

Impacto de la cobertura de vacunación masiva contra la fiebre amarilla en la prevención y control de brotes en Ecuador: análisis espacio-temporal 2021-2024

Impact of mass yellow fever vaccination coverage on outbreak prevention and control in Ecuador: a spatio-temporal analysis, 2021-2024

Rosa del Carmen Paredes Tapia
Universidad Nacional de Chimborazo
Riobamba - Ecuador
del.paredes@unach.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0006-5137-9921>

Saúl Stalin Lema Asqui*
Universidad Nacional de Chimborazo
Riobamba - Ecuador
sauls.lema@unach.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-8714-2655>

*Correspondencia:
sauls.lema@unach.edu.ec

Cómo citar este artículo:
Paredes, R., & Lema, S. (2025). Impacto de la cobertura de vacunación masiva contra la fiebre amarilla en la prevención y control de brotes en Ecuador: análisis espacio-temporal 2021-2024. *Esprint Investigación*, 4(3), 141-156.
<https://doi.org/10.61347/ei.v4i3.204>

Recibido: 24 de octubre de 2025
Aceptado: 26 de noviembre de 2025
Publicado: 1 de diciembre de 2025

Copyright: Derechos de autor 2025
Rosa del Carmen Paredes Tapia, Saúl Stalin Lema Asqui.



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0.

Resumen: La fiebre amarilla continúa representando un riesgo epidemiológico para los países de la región amazónica. Aunque Ecuador no ha registrado brotes recientes, la circulación viral en zonas fronterizas, la presencia del vector y la movilidad humana sostienen un riesgo latente que exige vigilancia permanente. La vacunación masiva constituye la principal estrategia para prevenir brotes y mitigar impactos sanitarios y económicos. Este estudio evaluó el impacto de las coberturas de vacunación contra la fiebre amarilla en Ecuador mediante un análisis espacio-temporal del periodo 2021-2024. Se aplicó enfoque mixto con un diseño observacional retrospectivo. A partir de registros oficiales del Ministerio de Salud Pública, se realizaron análisis descriptivos, series temporales, descomposición estacional, modelos ARIMA y evaluación geoespacial con SIG. El componente cualitativo se basó en lineamientos de la OPS/OMS y normativa nacional sobre vigilancia y control. Durante los cuatro años analizados se administraron más de 903 025 dosis. La tendencia nacional mostró fluctuaciones, con un incremento sostenido hasta 2023 y posterior estabilización en 2024. Guayas, Los Ríos y Manabí concentraron la mayor actividad vacunal, mientras que las provincias amazónicas presentaron coberturas menores pese a su alto riesgo ecológico. El análisis estacional identificó picos de actividad entre febrero y abril. El modelo ARIMA mostró un ajuste adecuado y proyectó estabilidad moderada para 2025-2026. El análisis geográfico reveló un patrón Costa-Sierra-Amazonia con desigualdades territoriales marcadas. Se concluye que la vacunación contra la fiebre amarilla en Ecuador presenta importantes brechas espaciales y temporales, lo que demanda fortalecer la cobertura en la región amazónica.

Palabras clave: Ecuador, epidemiología, fiebre amarilla, salud pública, series temporales, vacunación.

Abstract: Yellow fever continues to pose an epidemiological risk to countries in the Amazon region. Although Ecuador has not registered recent outbreaks, viral circulation in border areas, the presence of the vector, and human mobility maintain a latent risk that requires constant surveillance. Mass vaccination is the main strategy for preventing outbreaks and mitigating health and economic impacts. This study evaluated the impact of yellow fever vaccination coverage in Ecuador through a spatiotemporal analysis of the period 2021-2024. A retrospective mixed-methods design was used. Descriptive analyses, time series analysis, seasonal decomposition, ARIMA modeling, and geospatial evaluation with GIS were performed using official records from the Ministry of Public Health. The qualitative component was based on PAHO/WHO guidelines and national regulations on surveillance and control. More than 903,025 doses were administered during the four years analyzed. The national trend showed fluctuations, with a sustained increase until 2023 and subsequent stabilization in 2024. Guayas, Los Ríos, and Manabí concentrated the highest vaccination activity, while the Amazonian provinces showed lower coverage despite their high ecological risk. Seasonal analysis identified peaks in activity between February and April. The ARIMA model showed an adequate fit and projected moderate stability for 2025-2026. Geographic analysis revealed a coast-highlands-Amazon pattern with marked territorial inequalities. It is concluded that yellow fever vaccination in Ecuador presents significant spatial and temporal gaps, which necessitates strengthening coverage in the Amazon region.

Keywords: Ecuador, epidemiology, public health, time series, vaccination, yellow fever.

1. Introducción

La fiebre amarilla (FA) es una arbovirosis causada por un flavivirus transmitido por mosquitos, cuyo espectro clínico abarca desde infecciones asintomáticas hasta cuadros hemorrágicos graves con alta letalidad (Gaythorpe et al., 2021; Hewson, 2024). Su epidemiología global está modelada por la interacción entre las características biológicas del virus, la ecología de los vectores *Aedes aegypti* en el ciclo urbano y diversas especies de mosquitos selváticos en el ciclo silvestre y los patrones de movilidad humana en zonas endémicas (Gaythorpe et al., 2021; Ortiz-Martínez&Patiño-Barbosa, 2017). La enfermedad permanece activa en África subsahariana y Sudamérica, donde se registran periódicamente brotes tanto urbanos como selváticos, favorecidos por brechas de vacunación, cambios en la distribución de vectores y condiciones ambientales propicias (Hansen&Barrett, 2021; Staples et al., 2020).

A escala global, la vacunación constituye la medida más efectiva para prevenir la FA y cortar la transmisión viral. La evidencia científica es consistente en señalar que los brotes emergen principalmente en poblaciones con coberturas vacunales incompletas, lo que genera bolsillos de susceptibilidad capaces de amplificar la transmisión. En las Américas, la evolución epidemiológica reciente confirma este patrón: la reemergencia del virus en varios países ha sido atribuida a brechas acumuladas en los programas de inmunización y a la expansión de vectores competentes hacia zonas donde previamente no circulaban (Hansen&Barrett, 2021; Hewson, 2024; Ortiz-Martínez&Patiño-Barbosa, 2017; Martins et al., 2014). Evaluaciones regionales de riesgo han identificado amplias áreas del continente donde la FA continúa siendo una amenaza significativa, y donde la vacunación representa un pilar preventivo indispensable (Chippaux&Chippaux, 2018; Gardner&Ryman, 2010; Abdala-Torres et al., 2024).

Experiencias internacionales como el brote ocurrido en Brasil entre 2008 y 2009 principalmente en poblaciones no vacunadas ejemplifican las consecuencias sanitarias de mantener grupos susceptibles en territorios de riesgo (Melo et al., 2020; Martins et al., 2014). Situaciones similares registradas en Nigeria durante la década de 2010 y a inicios de la de 2020 subrayan la importancia de implementar campañas masivas de vacunación durante emergencias y de sostener coberturas adecuadas en periodos interepidémicos (Abdulkadir et al., 2019; Chippaux&Chippaux, 2018; Kolawole et al., 2018). Los estudios sobre campañas de vacunación y respuestas a brotes destacan la necesidad de intervenciones oportunas, estrategias de cobertura amplia, vigilancia epidemiológica intensificada y mecanismos que permitan aumentar la disponibilidad de dosis cuando la demanda supera la oferta (Gotuzzo et al., 2013; Rosenstein et al., 2021; Wu&Peak, 2024).

En el contexto regional, Ecuador se ubica en un corredor biogeográfico donde convergen condiciones ambientales, vectoriales y demográficas que sostienen un riesgo persistente de introducción o reemergencia de la FA. La literatura internacional identifica amplias zonas de la Amazonía como áreas de alto riesgo, en las que las coberturas vacunales deben mantenerse por encima de los umbrales recomendados para evitar brotes (Gotuzzo et al., 2013; Martin et al., 2021; Rosenstein et al., 2021; Staples et al., 2020). Aunque Ecuador no ha reportado brotes recientes, su proximidad a territorios amazónicos con circulación activa, la presencia de vectores competentes y la movilidad fronteriza incrementan la vulnerabilidad epidemiológica del país. La evidencia señala que la heterogeneidad subnacional en la cobertura especialmente en zonas rurales y de difícil acceso—constituye un determinante clave del riesgo, y que los análisis espacio-temporales son herramientas fundamentales para monitorear tendencias y orientar intervenciones focalizadas (Ortiz-Martínez&Patiño-Barbosa, 2017).

En este contexto, el presente estudio tiene como propósito describir las dinámicas temporales y espaciales de la vacunación contra la FA en Ecuador entre 2021 y 2024, analizando su relación con el riesgo epidemiológico en distintas provincias y cantones del país. Este enfoque permite comprender la distribución real de la protección poblacional, identificar brechas geográficas y generar evidencia técnica para fortalecer las estrategias de inmunización y vigilancia dirigidas a prevenir brotes en el territorio nacional.

2. Metodología

El estudio se desarrolló bajo un enfoque mixto con predominio cuantitativo. El componente cuantitativo analizó datos administrativos de vacunación contra la fiebre amarilla registrados por el Ministerio de Salud Pública del Ecuador (2024) mediante técnicas estadísticas, análisis temporal, modelaje ARIMA y evaluación geoespacial. En complemento, el componente cualitativo consistió en una revisión analítica de literatura científica y documentos técnicos internacionales, lo que permitió contextualizar e interpretar los patrones observados desde una perspectiva epidemiológica.

Además, la investigación se aplicó mediante un diseño observacional retrospectivo, adecuado para examinar tendencias y variaciones en un período ya concluido. La metodología se organizó en cuatro fases: (1) recopilación y depuración de datos; (2) generación de bases analíticas mensuales; (3) análisis estadísticos descriptivos, temporales y espacio-temporales mediante RStudio; y (4) modelamiento predictivo y evaluación del impacto mediante modelos ARIMA.

El procesamiento y análisis se llevaron a cabo íntegramente en RStudio (R versión 2025.09.2). En la etapa de depuración se normalizaron nombres de variables, se estandarizaron provincias y cantones, se generaron variables temporales y se eliminaron duplicados y registros inconsistentes. Posteriormente, se construyeron bases agregadas a nivel establecimiento-mes, cantón-mes, provincia-mes y país-mes, verificando la integridad mediante revisión de valores faltantes, coherencia cronológica y detección de valores atípicos mediante inspección gráfica y reglas programáticas, garantizando así la reproducibilidad del estudio.

Para caracterizar el comportamiento mensual de la vacunación se realizaron análisis estadísticos descriptivos utilizando medidas de tendencia central y dispersión, frecuencias absolutas y relativas, además de gráficos temporales en distintas escalas geográficas. Con el objetivo de modelar la dinámica temporal y generar proyecciones que permitieran anticipar patrones futuros, se ajustó un modelo ARIMA (p, d, q). Los parámetros fueron estimados mediante selección automática basada en los criterios AIC y BIC. La validación del modelo incluyó análisis de residuos mediante histogramas, gráficos ACF y PACF, verificación visual de la normalidad y ausencia de autocorrelación, así como pruebas formales de ajuste. Una vez validado, se generó un pronóstico a 24 meses (enero 2025–diciembre 2026), lo que permitió evaluar la estabilidad del sistema de vacunación y las fluctuaciones esperadas en la aplicación de dosis.

Para examinar desigualdades territoriales y brechas en la cobertura, se desarrolló un análisis geoespacial utilizando los paquetes *sf* y *ggplot2* en RStudio. Se elaboraron mapas coropléticos que reflejaron la intensidad de dosis por provincia, facilitando la identificación de zonas críticas o con menor actividad vacunal. De manera complementaria, se construyó una curva de concentración tipo Lorenz para evaluar la distribución operativa de la vacunación y determinar si un número reducido de establecimientos concentraba la mayoría de aplicaciones. Este análisis resulta fundamental para comprender la estructura operativa del sistema y su influencia potencial en la cobertura poblacional.

El componente cualitativo consistió en una revisión exhaustiva de literatura científica y documentos técnicos de la OPS/OMS relacionados con la transmisión, la eficacia vacunal, los brotes históricos y las estrategias de control. Esta revisión permitió contextualizar los resultados cuantitativos en el marco del riesgo regional y global, reforzando la interpretación epidemiológica del comportamiento observado en Ecuador.

Finalmente, el estudio utilizó únicamente datos agregados sin información personal, por lo que se clasifica como una investigación sin riesgo.

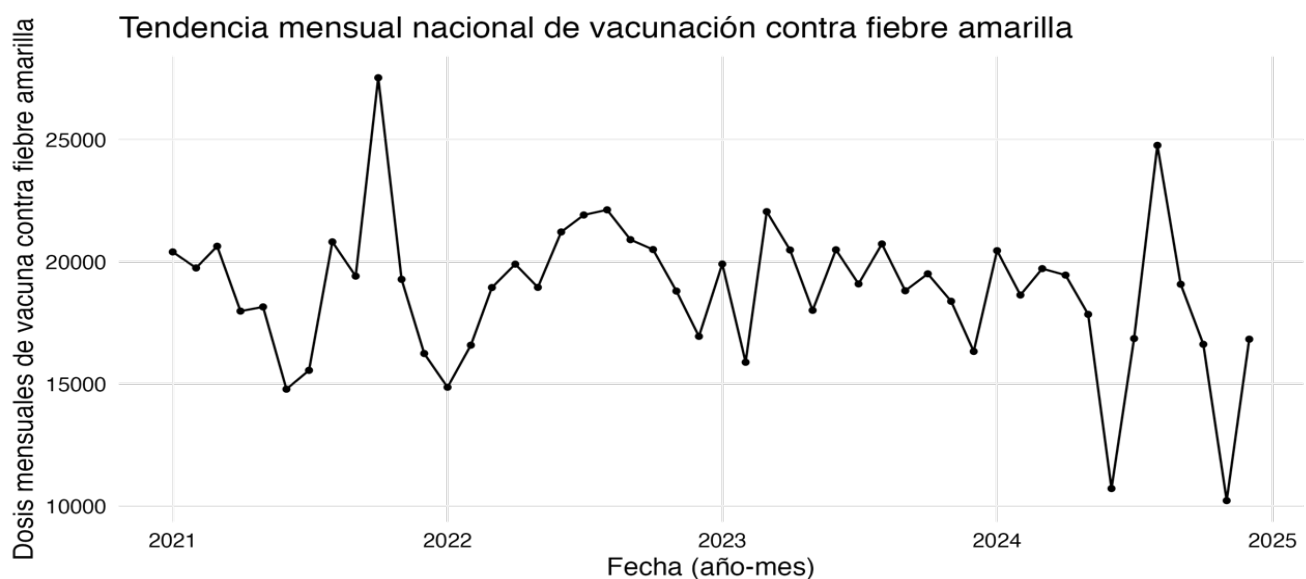
3. Resultados

Tendencias temporales nacionales

Durante el período comprendido entre enero de 2021 y diciembre de 2024 se registraron 903 025 dosis de vacuna contra la fiebre amarilla administradas a nivel nacional. La evolución mensual de la vacunación, presentada en la Figura 1, muestra una variabilidad notable entre meses y años, evidenciando fluctuaciones en la intensidad de las actividades de inmunización a lo largo del periodo analizado.

Figura 1

Serie temporal mensual de dosis administradas contra fiebre amarilla en Ecuador (2021–2024)



La Tabla 1 sintetiza los valores anuales de dosis administradas, incluyendo el total por año, la media mensual y la desviación estándar. Esta información cuantifica la magnitud de la vacunación anual y complementa la representación gráfica de la serie temporal, proporcionando una visión más completa del comportamiento de la cobertura vacunal en el país.

Tabla 1

Dosis anuales de vacuna contra fiebre amarilla en Ecuador (2021–2024)

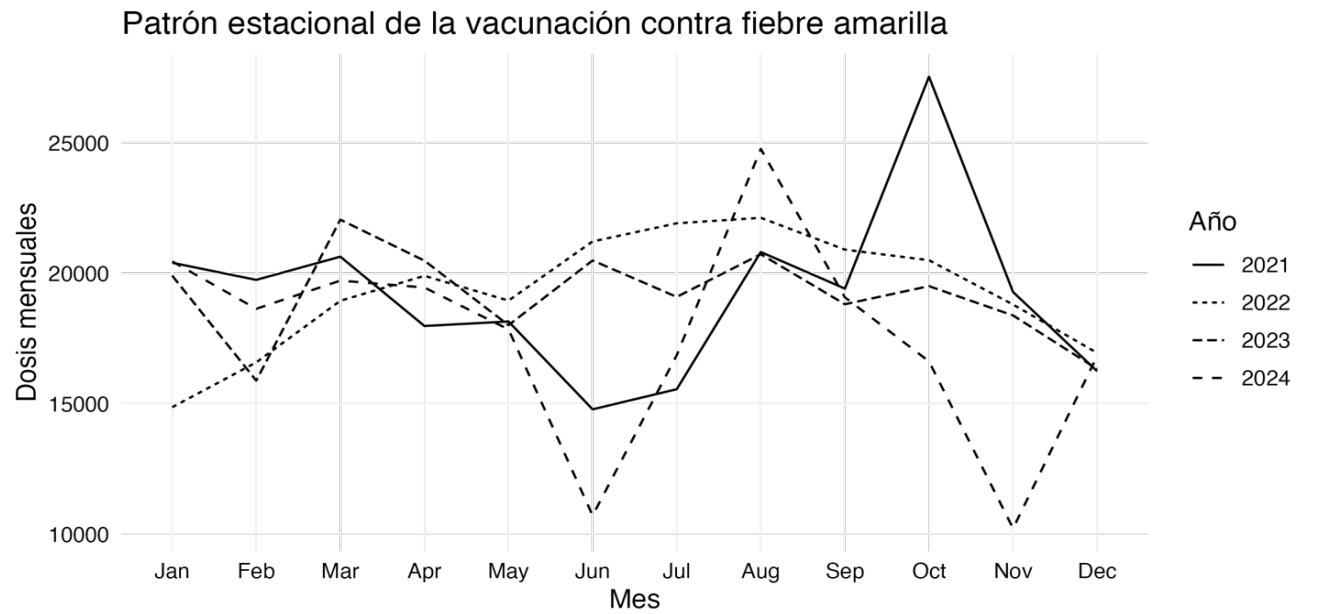
Año	Dosis totales	Media mensual	Desviación estándar mensual
2021	230,524	19,210.33	3,303.09
2022	231,644	19,303.67	2,255.92
2023	229,671	19,139.25	1,804.23
2024	211,186	17,598.83	3,985.01

Variación estacional de la vacunación

La vacunación contra la fiebre amarilla presentó variaciones sistemáticas a lo largo del año durante el periodo 2021–2024. La Figura 2 muestra el patrón estacional agregado, donde se evidencia que los registros mensuales tienden a agruparse de manera consistente por año, con incrementos y descensos que se repiten en intervalos similares.

Figura 2

Patrón estacional de la vacunación contra fiebre amarilla en Ecuador, 2021–2024



En particular, la distribución mensual revela fluctuaciones recurrentes que sugieren la presencia de ciclos estacionales en las actividades de inmunización, caracterizados por meses con mayor concentración de dosis administradas y otros con reducciones marcadas.

Heterogeneidad geográfica provincial

La distribución de la vacunación contra la fiebre amarilla mostró una variabilidad notable entre provincias durante el periodo 2021–2024. La Tabla 2 detalla el número de dosis administradas por provincia y por año, lo que permite cuantificar las diferencias en el volumen de vacunación entre las distintas unidades territoriales.

Tabla 2

Dosis anuales de vacuna contra fiebre amarilla por provincia, 2021–2024

Provincia	Año	Dosis totales	Media mensual
Azuay	2021	10,535	877.92
Azuay	2022	9,725	810.42
Azuay	2023	9,788	815.67
Azuay	2024	9,133	761.08
Bolívar	2021	2,834	236.17
Bolívar	2022	2,767	230.58
Bolívar	2023	2,642	220.17
Bolívar	2024	2,477	206.42
Carchi	2021	2,217	184.75
Carchi	2022	2,201	183.42
Carchi	2023	2,094	174.50
Carchi	2024	2,151	179.25
Cañar	2021	3,833	319.42
Cañar	2022	3,610	300.83
Cañar	2023	3,295	274.58
Cañar	2024	3,039	253.25
Chimborazo	2021	5,778	481.50
Chimborazo	2022	5,419	451.58
Chimborazo	2023	5,623	468.58
Chimborazo	2024	5,541	461.75
Cotopaxi	2021	6,576	548.00
Cotopaxi	2022	6,307	525.58
Cotopaxi	2023	6,319	526.58
Cotopaxi	2024	6,208	517.33
El Oro	2021	9,004	750.33
El Oro	2022	10,114	842.83
El Oro	2023	9,146	762.17
El Oro	2024	8,614	717.83
Esmeraldas	2021	9,208	767.33
Esmeraldas	2022	11,502	958.50
Esmeraldas	2023	11,168	930.67

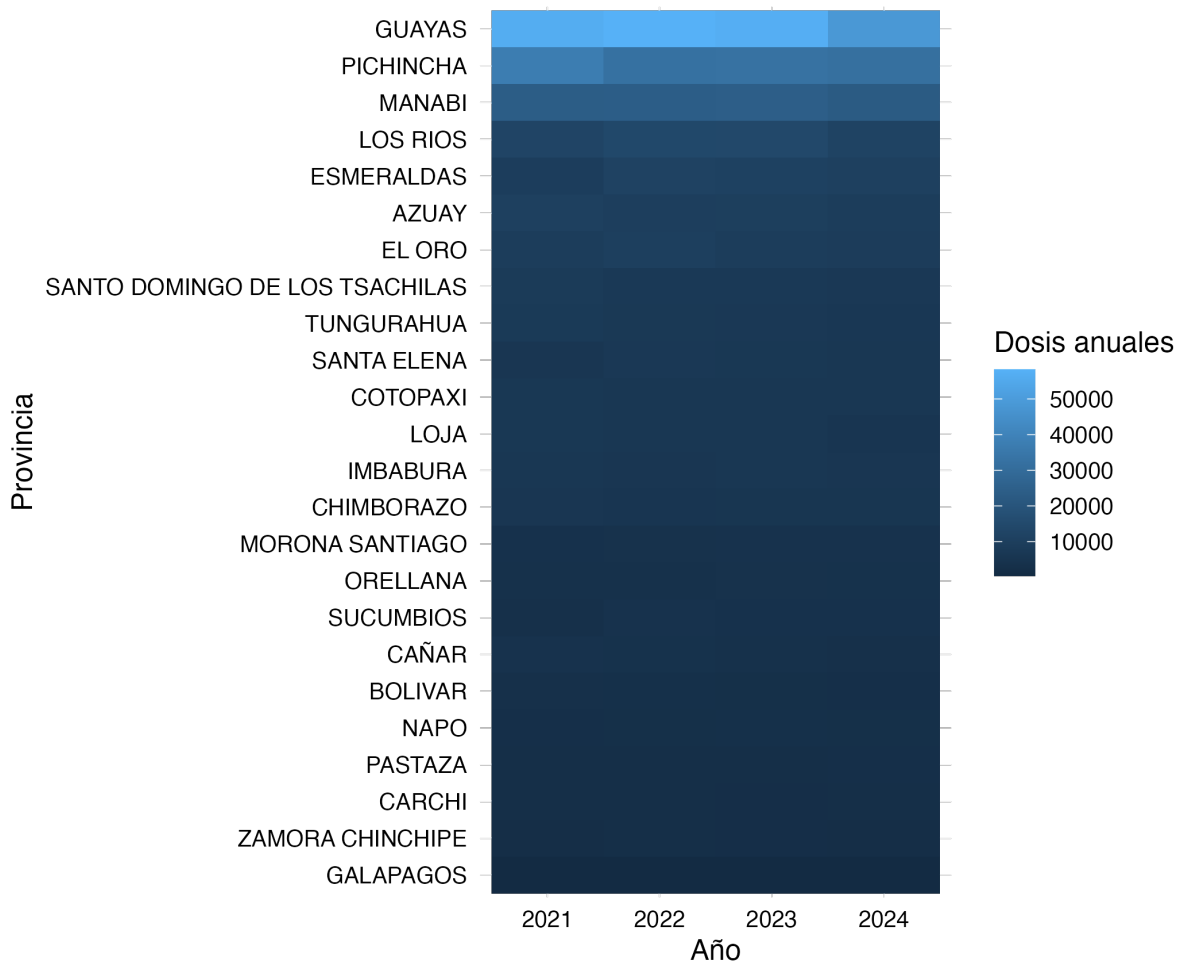
Provincia	Año	Dosis totales	Media mensual
Esmeraldas	2024	10,350	862.50
Galápagos	2021	410	34.17
Galápagos	2022	368	30.67
Galápagos	2023	412	34.33
Galápagos	2024	375	31.25
Guayas	2021	56,539	2,355.79
Guayas	2022	58,244	4,853.67
Guayas	2023	57,196	2,383.17
Guayas	2024	48,253	2,010.54
Imbabura	2021	6,325	527.08
Imbabura	2022	5,955	496.25
Imbabura	2023	6,111	509.25
Imbabura	2024	5,792	482.67
Loja	2021	6,570	547.50
Loja	2022	6,171	514.25
Loja	2023	6,061	505.08
Loja	2024	5,454	454.50
Los Ríos	2021	12,563	1,046.92
Los Ríos	2022	14,001	1,166.75
Los Ríos	2023	14,198	1,183.17
Los Ríos	2024	11,821	985.08
Manabí	2021	23,404	1,950.33
Manabí	2022	23,760	1,980.00
Manabí	2023	24,215	2,017.92
Manabí	2024	22,687	1,890.58
Morona Santiago	2021	3,523	293.58
Morona Santiago	2022	3,790	315.83
Morona Santiago	2023	3,955	329.58
Morona Santiago	2024	4,029	335.75
Napo	2021	2,399	199.92
Napo	2022	2,625	218.75
Napo	2023	2,762	230.17
Napo	2024	2,635	219.58

Provincia	Año	Dosis totales	Media mensual
Orellana	2021	3,261	271.75
Orellana	2022	3,440	286.67
Orellana	2023	3,752	312.67
Orellana	2024	3,692	307.67
Pastaza	2021	2,178	181.50
Pastaza	2022	2,299	191.58
Pastaza	2023	2,306	192.17
Pastaza	2024	2,402	200.17
Pichincha	2021	37,085	1,545.21
Pichincha	2022	32,167	2,680.58
Pichincha	2023	32,509	1,354.54
Pichincha	2024	31,663	1,319.29
Santa Elena	2021	5,797	483.08
Santa Elena	2022	6,760	563.33
Santa Elena	2023	6,583	548.58
Santa Elena	2024	6,067	505.58
Santo Domingo de los Tsáchilas	2021	8,085	673.75
Santo Domingo de los Tsáchilas	2022	7,397	616.42
Santo Domingo de los Tsáchilas	2023	7,223	601.92
Santo Domingo de los Tsáchilas	2024	6,894	574.50
Sucumbíos	2021	3,005	250.42
Sucumbíos	2022	3,903	325.25
Sucumbíos	2023	3,528	294.00
Sucumbíos	2024	3,521	293.42
Tungurahua	2021	7,532	627.67
Tungurahua	2022	6,979	581.58
Tungurahua	2023	6,706	558.83
Tungurahua	2024	6,408	534.00
Zamora Chinchipe	2021	1,863	155.25
Zamora Chinchipe	2022	2,140	178.33
Zamora Chinchipe	2023	2,079	173.25
Zamora Chinchipe	2024	1,980	165.00

Estos resultados se visualizan en la Figura 3 mediante un mapa de calor, donde se aprecia la variación relativa en el número de dosis aplicadas en cada provincia a lo largo del tiempo.

Figura 3

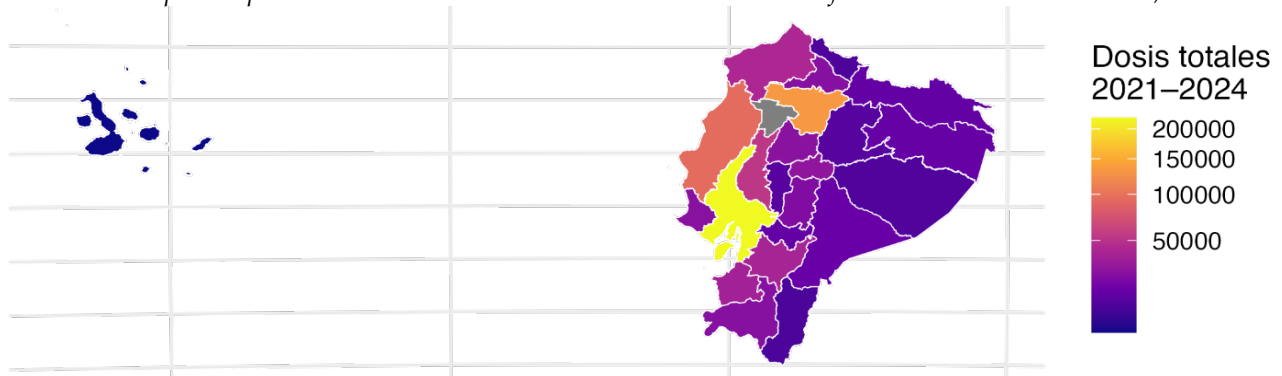
Mapa de calor de dosis anuales de vacuna contra fiebre amarilla por provincia, 2021–2024



De manera complementaria, la Figura 4 presenta la distribución espacial acumulada de la vacunación durante todo el periodo de estudio, utilizando una escala de colores graduada para representar el total de dosis administradas por provincia.

Figura 4

Distribución espacial provincial de la vacunación acumulada contra fiebre amarilla en Ecuador, 2021–2024



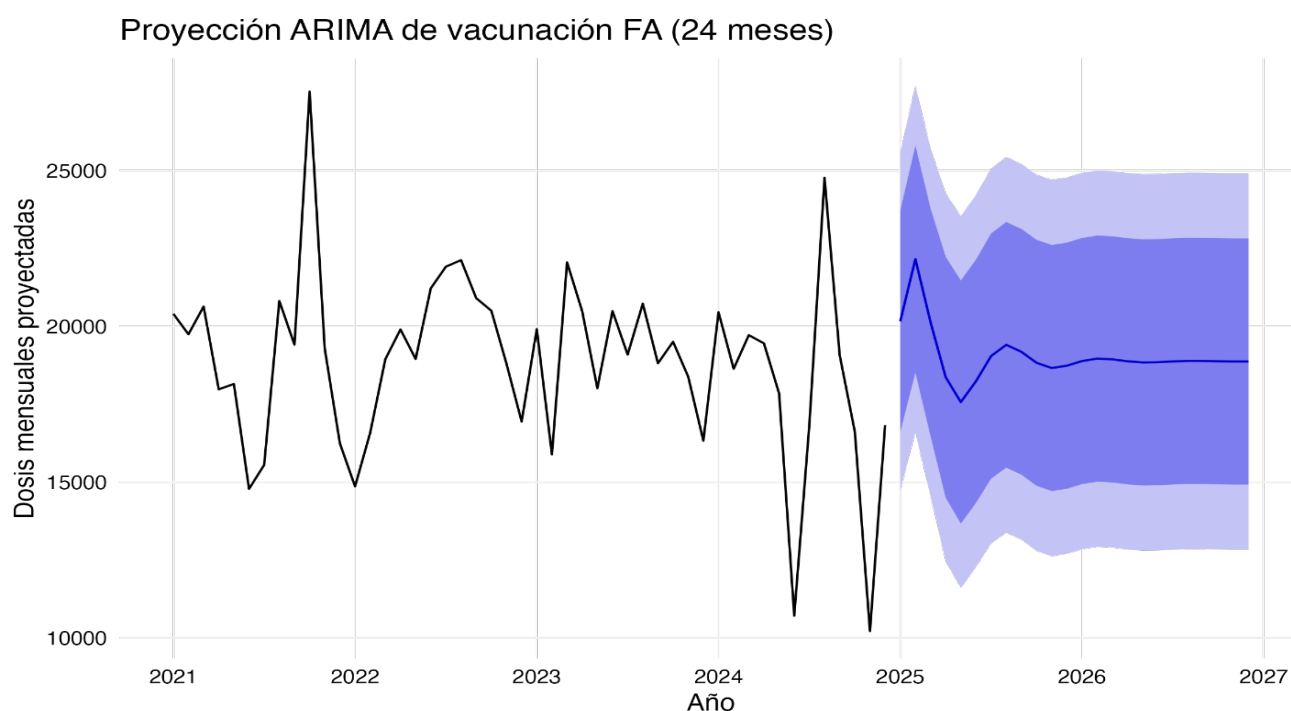
Modelaje de series temporales mediante ARIMA

El modelo ARIMA se ajustó utilizando la serie temporal nacional correspondiente al total mensual de dosis de vacuna contra la fiebre amarilla administradas en Ecuador entre enero de 2021 y diciembre de 2024, conformando un conjunto de 48 observaciones mensuales consecutivas que fueron tomados de la base de datos del Ministerio de Salud Pública del Ecuador (2025). Este modelo se empleó con el propósito de caracterizar la estructura temporal de la vacunación y generar proyecciones futuras. El proceso de estimación permitió identificar los parámetros óptimos mediante criterios AIC y BIC, obteniéndose un modelo estadísticamente estable y adecuadamente ajustado a la información histórica, capaz de describir la tendencia vacunal y su variabilidad interanual.

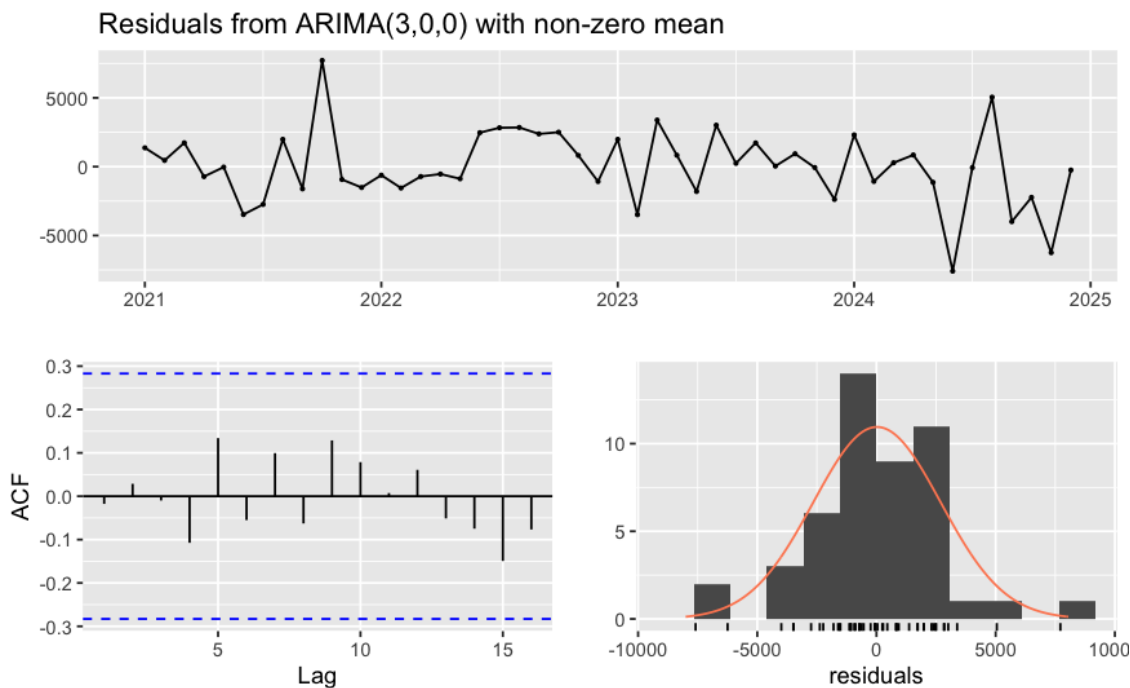
La Figura 6 presenta el pronóstico a 24 meses derivado del modelo ajustado, que incluye la serie observada, los valores proyectados y los intervalos de predicción al 95%. El modelo generó una proyección central consistente con la tendencia histórica, junto con un rango de incertidumbre que se amplía hacia el final del horizonte de pronóstico, reflejando la variabilidad inherente a los datos.

Figura 6

Pronóstico ARIMA a 24 meses de la serie mensual de vacunación contra fiebre amarilla



El diagnóstico del modelo se evaluó mediante el análisis de residuos. La Figura 7 muestra el histograma de los residuos del ARIMA con la distribución teórica superpuesta, en el que se observa una dispersión centrada alrededor de cero (panel inferior derecho). Complementariamente, presenta las funciones de autocorrelación (ACF) de los residuos (panel inferior izquierdo). Ambas gráficas evidencian la ausencia de correlaciones significativas en los rezagos considerados, lo que indica que los residuos presentan un comportamiento compatible con ruido blanco.

Figura 7*Funciones ACF y de los residuos del modelo ARIMA*

4. Discusión

El hallazgo central de este estudio fue que la vacunación contra la fiebre amarilla en Ecuador presentó una marcada heterogeneidad espacio-temporal, con diferencias claras entre años, meses y provincias, configurando un panorama de protección desigual frente al riesgo de brotes. Este patrón coincide con lo descrito en análisis regionales de coberturas en África y América Latina, donde los sistemas de vacunación evidencian brechas territoriales que condicionan la vulnerabilidad poblacional (Aliaga-Samanez et al., 2022; Fene et al., 2025; Gaythorpe et al., 2021).

La variación temporal mostró fluctuaciones y periodos de mayor y menor actividad vacunal, coherentes con estudios que documentan la sensibilidad de los programas de inmunización a cambios operativos, disponibilidad de recursos y perturbaciones externas, como la pandemia por COVID-19 (Gaythorpe et al., 2021; Melo et al., 2020; Richardson et al., 2020). A diferencia de esos trabajos, centrados en agregados nacionales o regionales, el presente estudio aportó un análisis detallado de la estructura temporal mediante series mensuales y modelaje ARIMA, lo que permitió describir la irregularidad de la actividad vacunal y anticipar su posible comportamiento futuro (Martins et al., 2022).

El patrón estacional identificado sugiere que la vacunación se organizó en torno a ciclos programáticos más que en respuesta a variaciones abruptas del riesgo epidemiológico. En la literatura, la estacionalidad en programas de inmunización se ha asociado a calendarios escolares, condiciones climáticas y disponibilidad de brigadas móviles (Bassey et al., 2021; Martins et al., 2022; Takey et al., 2021). En el contexto ecuatoriano, la presencia de una estacionalidad moderada pero consistente indica oportunidades para optimizar la programación de actividades y alinearlas con periodos de mayor demanda o riesgo vectorial, un aspecto poco explorado en estudios previos sobre fiebre amarilla en la región.

La heterogeneidad provincial encontrada concuerda con evaluaciones que evidencian disparidades subnacionales en la vacunación contra la fiebre amarilla en otros países, donde áreas rurales, selváticas o de difícil acceso suelen presentar coberturas más bajas. Sin embargo, este estudio ofrece una contribución novedosa al documentar de forma sistemática la distribución espacial de la vacunación en Ecuador, integrando mapas provinciales y análisis cuantitativos que permitieron identificar territorios con menor intensidad vacunal, potencialmente más susceptibles ante una eventual reintroducción viral (Bassey et al., 2021; Martins et al., 2014; Sippy et al., 2020).

La concentración operativa en un subconjunto de establecimientos de salud mostró que gran parte de la actividad vacunal se concentró en un número reducido de unidades. Este comportamiento coincide con estudios sobre organización de servicios, donde la centralización puede favorecer la eficiencia en zonas urbanas, pero también generar dependencia de unos pocos puntos de atención, de modo que cualquier interrupción afecte de manera desproporcionada la cobertura (Lara et al., 2022; Pérez et al., 2025; Sippy et al., 2020). Los resultados sugieren la necesidad de revisar la distribución de la oferta vacunal y garantizar alternativas en territorios con acceso limitado a estos establecimientos altamente activos.

El modelaje ARIMA y el pronóstico a 24 meses indicaron que, en ausencia de cambios estructurales, la vacunación tendería a mantener un comportamiento estable, con variabilidad dentro de rangos similares a los observados. La utilidad de este tipo de modelos ha sido demostrada en evaluaciones de campañas y en estudios sobre interrupciones programáticas en distintos contextos. En este caso, el modelo constituyó una herramienta valiosa para la planificación y permitió simular escenarios futuros sobre la continuidad de la protección poblacional.

Los resultados son coherentes con la evidencia internacional que señala que la fiebre amarilla continúa siendo una amenaza en regiones con coberturas vacunales heterogéneas y con factores ecológicos y de movilidad que favorecen la transmisión. La experiencia de brotes en Brasil, Nigeria y otros países muestra que la combinación de coberturas incompletas y circulación viral puede desencadenar epidemias de gran magnitud (Abdulkadir et al., 2019; Bassey et al., 2022; Pérez et al., 2025; Martins et al., 2014; Abdala-Torres et al., 2024). Aunque Ecuador no ha registrado brotes recientes, los patrones espaciales y temporales irregulares detectados sugieren que el país no está exento de riesgo si no refuerza sus coberturas en zonas de mayor exposición.

Este estudio ofrece varias contribuciones originales: constituye uno de los primeros análisis espacio-temporales sistemáticos de la vacunación contra la fiebre amarilla en Ecuador con datos recientes; integra herramientas estadísticas avanzadas (ARIMA) con análisis geoespacial; y sitúa la experiencia ecuatoriana en el contexto internacional, articulando sus hallazgos con evidencia consolidada sobre vacunación, eficacia vacunal y riesgo epidemiológico.

El estudio demuestra que la vacunación contra la fiebre amarilla en Ecuador se distribuyó de forma desigual en el tiempo y el espacio, lo que subraya la importancia de aplicar análisis espacio-temporales avanzados para orientar estrategias de inmunización en un contexto donde la enfermedad sigue representando un riesgo prevenible mediante vacunación.

Limitaciones

Entre las principales limitaciones, este estudio se basó en datos administrativos susceptibles a subregistro y variaciones en su calidad, y no incorporó información sobre la incidencia de fiebre amarilla que permitiera evaluar de manera directa la relación entre vacunación y ocurrencia de casos, como sí ha sido posible en países que han experimentado brotes recientes. Asimismo, no se

incluyeron variables contextuales potencialmente relevantes, lo que abre oportunidades para investigaciones futuras orientadas a profundizar en relaciones causales y a comprender mejor los determinantes de la variabilidad observada.

A pesar de estas limitaciones, los resultados presentan implicaciones claras para la salud pública. La evidencia de heterogeneidad geográfica y de concentración operativa subraya la necesidad de fortalecer la vacunación en territorios con menor actividad, optimizar la distribución de los servicios y mantener un monitoreo continuo mediante herramientas de modelaje estadístico. Estos elementos son fundamentales para consolidar coberturas más homogéneas y reducir la probabilidad de reemergencia del virus en el país.

5. Conclusiones

El análisis temporal, espacial y mediante modelaje aplicado a los datos nacionales de vacunación contra la fiebre amarilla (2021–2024) permitió identificar patrones consistentes con la evidencia disponible y responder de manera directa a los objetivos planteados. Los resultados mostraron que la vacunación se mantuvo activa durante todo el período de estudio, aunque con fluctuaciones mensuales que reflejaron un comportamiento estacional discernible y variaciones propias de la operación programática. La distribución provincial evidenció una heterogeneidad geográfica marcada, con mayores volúmenes de dosis en determinadas provincias amazónicas y reducciones relativas en otras zonas del país, lo que sugiere diferencias territoriales en oferta, acceso y ejecución.

El modelaje ARIMA ajustado a la serie nacional estimó que la tendencia futura permanecería relativamente estable en ausencia de intervenciones adicionales, aunque con intervalos de predicción amplios que reflejan la incertidumbre estructural inherente a la ejecución programática. En conjunto, los hallazgos describen un sistema de vacunación funcional, pero con brechas espaciales y estacionales que podrían influir en la preparación frente a la fiebre amarilla, especialmente en territorios donde persiste el riesgo ecológico. Estas conclusiones pueden orientar acciones específicas, como el fortalecimiento de la planificación provincial y la anticipación de periodos de mayor demanda o flujo vacunal.

Investigaciones futuras podrían integrar variables climáticas, movilidad humana y presencia vectorial para profundizar en los determinantes espaciales de la vacunación y explorar modelos que vinculen cobertura e incidencia, ampliando así la capacidad predictiva demostrada en este estudio.

Referencias

- Abdala-Torres, T., Campi-Azevedo, A., da Silva-Pereira, R., dos Santos, L., Henriques, P., Costa-Rocha, I., Otta, D., Peruhype-Magalhães, V., Teixeira-Carvalho, A., Araújo, M., Fernandes, E., Sato, H. K., Fantinato, F., Domingues, C., Kallás, E., Tomiyama, H., Lemos, J., Coelho-dos-Reis, J., de Lima, S., ... do Antonelli, L. do V. (2024). Immune response induced by standard and fractional doses of 17DD yellow fever vaccine. *Npj Vaccines*, 9(1), 54. <https://doi.org/10.1038/s41541-024-00836-w>
- Abdulkadir B., Dazy D., Abubakar M., Farida A., Samira I., Aladelokun J., Nafisat S., Olaosebikan V., Ibrahim E., Samira A. y Nwadigwe MO (2025). Tendencias actuales de la fiebre amarilla en Nigeria: Desafíos y perspectivas. *Revista de Investigación en Microbiología de la UMYU*, 4 (2), 64–69. <https://n9.cl/9zoap>
- Aliaga-Samanez, A., Real, R., Segura, M., Marfil-Daza, C., & Olivero, J. (2022). Yellow fever surveillance suggests zoonotic and anthroponotic emergent potential. *Communications Biology*, 5(1), 530. <https://n9.cl/v3ev7>

- Bassey, E, Braka, F., Onyibe, R., Kolude, O., Oluwadare, M., Oluwabukola Alawale, O., ... Olayiwola, S. (2021). *The resurgence of yellow fever in Oyo State, Nigeria: What's the missing link?* Preprint at Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-556592/v1>
- Bassey, B., Braka, F., Onyibe, R., Kolude, O., Oluwadare, M., Oluwabukola, A., Omotunde, O., Iyanda, O. A., Tella, A. A., & Olanike, O. S. (2022). Changing epidemiology of yellow fever virus in Oyo State, Nigeria. *BMC Public Health*, 22(1), 467. <https://doi.org/10.1186/s12889-022-12871-0>
- Melo, C., Vasconcelos, P., da C., Alcantara, L., & Araujo, W. de. (2020). The obscurance of the greatest sylvatic yellow fever epidemic and the cooperation of the Pan American Health Organization during the COVID-19 pandemic. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, 53, e20200787. <https://doi.org/10.1590/0037-8682-0787-2020>
- Chippaux, J., & Chippaux, A. (2018). Yellow fever in Africa and the Americas: a historical and epidemiological perspective. *Journal of Venomous Animals and Toxins including Tropical Diseases*, 24, 20. <https://doi.org/10.1186/s40409-018-0162-y>
- Fene, F., Johri, M., Michel, M., Reyes-Morales, H., & Pelcastre-Villafuerte, B. (2025). Multiple deprivations as drivers of suboptimal basic child vaccination in Latin America and the Caribbean: cross-sectional analysis of household survey data for 18,136 children across 211 regions in 15 countries. *International Journal for Equity in Health*, 24(1), 184. <https://doi.org/10.1186/s12939-025-02561-9>
- Lara, S., Borja, B., Núñez, O., & Condolo, L. (2022). Yellow Fever: A Reemerging Disease in South America, 2000–2016. *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M.*, 2(1), 146–158. <https://doi.org/10.18502/ESPOCH.V2I2.11190>
- Gardner, C., & Ryman, K. (2010). Yellow fever: a reemerging threat. *Clinics in laboratory medicine*, 30(1), 237. <https://doi.org/10.1016/j.cll.2010.01.001>
- Gaythorpe, K., Hamlet, A., Jean, K., Garkauskas D. G., Cibrelus, L., Garske, T., & Ferguson, N. (2021). The global burden of yellow fever. *Elife*, 10, e64670. <https://doi.org/10.7554/eLife.64670>
- Gotuzzo, E., Yactayo, S., & Córdova, E. (2013). Efficacy and duration of immunity after yellow fever vaccination: systematic review on the need for a booster every 10 years. *The American journal of tropical medicine and hygiene*, 89(3), 434. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.13-0264>
- Hansen, C., & Barrett, A., (2021). The present and future of yellow fever vaccines. *Pharmaceuticals*, 14(9), 891. <https://doi.org/10.3390/ph14090891>
- Hewson, R. (2024). Understanding viral haemorrhagic fevers: Virus diversity, vector ecology, and public health strategies. *Pathogens*, 13(10), 909. <https://doi.org/10.3390/pathogens13100909>
- Kolawole, O., Seriki, A., Irekeola, A, & Ogah, J. (2018). The Neglect and Fast Spread of Some Arboviruses: A Note for Healthcare Providers in Nigeria. *Diseases*, 6(4), 99. <https://doi.org/10.3390/diseases6040099>
- Martin, C., Domingo, C., Bottieau, E., Buonfrate, D., De Wit, S., Van Laethem, Y., & Dauby, N. (2021). Immunogenicity and duration of protection after yellow fever vaccine in people living with human immunodeficiency virus: a systematic review. *Clinical Microbiology and Infection*, 27(7), 958–967. <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2021.03.004>
- Martins, D., Khuu, W., Tadrous, M., Greaves, S., Sproule, B., Bozinoff, N., Juurlink, D. N., Mamdani, M. M., Paterson, J. M., & Gomes, T. (2022). Impact of changes in opioid funding and clinical

- polices on rapid tapering of opioids in Ontario, Canada. *Pain*, 163(1), e129-e136. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000002420>
- Ministerio de Salud Pública Del Ecuador. (2024). *Datos Abiertos – Ministerio de Salud Pública*. Ministerio de Salud Pública – El Ministerio de Salud Pública ejerce la rectoría del Sistema Nacional de Salud a fin de garantizar el derecho a la salud del pueblo ecuatoriano. <https://www.salud.gob.ec/datos-abiertos/>
- Ministerio de Salud Pública del Ecuador. (2025). *Datos de vacunación en Ecuador* [Data set]. <https://almacenamiento.msp.gob.ec/index.php/s/CSL4rrp6FW3mmLV>
- Ortiz- Martínez A. J. & Patiño-Barbosa, A. M. (2017). Yellow fever in the Americas: The growing concern about new epidemics. *F1000Research*, 6. <https://doi.org/10.12688/f1000research.11280.2>
- Pérez, L., Perez-Restrepo, L., Ciuoderis, K., Usuga, J., Moreno, I., Vargas, V., Arévalo-Arbelaez, A. J., Berg, M., Cloherty, G., Hernández-Ortiz, J., & Osorio, J. (2025). Emergence, persistence, and positive selection of yellow fever virus in Colombia. *Frontiers in Microbiology*, 16, 1548556. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1548556>
- Richardson, S., Hirsch, J., Narasimhan, M., Crawford, J. M., McGinn, T., Davidson, K., Barnaby, D., Becker, L., Chelico, J., Cohen, S., Cookingham, J., Coppa, K., Diefenbach, M., Dominello, A. J., Duer-Hefe, J., Falzon, L., Gitlin, J., Hajizadeh, N., Harvin, T., ... Zanos, T. P. (2020). Presenting characteristics, comorbidities, and outcomes among 5700 patients hospitalized with COVID-19 in the New York City area. *Jama*, 323(20), 2052-2059. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.6775>
- Martins, A., Antunes, Z., Garkauskas, D., Andrade, M., Sá Jayme, V. de, Barreto Almeida, M., Camponar, K. C., Mascheretti, M., & Flannery, B. (2014). Yellow Fever Outbreaks in Unvaccinated Populations, Brazil, 2008–2009. *Plos Neglected Tropical Diseases*. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0002740>
- Rosenstein, M., De Visser, A., Visser, L., & Roukens, A. (2021). Long-Term immunity after a single yellow fever vaccination in travelers vaccinated at 60 years or older: A 10-year follow-up study. *Journal of Travel Medicine*, 28(8), 126. <https://doi.org/10.1093/jtm/taab126>
- Sippy, R., Lippi, C., Stewart, A., & Ryan, S. (2020). Endemic and Emerging Arboviruses of Mosquitoes in Ecuador. *Práctica Familiar Rural*, 5(2). <https://doi.org/10.23936/PFR.V5I2.165>
- Staples, J., Barrett, A., Wilder-Smith, A., & Hombach, J. (2020). Review of data and knowledge gaps regarding yellow fever vaccine-induced immunity and duration of protection. *npj Vaccines*, 5(1), 54. <https://doi.org/10.1038/s41541-020-0205-6>
- Takey, P., Pedro, R., Oliveira, P., Lignani, L., Castro, T. da M. de, Xavier, J., Maia, M. de L. de S., Guaraldo, L., & Brasil, P. (2021). Immunogenicity and safety of Yellow Fever Vaccine: systematic review and metanalysis. *Annals of the v ISI*, 107–107. https://doi.org/10.35259/ISI.2021_46706
- Wu, J., & Peak, C. (2024). Case study: Modeling fractional-dose emergency vaccination campaigns for yellow fever. *Principles and Practice of Emergency Research Response*, 687–691. https://doi.org/10.1007/978-3-031-48408-7_38

Transparencia

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés de naturaleza alguna como parte de la presente investigación.

Fuente de financiamiento

Los autores financiaron completamente la investigación.

Contribución de autoría

Rosa del Carmen Paredes Tapia: Conceptualización, metodología, validación, análisis formal, investigación, gestión de datos, visualización, redacción - preparación del borrador original, redacción - revisión y edición, financiamiento, recursos.

Saúl Stalin Lema Asqui: Conceptualización, metodología, validación, análisis formal, investigación, gestión de datos, visualización, redacción - preparación del borrador original, redacción - revisión y edición, financiamiento, administración del proyecto, recursos, supervisión.

Los autores contribuyeron activamente en el análisis de los resultados, revisión y aprobación del manuscrito final.