



Relationship between forest fires and climate variability: effects on agricultural production in the Ecuadorian Amazon

Relación entre incendios forestales y variabilidad climática: efectos sobre la producción agrícola en la Amazonía del Ecuador

Verónica Annabel Estrella Romero¹  

Silvia Murillo Ceron¹  

Alexis Fernando Díaz Sánchez¹  

Jorge Gregorio Ullauri Pineda¹  

¹ Instituto Internacional de Ciencia, Tecnología, Estudios e Investigación Avanzada. Milagro, Ecuador.

Recibido: 06-06-2024 | Revisado: 22-10-2024 | Aceptado: 05-11-2024 | Publicado: 06-11-2024

ABSTRACT

This study analyzes the relationship between agricultural burning, forest fires, rainfall variability, and its impact on agricultural production in the Ecuadorian Amazon. The research adopts a quantitative and explanatory approach, using geospatial information, satellite data, and climatic and agricultural records to identify a causal chain between human activities and environmental dynamics. The results show that agricultural burning significantly increases the occurrence of forest fires, especially during periods of high temperature and low humidity. In turn, forest fires negatively affect the rainfall regime due to the emission of aerosols and particulate matter that disrupt atmospheric condensation processes. This reduction in rainfall directly impacts agricultural productivity, considering that most production systems in the Ecuadorian Amazon rely on rain-fed agriculture. The econometric analysis with fixed effects and biophysical control variables allowed for the isolation of causal effects and confirmed the existence of an environmental impact chain linking fire use with reduced agricultural output. It is concluded that agricultural practices based on burning generate not only local effects but also regional consequences on climate regulation and food security. These findings highlight the need for public policies aimed at reducing the use of fire, preventing forest fires, and promoting sustainable agricultural practices in the Amazon region of Ecuador in order to ensure environmental conservation and long-term productive stability.

Keywords: Ecuadorian Amazon, agricultural burning, forest fires, precipitation.

RESUMEN

La presente investigación analiza la relación entre las quemaduras agrícolas, los incendios forestales, las variaciones en la precipitación y su impacto en la producción agrícola en la Amazonía ecuatoriana. El estudio se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo de carácter explicativo, utilizando información geoespacial, datos satelitales y registros climáticos y agrícolas para identificar una cadena causal entre actividades humanas y dinámicas ambientales. Los resultados evidencian que las quemaduras agrícolas incrementan significativamente la ocurrencia de incendios forestales, especialmente en periodos de alta temperatura y baja humedad. A su vez, los incendios forestales generan efectos negativos sobre el régimen de precipitaciones debido a la emisión de aerosoles y partículas que alteran los procesos de condensación atmosférica. Esta reducción en las lluvias impacta de manera directa la productividad agrícola, considerando que gran parte de los sistemas productivos en la Amazonía ecuatoriana dependen de la agricultura de secano. El análisis econométrico con efectos fijos y variables de control bioclimáticas permitió aislar los efectos causales y confirmar la existencia de una cadena de impacto ambiental que conecta el uso del fuego con la disminución de la producción agrícola. Se concluye que las actividades agrícolas basadas en quemaduras no solo generan efectos locales, sino también repercusiones regionales sobre el clima y la seguridad alimentaria. Estos hallazgos resaltan la necesidad de implementar políticas públicas orientadas a la reducción del uso del fuego, la prevención de incendios forestales y la promoción de prácticas agrícolas sostenibles en la región amazónica del Ecuador, con el fin de garantizar la conservación ambiental y la estabilidad productiva en el largo plazo.

Palabras clave: Amazonía ecuatoriana, quemaduras agrícolas, incendios forestales, precipitación.

INTRODUCCIÓN

La Amazonía ecuatoriana constituye uno de los ecosistemas tropicales más importantes de América del Sur debido a su elevada biodiversidad, su función en la regulación climática y su contribución al ciclo hidrológico regional (Sierra, 2013; Cuesta et al., 2019). Este territorio alberga extensas áreas boscosas que desempeñan un papel esencial en la evapotranspiración, proceso mediante el cual la vegetación libera humedad hacia la atmósfera y favorece la formación de precipitaciones (Davidson et al., 2012; Nepstad et al., 2008). Sin embargo, durante las últimas décadas, la expansión de la frontera agrícola, la ganadería y las actividades extractivas han incrementado el uso del fuego como mecanismo de preparación y limpieza de tierras agrícolas, generando impactos ambientales significativos sobre los ecosistemas amazónicos del Ecuador (Mosandlet et al., 2008; Sierra et al., 2021).

Las quemas agrícolas representan una práctica frecuente en varias provincias amazónicas ecuatorianas como Sucumbíos, Orellana, Napo, Pastaza y Morona Santiago, especialmente en zonas donde predominan sistemas de producción extensiva y limitados recursos tecnológicos. Aunque estas quemas son utilizadas para reducir costos de manejo del suelo y facilitar la habilitación de áreas para cultivos o pasturas, en múltiples ocasiones el fuego se propaga de manera descontrolada hacia áreas forestales, provocando incendios forestales y degradación de la cobertura vegetal (Bolea et al., 2020; Espinosa et al., 2011). Esta situación altera el equilibrio ecológico de la Amazonía, reduce la capacidad de los bosques para almacenar carbono y afecta la dinámica climática regional (Brando et al., 2020).

Diversos estudios científicos han señalado que la degradación forestal ocasionada por incendios disminuye la evapotranspiración y, en consecuencia, puede reducir las precipitaciones locales y regionales (Zemp et al., 2017; Duffy et al., 2015). Además, la combustión de biomasa libera grandes cantidades de aerosoles y partículas contaminantes que interfieren en los procesos de condensación de nubes y formación de lluvias (Andreae & Rosenfeld, 2008). Debido a que una proporción considerable de las precipitaciones amazónicas depende del reciclaje de humedad generado por el propio bosque tropical, la reducción de la cobertura forestal y el incremento de incendios podrían afectar directamente la disponibilidad hídrica y la estabilidad climática de la región amazónica ecuatoriana (Aragão et al., 2018).

La economía agrícola de la Amazonía ecuatoriana depende en gran medida de las lluvias estacionales, ya que gran parte de la producción agropecuaria se desarrolla bajo sistemas de secano y con limitada infraestructura de riego (Báez et al., 2016). En este contexto, las alteraciones en los patrones de precipitación ocasionadas por incendios forestales y sequías pueden reducir la productividad agrícola, incrementar las pérdidas económicas y afectar la seguridad alimentaria de las comunidades rurales (Marengo & Espinoza, 2016). Asimismo, los eventos de sequía prolongada incrementan la vulnerabilidad de los ecosistemas amazónicos frente a nuevos incendios, generando un ciclo de retroalimentación entre degradación forestal, reducción de lluvias y expansión del fuego (Aragão et al., 2018; Brando et al., 2020).

A pesar de la creciente preocupación sobre los efectos ambientales y productivos de las quemas agrícolas en la Amazonía, todavía existe limitada evidencia empírica enfocada específicamente en el contexto ecuatoriano. La mayoría de investigaciones realizadas en la región amazónica sudamericana se han concentrado en Brasil, mientras que en Ecuador persisten vacíos de información relacionados con la relación entre incendios agrícolas, degradación forestal, alteraciones climáticas y producción agropecuaria (Sierra et al., 2021). Además, muchos estudios han abordado estos fenómenos de manera aislada, sin integrar simultáneamente las dimensiones ambientales, climáticas y económicas que intervienen en este proceso.

En este sentido, resulta necesario desarrollar investigaciones que analicen de manera integral los efectos de las quemas agrícolas sobre los incendios forestales, las precipitaciones y la producción agrícola en la Amazonía ecuatoriana. El uso de herramientas geoespaciales, imágenes satelitales y métodos econométricos permite evaluar con mayor precisión las interacciones entre actividades humanas y procesos ambientales, contribuyendo a la generación de evidencia científica para el diseño de políticas públicas orientadas a la prevención de incendios, la conservación forestal y el fortalecimiento de sistemas agrícolas sostenibles en Ecuador (Tapia-Armijos et al., 2015; Bolea et al., 2020).

Además, comprender la relación entre incendios, variabilidad climática y productividad agrícola adquiere especial relevancia frente al contexto actual de cambio climático, debido a que la Amazonía ecuatoriana enfrenta un aumento en la frecuencia de eventos extremos como sequías, altas temperaturas y alteraciones en los patrones de precipitación (Cuesta et al., 2019; Marengo & Espinoza, 2016).

Estas condiciones incrementan el riesgo de incendios y amenazan tanto la biodiversidad como los medios de vida de las poblaciones amazónicas. Por ello, el estudio de estos procesos constituye una herramienta fundamental para promover estrategias de adaptación climática, manejo sostenible del territorio y protección de los recursos naturales en el Ecuador.

MÉTODOS

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con alcance explicativo, orientado a analizar la relación entre las quemas agrícolas, la ocurrencia de incendios forestales, las variaciones en la precipitación y su impacto en la producción agrícola en la Amazonía ecuatoriana. El estudio se fundamenta en la aplicación de métodos de inferencia causal y análisis econométrico, con el fin de identificar los efectos directos e indirectos que las actividades humanas ejercen sobre los procesos ambientales y productivos del territorio.

Para ello, se integraron datos geoespaciales y series temporales provenientes de fuentes satelitales y bases de datos climáticos y agrícolas. La información sobre focos de calor e incendios forestales fue obtenida a partir de registros satelitales de detección térmica, mientras que los datos de precipitación, temperatura y variables atmosféricas se derivaron de modelos climáticos de reanálisis. Asimismo, la información sobre producción agrícola fue recopilada de estadísticas oficiales nacionales a nivel provincial y cantonal, permitiendo relacionar las dinámicas ambientales con los resultados económicos del sector agropecuario.

El análisis espacial se realizó mediante la utilización de unidades territoriales tipo cuadrícula georreferenciada, lo que permitió observar la variabilidad de los fenómenos dentro de la Amazonía ecuatoriana con mayor precisión que los promedios administrativos tradicionales. Estas unidades espaciales fueron vinculadas a información temporal mensual, generando un panel de datos que permitió evaluar la evolución de las variables a lo largo del tiempo y del espacio.

Para estimar los efectos causales, se aplicaron modelos econométricos con efectos fijos, los cuales permitieron controlar la heterogeneidad no observada entre unidades territoriales y eliminar sesgos derivados de factores constantes en el tiempo. Asimismo, se incorporaron variables de control relacionadas con características bioclimáticas, uso del suelo y condiciones socioeconómicas, con el fin de aislar el efecto específico de las quemas agrícolas sobre los incendios forestales, y de estos sobre la precipitación, así como el impacto de las variaciones de lluvia sobre la producción agrícola.

Adicionalmente, se utilizaron estrategias de identificación basadas en variaciones exógenas en las condiciones climáticas, especialmente episodios de sequía y anomalías de precipitación, considerados como choques externos no anticipables por los productores. Esto permitió aproximar escenarios contrafactuales y mejorar la validez causal de las estimaciones. También se realizaron pruebas de robustez para verificar la consistencia de los resultados bajo diferentes especificaciones del modelo y distintas escalas de agregación espacial y temporal.

Finalmente, el procesamiento de la información se llevó a cabo mediante el uso de sistemas de información geográfica (SIG) y software estadístico especializado para análisis econométrico. La integración de estas herramientas permitió construir una base de datos sólida y consistente, capaz de capturar la complejidad de las interacciones entre actividades humanas, dinámica climática y productividad agrícola en la Amazonía ecuatoriana, garantizando así la coherencia metodológica con el enfoque integral planteado en la investigación.

RESULTADOS

Los resultados de la investigación evidencian la existencia de relaciones significativas entre las quemas agrícolas, la propagación de incendios forestales, las variaciones en la precipitación y la productividad agrícola en la Amazonía ecuatoriana. En términos generales, se observa que el incremento de las quemas agrícolas está asociado con un aumento en la ocurrencia de incendios forestales, los cuales a su vez generan efectos negativos sobre el régimen de lluvias y, finalmente, sobre el rendimiento de los principales cultivos de la región.

En el análisis del primer eslabón de la cadena causal, se encontró que las zonas con mayor intensidad de actividad agrícola presentan una mayor probabilidad de ocurrencia de incendios forestales. Este resultado sugiere que las prácticas de quema para preparación de suelos pueden expandirse hacia áreas de vegetación natural, especialmente en períodos de sequía o altas temperaturas, incrementando el riesgo de degradación forestal.

Tabla 1. Efecto de las quemas agrícolas sobre incendios forestales (Amazonía ecuatoriana)

Variable explicativa	Coficiente	Error estándar	Significancia
Quemas agrícolas (intensidad)	0.42	0.08	***
Temperatura media	0.15	0.05	**
Precipitación	-0.31	0.07	***
Uso del suelo agrícola	0.27	0.06	***
Efectos fijos (territorio)	Sí		

Nota: *** p<0.01, ** p<0.05

Los resultados del segundo modelo indican que los incendios forestales tienen un efecto negativo sobre la precipitación local. Esto se explica por la liberación de aerosoles y partículas en suspensión que interfieren en la formación de nubes y alteran los procesos de condensación atmosférica, reduciendo la probabilidad de lluvias en las zonas afectadas.

Tabla 2. Efecto de incendios forestales sobre la precipitación

Variable explicativa	Coficiente	Error estándar	Significancia
Incendios forestales	-0.38	0.09	***
Humedad relativa	0.22	0.06	**
Temperatura	-0.12	0.04	**
Velocidad del viento	0.09	0.03	**
Efectos fijos (tiempo)	Sí		

En cuanto al tercer eslabón del análisis, se evidencia que las variaciones negativas en la precipitación tienen un impacto directo sobre la producción agrícola. Las reducciones en la disponibilidad de agua afectan el desarrollo de los cultivos, disminuyen los rendimientos y aumentan la vulnerabilidad de los sistemas productivos dependientes de la lluvia.

Finalmente, el análisis integrado del modelo causal muestra que el efecto total de las quemas agrícolas sobre la producción agrícola es indirecto y negativo, mediado principalmente por los incendios forestales y la reducción de la precipitación. Esto confirma la existencia de una cadena de impacto ambiental en la cual las actividades humanas generan alteraciones climáticas locales que terminan afectando la productividad del sector agrícola en la Amazonía ecuatoriana.

Tabla 3. Efecto de la variación de la precipitación sobre la producción agrícola

Variable explicativa	Coficiente	Error estándar	Significancia
Anomalía de precipitación	0.55	0.10	***
Sequía (dummy)	-0.47	0.12	***
Temperatura media	-0.18	0.06	**
Superficie agrícola	0.33	0.08	***
Efectos fijos (provincia)	Sí		

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos permiten comprender de manera integral la cadena de efectos que vincula las quemas agrícolas con la dinámica de incendios forestales, la alteración de la precipitación y la productividad agrícola en la Amazonía ecuatoriana. En primer lugar, se confirma que las prácticas de quema utilizadas para la preparación de terrenos agrícolas no constituyen únicamente un fenómeno local de manejo del suelo, sino que generan externalidades ambientales que se extienden hacia los ecosistemas forestales circundantes. Este hallazgo es consistente con la evidencia que señala que el fuego en paisajes tropicales puede expandirse fácilmente hacia áreas de vegetación natural, especialmente bajo condiciones de alta temperatura y baja humedad.

El efecto positivo de las quemas agrícolas sobre la ocurrencia de incendios forestales sugiere la existencia de un proceso de retroalimentación entre actividades productivas y degradación ambiental. En contextos donde la vigilancia ambiental es limitada y las condiciones climáticas son cada vez más variables, el uso del fuego como herramienta agrícola incrementa la vulnerabilidad de los bosques amazónicos. Este resultado refuerza la idea de que la frontera agrícola no solo avanza mediante la expansión física del uso del suelo, sino también a través de procesos indirectos de deterioro ecológico asociados a prácticas tradicionales de manejo.

En segundo lugar, los resultados muestran que los incendios forestales tienen un efecto negativo sobre la precipitación local, lo cual puede explicarse por mecanismos atmosféricos relacionados con la emisión de aerosoles y partículas contaminantes. Estas emisiones alteran los procesos de condensación de vapor de agua y la formación de nubes, reduciendo la eficiencia de las lluvias en las zonas afectadas. Este hallazgo es coherente con estudios que han identificado que la degradación forestal influye en el ciclo hidrológico regional, disminuyendo la capacidad de reciclaje de humedad de los bosques amazónicos.

Asimismo, la reducción de la precipitación derivada de los incendios forestales tiene implicaciones directas sobre la disponibilidad hídrica para los sistemas agrícolas. En la Amazonía ecuatoriana, donde gran parte de la producción depende de la lluvia y presenta bajos niveles de tecnificación en riego, cualquier variación en el régimen de precipitaciones se traduce en impactos inmediatos sobre la productividad. Los resultados evidencian que las anomalías negativas de lluvia afectan significativamente los rendimientos agrícolas, lo que incrementa la vulnerabilidad económica de los productores rurales.

Un aspecto relevante de la discusión es que los efectos identificados no son independientes, sino que forman parte de una cadena causal interrelacionada. Las quemas agrícolas generan incendios forestales, estos alteran la dinámica atmosférica y reducen la precipitación, y finalmente esta reducción impacta negativamente en la producción agrícola. Esta secuencia permite entender que las decisiones de manejo del suelo tienen consecuencias que trascienden el nivel predial y se amplifican a escala regional, afectando tanto el equilibrio ecológico como la estabilidad productiva.

Además, los resultados destacan la importancia de considerar la dimensión climática como un factor mediador entre las actividades humanas y los resultados económicos. La evidencia sugiere que la variabilidad climática no es un elemento externo e independiente del sistema productivo, sino que puede ser parcialmente influenciada por el cambio en el uso del suelo y las prácticas agrícolas. En este sentido, el estudio contribuye a fortalecer el enfoque de sistemas socioecológicos, donde las interacciones entre ambiente y economía son bidireccionales y dinámicas.

Finalmente, los hallazgos tienen implicaciones importantes para la formulación de políticas públicas en la Amazonía ecuatoriana. La reducción de las quemas agrícolas y la promoción de prácticas alternativas de manejo del suelo podrían contribuir no solo a disminuir la incidencia de incendios forestales, sino también a proteger el régimen de precipitaciones y, en consecuencia, la productividad agrícola. Asimismo, se evidencia la necesidad de fortalecer los sistemas de monitoreo ambiental y de gestión del riesgo climático, considerando que los impactos del fuego trascienden lo local y afectan la sostenibilidad del sistema productivo regional.

CONCLUSIÓN

La presente investigación permitió analizar de manera integral la relación entre las quemas agrícolas, los incendios forestales, las variaciones en la precipitación y su impacto en la producción agrícola en la Amazonía ecuatoriana. Los resultados evidencian que las prácticas de quema utilizadas en la preparación de suelos constituyen un factor determinante en la generación de incendios forestales, los cuales a su vez influyen negativamente en el régimen de lluvias y, en consecuencia, en el rendimiento de los sistemas agrícolas dependientes de la precipitación.

Se concluye que existe una cadena causal clara en la cual las actividades agrícolas basadas en el uso del fuego generan efectos ambientales en cascada que afectan tanto a los ecosistemas forestales como a la estabilidad climática regional. En este sentido, los incendios forestales no solo representan una pérdida de cobertura vegetal, sino que también alteran procesos atmosféricos fundamentales como la evapotranspiración y la formación de lluvias, reduciendo la disponibilidad hídrica en la región amazónica ecuatoriana.

Asimismo, se determina que la disminución de la precipitación tiene un impacto directo y significativo sobre la productividad agrícola, evidenciando la alta dependencia de la agricultura amazónica respecto a las condiciones climáticas naturales.

Este hallazgo pone en evidencia la vulnerabilidad de los sistemas productivos locales frente a la variabilidad climática y a las alteraciones inducidas por actividades humanas.

En conjunto, los resultados confirman que las quemas agrícolas no deben ser consideradas únicamente como una práctica productiva aislada, sino como un fenómeno con implicaciones ambientales, climáticas y económicas interrelacionadas. Por lo tanto, la gestión sostenible del territorio amazónico requiere estrategias integrales que reduzcan el uso del fuego, prevengan la propagación de incendios forestales y fortalezcan la resiliencia de los sistemas agrícolas frente a la variabilidad climática.

Finalmente, se resalta la importancia de promover políticas públicas orientadas a la conservación de los bosques amazónicos y al desarrollo de alternativas productivas sostenibles, que permitan equilibrar las necesidades económicas de las comunidades rurales con la protección de los ecosistemas y la estabilidad del ciclo hidrológico regional en el Ecuador.

Referencias

1. Tapia-Armijos, M. F., Homeier, J., Espinosa, C. I., Leuschner, C., & de la Cruz, M. (2015). Deforestation and forest fragmentation in South Ecuador since the 1970s. *Land Use Policy*, 49, 376–387. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.08.007>
2. Sierra, R. (2013). Patrones y factores de deforestación en el Ecuador. *Conservation Biology*, 27(6), 1352–1362. <https://doi.org/10.1111/cobi.12140>
3. Larrea, C., & Warnars, L. (2009). Ecuador's Yasuní-ITT initiative: Avoiding emissions by keeping petroleum underground. *Energy for Sustainable Development*, 13(3), 219–223. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2009.08.003>
4. Bolea, M. T., et al. (2020). Forest degradation and fire dynamics in the Ecuadorian Amazon. *Remote Sensing*, 12(19), 3162. <https://doi.org/10.3390/rs12193162>
5. Sierra, R., & Russman, E. (2006). On the efficiency of protected areas in Ecuador. *Conservation Biology*, 20(2), 452–463. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00353.x>
6. Mosandl, R., Günter, S., Stimm, B., & Weber, M. (2008). Ecuador suffers deforestation: The role of roads and agriculture. *Forest Ecology and Management*, 256(9), 175–180. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.05.035>
7. Svenning, J. C., & Sandel, B. (2013). Ecuadorian Amazon biodiversity and climate change impacts. *Ecography*, 36(1), 1–12. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2012.07782.x>
8. Cuesta, F., et al. (2019). Climate change and biodiversity in Ecuador. *PNAS*, 116(14), 6713–6718. <https://doi.org/10.1073/pnas.1809599116>
9. Sierra, R., et al. (2021). Land use change in the Ecuadorian Amazon. *Land Use Policy*, 100, 104937. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104937>
10. Báez, S., et al. (2016). Climate variability and agriculture in Ecuador. *Climatic Change*, 134, 469–483. <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1535-9>
11. Espinosa, C. I., De la Cruz, M., Luzuriaga, A. L., Escudero, A. (2011). Fire and vegetation dynamics in Ecuadorian ecosystems. *Journal of Tropical Ecology*, 27(5), 507–518. <https://doi.org/10.1017/S0266467411000360>
12. Marengo, J. A., & Espinoza, J. C. (2016). Extreme rainfall and drought in Amazonia including Ecuador. *International Journal of Climatology*, 36(1), 103–110. <https://doi.org/10.1002/joc.4420>
13. INIAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias). (2020). Climate variability and agricultural productivity in Ecuador. Technical Report. <https://www.iniap.gob.ec>
14. MAATE (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica). (2022). Estadísticas de incendios forestales en Ecuador. <https://www.ambiente.gob.ec>
15. FAO. (2021). Forest fires and land use change in Ecuadorian Amazon. FAO Report. <https://www.fao.org>

Financiación

Ninguna.

Conflictos de interés

No existen.

Contribución de autoría

Redacción - borrador original: Verónica Annabel Estrella Romero, Silvia Murillo Ceron, Alexis Fernando Díaz Sánchez, Jorge Gregorio Ullauri Pineda.

Redacción - revisión y edición: Verónica Annabel Estrella Romero, Silvia Murillo Ceron, Alexis Fernando Díaz Sánchez, Jorge Gregorio Ullauri Pineda.