & WALKER, T. W. (2020). *Understanding Central America: Global forces and political change*. Routledge.

CASTELLANOS, E. J. (2022). "Central America in dire need of inclusive climate resilient development with support from the international community". *PLOS Climate*, 1(11), e0000105.

CAVIEDES, V., ARENAS-GRANADOS, P., & BARRAGÁN-MUÑOZ, J. M. (2020). "Regional public policy for integrated coastal zone management in Central America". *Ocean & Coastal Management*, 186, 105114.

CRED (2023). *EM-DAT: The Emergency Events Database - Disasters by Country, 2023*. Database on Disasters. <https://www.emdat.be/>

DOLEZAL, A., MAJANO, A. M., OCHS, A., & PALENCIA, R. (2013). *The way forward for renewable energy in Central America*. WorldWatch Institute, Washington DC. See: www.worldwatch.org/way-forward-renewable-energy-central-america.

FERRONATO, N., & TORRETTA, V. (2019). "Waste mismanagement in developing countries: A review of global issues". *International journal of environmental research and public health*, 16(6), 1060.

FRANZKE, C. L., CIULLO, A., GILMORE, E. A., MATIAS, D. M., NAGABHATLA, N., ORLOV, A.,... & SILLMANN, J. (2022). "Perspectives on tipping points in integrated models of the natural and human Earth system: cascading effects and telecoupling". *Environmental Research Letters*, 17(1), 015004.

- GARRO-QUESADA, M. D. M., VARGAS-LEIVA, M., GIROT, P. O., & QUESADA-ROMÁN, A. (2023). "Climate Risk Analysis Using a High-Resolution Spatial Model in Costa Rica". *Climate*, 11(6), 127.
- GAZEL, E., FLORES, K. E., & CARR, M. J. (2021). "Architectural and tectonic control on the segmentation of the Central American volcanic arc". *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 49(1), 495-521.
- GOEBEL, A., & MONTERO, A. (2021). "Environmental History of Commodities in Central America". In *Oxford Research Encyclopedia of Latin American History*. 1-29 pp. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199366439.013.918>
- GUERRA, C. A., ROSA, I. M., VALENTINI, E., WOLF, F., FILIPPONI, F., KARGER, D. N.,... & EISENHAEUER, N. (2020). "Global vulnerability of soil ecosystems to erosion". *Landscape ecology*, 35, 823-842.
- HAGEN, I., HUGGEL, C., RAMAJO, L., CHACÓN, N., OMETTO, J. P., POSTIGO, J. C., & CASTELLANOS, E. J. (2022). "Climate change-related risks and adaptation potential in Central and South America during the 21st century". *Environmental Research Letters*, 17(3), 033002.
- HALL, C. (1985). "América Central como región geográfica". *Anuario de Estudios Centroamericanos*, 11(2), 5-24.
- HARVEY, C. A., ALFÍZAR, F., CHACÓN, M., & MADRIGAL, R. (2005). *Assessing linkages between agriculture and biodiversity in Central America: Historical overview and future perspectives*. Mesoamerican & Caribbean Region, Conservation Science Program. The Nature Conservancy (TNC), San José, Costa Rica.
- HIDALGO, H. G., AMADOR, J. A., ALFARO, E. J., & QUESADA, B. (2013). "Hydrological climate change projections for Central America". *Journal of Hydrology*, 495, 94-112.
- HIDALGO, H. G. (2021). "Climate variability and change in Central America: what does it mean for water managers?". *Frontiers in Water*, 2, 632739.
- HIDALGO, H., ALFARO, E., & QUESADA-ROMÁN, A. (2024). "Flood projections for selected Costa Rican main basins using CMIP6 climate models downscaled output in the HBV hydrological model for scenario SSP5-8.5". *Hydrological Research Letters*, 18(1), 34-42.
- HOFFMANN, R., DIMITROVA, A., MUTTARAK, R., CRESPO CUARESMA, J., & PEISKER, J. (2020). "A meta-analysis of country-level studies on environmental change and migration". *Nature Climate Change*, 10(10), 904-912.

- HUANG, Z., YUAN, X., & LIU, X. (2021). "The key drivers for the changes in global water scarcity: Water withdrawal versus water availability". *Journal of Hydrology*, 601, 126658.
- HUANG, J., ZHANG, G., ZHANG, Y., GUAN, X., WEI, Y., & GUO, R. (2020). "Global desertification vulnerability to climate change and human activities". *Land Degradation & Development*, 31(11), 1380-1391.
- IMBACH, P., BEARDSLEY, M., BOURONCLE, C., MEDELLIN, C., LÄDERACH, P., HIDALGO, H.,... & DONATTI, C. I. (2017). "Climate change, ecosystems and smallholder agriculture in Central America: an introduction to the special issue". *Climatic Change*, 141, 1-12.
- JUNG, M., ARNELL, A., DE LAMO, X., GARCÍA-RANGEL, S., LEWIS, M., MARK, J.,... & VISCONTI, P. (2021). "Areas of global importance for conserving terrestrial biodiversity, carbon and water". *Nature Ecology & Evolution*, 5(11), 1499-1509.
- KAUR, M., & SOOD, S. K. (2020). "Hydro-meteorological hazards and role of ICT during 2010-2019: A scientometric analysis". *Earth Science Informatics*, 13(4), 1201-1223.
- KOENGGAN, M., SANTIAGO, R., FUINHAS, J. A., & MARQUES, A. C. (2019). "Does financial openness cause the intensification of environmental degradation? New evidence from Latin American and Caribbean countries". *Environmental economics and policy studies*, 21, 507-532.
- KRICHENE, H., VOGT, T., PIONTEK, F., GEIGER, T., SCHÖTZ, C., & OTTO, C. (2023). "The social costs of tropical cyclones". *Nature Communications*, 14(1), 7294.
- LEAL FILHO, W., KOVALEVA, M., TSANI, S., ȚÎRCĂ, D. M., SHIEL, C., DINIS, M. A. P.,... & TRIPATHI, S. (2022). "Promoting gender equality across the sustainable development goals". *Environment, Development and Sustainability*, 1-22.
- LEY, D., GUILLÉN BOLAÑOS, T., CASTANEDA, A., HIDALGO, H. G., GIROT PIGNOT, P. O., FERNÁNDEZ, R.,... & CASTELLANOS, E. J. (2023). "Central America urgently needs to reduce the growing adaptation gap to climate change". *Frontiers in Climate*, 5, 1215062.
- LU, Y., KHAN, Z. A., ALVAREZ-ALVARADO, M. S., ZHANG, Y., HUANG, Z., & IMRAN, M. (2020). "A critical review of sustainable energy policies for the promotion of renewable energy sources". *Sustainability*, 12(12), 5078.
- MARIA, A., ACERO, J. L., AGUILERA, A. I., & LOZANO, M. G. (Eds.). (2017). *Central America urbanization review: making cities work for Central America*. World Bank Publications.

MAUSER, W., KLEPPER, G., RICE, M., SCHMALZBAUER, B. S., HACKMANN, H., LEEMANS, R., & MOORE, H. (2013). "Transdisciplinary global change research: the co-creation of knowledge for sustainability". *Current opinion in environmental sustainability*, 5(3-4), 420-431.

NATHANIEL, S. P., NWULU, N., & BEKUN, F. (2021). "Natural resource, globalization, urbanization, human capital, and environmental degradation in Latin American and Caribbean countries". *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 6207-6221.

NAKAMURA, J., SEAGER, R., LIU, H., COTTIER, F., PUMA, M. J., WRATHALL, D. J.,... & ADAMO, S. B. (2024). "Recent trends in agriculturally relevant climate in Central America". *International Journal of Climatology*.

OLDEMAN, L.R. (1998). *Soil Degradation: A Threat to Food Security?* Report 98/01. The Netherlands, Wageningen, International Soil Reference and Information Centre. 14 pp.

OLIVEIRA SOUZA, M. C., ROCHA, B. A., ADEYEMI, J. A., NADAL, M., DOMINGO, J. L., & BARBOSA JR, F. (2022). "Legacy and emerging pollutants in Latin America: A critical review of occurrence and levels in environmental and food samples". *Science of the Total Environment*, 848, 157774.

ORTIZ, D. I., PICHE-OVARES, M., ROMERO-VEGA, L. M., WAGMAN, J., & TROYO, A. (2021). "The impact of deforestation, urbanization, and changing land use patterns on the ecology of mosquito and tick-borne diseases in Central America". *Insects*, 13(1), 20.

PANWAR, V., & SEN, S. (2019). "Economic impact of natural disasters: An empirical re-examination". *Margin: The Journal of Applied Economic Research*, 13(1), 109-139.

QUESADA-ROMÁN, A. (2021). "Landslides and floods zonation using geomorphological analyses in a dynamic catchment of Costa Rica". *Revista cartográfica*, (102), 125-138.

QUESADA-ROMÁN, A. (2022). "Disaster risk assessment of informal settlements in the Global South". *Sustainability*, 14(16), 10261.

QUESADA-ROMÁN, A. (2023). "Priorities for natural disaster risk reduction in Central America". *PLOS Climate*, 2(3), e000168.

QUESADA-ROMÁN, A., TORRES-BERNHARD, L., RUIZ-ÁLVAREZ, M. A., RODRÍGUEZ-MARADIAGA, M., VELÁZQUEZ-ESPINOZA, G., ESPINOSA-VEGA, C.,... & RODRÍGUEZ-BOLAÑOS, H. (2022). "Geodiversity, geoconservation, and geotourism in Central America". *Land*, 11(1), 48.

QUESADA-ROMÁN, A., & CAMPOS-DURÁN, D. (2023). "Natural disaster risk inequalities in Central America". *Papers in Applied Geography*, 9(1), 36-48.

QUESADA-ROMÁN, A., PÉREZ-UMAÑA, D., & BRENES-MAYKALL, A. (2023). "Relationships between COVID-19 and disaster risk in Costa Rican municipalities". *Natural Hazards Research*, 3(2), 336-343.

QUESADA-ROMÁN, A., HIDALGO, H., & ALFARO, E. (2024). "Assessing the impact of tropical cyclones on economic sectors in Costa Rica, Central America". *Tropical Cyclone Research and Review*, 13(3), 196-207.

REDO, D. J., GRAU, H. R., AIDE, T. M., & CLARK, M. L. (2012). "Asymmetric forest transition driven by the interaction of socioeconomic development and environmental heterogeneity in Central America". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(23), 8839-8844.

RODRÍGUEZ-ROBAYO, K.J.; TRUJILLO-MIRANDA, A.L.; MÉNDEZ-LÓPEZ, M.E.; PORTER-BOLLAND, L.; MONZÓN-ALVARADO, C.M.; LLA-MAS-TORRES, I.;... CHAN-CHUC, N. (2022). "Socioecological conflicts in Mexico: Trends and gaps in the regional analysis". *Environmental Science & Policy*, 127, 12-21.

SAGE, R. F. (2020). "Global change biology: a primer". *Global Change Biology*, 26(1), 3-30.

SÁNCHEZ MURILLO, R., ESQUIVEL HERNÁNDEZ, G., CORRALES SALAZAR, J. L., CASTRO CHACÓN, L., DURÁN QUESADA, A. M., GUERRERO HERNÁNDEZ, M.,... & TERZER WASSMUTH, S. (2020). "Tracer hydrology of the data scarce and heterogeneous Central American Isthmus". *Hydrological Processes*, 34(11), 2660-2675.

STEFFEN, W., SANDERSON, R. A., TYSON, P. D., JÄGER, J., MATSON, P. A., MOORE III, B., OLDFIELD, F., RICHARDSON, K., SCHELLHUBER, H.J., TURNER II, B.L., & WASSON, R. J. (2005). *Global change and the earth system: a planet under pressure*. Springer Science & Business Media.

STEFFEN, W., RICHARDSON, K., ROCKSTRÖM, J., SCHELLHUBER, H. J., DUBE, O. P., DUTREUIL, S., LENTON, T.M., & LUBCHENCO, J. (2020). "The emergence and evolution of Earth System Science". *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(1), 54-63.

STROBL, E. (2012). "The economic growth impact of natural disasters in developing countries: Evidence from hurricane strikes in the Central American and Caribbean regions". *Journal of Development economics*, 97(1), 130-141.

VAN NIEKERK, D., NEMAKONDE, L. D., KRUGER, L., & FORBES-GENADE, K. (2018). "Community-based disaster risk management". *Handbook of disaster research*, 411-429.

VANEGAS CANTARERO, M. M. (2020). "Of renewable energy, energy democracy, and sustainable development: A roadmap to accelerate the energy transition in developing countries". *Energy Research & Social Science*, 70, 101716.

WEI, T., SIMKO, V., LEVY, M., XIE, Y., JIN, Y., & ZEMLA, J. (2017). "Package 'corrplot'". *Statistician*, 56(316), e24.

XIE, H., ZHANG, Y., WU, Z., & LV, T. (2020). "A bibliometric analysis on land degradation: Current status, development, and future directions". *Land*, 9(1), 28.

ZORN, M. (2018). "Natural disasters and less developed countries". *Nature, tourism and ethnicity as drivers of (de) marginalization: Insights to marginality from perspective of sustainability and development*, 59-78.