



Notas Técnicas

Gerencia de Estudios y Estadísticas Económicas

Subgerencia de Cuentas Nacionales y Coyuntura

EVALUACIÓN GEOREFERENCIADA DEL SECTOR PRODUCTIVO Y LAS AMENAZAS CLIMÁTICAS EN ECUADOR

Nota Técnica No. 91

Elaborado por:

Alejandro Acosta* y **Ángel Sandoval†**

Junio, 2025

BANCO CENTRAL DEL ECUADOR

* Consultor del Instituto Global para el Crecimiento Verde (GGGI) y del Banco Central del Ecuador (BCE). Esta Nota Técnica fue elaborada en el marco del proyecto “Enverdecer el Banco Central del Ecuador”, financiado por el Fondo Verde del Clima (GCF) e implementado por GGGI.

† Funcionario de la Subgerencia de Estudios y Cuentas Nacionales.



Banco Central del Ecuador

Notas Técnicas

ISSN: 1390 – 0056

<https://contenido.bce.fin.ec/documentos/PublicacionesNotas/Catalogo/NotasTecnicas/indnotas.htm>

Notas Técnicas es una publicación que reporta los resultados preliminares de los trabajos elaborados por los funcionarios del Banco Central del Ecuador. Estos documentos están abiertos a la crítica y comentarios.

Se permite la reproducción de este documento siempre que se cite la fuente.

El análisis realizado no representa la posición del Banco Central del Ecuador o sus autoridades.

2025. © Banco Central del Ecuador

www.bce.ec



Resumen

Este estudio evalúa la exposición del sistema productivo formal del Ecuador frente a amenazas climáticas mediante un enfoque geoespacial, integrando información climática del sistema SPRACC con datos económicos georreferenciados del Banco Central del Ecuador. Se consideran cuatro amenazas prioritarias: sequías, lluvias intensas, altas temperaturas y heladas, cuya distribución espacial se analiza en función de su posible impacto sobre los sectores agropecuario, extractivo no petrolero, manufacturero y de servicios. La metodología incluye el procesamiento de registros empresariales geocodificados, la asignación espacial de producción económica a una grilla de 10×10 km y la estimación de modelos econométricos con controles espaciales (SAR, SEM) para identificar correlaciones entre amenazas climáticas y niveles de producción sectorial. Los resultados muestran una alta concentración de la producción nacional en zonas con amenazas moderadas a altas, especialmente en el caso de lluvias intensas y altas temperaturas. Además, se encuentra que el sector agropecuario es el más vulnerable a sequías y olas de calor, mientras que el sector servicios presenta mayor resiliencia relativa. El análisis confirma la existencia de autocorrelación espacial en los residuos, lo que justifica el uso de modelos espaciales para una mejor especificación. Esta investigación proporciona evidencia cuantitativa para apoyar decisiones de política pública orientadas a la adaptación y resiliencia económica frente al cambio climático, proponiendo un marco replicable para otros países en desarrollo.

Palabras clave: Cambio climático, Amenazas climáticas, Análisis espacial, Producción económica, Georreferenciación

Clasificación JEL: Q54, R11, C21

Abstract

This study assesses the exposure of Ecuador's formal productive system to climate threats through a geospatial approach, integrating climate data from the SPRACC system with georeferenced economic data from the Central Bank of Ecuador. Four priority hazards are considered (droughts, intense rainfall, high temperatures, and frosts) whose spatial distribution is analyzed in terms of their potential impact on the agricultural, non-oil extractive, manufacturing, and services sectors. The methodology includes the processing of geocoded business records, the spatial allocation of economic production to a 10×10 km grid, and the estimation of econometric models with spatial controls (SAR, SEM) to identify correlations between climate threats and sectoral production levels. The results show a high concentration of national production in areas exposed to moderate to high threats, particularly in the case of intense rainfall and high temperatures. Furthermore, the agricultural sector is found to be the most vulnerable to droughts and heatwaves, while the services sector shows greater relative resilience. The analysis confirms the presence of spatial autocorrelation in the residuals, which justifies the use of spatial models for improved specification. This research provides quantitative evidence to support public policy decisions aimed at economic adaptation and resilience in the face of climate change and proposes a replicable framework for other developing countries.

Keywords: Climate change, Climate threats, Spatial analysis, Economic output, Georeferencing

JEL Classification: Q54, R11, C21

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. El cambio climático	9
2.2. Escenarios del cambio climático	11
2.2.1. RCP 4.5: Escenario de Mitigación Moderada.....	11
2.2.2. RCP 8.5: Escenario de Alta Emisión	12
2.2.3. Aplicación de los RCP en el Análisis de Cambio Climático en Ecuador	12
2.3. Amenazas climáticas priorizadas para Ecuador	13
2.3.1. Sequías	14
2.3.2. Lluvias intensas.....	15
2.3.3. Altas temperaturas.....	16
2.3.4. Heladas.....	17
2.4. Impacto del cambio climático en la economía	18
3. MARCO METODOLÓGICO.....	24
3.1. Base de datos y fuentes de información	24
3.2. Procesamiento de los datos y estadística descriptiva.....	28
3.3. Metodología de análisis.....	40
3.4. Supuestos y limitaciones	44
4. RESULTADOS.....	46
5. CONCLUSIONES	53
REFERENCIAS.....	55
ANEXOS.....	57

Índice de tablas

Tabla 1. Interpretación del índice de amenaza climática para sequías.....	15
Tabla 2. Interpretación del índice de amenaza climática para lluvias intensas.....	16
Tabla 3. Interpretación del índice de amenaza climática para altas temperaturas	17
Tabla 4. Interpretación del índice de amenaza climática para heladas	18
Tabla 5. Proporción de datos georreferencias en términos de la producción total.....	31
Tabla 6. Composición de la producción por amenaza y sector para 2023	35
Tabla 7. Estimación por MCO y Moran I por sector y amenaza	48
Tabla 8. Estimación de modelos SAR y SEM	51
Tabla 9. Impactos directos, indirectos y totales estimados por el modelo SAR, por sector y variable climática.....	52

Índice de figuras

Figura 1. Mapas de amenazas climáticas priorizadas para Ecuador	28
Figura 2. Transformación de puntos a cuadrícula espacial	33
Figura 3. Distribución nacional de producción total por sector industrial	34
Figura 4. Rango intercuartil de producción total por sector, año y tipo de amenaza climática	39

Anexos

Anexo 1 . Relgas de validación aplicadas al proceso de geocodificación	57
--	----

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático representa un desafío global con impactos significativos en los sistemas naturales, sociales y económicos. En el caso de Ecuador, un país con una notable diversidad geográfica, climática y socioeconómica, estos impactos adquieren particular relevancia debido a las diferencias regionales en términos de vulnerabilidad y exposición. Por ejemplo, las zonas costeras son más propensas a inundaciones y aumento del nivel del mar, mientras que las regiones andinas enfrentan mayor riesgo de deslizamientos y eventos de heladas. A nivel global, este fenómeno ha intensificado la frecuencia de eventos climáticos extremos, como sequías prolongadas, lluvias intensas, olas de calor y heladas, los cuales afectan directamente a sectores clave de la economía nacional, como la agricultura, la energía y el transporte. Además, estos eventos tienen el potencial de generar repercusiones negativas en la infraestructura, los recursos hídricos y la calidad de vida de la población.

A fin de mejorar la capacidad de respuesta frente a los efectos negativos del cambio climático, los países avanzan en la generación de información que permita evidenciar las interacciones entre los fenómenos climáticos y la producción nacional. En este contexto, la información georreferenciada resulta indispensable para estimar el impacto económico de las amenazas climáticas, proporcionando un enfoque espacial para entender estas dinámicas complejas.

Diversos estudios han demostrado la importancia de vincular datos climáticos con información económica para evaluar los impactos del cambio climático. Por ejemplo, Diffenbaugh & Burke (2019) evidencian que el cambio climático ha aumentado la desigualdad económica entre países al afectar más severamente a las economías en desarrollo. Asimismo, Burke, Hsiang & Miguel (2015) sugieren que el aumento de la temperatura tiene efectos negativos directos sobre el crecimiento económico, especialmente en regiones tropicales. En América Latina, Estrada

& Botzen (2021) destacan que los impactos del cambio climático varían significativamente según la región y el sector económico afectado, lo que resalta la necesidad de análisis granulares que se adapten a las necesidades y dinámicas económicas de cada país. Por su parte, Dell, Jones & Olken (2012) presentan evidencia de que el clima influye de forma sustancial en la actividad económica a corto y largo plazo, su estudio sugiere que el aumento de la temperatura reduce el crecimiento económico, especialmente en países en desarrollo, afectando no solo el nivel de producción, sino también las tasas de crecimiento, y generando impactos negativos en la agricultura, la industria y la estabilidad política. Estos estudios revelan la utilidad de integrar información climática con datos económicos para desarrollar estrategias de adaptación más efectivas.

En Ecuador, el Sistema de Información de Proyecciones y Riesgo Climático, Medidas de Adaptación al Cambio Climático e Indicador de Vulnerabilidad (SPRACC) ofrece una base relevante para este tipo de análisis, al presentar índices climáticos específicos que miden la frecuencia y severidad de amenazas como días secos consecutivos, lluvias extremas, altas temperaturas y heladas, en áreas definidas a través de una cuadrícula de 10x10 kilómetros. Al integrar la información climática disponible con los datos económicos georreferenciados generados por el Banco Central del Ecuador (BCE), se obtiene un marco inicial para el análisis de la exposición del sector productivo del Ecuador frente a las amenazas climáticas priorizadas.

Este estudio tiene como objetivo principal estimar la exposición del sistema productivo formal ecuatoriano frente a las amenazas derivadas del cambio climático, mediante un enfoque espacial. Para ello, se analizan los patrones de exposición de los principales sectores productivos —agropecuario, minero, manufacturero no petrolero y de servicios— frente a distintos niveles y tipos de amenaza climática. La metodología combina herramientas

estadísticas y econométricas con análisis espacial, con el fin de capturar las dinámicas de interacción entre variables económicas y climáticas. Además, se emplean modelos espaciales para considerar las dependencias geográficas entre zonas, lo que permite una comprensión más integral del posible efecto de las amenazas climáticas sobre la actividad económica.

La relevancia de este análisis radica en la necesidad de generar conocimiento sobre los efectos específicos del cambio climático en el país, con miras a fortalecer la toma de decisiones tanto en el ámbito público como en el privado. En un escenario de intensificación del cambio climático, es inevitable la aparición de repercusiones con el potencial de limitar, o incluso reducir, el crecimiento económico del país. Este estudio busca aportar al entendimiento de los riesgos físicos asociados al cambio climático sobre la producción económica nacional.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. El cambio climático

El cambio climático se define como una alteración significativa y duradera en los patrones promedio de variables climáticas tales como la temperatura, precipitación y ocurrencia de eventos extremos, que ocurre en escalas temporales prolongadas, típicamente de décadas o más (IPCC, 2007). Este fenómeno puede originarse por procesos naturales, como variaciones en la radiación solar o la actividad volcánica, o bien ser el resultado de actividades antropogénicas, principalmente a través de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) derivados de la quema de combustibles fósiles, la deforestación y otras actividades industriales (IPCC, 2014).

A nivel global, el cambio climático ha sido impulsado principalmente por el aumento en las concentraciones de estos gases en la atmósfera, los cuales generan un efecto de retención del calor y alteran el balance energético del planeta. Según el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), los efectos observados incluyen el

incremento de la temperatura media global, el retroceso de los glaciares, el aumento del nivel del mar y cambios en los patrones de precipitación, lo que se traduce en sequías más prolongadas en algunas regiones y mayor intensidad de lluvias en otras (IPCC, 2012).

En América Latina, los efectos del cambio climático se manifiestan de manera particular en fenómenos como el retroceso de los glaciares andinos, el incremento de la temperatura en las zonas tropicales y la variabilidad en las precipitaciones, lo cual afecta directamente a sectores críticos como la agricultura y los recursos hídricos (CDKN, 2014). En el caso de Ecuador, la diversidad climática, que abarca zonas tropicales, subtropicales, andinas y costeras, hace que los impactos del cambio climático se presenten de forma diferenciada y con repercusiones diversas en las actividades socioeconómicas. Entre las amenazas climáticas relevantes se encuentran las sequías prolongadas, las lluvias intensas, las altas temperaturas y las heladas, las cuales representan riesgos significativos para la agricultura, los recursos hídricos, la infraestructura, la salud pública y el suministro eléctrico. Este último se ha convertido recientemente en un potencial riesgo de alta relevancia, como lo evidencian las restricciones energéticas registradas en el año 2024, que han tenido un impacto directo sobre la actividad económica del país y el bienestar general de la población.

La información climática disponible sugiere que estos fenómenos extremos han aumentado en frecuencia e intensidad en las últimas décadas (MAE & PNUD, 2016), lo que subraya la necesidad de monitorear sus efectos con mayor profundidad y desarrollar estrategias de adaptación territorializadas.

Para comprender y anticipar los efectos del cambio climático en Ecuador, el uso de proyecciones climáticas y el análisis de registros históricos permiten estimar tendencias de

variables climáticas clave, como temperatura y precipitación. Dichas proyecciones resultan fundamentales para identificar áreas de vulnerabilidad y planificar intervenciones que reduzcan los riesgos asociados. En este sentido, es necesario entender las tendencias tanto históricas como futuras para adoptar decisiones basadas en evidencia, permitiendo que los sectores sociales y económicos más vulnerables fortalezcan su capacidad de respuesta ante los efectos del cambio climático en el país.

2.2. Escenarios del cambio climático

En su Quinto Informe, el IPCC (2014) analiza distintos escenarios de desarrollo socioeconómico y uso de energía, cada uno con una proyección específica de concentración de GEI hacia el año 2100. Las Trayectorias de Concentración Representativa (RCP por sus siglas en inglés) son escenarios de concentración de GEI desarrolladas para modelar posibles futuros climáticos y sus impactos a nivel global y regional. Los RCP permiten analizar cómo diferentes niveles de mitigación y desarrollo pueden modificar el sistema climático, ofreciendo proyecciones para variables críticas como la temperatura y la precipitación, así como para la ocurrencia de eventos climáticos extremos. Para el Ecuador, se han considerado dos escenarios los cuales se describen a continuación:

2.2.1. RCP 4.5: Escenario de Mitigación Moderada

El RCP 4.5 es un escenario intermedio que asume un esfuerzo moderado de mitigación de emisiones, con políticas que limitan las concentraciones de GEI hacia un nivel de estabilización. Bajo este escenario, la concentración de dióxido de carbono (CO₂) se estabiliza alrededor de 650 ppm (partes por millón) hacia finales del siglo XXI, lo cual implica una trayectoria de desarrollo menos intensiva en carbono y una transición gradual hacia fuentes de energía más limpias. En el contexto ecuatoriano, el RCP 4.5 se considera el escenario

referencial para el análisis de cambio climático, ya que permite estimar los impactos bajo una situación en la que se han implementado políticas de mitigación moderadas. Este escenario sugiere que, aunque algunos fenómenos climáticos extremos podrían incrementarse en frecuencia e intensidad, los efectos no serían tan graves como en un escenario sin mitigación (MAE & PNUD, 2016).

2.2.2. RCP 8.5: Escenario de Alta Emisión

El RCP 8.5, conocido como el “escenario pesimista” o de altas emisiones, proyecta un futuro en el que se mantiene una trayectoria de desarrollo intensiva en el uso de combustibles fósiles y sin restricciones significativas en la emisión de GEI. En este escenario, las concentraciones de CO₂ alcanzarían aproximadamente 1370 ppm para el año 2100, lo que generaría un calentamiento global significativo y cambios extremos en el sistema climático. En Ecuador, bajo el RCP 8.5, las proyecciones indican un aumento considerable en la frecuencia y magnitud de eventos climáticos extremos, como sequías prolongadas, lluvias intensas y episodios de temperaturas máximas extremas, especialmente en zonas de alta vulnerabilidad como la región andina y la costa. Este escenario se utiliza en estudios de cambio climático para explorar el impacto potencial de una inacción climática, enfatizando los riesgos asociados a la ausencia de políticas de mitigación.

2.2.3. Aplicación de los RCP en el Análisis de Cambio Climático en Ecuador

En Ecuador, los RCP 4.5 y 8.5 se han utilizado para modelar proyecciones de variables climáticas clave, principalmente temperatura y precipitación, en escalas de tiempo de mediano plazo (2016-2040) y de largo plazo (hacia 2070). Estos modelos permiten observar cómo las condiciones climáticas actuales podrían evolucionar bajo cada escenario, proporcionando una base para la planificación de políticas de adaptación y mitigación. Por ejemplo, bajo el RCP

4.5 se proyecta un aumento moderado de la temperatura media anual, junto con una ligera variabilidad en los patrones de precipitación. Sin embargo, bajo el RCP 8.5, los cambios serían más drásticos, incluyendo un incremento más acelerado de la temperatura y una intensificación de eventos extremos, como lluvias torrenciales y períodos secos extendidos (MAE & PNUD, 2016).

Los resultados de las proyecciones para Ecuador, detallados en la Guía para la Interpretación y Uso de los Escenarios de Cambio Climático, muestran cómo cada región del país podría experimentar cambios climáticos diferentes, dependiendo de su geografía y de la vulnerabilidad de los sectores económicos en cada área. Por ejemplo, en la región andina, se espera un incremento en la frecuencia de las heladas bajo ambos escenarios, mientras que, en la región costera, los eventos de lluvias intensas podrían volverse más comunes. Esto tiene implicaciones significativas para la gestión de recursos hídricos, la agricultura, y la infraestructura, los cuales deben adaptarse a las condiciones proyectadas.

Los RCP 4.5 y 8.5 constituyen una fuente de información oficial y esencial para proyectar y comprender los posibles futuros climáticos en Ecuador, permitiendo anticipar los impactos y preparar estrategias de mitigación y adaptación. Estas proyecciones subrayan la importancia de la acción climática, especialmente en países vulnerables como Ecuador, donde los efectos del cambio climático pueden tener repercusiones profundas en la economía y el bienestar de la población.

2.3. Amenazas climáticas priorizadas para Ecuador

En el Ecuador se han priorizado cuatro amenazas climáticas principales que podrían afectar significativamente al país: sequías, lluvias intensas, altas temperaturas y heladas. Cada una de

estas amenazas se evalúa utilizando índices específicos que miden la frecuencia y la intensidad de ciertos eventos climáticos.

Para cada una de estas amenazas, el sistema SPRACC proporciona proyecciones bajo distintos escenarios climáticos, que incluyen el RCP 4.5 (trayectoria de concentración representativa moderada) y el RCP 8.5 (escenario pesimista). Estas proyecciones, que cubren períodos históricos (1981-2015) y futuros (2016-2040), son clave para anticipar el comportamiento de las variables climáticas y evaluar la vulnerabilidad de las regiones en función de sus condiciones actuales y proyectadas.

Este sistema, emplea un proceso de normalización para clasificar el nivel de amenaza en cinco categorías: Muy Baja, Baja, Moderada, Alta y Muy Alta. Estas categorías se basan en la tendencia de cambio de los índices climáticos: por ejemplo, un aumento en el número de días de lluvias intensas o en la cantidad de días secos consecutivos indicará un nivel de amenaza más alto.

2.3.1. Sequías

Las sequías son períodos prolongados sin precipitaciones o con volúmenes de lluvia significativamente reducidos. Este fenómeno afecta la disponibilidad de agua para usos agrícolas, industriales y domésticos, lo cual es crítico en regiones donde la agricultura depende fuertemente de la lluvia. La evaluación de la sequía se realiza mediante el índice CDD (días secos consecutivos), que mide el número de días secos consecutivos al año. A medida que aumenta el número de días secos, el nivel de amenaza se incrementa, afectando la producción agrícola y el acceso a agua potable. A partir del índice climático de sequías, se construye un indicador de amenaza normalizado del 1 al 5 que se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Interpretación del índice de amenaza climática para sequías

Nivel de Amenaza	Interpretación
0	La tendencia indica una reducción en el número de días secos consecutivos al año. Esto implica un aumento en los días con lluvia y una disminución en la duración de las sequías. Por tanto, el nivel de amenaza es nulo.
1	Se prevé un aumento de 1 día seco cada 10 o más años. Las sequías más intensas podrían extenderse en 1,5 días hacia el año 2030 y 3 días hacia el 2040.
2	El aumento proyectado es de 1 día seco adicional cada 5 a 10 años. Las sequías más severas se extenderán en 3 días hacia el 2030 y 6 días hacia el 2040.
3	Se estima un incremento de 1 día seco cada 2 a 5 años. Esto llevaría a una extensión de las sequías más intensas en 6 días hacia el 2030 y 15 días hacia el 2040.
4	La tendencia muestra un aumento de 1 día seco cada 1 o 2 años. Las sequías severas podrían extenderse en 15 días hacia el 2030 y 30 días hacia el 2040.
5	Se proyecta un aumento de más de 1 día seco adicional por año, con las sequías más intensas extendiéndose en 20 días hacia el 2030 y más de 30 días hacia el 2040.

Fuente: Ministerio del Ambiente, 2019

2.3.2. Lluvias intensas

Las lluvias intensas se refieren a la ocurrencia de altos volúmenes de precipitación en períodos cortos, lo cual puede superar los valores normales y provocar inundaciones que impactan la infraestructura, los cultivos y los asentamientos humanos. SPRACC utiliza el índice R95p (número de días con precipitaciones extremas), que permite cuantificar la frecuencia de lluvias extremas. Un aumento en este índice representa una mayor amenaza, ya que eleva los riesgos de daños a infraestructuras y pérdidas en la producción agrícola. La interpretación del índice se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Interpretación del índice de amenaza climática para lluvias intensas

Nivel de Amenaza	Interpretación
0	Reducción en el número de días con lluvias extremas al año. Esto implica una disminución en la intensidad de eventos extremos de lluvia. Por lo tanto, el nivel de amenaza es nulo.
1	Se prevé un incremento de 1 día con lluvias extremas cada 10 o más años. Habrá aproximadamente 1,5 días más con lluvias extremas hacia el 2030 y 3 días hacia el 2040.
2	La tendencia indica un aumento de 1 día con lluvias extremas cada 5 a 10 años. Se esperan 3 días adicionales hacia el 2030 y 6 días hacia el 2040.
3	Se proyecta un aumento de 1 día con lluvias extremas cada 2 a 5 años, llevando a 6 días más hacia el 2030 y 15 días hacia el 2040.
4	El aumento previsto es de 1 día cada 1 o 2 años, lo que resultaría en 15 días adicionales con lluvias extremas hacia el 2030 y 30 días hacia el 2040.
5	La tendencia muestra un incremento de más de 1 día con lluvias extremas por año, con un aumento de 20 días hacia el 2030 y más de 30 días hacia el 2040.

Fuente: Ministerio del Ambiente, 2019

2.3.3. Altas temperaturas

Las olas de calor o altas temperaturas afectan tanto a la salud humana como a los cultivos y a los bienes y servicios. En el caso de Ecuador, el índice TX95p (Número de días con temperaturas máximas extremas) permite monitorear la frecuencia de días con temperaturas inusualmente altas. Estos eventos pueden afectar la productividad agrícola y ganadera y representan un riesgo para la infraestructura energética y de salud, especialmente en zonas urbanas con alta densidad poblacional, su interpretación se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Interpretación del índice de amenaza climática para altas temperaturas

Nivel de Amenaza	Interpretación
0	La tendencia indica una disminución en el número de días con temperaturas extremadamente altas. Por tanto, el nivel de amenaza es nulo.
1	Se estima un incremento de 1 día con temperaturas muy altas cada 10 o más años. Habrá 1,5 días adicionales hacia el 2030 y 3 días hacia el 2040.
2	La tendencia muestra un aumento de 1 día con temperaturas extremas cada 5 a 10 años, con 3 días adicionales hacia el 2030 y 6 días hacia el 2040.
3	Se proyecta un aumento de 1 día con temperaturas muy altas cada 2 a 5 años, alcanzando 6 días hacia el 2030 y 15 días hacia el 2040.
4	El aumento previsto es de 1 día cada 1 o 2 años, resultando en 15 días adicionales hacia el 2030 y 30 días hacia el 2040.
5	Se anticipa un incremento de más de 1 día con temperaturas extremas por año, con 20 días adicionales hacia el 2030 y más de 30 días hacia el 2040.

Fuente: Ministerio del Ambiente, 2019

2.3.4. Heladas

Las heladas son episodios de temperaturas extremadamente bajas (inferiores a 3°C) que afectan principalmente a las regiones de altitud, como la Sierra ecuatoriana. Este tipo de amenaza puede ocasionar daños a cultivos sensibles y a las infraestructuras locales. La ocurrencia de heladas se mide mediante el índice FD3 (Número de días con temperaturas mínimas por debajo de 3°C). Un aumento en la frecuencia de heladas amenaza directamente la seguridad alimentaria y la economía agrícola en estas zonas.

Tabla 4. Interpretación del índice de amenaza climática para heladas

Nivel de Amenaza	Interpretación
0	La tendencia refleja una disminución en el número de días con eventos de heladas al año. Por tanto, el nivel de amenaza es nulo.
1	Se prevé un aumento de 1 día con heladas cada 10 o más años, alcanzando 1,5 días adicionales hacia el 2030 y 3 días hacia el 2040.
2	La tendencia muestra un incremento de 1 día con heladas cada 5 a 10 años, con 3 días adicionales hacia el 2030 y 6 días hacia el 2040.
3	Se proyecta un aumento de 1 día con heladas cada 2 a 5 años, lo que llevará a 6 días adicionales hacia el 2030 y 15 días hacia el 2040.
4	La tendencia indica un incremento de 1 día con heladas cada 1 o 2 años, alcanzando 15 días adicionales hacia el 2030 y 30 días hacia el 2040.
5	Se anticipa un aumento de más de 1 día con heladas por año, con 20 días adicionales hacia el 2030 y más de 30 días hacia el 2040.

Fuente: Ministerio del Ambiente, 2019

Al integrar la información económica con la climática proporcionada por la herramienta SPRACC, es posible evaluar la correlación potencial entre eventos climáticos y la economía nacional. Las zonas agrícolas, infraestructuras de transporte y asentamientos humanos pueden ser geográficamente vinculados con estas amenazas, proporcionando información valiosa para desarrollar políticas de mitigación y adaptación que fortalezcan la resiliencia económica frente al cambio climático.

2.4. Impacto del cambio climático en la economía

El cambio climático representa uno de los principales desafíos para el desarrollo económico a nivel mundial, con efectos cada vez más evidentes. Los impactos de fenómenos originados por el cambio climático pueden afectar de manera directa los rendimientos agrícolas, la disponibilidad de agua, la infraestructura y, en general, la estabilidad de los sistemas económicos de muchos países. El impacto del cambio climático en la economía se manifiesta

principalmente a través de dos categorías de riesgos: físicos y de transición (IPCC, 2014).

Los riesgos físicos son aquellos derivados directamente de los fenómenos climáticos, ya sean eventos extremos como sequías, lluvias intensas, olas de calor o heladas, o tendencias de largo plazo como el aumento sostenido de la temperatura o el cambio en los patrones de precipitación. Estos riesgos afectan tanto a los activos físicos como a las actividades económicas, y se traducen en pérdidas económicas tangibles debido a daños en infraestructuras, interrupciones en la producción y afectaciones en la disponibilidad de recursos naturales. Por otra parte, los riesgos de transición surgen del proceso de adaptación y cambio hacia una economía baja en carbono, que incluyen las posibles implicaciones regulatorias y sociales asociadas con la implementación de políticas climáticas, cambios tecnológicos o modificaciones en las preferencias del mercado. Este tipo de riesgos puede impactar de manera significativa en sectores como el energético o el transporte.

La interacción entre riesgos físicos y de transición enfatiza la necesidad de formular estrategias integrales que aborden tanto las amenazas inmediatas del cambio climático como los desafíos inherentes a la transición hacia un desarrollo sostenible. Diversos estudios han cuantificado el impacto económico del cambio climático a nivel global (Burke et al., 2015; Carleton & Hsiang, 2016; Dell et al., 2012; Diffenbaugh & Burke, 2019; Estrada & Botzen, 2021; Kotz et al., 2022; Ramirez-Villegas et al., 2013). Según estimaciones del IPCC, un incremento de 2°C en la temperatura global podría reducir el rendimiento de cultivos como el maíz y el trigo en un 10-20% en regiones tropicales y subtropicales (IPCC, 2014). En Estados Unidos, se utilizaron datos georreferenciados para estudiar el efecto del cambio climático en el sector agrícola, concluyendo que los aumentos en la temperatura reducen significativamente la productividad (Deschênes & Greenstone, 2007). Los autores encontraron que los efectos de temperatura y

precipitación sobre el rendimiento de los cultivos y el ingreso agrícola son negativos y sustanciales en la mayoría de los escenarios proyectados.

Dentro del estudio de los riesgos climáticos, la literatura es amplia en distinguir con mayor claridad entre los riesgos físicos y los riesgos de transición, vinculados a los procesos regulatorios, tecnológicos y económicos necesarios para mitigar el cambio climático. Kotz et al. (2022), por ejemplo, destacan que la transición hacia economías bajas en carbono implica riesgos significativos para sectores intensivos en emisiones, pero también ofrece oportunidades para la reasignación de capital y trabajo. Al mismo tiempo, investigaciones como las de Ramirez-Villegas et al. (2013) demuestran que la variabilidad climática puede alterar patrones de cultivo y disponibilidad de recursos, afectando tanto la seguridad alimentaria como las cadenas de valor agrícolas. Esta dualidad de impactos exige marcos analíticos que integren múltiples escalas espaciales y temporales, reconociendo la heterogeneidad en la exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa de los distintos sectores y territorios.

El análisis de los impactos económicos del cambio climático ha sido abordado desde múltiples perspectivas, enfatizando la importancia de fenómenos como El Niño. En el contexto ecuatoriano, este evento representa un riesgo climático relevante (Camacho et al., 2024). Los episodios de El Niño fuertes, como el de 1997-1998, generaron pérdidas económicas equivalentes al 2,7 % del PIB, afectando especialmente sectores clave como la agricultura y el financiero. En particular, se estima que eventos futuros de intensidad moderada o severa podrían generar pérdidas en la cartera crediticia nacional de hasta USD 2.705 millones, resaltando la vulnerabilidad del sistema financiero y la necesidad de adoptar medidas preventivas para mitigar estos impactos.

Un análisis similar, ofrece un análisis comparativo sobre los efectos de este fenómeno en la evolución de precios y la producción nacional. Los hallazgos evidencian que El Niño tiende a generar presiones inflacionarias y un impacto negativo en la producción nacional, especialmente en el sector agrícola (León-Murillo, 2017). Estos resultados subrayan la naturaleza heterogénea del fenómeno, cuyo impacto varía significativamente entre regiones debido a diferencias en patrones de precipitación y características económicas. Además, el estudio enfatiza la importancia de contar con herramientas de predicción y políticas específicas para enfrentar los desafíos derivados de El Niño, las cuales también son aplicables al caso ecuatoriano.

Estos estudios convergen en la importancia de comprender y mitigar los impactos climáticos a nivel regional y sectorial, destacando la relevancia de estrategias adaptativas y mecanismos financieros que fortalezcan la resiliencia económica frente a los riesgos climáticos. Ambos casos resaltan la necesidad de una gestión integral del riesgo que permita minimizar las pérdidas económicas y sociales en países altamente vulnerables al cambio climático.

En África, un estudio realizado por Schlenker & Lobell (2010) combinó datos satelitales y georreferenciados para analizar el impacto del cambio climático en el rendimiento de los cultivos. Sus hallazgos sugieren que el cambio climático afectará gravemente a los pequeños agricultores debido a la disminución de la productividad agrícola, que es fundamental para la seguridad alimentaria. Los modelos indican que, sin adaptación, la variabilidad climática podría reducir la producción agrícola en aproximadamente un 20% en las próximas décadas. Este tipo de investigaciones, que emplean técnicas de modelado espacial, permite estimar de manera precisa los efectos sobre áreas geográficas específicas, generando información relevante para la toma de decisiones.

En América Latina, el impacto económico del cambio climático en la agricultura ha sido ampliamente documentado. Estudios como los de Seo & Mendelsohn (2008) centrado en la agricultura de América Latina, utiliza datos georreferenciados para simular cómo el cambio climático afectará el rendimiento agrícola en diferentes zonas climáticas. Los resultados de este estudio muestran que el calentamiento global probablemente reducirá el rendimiento de varios cultivos, con pérdidas económicas significativas en países como Brasil, Argentina y Perú. Investigaciones posteriores han reforzado estos hallazgos. Por ejemplo, Ortiz-Bobea et al. (2021) estiman que el cambio climático ha reducido la productividad agrícola global en las últimas décadas, afectando de manera desproporcionada a países en desarrollo. En el caso de Ecuador, esta tendencia no es ajena: su economía agrícola depende en gran medida de cultivos vulnerables al clima, como el maíz, el café y el cacao, cuya productividad puede verse comprometida ante escenarios de mayor temperatura, variabilidad en precipitaciones y eventos extremos más frecuentes. El Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático del Ecuador (2023–2027) destaca la alta vulnerabilidad del sector agropecuario frente a estos riesgos, subrayando la necesidad de implementar medidas de adaptación específicas para mitigar los impactos económicos y sociales asociados (MAATE, 2023).

En Ecuador, desde la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático del Ministerio del Ambiente identifica las sequías y las lluvias intensas como las amenazas climáticas de mayor impacto sobre la agricultura y los recursos hídricos. Según las proyecciones bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5, la zona costera de Ecuador podría experimentar un aumento en la intensidad de las lluvias extremas, afectando directamente la producción agrícola y la infraestructura vial, con repercusiones económicas severas para las comunidades rurales. Estudios georreferenciados realizados en la región andina ecuatoriana sugieren que el cambio en patrones de temperatura y precipitación influye en los rendimientos de cultivos

tradicionales, como el maíz y la papa, los cuales son fundamentales para la seguridad alimentaria del país (MAE & PNUD, 2016). La Quinta Comunicación Nacional y el Primer Reporte Bienal de Transparencia del Ecuador proporcionan una actualización clave sobre los avances del país en el cumplimiento de sus compromisos climáticos en el marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

El análisis del clima, al ser un fenómeno espacio-temporal, requiere el uso de datos georreferenciados, los cuales se han vuelto fundamentales para entender la relación entre cambio climático y economía en diferentes escalas. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los modelos climáticos de alta resolución se han empleado para identificar áreas de mayor vulnerabilidad económica. Un ejemplo de esta aplicación es el estudio de Ramirez-Villegas et al. (2013), que utiliza datos georreferenciados para proyectar los cambios en las zonas de cultivo de café en América Latina, mostrando cómo la variabilidad climática afecta la viabilidad económica de este cultivo en diferentes altitudes y latitudes. Estos enfoques geoespaciales permiten que los gobiernos desarrollen estrategias de adaptación basadas en evidencia.

En Ecuador, la Guía para la Interpretación y Uso de los Escenarios de Cambio Climático enfatiza el uso de datos georreferenciados para evaluar los impactos en áreas críticas (MAATE & PNUD, 2021). Esta guía sugiere que, mediante el uso de índices climáticos específicos y proyecciones espaciales (como la concentración de lluvias y sequías a nivel de píxel de 10x10 km), se pueden identificar con mayor precisión las zonas vulnerables a los eventos climáticos extremos. Estos datos no solo facilitan la identificación de las regiones donde el impacto económico del cambio climático será más pronunciado, sino que también permiten planificar

intervenciones adaptativas específicas, como la construcción de infraestructura resiliente y la implementación de prácticas agrícolas sostenibles.

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Base de datos y fuentes de información

Para el análisis, se cuenta con distintas fuentes de información para evaluar la relación espacial entre las amenazas climáticas y la producción económica por industria en Ecuador. A continuación, se describen las características de cada conjunto de datos utilizados.

Datos de producción por industria y georreferenciación de empresas

La base de datos de producción industrial proviene de los registros del Servicio de Rentas Internas (SRI), que recopila información detallada sobre las principales actividades económicas de las empresas a nivel nacional. Esta base contiene datos anuales desde 2015 hasta 2023, lo que permite analizar las tendencias en la producción industrial a lo largo del tiempo. Las variables extraídas incluyen ventas totales, compras de bienes no producidos, y variaciones de existencias de productos terminados, en proceso y de bienes no producidos, las cuales provienen de los formularios F101 (sociedades) y F102 (personas naturales). Estos datos son transformados a términos de cuentas nacionales, de acuerdo con el Sistema de Cuentas Nacionales 2008. La producción de las empresas privadas se calcula mediante:

$$P11 = Vt - Cbnp + (VEbnp + VEpp + VEpt) \quad (1)$$

En donde:

- $P11$: Producción de mercado.
- Vt : Ventas totales.

- $Cbnp$: Compras de bienes no producidos.
- $VEbnp + VEpp + VEpt$: Variaciones de existencias de bienes no producidos, productos en proceso y productos terminados, respectivamente.

Es importante destacar que tanto la producción como los salarios son construcciones derivadas del procesamiento de los datos administrativos y se basan en el Sistema de Cuentas Nacionales 2008 (SCN). Asimismo, se realizan depuraciones mínimas a las tablas F101 y F102, como la eliminación de registros correspondientes a empresas fantasma, asegurando la calidad de la información. La actividad económica se determina mediante un directorio de empresas propio del Banco Central del Ecuador (BCE), elaborado a partir de múltiples fuentes de información, como el SRI, el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) y la Superintendencia de Compañías, entre otras. Este enfoque permite construir un registro robusto y confiable de las empresas activas en el país.

Para la georreferenciación de las bases de datos empresariales se ha implementado una metodología para geocodificar empresas y sus respectivas sucursales, en concordancia con estándares internacionales como el SCN y la metodología del Directorio de Empresas y Establecimientos (DIEE) del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. En una primera etapa, se realiza una identificación del universo de empresas con sus respectivas sucursales, utilizando datos de las instituciones antes mencionadas, y los registros de localización de medidores eléctricos provistos por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (ARCERNR). Posteriormente, las direcciones se transforman en coordenadas geográficas mediante el uso de expresiones regulares para estandarizarlas juntamente con otras herramientas que permiten la recolección de coordenadas geográficas

aproximadas a partir de direcciones domiciliares, para esto se utilizó el servicio de geocodificación de Open Street Maps y Google Maps.

Para garantizar una mayor precisión en los puntos geocodificados, se aplican diversas reglas de validación (ver Anexo 1) destinadas a verificar que las coordenadas obtenidas correspondan con las ubicaciones registradas por las empresas y locales. Aquellos puntos que no cumplen con los criterios establecidos son sometidos a revisiones manuales. Una vez validadas, las coordenadas se integran con el Directorio de Empresas del BCE, vinculando cada registro con su matriz y sucursales, además de determinar el estado de actividad de los locales durante los años analizados. En una primera fase, correspondiente al período 2015–2019, se geocodificaron 422.564 registros, de los cuales un 52 % fue validado como correcto. Este porcentaje presenta una variación estimada de $\pm 4\%$ atribuida a diferencias en la calidad de las direcciones registradas según el tamaño de la empresa. Por ejemplo, las grandes empresas suelen registrar direcciones más completas y estructuradas, lo que facilita una geocodificación más precisa y un mayor porcentaje de datos validados; mientras que, en el caso de microempresas o pequeñas empresas, la falta de datos como calle secundaria o referencias concretas puede dificultar la validación automática y afectar la tasa de éxito en la geocodificación.

Este esfuerzo permite al BCE fortalecer la información disponible mediante la incorporación de variables de geolocalización, lo que facilita un análisis más detallado de la actividad económica a nivel territorial. Asimismo, la información generada representa una herramienta fundamental para el uso de análisis espaciales.

Datos de amenazas climáticas

Los datos de amenazas climáticas son proporcionados por el sistema SPRACC. Este conjunto de datos incluye índices climáticos estandarizados que caracterizan las amenazas asociadas a eventos extremos como sequías, lluvias intensas, altas temperaturas y heladas. Cada índice está asociado a una celda de 10x10 km, lo que permite analizar los niveles de amenaza climática para cada región. Las variables principales son:

- Sequías (CDD): Número de días secos consecutivos por año.
- Lluvias intensas (R95p): Número de días con lluvias extremas al año.
- Altas temperaturas (TX95p): Número de días con temperaturas máximas extremas al año.
- Heladas (FD3): Número de días con temperaturas mínimas por debajo de 3°C al año.

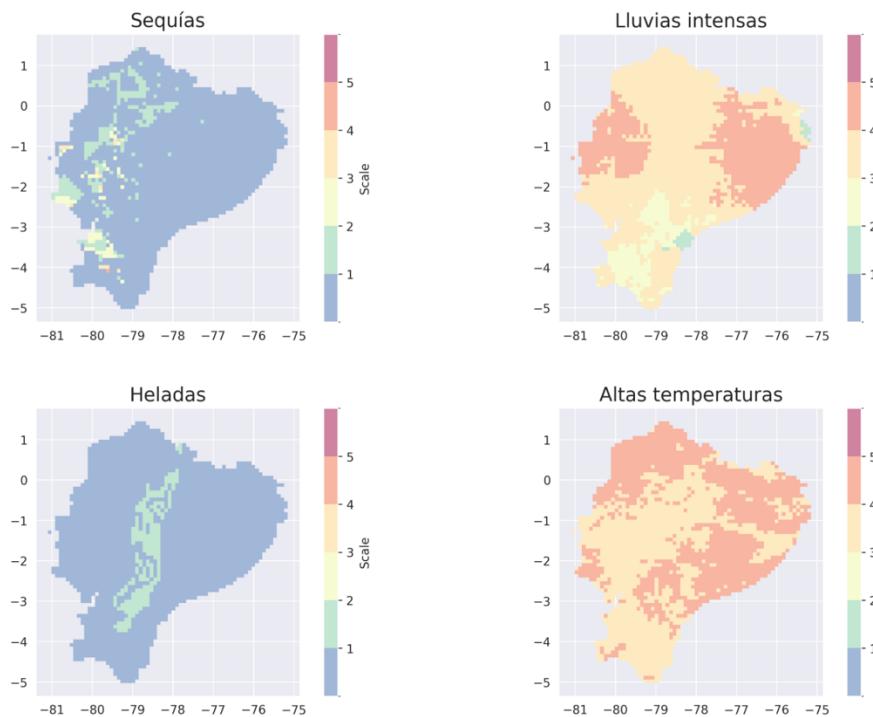
Aunque estos índices son estáticos, es decir, su valor (de 1 a 5) no varía entre años, su interpretación incorpora una dimensión temporal de forma implícita. Cada nivel representa una proyección del incremento esperado en la frecuencia de eventos extremos en el futuro. Por ejemplo, un índice 5 en sequías (CDD) indica que en esa celda se espera un aumento significativo en el número de días secos consecutivos cada cierto número de años. Así, aunque el índice no se actualice anualmente, su lectura está asociada a tendencias proyectadas de intensificación de eventos climáticos.

Los niveles de amenaza climática generados por el sistema SPRACC pueden visualizarse a través de mapas espaciales, donde cada celda de 10x10 km está clasificada en una escala del 1 al 5, siendo 1 el menor nivel de amenaza y 5 el mayor. La Figura 1 presenta la distribución geográfica de los niveles de amenaza climática para cuatro eventos extremos priorizados en

Ecuador: sequías (CDD), lluvias intensas (R95p), altas temperaturas (TX95p) y heladas (FD3).

Se observa que las amenazas por lluvias intensas y altas temperaturas tienen una distribución más extendida en el territorio nacional, mientras que las heladas y las sequías se concentran en zonas específicas de la Sierra y la Costa, respectivamente. Esta representación espacial permite identificar áreas críticas que podrían enfrentar mayores impactos económicos y sociales en escenarios de cambio climático.

Figura 1. Mapas de amenazas climáticas priorizadas para Ecuador



Nota: Cada mapa representa los niveles de amenaza climática por evento extremo, calculados por el sistema SPRACC a partir de índices climáticos estandarizados. Los valores están agregados espacialmente en celdas de 10×10 km y clasificados en una escala ordinal de 1 (muy baja amenaza) a 5 (muy alta amenaza).

Fuente: Elaboración de autores con base en la información del sistema SPRACC.

3.2. Procesamiento de los datos y estadística descriptiva

El procesamiento de datos involucró varias etapas orientadas a garantizar la calidad, consistencia y alineación espacial de las bases de datos. En una primera instancia, tanto las amenazas climáticas como el catálogo georreferenciado fueron reproyectadas a un sistema de

coordenadas uniforme y apropiado para la región (EPSG:32717¹). Los valores de los índices climáticos fueron extraídos para cada celda y asociados a las celdas geográficas que contenían información de producción.

Posteriormente, la base de datos de producción se integró con el catálogo de empresas georreferenciado utilizando el identificador único de empresa como clave principal. Cabe destacar que, para cada identificador en la base del SRI, pueden existir tres escenarios en términos de coordenadas geográficas: (1) no se tienen coordenadas geográficas, (2) existe una sola coordenada para una empresa, (3) existen varias coordenadas para una empresa que corresponden a sucursales.

Los casos donde no se cuenta con coordenadas asociadas (empresas sin georreferenciación) presentan un desafío para el análisis espacial. Sin embargo, a pesar de que estos casos representan una proporción importante dentro de las bases de datos, se decidió excluirlos de la muestra para garantizar la coherencia espacial del análisis. En la Tabla 5 se observa que se cuenta con un importante nivel de datos georreferenciados, llegando al 61 % del total de la base disponible. Cabe destacar que la ausencia de georreferenciación no se distribuye de manera aleatoria: se concentra principalmente en microempresas y pequeñas empresas, las cuales tienden a registrar direcciones incompletas, genéricas o con menor nivel de detalle, lo que dificulta la asignación automática de coordenadas. Por otro lado, cuando una empresa tiene una única coordenada asignada, no se presentan dificultades, y la información puede ser directamente utilizada para el análisis espacial.

¹ EPSG:32717 corresponde al sistema de referencia espacial Universal Transverse Mercator (UTM), zona 17S, basado en el datum WGS84. Este sistema utiliza una proyección cilíndrica transversal que permite representar áreas de la superficie terrestre con alta precisión en regiones específicas, como Ecuador.

Cuando una empresa cuenta con múltiples coordenadas asociadas, representando diferentes sucursales, inicialmente fue necesario suponer una distribución uniforme de su producción. En este caso, los valores totales de estas variables se dividieron en iguales proporciones entre las sucursales, manteniendo la coherencia entre las variables económicas y la estructura espacial, bajo el supuesto fuerte de que cada sucursal contribuye de manera similar a la producción total de la empresa. Sin embargo, el uso de la información proporcionada por la Encuesta Estructural Empresarial (ENESEM²) permite relajar el supuesto y obtener una mejor aproximación sobre el aporte de cada sucursal a la producción total de la empresa.

Con base en los resultados de la ENESEM, se calcularon ponderaciones diferenciadas para las sucursales de cada empresa, asignando pesos más realistas en función de variables como personal ocupado, ingresos y características sectoriales. Estas variables fueron utilizadas en conjunto para estimar la contribución relativa de cada sucursal al total empresarial, aplicando promedios sectoriales y regionales según los datos disponibles en la encuesta. Este enfoque permitió reflejar de manera más precisa las diferencias en el aporte económico de cada sucursal al total empresarial, ajustando la distribución de la producción, de acuerdo con su contribución relativa. La integración de estos pesos en el análisis resultó en una caracterización espacial más fiel de la actividad económica, reduciendo las limitaciones del supuesto inicial de distribución proporcional.

Posteriormente, para facilitar el análisis y la interpretación de los resultados, las industrias fueron agrupadas en cuatro sectores principales. El sector agrícola incluye las industrias relacionadas con actividades de agricultura, ganadería, silvicultura y pesca (A). El sector

² La ENESEM es una encuesta anual, diseñada y administrada por el INEC, que mide la estructura y dinámica de las grandes y medianas empresas del Ecuador. Su cobertura incluye variables clave como producción, ventas, remuneraciones y personal ocupado, desglosadas por sectores económicos y regiones del país.

extractivista no petrolera se compone de actividades de explotación de recursos naturales no renovables (B) excluyendo el petróleo. El sector manufacturero está compuesto exclusivamente por la industria (C), que abarca las actividades de transformación de bienes. Finalmente, el sector de servicios incluye todas las demás industrias, englobando una amplia gama de actividades económicas relacionadas con comercio, transporte, comunicación, finanzas, educación y otros servicios (D-U).

Tabla 5. Proporción de datos georreferencias en términos de la producción total

Sección	Producción georreferenciada		Participación georreferenciada	
	Si	No	Si	No
A Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca.	28635	48587	37.1 %	62.9 %
B Explotación de minas y canteras.	38071	9579	79.9 %	20.1 %
C Industrias manufactureras.	178299	166537	51.7 %	48.3 %
D Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado.	16484	3229	83.6 %	16.4 %
E Distribución de agua; alcantarillado, gestión de desechos y actividades de saneamiento.	4910	1491	76.7 %	23.3 %
F Construcción.	29078	12167	70.5 %	29.5 %
G Comercio al por mayor y al por menor; reparación de vehículos automotores y motocicletas.	99297	55907	64.0 %	36.0 %
H Transporte y almacenamiento.	40568	19685	67.3 %	32.7 %
I Actividades de alojamiento y de servicio de comida	9757	4654	67.7 %	32.3 %
J Información y comunicación.	38045	3440	91.7 %	8.3 %
L Actividades inmobiliarias.	8274	4295	65.8 %	34.2 %
M Actividades profesionales, científicas y técnicas.	22532	9377	70.6 %	29.4 %
N Actividades de servicios administrativos y de apoyo.	16507	6666	71.2 %	28.8 %
P Enseñanza.	10894	5682	65.7 %	34.3 %
Q Actividades de atención de la salud humana y de asistencia social.	12318	3693	76.9 %	23.1 %
R Artes, entretenimiento y recreación.	1924	681	73.9 %	26.1 %
S Otras actividades de servicios.	2425	1064	69.5 %	30.5 %
T Actividades de los hogares como empleadores; actividades no diferenciadas de los hogares como productores de bienes y servicios para uso propio.	0	0.1	0.0 %	100.0 %
U Actividades de organizaciones y órganos extraterritoriales.	0.1	0	100.0 %	0.0 %
TOTAL	558017	356733	61.0 %	39.0 %

Nota: Producción en millones de USD. Se excluye del análisis a las sociedades financieras y gobierno general. También, se excluyen las instituciones sin fines de lucro que prestan servicios a los hogares, ya que no es posible calcular directamente su producción a partir de los formularios del SRI. La participación se calcula en base a la suma de la producción total por industria para todos los años de la base.

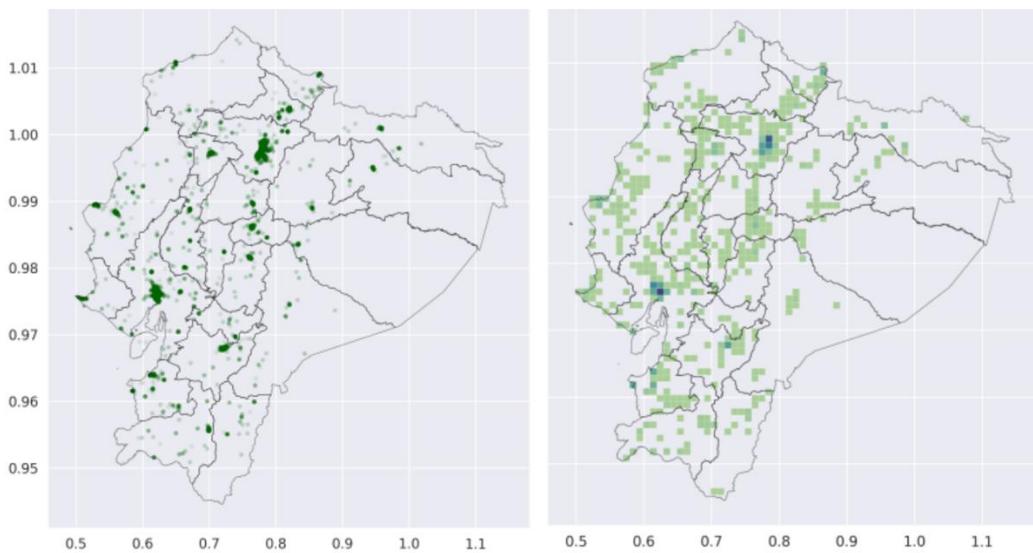
Elaborado por autores

Este proceso fue necesario para garantizar que los datos sean representativos y adecuados para integrar con los índices climáticos en cada celda de análisis, lo que permitirá explorar patrones espaciales y relaciones entre variables económicas y climáticas.

Para convertir los puntos con valores de producción, ventas y salarios a un formato de datos en una cuadrícula espacial (*lattice data*), se llevó a cabo un proceso de intersección espacial. Este procedimiento utilizó las coordenadas geográficas antes mencionadas, asignando cada empresa a una celda específica de 10x10 km, en correspondencia con la cuadrícula definida en los datos climáticos del SPRACC.

La intersección espacial consistió en superponer las coordenadas de cada empresa sobre la cuadrícula espacial de amenazas climáticas, identificando la celda a la que pertenece cada punto. Una vez realizada esta superposición, se asignó una etiqueta única a cada empresa, correspondiente al identificador de la celda en la que se encuentra ubicada. Esto permitió vincular las variables económicas, con las celdas de análisis de los índices climáticos, asegurando la compatibilidad espacial y facilitando la integración entre factores económicos y climáticos. Este enfoque se exemplifica en la Figura 2 y garantiza que toda la información esté correctamente alineada en el espacio, ofreciendo una base sólida para evaluar la relación entre la actividad económica principal de la empresa y las amenazas climáticas a nivel regional.

Figura 2. Transformación de puntos a cuadrícula espacial



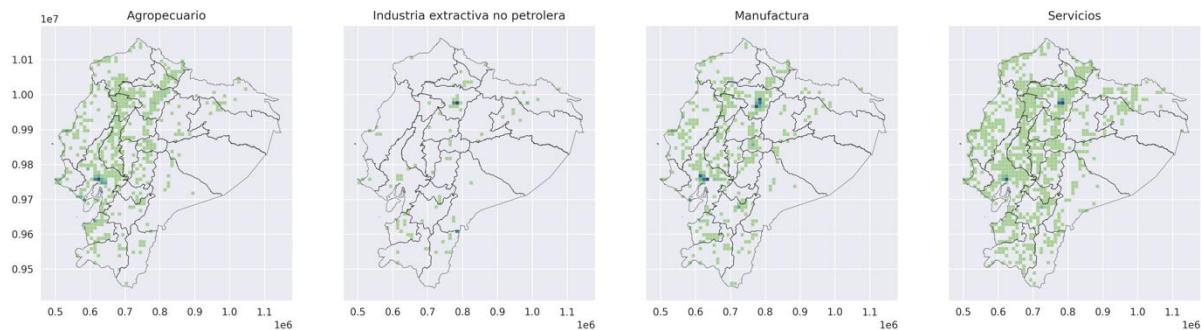
Nota: El Panel A muestra la ubicación puntual de las empresas georreferenciadas en el territorio ecuatoriano, mientras que el Panel B representa la agregación de esos puntos en una cuadrícula regular de 10×10 km, con una escala de intensidad según la cantidad de producción por celda. Esta transformación espacial permite armonizar la información económica con los datos climáticos del sistema SPRACC, que están definidos en el mismo nivel espacial, facilitando así su integración para análisis posteriores.

Fuente: Elaborado por autores

Este análisis reveló una evidente concentración de la producción total en ciertas regiones del país, con similitudes generales entre sectores económicos. Las áreas que corresponden a las principales ciudades del país, como Quito y Guayaquil, destacan como focos importantes de actividad económica, especialmente en manufactura y servicios, donde se concentra una importante parte de la producción nacional. Sin embargo, esta concentración varía según el sector productivo. Por ejemplo, en el caso del sector agropecuario, se identifican núcleos relevantes de actividad en provincias como Manabí, Los Ríos o El Oro, que no necesariamente coinciden con los centros urbanos principales. En el sector primario y de servicios, el nivel de concentración espacial tiende a ser menor que en el sector manufacturero, aunque aún se observan núcleos importantes en las principales áreas metropolitanas. La Figura 3 ilustra estos patrones diferenciados, evidenciando la importancia de incorporar un enfoque sectorial en los

análisis espaciales y subrayando la necesidad de entender cómo las amenazas climáticas podrían afectar de forma diferenciada a estas zonas productivas.

Figura 3. Distribución nacional de producción total por sector industrial



Fuente: Elaborado por autores

La Tabla 6 presenta la composición porcentual de la producción total, desglosada por nivel de amenaza climática y sector económico (sector primario, manufacturas y servicios) para el año 2023. Los resultados reflejan cómo la producción económica se distribuye entre los diferentes niveles de amenazas climáticas (de 0 a 4), permitiendo observar patrones sectoriales de exposición y concentración.

En el caso de las sequías, la mayor parte de la producción total se concentra en niveles bajos de amenaza, correspondientes a los valores 0 y 1, que representan el 68,5 % y el 28,8 % de la producción total, respectivamente. Este patrón se mantiene consistente en todos los sectores económicos analizados. Para las lluvias intensas, se observa una fuerte concentración en el nivel 3 de amenaza, abarcando el 92,8 % de la producción total. Este comportamiento es uniforme en los cuatro sectores económicos, con ligeras diferencias entre ellos.

Tabla 6. Composición de la producción por amenaza y sector para 2023

Índice de amenaza climática	Proporción de producción por sector					
	Agropecuario	Industria extractiva no petrolera	Manufactura	Servicios	Total	
Sequías	0	64.2%	88.6%	65.2%	68.2%	68.5%
	1	18.8%	10.1%	33.0%	29.7%	28.8%
	2	16.5%	1.3%	1.0%	2.0%	2.4%
	3	0.5%	0.0%	0.7%	0.0%	0.3%
	4	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Lluvias intensas	0	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	1	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	2	0.8%	0.1%	1.3%	2.5%	1.8%
	3	90.3%	89.6%	93.3%	93.2%	92.8%
	4	8.9%	10.3%	5.4%	4.4%	5.4%
Heladas	0	93.5%	99.9%	78.2%	89.6%	86.8%
	1	6.5%	0.1%	21.8%	10.4%	13.2%
	2	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	3	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	4	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Altas temperaturas	0	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	1	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	2	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	3	84.6%	81.5%	95.4%	96.2%	94.3%
	4	15.4%	18.5%	4.6%	3.8%	5.7%

Elaborado por autores

En cuanto a las heladas, casi la totalidad de la producción se encuentra en el nivel 0 de amenaza (86,8 % de la producción total); no obstante, el sector manufacturero presenta un mayor peso productivo en niveles más altos de amenaza asociados a heladas. Esta distribución refleja la baja incidencia de niveles de amenaza más elevados en las regiones productivas de los sectores analizados.

Por último, en el caso de las altas temperaturas, los niveles más altos de amenaza (3 y 4) concentran la mayor proporción de la producción total, con el 94,3 % y el 5,7 %, respectivamente. Este patrón es particularmente evidente en los sectores manufacturero

(95,4 %) y de servicios (96,2 %), mientras que los sectores agrícola y extractivo muestran una proporción ligeramente menor, cercana al 85 %.

Dado que la producción se encuentra altamente concentrada en ciertos niveles de índices de amenaza climática específicos, se opta por una simplificación binaria que facilite el análisis. Para ello, se define un punto de corte específico para cada tipo de amenaza, con base en la distribución de la producción observada en la Tabla 6. A partir de este umbral, se construye una variable dicotómica que clasifica cada celda como “alta amenaza” si el nivel del índice supera dicho corte, y como “baja o estándar” en caso contrario. Esta transformación permite una interpretación más clara de los patrones de exposición agregada y sugiere posibles umbrales en términos de la amenaza analizada.

Los puntos de corte fueron definidos de la siguiente manera:

- **Sequías:** Se toma el nivel 0 como base (considerado amenaza baja o estándar), agrupando los niveles 1 a 4 como “alta amenaza”. De acuerdo con esta clasificación, el 68,5 % de la producción nacional se encuentra en nivel 0, mientras que el 31,5 % restante corresponde a niveles más altos de amenaza por sequías.
- **Lluvias intensas:** Se considera como base todo valor menor o igual a 3, clasificando únicamente el nivel 4 como “alta amenaza”. Bajo este criterio, el 94,6 % de la producción nacional se ubica en niveles bajos o moderados, y el 5,4 % se encuentra expuesto a niveles elevados de amenaza.
- **Heladas:** El umbral se fija en el nivel 0, dada la fuerte concentración observada (86,8 % de la producción total); los valores mayores a 0 (esencialmente el nivel 1) son considerados como “alta amenaza”, lo que representa el 13,2 % restante de la producción.

- **Altas temperaturas:** Se agrupan los niveles 0 a 3 como amenaza estándar, y el nivel 4 como “alta amenaza”. Bajo este criterio, el 94,3 % de la producción se encuentra en zonas con exposición moderada, y el 5,7 % se ubica en celdas con alta amenaza por altas temperaturas.

Esta transformación en variables binarias permite realizar análisis comparativos más directos y coherentes con la distribución empírica observada, facilitando la identificación de zonas productivas especialmente expuestas a amenazas climáticas relevantes.

El resultado final es una base de datos con estructura de panel pseudo-longitudinal, donde la unidad de observación corresponde a cada una de las celdas espaciales ($N = 2652$). Cada celda contiene información desagregada sobre las características de la industria agregadas por clase CIIU 4, incluyendo sector económico, tamaño de empresa y tipo de contribuyente. Adicionalmente, se asigna a cada celda un índice de amenaza climática proveniente del sistema SPRACC, el cual se mantiene constante en el tiempo y representa una clasificación estática del riesgo climático esperado.

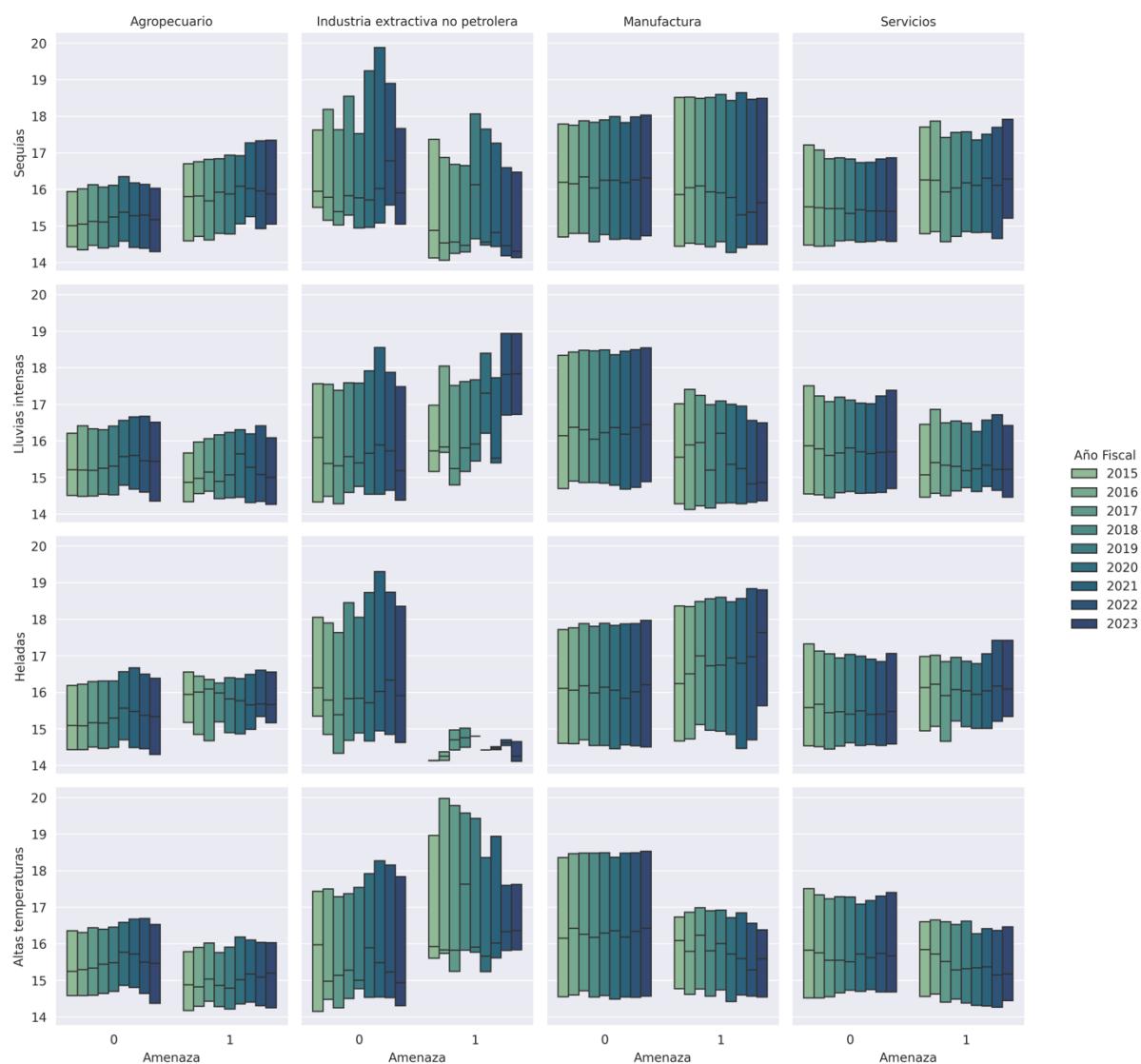
La información económica (producción, ventas, salarios) varía anualmente entre 2015 y 2023 ($T = 9$), generando una base combinada con dimensión espacial (por celda) y temporal (por año). Si bien las celdas no representan entidades que evolucionan de forma individual en el tiempo (como una empresa o individuo), su repetición anual con información cambiante permite aplicar herramientas descriptivas propias de paneles de datos. Esta estructura facilita el análisis de interacciones entre condiciones climáticas regionales (fijas) y evolución económica anual (variable), permitiendo explorar dinámicas diferenciales a lo largo del tiempo y el espacio.

A partir del panel elaborado, es posible realizar un análisis descriptivo de la relación entre el nivel de amenaza climática y la producción sectorial a lo largo del tiempo. La Figura 4 muestra cómo varía la distribución intercuartílica de la producción total (en escala logarítmica) según el índice de amenaza climática, diferenciando por sector económico, tipo de amenaza y año. Esta visualización permite identificar patrones recurrentes de sensibilidad sectorial ante las amenazas climáticas, así como observar la persistencia o variación de estas relaciones a través de los años.

La Figura 4 revela que el sector de servicios mantiene una distribución relativamente estable en todos los tipos de amenaza y a lo largo del periodo analizado. La mediana de la producción y el rango intercuartil apenas se modifican frente a incrementos en el índice de amenaza, lo que sugiere una menor exposición directa o una mayor capacidad de adaptación frente a eventos climáticos extremos. Esta estabilidad es particularmente visible en el caso de heladas y lluvias intensas.

En contraste, el sector manufacturero evidencia una mayor dispersión, especialmente bajo condiciones de sequía y heladas. A medida que se incrementa el índice de amenaza, se observa una expansión del rango intercuartil, lo que refleja una heterogeneidad creciente en las respuestas productivas. En ciertos años, esta variabilidad incluye una ligera reducción en la mediana, lo que sugiere que las manufacturas pueden enfrentar interrupciones localizadas o efectos indirectos asociados a estas amenazas.

Figura 4. Rango intercuartil de producción total por sector, año y tipo de amenaza climática



Nota: Producción total en escala logarítmica. La figura muestra el rango intercuartil por tipo de amenaza climática.

Fuente: Elaborado por autores

El comportamiento más sensible se observa en el sector agropecuario, donde tanto la mediana como el rango intercuartil de la producción decrecen de forma visible con el aumento del índice de sequías y altas temperaturas. Este patrón es consistente a lo largo de los años y refuerza la evidencia sobre la vulnerabilidad propia del sector primario frente a fenómenos climáticos extremos. La caída sostenida en los niveles altos del índice de amenaza sugiere una exposición directa y persistente que podría comprometer la estabilidad en determinadas regiones.

Por último, la industria extractiva no petrolera presenta patrones más irregulares. Si bien en algunos años se visualiza una leve reducción en la mediana de producción en presencia de amenazas como lluvias intensas o sequías, la variabilidad general es menor que la observada en manufactura o agricultura. Esto podría atribuirse a características estructurales del sector, como la menor dependencia de factores climáticos directos o la posibilidad de operar con mayor estabilidad mediante medidas de control técnico en zonas específicas.

3.3. Metodología de análisis

La metodología empleada en este estudio se centra en analizar la relación entre la producción total y las amenazas climáticas, al considerar la posible autocorrelación espacial en los datos. Para ello, se implementaron las siguientes etapas: (1) regresión lineal para capturar la correlación entre las variables de producción y amenazas climáticas, (2) definición de una matriz de pesos espaciales, (3) evaluación de autocorrelación espacial entre residuos de en la primera etapa, y (4) ajuste de dos modelos espaciales.

Se comenzó con una regresión lineal múltiple para evaluar la correlación de los diversos índices climáticos en la producción total. El modelo se especificó de la siguiente manera:

$$Y_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 x_{sequías,i} + \beta_2 x_{lluvias,i} + \beta_3 x_{temperaturas,i} + \beta_4 x_{heladas,i} + \mu_{i,t} \quad (2)$$

Posteriormente, se construyó una matriz de pesos espaciales (W) la cual captura las relaciones de proximidad o dependencia entre observaciones geográficamente distribuidas. Esta matriz es una representación de la estructura espacial y se utiliza para modelar cómo las observaciones en una ubicación influyen en las observaciones vecinas. Es una matriz cuadrada de dimensión

$N \times N$, donde N es el número total de unidades espaciales (o celdas). Cada elemento w_{ij} de la matriz representa la intensidad de la relación espacial entre las unidades i y j . Por convención, los elementos de la diagonal (w_{ii}) se establecen en 0, ya que una unidad no influye en sí misma (Anselin, 2021). Existen varios enfoques para definir W , dependiendo del tipo de proximidad que se desea capturar, en este caso se utilizó la definición de KNN más cercanos, donde cada unidad i está conectada únicamente con sus 8 vecinos contiguos más cercanos³. Además, se aplicó una normalización de la matriz para que los pesos de cada unidad (o fila) sean iguales a 1.

$$w_{ij} = \frac{w_{ij}}{\sum_j w_{ij}} \quad (3)$$

Posteriormente, se evaluó la presencia de autocorrelación espacial en los residuales del modelo utilizando el índice de Moran, una medida que indica el grado de similitud entre valores de una variable en ubicaciones geográficamente cercanas. El índice de Moran es una de las pruebas de especificación más utilizadas para detectar autocorrelación espacial en los datos (Anselin, 2003). Este índice puede considerarse como el análogo en dos dimensiones de una prueba de correlación para series temporales univariadas. En notación matricial, el estadístico del índice de Moran (I) se expresa como:

$$I = \frac{N}{S_0} \frac{e' We}{e'e} \quad (4)$$

³ El número de vecinos más cercanos se definió utilizando un criterio de contigüidad espacial, en el cual se considera como vecino a toda celda que comparte al menos un borde o vértice con la celda de referencia. Este enfoque es comúnmente utilizado en la literatura (Anselin, 2003) para estructuras de datos en grilla o retículas, ya que refleja de manera adecuada la proximidad geográfica en contextos espaciales discretizados.

En donde:

- e es el vector de residuales obtenidos de un modelo ajustado por Mínimos Cuadrados Ordinarios.
- W es la matriz de pesos espaciales que define las relaciones de proximidad entre las observaciones.
- $S_0 = \sum_i \sum_j w_{ij}$, un factor de normalización que corresponde a la suma de los pesos espaciales para los productos cruzados no nulos.
- N es el número total de observaciones.

Un valor positivo y significativo del Índice de Moran sugiere que los residuales presentan un patrón espacial no aleatorio, lo que podría indicar la omisión de factores espaciales en el modelo inicial.

Finalmente, si se detecta autocorrelación espacial significativa en los residuales de un modelo convencional, es necesario ajustar modelos que incorporen explícitamente la estructura espacial en los datos (Anselin, 2021; Anselin & Rey, 2014; Elhorst, 2014). Se aplicarán dos de los modelos más comunes para abordar este problema, los cuales son el modelo autorregresivo espacial y el modelo de error espacial (SAR y SEM respectivamente por sus siglas en inglés).

El modelo SAR incorpora la dependencia espacial directamente en la variable dependiente, asumiendo que los valores observados de la variable en una ubicación están influenciados por los valores de la misma variable en ubicaciones vecinas:

$$Y = \rho WY + X\beta + \mu \quad (5)$$

En donde:

- Y corresponde al vector de la variable de producción total.
- ρ es el coeficiente autorregresión espacial, que mide la magnitud de la dependencia espacial.
- X es la matriz de índices de amenazas climáticas con sus respectivos coeficientes β .

El modelo SAR es apropiado cuando se espera que los valores de la variable dependiente en una región estén influenciados directamente por los valores de la misma variable en regiones vecinas. Por ejemplo, la producción en una celda podría estar influenciada por la producción en celdas adyacentes debido a efectos de clusterización, propagación o derrame.

Por otro lado, el modelo de errores espaciales, SEM, introduce la dependencia espacial en los términos de error, asumiendo que los factores no observados que afectan la variable dependiente están espacialmente correlacionados. El modelo toma la siguiente forma:

$$Y = X\beta + \epsilon$$

$$\epsilon = \lambda Wu + \mu$$

En donde:

- ϵ es el componente de error espacialmente dependiente.
- λ son los coeficientes que miden la autocorrelación espacial en los errores.

El modelo SEM es útil cuando se sospecha que existen variables omitidas que afectan la variable dependiente de manera correlacionada espacialmente. Por ejemplo, si ciertos aspectos del riesgo climático no están completamente capturados por los índices incluidos en el modelo (como microclimas o factores socioeconómicos locales) estos patrones se reflejarán en los errores del modelo. En este contexto, el SEM permite capturar dependencias espaciales en factores no observados, mejorando la especificación del modelo.

3.4. Supuestos y limitaciones

La metodología utilizada en este estudio está sujeta a varios supuestos y limitaciones inherentes al procesamiento de los datos y a los modelos empleados (SEM y SAR), los cuales es importante señalar para contextualizar los resultados y su interpretación. Estas restricciones derivan tanto de la naturaleza de los datos disponibles como de las decisiones metodológicas tomadas para abordar las especificidades del análisis espacial.

En primer lugar, los índices climáticos utilizados para caracterizar las amenazas (sequías, lluvias intensas, altas temperaturas y heladas) presentan una naturaleza estática en el tiempo. Esto implica que las proyecciones de impacto climático se consideran invariantes durante el período de análisis, lo que puede subestimar la variabilidad temporal real de las amenazas climáticas. Aunque este supuesto permite simplificar el análisis y facilita la integración con las variables económicas, también limita la capacidad del modelo para capturar fluctuaciones estacionales o cambios abruptos en la dinámica climática, que podrían tener un impacto significativo en la producción económica de ciertas regiones (Elhorst, 2014).

Además, no todos los sectores productivos analizados están representados en todo el rango de los índices climáticos. Por ejemplo, en el caso de las altas temperaturas, toda la producción está

concentrada en índices de amenaza moderada y alta (valores 3 y 4), mientras que no existen observaciones para índices bajos o extremos (0, 1 o 2). Esta falta de variabilidad puede influir en la capacidad del modelo para estimar los efectos de amenazas específicas en ciertos sectores, dado que las relaciones pueden estar subrepresentadas o no ser generalizables a otros contextos espaciales o climáticos.

En cuanto a la resolución espacial y temporal, la cuadrícula de análisis utilizada tiene una resolución de 10x10 km y un horizonte temporal de nueve años (2015-2023). Si bien esta granularidad permite identificar patrones generales a nivel nacional, podría no capturar microvariaciones relevantes, como las diferencias dentro de un área específica o las fluctuaciones estacionales en la producción o las amenazas climáticas. Estas limitaciones espaciales y temporales son importantes de considerar, ya que podrían subestimar los efectos localizados o de corto plazo que pueden ser críticos para ciertos sectores económicos (LeSage, 1999).

Por otra parte, no todas las empresas analizadas cuentan con coordenadas georreferenciadas. Aunque la proporción de registros con georreferenciación es significativa, los casos faltantes fueron excluidos de la muestra, lo que podría introducir un sesgo si las empresas no georreferenciadas presentan características sistemáticamente diferentes. Además, para distribuir la producción a nivel de sucursales se utilizó una aproximación a partir de las ventas de las empresas y sucursales provistas por la encuesta ENESEM, este supuesto, si bien necesario para completar el análisis, puede no reflejar la realidad de sectores con alta concentración de actividad económica en ciertas ubicaciones específicas o en empresas con una estructura de operaciones que no se refleje en la encuesta.

Finalmente, la naturaleza de los modelos espaciales empleados (SAR y SEM) también introduce ciertos supuestos. El modelo SAR asume que las interacciones espaciales se dan directamente en la variable dependiente, mientras que el modelo SEM supone que dichas interacciones afectan los términos de error. Sin embargo, en la práctica, estas dinámicas pueden ser simultáneas, y el uso de un modelo específico podría no capturar la complejidad completa de las relaciones espaciales presentes. Además, ambos modelos dependen críticamente de la matriz de pesos espaciales, cuya definición (en este caso, basada en los 8 vecinos más cercanos) puede influir en los resultados obtenidos, especialmente en áreas con distribución irregular de las celdas analizadas (Anselin, 2003; Elhorst, 2014).

Estas limitaciones son esencial para interpretar los resultados del análisis y evaluar su aplicabilidad en otros contextos. Si bien estas restricciones no invalidan las conclusiones, enfatizan la importancia de considerar los supuestos subyacentes y explorar posibles extensiones que incluyan datos más detallados, resoluciones más finas o enfoques metodológicos alternativos. Este análisis, no obstante, proporciona una base para entender las dinámicas espaciales entre la producción económica y las amenazas climáticas a nivel nacional.

4. RESULTADOS

Las estimaciones obtenidas mediante MCO y espaciales, reportadas en las Tablas 7 y 8 respectivamente, permiten describir correlaciones entre amenazas climáticas y producción económica, desagregadas por sector. Estas correlaciones capturan relaciones diferenciadas entre sectores y tipos de amenaza, y permiten identificar patrones de sensibilidad sectorial frente a posibles eventos climáticos. Además, los estadísticos espaciales complementarios evidencian la presencia de dependencia espacial, lo que refuerza la necesidad de utilizar modelos espaciales.

En la Tabla 7, los modelos estimados por MCO muestran resultados heterogéneos. Las altas temperaturas presentan una correlación negativa y significativa con la producción total, con efectos particularmente marcados en los sectores servicios, manufactura y agropecuario, lo que sugiere una alta sensibilidad a la temperatura en estos sectores. Por su parte, las lluvias intensas tienen un efecto negativo significativo en sectores como industria extractiva y manufactura, mientras que en los demás sectores los coeficientes no son estadísticamente significativos. Las sequías, aunque no muestran significancia estadística en la producción total ni en la mayoría de los sectores, presentan un coeficiente positivo en todos los casos, lo que podría reflejar dinámicas específicas no capturadas por el modelo lineal. Las heladas no exhiben efectos significativos en ninguno de los sectores, aunque en el sector agropecuario su signo negativo es consistente con una posible sensibilidad productiva.

Tabla 7. Estimación por MCO y Moran I por sector y amenaza

Variable	Agropecuario	Industria extractiva no petrolera	Manufactura	Servicios	Total
Sequías	1.139 (0.865)	-1.686 (2.67)	4.605 (4.53)	9.883 (11.234)	19.696 (18.117)
Lluvias intensas	-1.077 ** (0.512)	-4.888 *** (1.748)	-5.287 ** (2.694)	-3.01 (6.132)	-4.125 (9.64)
Heladas	-1.903 (1.309)	-7.069 (4.362)	2.193 (6.874)	-6.488 (15.42)	-1.278 (24.159)
Altas temperaturas	-1.79 *** (0.501)	-9.992 *** (1.914)	-12.043 *** (2.62)	-12.841 ** (5.896)	-21.301 ** (9.239)
Constante	9.828 *** (0.952)	52.021 *** (5.996)	58.963 *** (5.546)	53.931 *** (9.226)	85.969 *** (13.704)
Moran's I					
K=2	0.866***	0.818***	0.980***	0.985***	0.983***
K=4	0.874***	0.882***	0.986***	0.996***	0.976***
K=8	0.902***	0.879***	0.963***	0.989***	0.983***
Moran's I – Z score					
K=2	163.907***	154.818***	185.459***	186.423***	186.008***
K=4	216.454***	218.628***	244.308***	246.719***	241.800***
K=8	278.780***	271.613***	297.738***	305.523***	303.770***

Nota: producción en millones de dólares corrientes. Errores estándar robustos en paréntesis. *p<0.1, **p<0.05, ***p<0.01. En la parte inferior, se reportan los valores del Índice de Moran I y Moran I estandarizado, calculados para los residuales de las estimaciones, evaluando la autocorrelación espacial en los modelos. Los resultados se presentan para diferentes configuraciones de vecinos más cercanos (K=2,4,8).

En la Tabla 8, los modelos espaciales SAR y SEM permiten incorporar explícitamente la dimensión geográfica en el análisis, ofreciendo una representación más fiel de los procesos económicos subyacentes. Ambos modelos logran capturar las correlaciones espaciales que los modelos MCO no pueden explicar, evidenciando que la producción en una región no es independiente de su entorno.

En el caso del modelo SAR, el coeficiente de autorregresión espacial (ρ) es positivo y altamente significativo en todos los sectores, lo cual indica que la producción total en una celda está directamente influenciada por la producción en celdas vecinas. Este hallazgo pone en evidencia procesos de clústeres económicos o efectos de derrame (spillovers), donde el dinamismo de una región puede generar externalidades productivas en su entorno. El modelo SEM también muestra significancia en el coeficiente de autocorrelación espacial de los errores (λ), lo que sugiere la presencia de factores no observados espacialmente estructurados (que podrían incluir infraestructura, conectividad, o regulaciones locales) que afectan de forma correlacionada la producción entre regiones adyacentes.

En cuanto al efecto de las amenazas climáticas, las altas temperaturas mantienen una correlación negativa y significativa en la mayoría de los sectores incluso al incorporar efectos espaciales, lo cual reafirma su rol como un factor adverso para la actividad económica. En particular, este efecto es más fuerte y estadísticamente robusto en sectores como industria extractiva, manufactura y servicios. Las lluvias intensas también presentan coeficientes negativos significativos en varios sectores, aunque con menor magnitud, especialmente en el sector agropecuario e industria extractiva. Las heladas y las sequías muestran patrones más inestables; si bien fueron significativas en algunos modelos MCO, pierden significancia en los modelos espaciales, lo que sugiere que parte de su efecto estaba siendo absorbido por la estructura espacial modelada mediante ρ o λ .

Más allá de los coeficientes espaciales, una de las principales ventajas del modelo SAR es que permite estimar no solo el impacto directo de una variable independiente sobre la unidad geográfica observada, sino también su impacto indirecto o de retroalimentación espacial sobre otras unidades conectadas. Esta desagregación de los efectos ofrece una interpretación más

realista de las relaciones económicas. Por ejemplo, un cambio en las condiciones climáticas de una región puede no solo afectar su propia producción (impacto directo), sino también la de sus vecinas debido a vínculos económicos, logísticos o ecosistémicos compartidos (impacto indirecto). Estos vínculos pueden manifestarse, por ejemplo, a través de redes de comercio local, mercados laborales regionales o cadenas de suministro sectoriales que conectan distintas áreas productivas. En el contexto de amenazas climáticas, esto implica que un evento extremo como una sequía o una ola de calor en una provincia puede afectar la productividad no solo dentro de ese sector, sino también en zonas colindantes que dependen de ella para insumos, transporte, o servicios asociados.

La suma de los impactos directos e indirectos constituye el impacto total, que representa el efecto acumulado de un cambio en una variable sobre todo el sistema espacial. Esta capacidad del modelo SAR de reflejar la naturaleza interdependiente de las regiones es particularmente valiosa para la formulación de políticas públicas, ya que revela que los efectos de un fenómeno climático no están confinados geográficamente y que la adaptación local puede tener consecuencias regionales más amplias.

Por ello, en aplicaciones empíricas como esta, se reportan en la Tabla 9 los efectos directos, indirectos y totales de cada amenaza climática. Esta descomposición, que se puede calcular a partir del inverso espacial $(I - rhoW)^{-1}$ y permite capturar cómo un cambio en una variable explicativa afecta no solo a la unidad observada (impacto directo), sino también a sus vecinas (impacto indirecto), generando un impacto total en todo el sistema espacial. (Elhorst, 2014). Dentro de los hallazgos más importantes se tiene que los efectos indirectos representan una proporción significativa del total, evidenciando la propagación espacial de los impactos climáticos a través de vínculos económicos y geográficos.

Tabla 8. Estimación de modelos SAR y SEM

	Agropecuario		Industria extractiva no petrolera		Manufactura		Servicios		Total	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
Sequías	-0.534 (0.743)	-0.892 (0.948)	-2.265 (2.635)	-2.189 (2.913)	-5.255 (3.96)	-12.702 ** (5.064)	-12.529 (9.782)	-33.824 *** (12.648)	-22.249 (14.811)	-59.372 *** (19.386)
Lluvias intensas	-0.893 ** (0.441)	-1.56 ** (0.706)	-4.207 ** (1.727)	-4.445 ** (2.047)	-3.745 (2.356)	-4.168 (3.700)	-2.990 (5.340)	-2.495 (8.378)	-3.519 (7.88)	-0.971 (12.9)
Heladas	-1.323 (1.124)	-0.768 (1.603)	-7.981 * (4.304)	-9.566 * (4.907)	-3.643 (6.01)	-3.849 (8.432)	-24.232 * (13.439)	-55.114 *** (19.051)	-34.649 * (19.77)	-83.396 *** (28.864)
Altas temperaturas	-0.845 ** (0.43)	-0.353 (0.679)	-8.811 *** (1.892)	-9.082 *** (2.148)	-6.336 *** (2.293)	-4.789 (3.542)	-5.888 (5.136)	-4.338 (7.979)	-8.04 (7.556)	-6.174 (12.269)
ρ	0.084 *** (0.003)		0.030 *** (0.004)		0.08 *** (0.003)		0.083 *** (0.003)		0.094 *** (0.002)	
Λ		0.085 *** (0.003)		0.029 *** (0.004)		0.081 *** (0.003)		0.084 *** (0.003)		0.095 *** (0.002)
Constante	5.641 *** (0.83)	7.135 *** (1.329)	45.553 *** (5.964)	47.849 *** (6.444)	33.924 *** (4.907)	36.469 *** (7.137)	30.993 *** (8.075)	40.49 *** (14.213)	40.480 *** (11.267)	58.656 ** (25.826)
logl	-11221	-11225	-14684	-14686	-15634	-15640	-17792	-17790	-18855	-18851
aic	22455	22461	29380	29382	31279	31291	35597	35589	37723	37713

Nota: producción en millones de dólares corrientes. Errores estándar robustos en paréntesis. * p<0.1, ** p<0.05, *** p<0.01. Columnas (1) corresponden a modelos SAR, (2) a modelos SEM, logl indica el logaritmo de verosimilitud del modelo, mientras que el AIC el criterio de información de Akaike penaliza la complejidad del modelo: valores más bajos de AIC indican mejor ajuste relativo.

Tabla 9. Impactos directos, indirectos y totales estimados por el modelo SAR, por sector y variable climática

	Agropecuario			Industria extractiva no petrolera			Manufactura			Servicios			Total		
	(D)	(I)	(T)	(D)	(I)	(T)	(D)	(I)	(T)	(D)	(I)	(T)	(D)	(I)	(T)
Constante	0.735	1.313	2.047	0.242	0.074	0.317	0.69	1.076	1.765	0.723	1.249	1.972	0.853	2.176	3.028
Sequías	-0.584	-1.043	-1.627	-2.282	-0.699	-2.982	-5.677	-8.855	-14.532	-13.655	-23.583	-37.238	-25.231	-64.39	-89.621
Lluvias intensas	-0.976	-1.745	-2.722	-4.24	-1.299	-5.539	-4.046	-6.311	-10.357	-3.259	-5.629	-8.888	-3.991	-10.185	-14.177
Heladas	-1.446	-2.585	-4.032	-8.044	-2.465	-10.509	-3.935	-6.138	-10.073	-26.409	-45.611	-72.021	-39.294	100.277	139.571
Altas temperaturas	-0.924	-1.651	-2.575	-8.881	-2.722	-11.602	-6.844	-10.676	-17.52	-6.418	-11.084	-17.501	-9.118	-23.268	-32.385

Nota: La tabla presenta la descomposición de los efectos estimados de cada amenaza climática sobre la producción total en millones de dólares corrientes, según el modelo SAR. (D) corresponde al impacto directo, (I) al impacto indirecto y (T) al impacto total, que resulta de la suma de los dos anteriores. Estos valores reflejan cómo los cambios en cada amenaza afectan no solo la celda geográfica donde ocurren, sino también a las celdas vecinas, capturando los efectos de retroalimentación espacial.

5. CONCLUSIONES

El análisis realizado resalta la relación entre las amenazas climáticas y el desempeño económico en los principales sectores productivos de Ecuador, mostrando patrones espaciales y sectoriales de vulnerabilidad. Mediante un enfoque georreferenciado, se identificaron interacciones específicas entre eventos climáticos extremos—como sequías, lluvias intensas, altas temperaturas y heladas—y las actividades económicas en distintos territorios y sectores. Este enfoque permitió observar diferencias en la sensibilidad y exposición de sectores como la agricultura, la manufactura y los servicios a las condiciones climáticas, reflejando la variabilidad de sus efectos.

Se identificó que las sequías y heladas tienen mayor incidencia en el sector agrícola, mientras que las altas temperaturas están relacionadas con impactos en los sectores manufacturero y de servicios. Por otro lado, las lluvias intensas afectan transversalmente a varios sectores, destacándose en áreas relacionadas con infraestructura y transporte. Estos resultados proveen evidencia sobre la necesidad de continuar integrando datos climáticos y económicos para profundizar en la comprensión de estas relaciones y orientar la planificación estratégica a nivel regional y nacional.

La implementación de modelos espaciales permitió incorporar dependencias geográficas y captar patrones espaciales asociados a la actividad económica y las amenazas climáticas. Este enfoque georreferenciado permite expandir las perspectivas para estudios futuros al explorar la interacción entre variables económicas y climáticas con mayor nivel de detalle. Los datos del SPRACC y las bases económicas utilizadas sirvieron como insumos fundamentales para generar un análisis detallado, que facilita la caracterización de riesgos y vulnerabilidades económicas en el contexto del cambio climático.

Los hallazgos destacan la importancia de implementar medidas adaptativas y de planificación con enfoques regionales y sectoriales. Estas acciones pueden optimizarse al identificar y priorizar los sectores más expuestos, permitiendo así fortalecer los sistemas de gestión de riesgos y enfocar recursos en las regiones y sectores con mayor vulnerabilidad ante eventos climáticos extremos. Una planificación diferenciada, ajustada a las características particulares de cada sector y región, es fundamental para promover la resiliencia económica frente a escenarios climáticos futuros.

Asimismo, resulta crucial mantener un enfoque continuo en la interacción entre el cambio climático y la economía. Este enfoque no solo permite generar información que sustente decisiones en políticas públicas y estrategias empresariales, sino que también facilita una comprensión más detallada de las dinámicas específicas entre amenazas climáticas y sectores económicos. Las investigaciones futuras podrían centrarse en analizar temporalidades más precisas o en estudiar cómo las características de diferentes sectores influyen en su vulnerabilidad ante eventos climáticos.

Adoptar una perspectiva integradora puede fortalecer significativamente las capacidades de adaptación y planificación en contextos de creciente incertidumbre climática. Los resultados de este trabajo proporcionan una base sólida para avanzar en la comprensión de las relaciones entre la economía y el clima, contribuyendo a la identificación de sectores económicos y regiones productivas vulnerables ante un escenario creciente de eventos extremos del clima.

REFERENCIAS

- Anselin, L. (2003). Spatial Econometrics. En B. H. Baltagi (Ed.), *A Companion to Theoretical Econometrics* (1a ed., pp. 310–330). Wiley.
<https://doi.org/10.1002/9780470996249.ch15>
- Anselin, L. (2021). *Spatial Models in Econometric Research*.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26447.20641>
- Anselin, L., & Rey, S. J. (2014). *Modern spatial econometrics in practice: A guide to GeoDa, GeoDaSpace and PySAL*. GeoDa Press.
- Burke, M., Hsiang, S. M., & Miguel, E. (2015). Global non-linear effect of temperature on economic production. *Nature*, 527(7577), 235–239.
<https://doi.org/10.1038/nature15725>
- Camacho, M. I., Arias, X., López, F., Degado, O., Pérez, D., Proaño, A. F., & Salazar, S. (2024). Estimación de las pérdidas en el crédito del sistema financiero nacional por la eventual presencia del fenómeno el Niño. *Apuntes de Economía*, 75.
<https://contenido.bce.fin.ec/documentos/PublicacionesNotas/Catalogo/Apuntes/ae75.pdf>
- Carleton, T. A., & Hsiang, S. M. (2016). Social and economic impacts of climate. *Science*, 353(6304), aad9837. <https://doi.org/10.1126/science.aad9837>
- CDKN. (2014). *El Quinto Reporte de Evaluación del IPCC ¿Qué implica para Latinoamérica?* CDKN. <https://cdkn.org/sites/default/files/files/INFORME-del-IPCC-Que-implica-para-Latinoamerica-CDKN.pdf>
- Dell, M., Jones, B. F., & Olken, B. A. (2012). Temperature Shocks and Economic Growth: Evidence from the Last Half Century. *American Economic Journal: Macroeconomics*, 4(3), 66–95. <https://doi.org/10.1257/mac.4.3.66>
- Deschênes, O., & Greenstone, M. (2007). The Economic Impacts of Climate Change: Evidence from Agricultural Output and Random Fluctuations in Weather. *American Economic Review*, 97(1), 354–385. <https://doi.org/10.1257/aer.97.1.354>
- Diffenbaugh, N. S., & Burke, M. (2019). Global warming has increased global economic inequality. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(20), 9808–9813. <https://doi.org/10.1073/pnas.1816020116>
- Elhorst, J. P. (2014). *Spatial Econometrics: From Cross-Sectional Data to Spatial Panels*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-40340-8>
- Estrada, F., & Botzen, W. J. W. (2021). Economic impacts and risks of climate change under failure and success of the Paris Agreement. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1504(1), 95–115. <https://doi.org/10.1111/nyas.14652>
- IPCC. (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC.

- IPCC. (2012). *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation: A Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (p. 582). IPCC. <https://www.ipcc.ch/report/managing-the-risks-of-extreme-events-and-disasters-to-advance-climate-change-adaptation/>
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC.
- Kotz, M., Levermann, A., & Wenz, L. (2022). The effect of rainfall changes on economic production. *Nature*, 601(7892), 223–227. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-04283-8>
- León-Murillo, J. (2017). *Efectos macroeconómicos del fenómeno El Niño en Costa Rica* (No. 02). Banco Central de Costa Rica.
<https://repositorioinvestigaciones.bccr.fi.cr/handle/20.500.12506/232>
- LeSage, J. P. (1999). *The Theory and Practice of Spatial Econometrics*.
- MAATE. (2023). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático del Ecuador (2023-2027)*. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/02/PNA_Plan-Nacional-de-Adaptacion_2023_2027.pdf
- Ministerio de Ambiente Agua y Transición Ecológica & Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2021). *Medidas de adaptación al cambio climático de los planes, programas, proyectos e iniciativas de cambio climático*.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE) y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2016). *Generación de proyecciones climáticas para la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático de Ecuador, bajo los escenarios de emisión RCP del reporte AR5 del IPCC*. <https://spracc.ambiente.gob.ec/geovisor-webs-pracc/frontend/#>
- Ortiz-Bobea, A., Ault, T. R., Carrillo, C. M., Chambers, R. G., & Lobell, D. B. (2021). Anthropogenic climate change has slowed global agricultural productivity growth. *Nature Climate Change*, 11(4), 306–312. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01000-1>
- Ramirez-Villegas, J., Jarvis, A., & Läderach, P. (2013). Empirical approaches for assessing impacts of climate change on agriculture: The EcoCrop model and a case study with grain sorghum. *Agricultural and Forest Meteorology*, 170, 67–78.
<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.09.005>
- Schlenker, W., & Lobell, D. B. (2010). Robust negative impacts of climate change on African agriculture. *Environmental Research Letters*, 5(1), 014010.
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/5/1/014010>
- Seo, N., & Mendelsohn, R. (2008). A Ricardian analysis of the impact of climate change on South American farms. *Chilean journal of agricultural research*, 68(10), 69–79.

ANEXOS

Anexo 1 . Reglas de validación aplicadas al proceso de geocodificación

Para garantizar la calidad de las coordenadas obtenidas en el proceso de geocodificación de empresas y locales, se aplicaron las siguientes reglas de validación. Estas reglas permiten verificar la consistencia entre las coordenadas generadas automáticamente y la información declarada por las empresas, con el objetivo de excluir registros erróneos o inconsistentes:

- **Regla 1. Exclusión por parroquia principal:** Todos los puntos geocodificados que se encuentren fuera de la parroquia principal declarada (por ejemplo, Hermano Miguel en Cuenca) se consideran inválidos y son excluidos del análisis automático. Estos casos son remitidos a validación manual.
- **Regla 2. Exclusión por parroquia urbana:** Los puntos ubicados dentro de la parroquia principal pero fuera de su delimitación urbana también son considerados inválidos en primera instancia. Se someten a validación mediante APIs adicionales o software especializado, y en última instancia a revisión manual.
- **Regla 3. Cercanía geográfica sin distancia mínima definida:** Si un punto está geográficamente próximo a la parroquia urbana esperada, podría aceptarse como válido. Sin embargo, esta regla aún no se aplica de forma operativa debido a la falta de una distancia mínima estandarizada para definir “proximidad”.
- **Regla 4. Inconsistencia interna de datos:** Si el punto geocodificado se encuentra dentro de la parroquia urbana declarada, pero su información de base (calles, referencia, etc.) es inconsistente, el registro será validado usando otras fuentes (APIs, software especializado).
- **Regla 5. Duplicación excesiva en coordenadas:** Si más de 100 registros comparten exactamente la misma coordenada, se consideran inválidos por posible error de codificación masiva, y son sometidos a revisión manual.

- **Regla 6. Aprobación residual:** Todo punto que no incumpla explícitamente las reglas 1 a 5 se considera válido, incluso si no existe coincidencia exacta entre las coordenadas y la dirección declarada (por ejemplo, diferencia entre calle principal y secundaria).

Estas reglas fueron diseñadas en base a criterios técnicos del BCE y con asesoría metodológica de la CEPAL. Su aplicación permitió validar aproximadamente el 52 % de los 422.564 registros analizados durante el periodo 2015–2019.