


Tendencias temporales y distribución geográfica de enfermedades en bovinos, porcinos, ovinos y equinos en la provincia de Napo (2019–2024)



José de la Torres-Moreira ^{a*}

Milton Montalvo-Lozada ^a

Joel Meza-Barrezueta ^b

Kleber Gallegos-Guerra ^c

Darwin Yáñez-Avalos ^a

Johana Delgado Lozada ^a

^a Universidad Regional Amazónica Ikiam. Facultad de Ciencias de la Vida. Grupo de Investigación Fauna, Conservación y Salud Global. Tena, Ecuador.

^b Jefatura de Servicios de Sanidad Agropecuaria de Napo, Agrocalidad, Tena, Ecuador.

^c Universidad Regional Amazónica Ikiam, Maestría en Biotecnología, Tena, Ecuador.

*Autor de correspondencia: jose.delatorres@ikiam.edu.ec

Resumen:

Este estudio tuvo como objetivo analizar la distribución temporal y geográfica de enfermedades que afectan a especies ganaderas de importancia en la provincia de Napo, Ecuador, durante el periodo 2019–2024, a partir de los registros de vigilancia pasiva proporcionados por Agrocalidad. Se recopilaron y analizaron 154 reportes oficiales de patologías que involucraron a bovinos, porcinos, ovinos y equinos. Se aplicaron estadísticas descriptivas, modelos de regresión lineal simple para proyectar tendencias hasta 2026, y análisis espacial mediante agrupamiento DBSCAN para identificar focos geográficos relevantes. Los resultados muestran un incremento sostenido en la incidencia de rabia y brucelosis, con una marcada concentración de casos en los cantones de Tena y Quijos, respectivamente. El análisis espacial permitió identificar agrupamientos no aleatorios, mientras que las proyecciones indicaron que, de no fortalecerse las medidas

de control, ambas patologías continuarían aumentando en los próximos años. En contraste, enfermedades como circovirus tipo II y estomatitis vesicular mostraron una tendencia decreciente. Estos hallazgos sugieren que las estrategias actuales de control sanitario no han sido suficientes para contener la expansión de ciertas enfermedades zoonóticas, particularmente en zonas de alta interacción entre animales domésticos y fauna silvestre. Se recomienda priorizar acciones en cantones críticos, fortalecer la vigilancia epidemiológica, ampliar la cobertura vacunal y establecer controles más estrictos de movilidad pecuaria. El estudio demuestra la utilidad del análisis espacio-temporal como herramienta de apoyo para la toma de decisiones en sanidad animal, aportando evidencia concreta para el diseño de intervenciones focalizadas y políticas públicas regionales.

Palabras clave: Sanidad animal, Vigilancia pasiva, Rabia, Brucelosis, Estomatitis vesicular.

Recibido: 05/02/2025

Aceptado: 06/08/2025

Introducción

Las enfermedades que afectan a los animales de producción representan un desafío significativo para la sanidad animal y la sostenibilidad del sector pecuario, afectan significativamente a los aspectos económicos, incluida la producción, la prevención y el comercio. Comprender estos impactos es vital para desarrollar políticas que garanticen una producción ganadera segura y eficiente⁽¹⁾. En la provincia de Napo, la presencia de diversas especies animales, incluyendo bovinos, porcinos y equinos, en sistemas de producción mixtos y de traspatio, plantea un escenario epidemiológico complejo que requiere vigilancia activa y control sanitario continuo. La notificación de brotes de rabia bovina en años recientes (con más de 25 casos confirmados entre 2019 y 2023), la persistencia de brucelosis en hatos con baja cobertura vacunal (<40 % en algunos cantones) y la circulación de circovirus tipo II en porcinos (con repuntes registrados especialmente en 2020 y 2021) representan antecedentes claros de enfermedades con impacto productivo y, en algunos casos, potencial zoonótico. Adicionalmente, se ha reportado un incremento en la movilización de ganado entre cantones, especialmente desde zonas de comercialización como Pichincha y Santo Domingo hacia Napo, lo cual incrementa el riesgo de dispersión de enfermedades infecciosas. Estudios previos en la región amazónica del Ecuador han reportado incidencias de rabia en bovinos asociadas al contacto con murciélagos hematófagos (*Desmodus rotundus*), lo que refuerza la necesidad de una vigilancia epidemiológica fortalecida para prevenir la diseminación de estas enfermedades y mitigar sus consecuencias sanitarias y económicas⁽²⁾.

La detección temprana y el seguimiento de patologías permiten mejorar las estrategias de manejo sanitario y reducir el riesgo de propagación de enfermedades de importancia económica y zoonótica⁽³⁾. En la provincia de Napo, las acciones zoonitarias están enmarcadas en las campañas nacionales lideradas por Agrocalidad, que incluyen vacunación contra brucelosis y rabia, vigilancia pasiva y control de movilización animal. Sin embargo, persisten limitaciones como el subregistro, baja cobertura en zonas rurales y escasa integración de tecnología. Estos factores aumentan el riesgo de aparición y diseminación de enfermedades, especialmente aquellas transmitidas por vectores o con reservorios silvestres. El cambio climático modifica la distribución de insectos y mamíferos vectores, mientras que las actividades antropogénicas como la deforestación, la expansión agrícola y la movilización no controlada de animales hacia zonas urbanizadas favorecen la ruptura de barreras ecológicas y la propagación de agentes infecciosos. Esto representa un desafío para las campañas de vigilancia, que deben adaptarse a escenarios dinámicos y complejos⁽⁴⁾.

En este contexto, la vigilancia pasiva, basada en la recopilación de reportes clínicos y diagnósticos veterinarios en campo, constituye una herramienta fundamental para monitorear la distribución y frecuencia de enfermedades en la región⁽⁵⁾. Este tipo de vigilancia permite identificar áreas de mayor riesgo y especies más afectadas, facilitando la toma de decisiones en prevención y control⁽⁶⁾. Sin embargo, su efectividad puede verse limitada por el subregistro, la cobertura desigual y la falta de integración de tecnologías geoespaciales. La incorporación de bases de datos georreferenciadas y herramientas como los sistemas de información geográfica (SIG) puede potenciar el análisis epidemiológico y la respuesta sanitaria, como se ha demostrado en experiencias en otros países latinoamericanos.

El objetivo de este estudio fue analizar la distribución geográfica y temporal de las patologías sanitarias en bovinos, porcinos, equinos y ovinos en la provincia de Napo durante el periodo 2019-2024 para identificar la mayor tasa de incidencia de casos de las enfermedades que afectan a las especies ganaderas en cada cantón, evaluar su evolución a lo largo del tiempo y destacar los posibles factores que influyen para la presencia de casos. Con esta información, se pretende generar evidencia científica que contribuya al diseño de estrategias de control y prevención más eficientes, optimizando los recursos destinados a la sanidad animal y fortaleciendo las políticas de vigilancia epidemiológica en la región.

Material y métodos

Área de estudio

La investigación se realizó a través de datos proporcionados por la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoonitaria del Ecuador (Agrocalidad) de resultados de vigilancia pasiva en explotaciones pecuarias de la provincia de Napo, ubicada en el centro norte de

Ecuador, es una región caracterizada por una geografía diversa y rica en biodiversidad. Esta área pertenece a la Amazonía ecuatoriana y cubre una extensión de aproximadamente 12,500 km². Su relieve es variado, combinando la presencia de bosques tropicales, montañas y la influencia de la Cordillera de los Andes, que dan origen a un ecosistema de transición entre el piedemonte andino y la selva amazónica.

La provincia de Napo presenta un clima tropical lluvioso (tipo Af de Köppen), con una temperatura media anual de 21.7 °C y una variación intermensual inferior a 2 °C. Las lluvias son abundantes, con precipitaciones que alcanzan entre 800 a 3,800 mm al año. La humedad relativa promedio se mantiene elevada (~92 %). Durante 2019–2024, los meses de mayor pluviosidad fueron junio (~415 mm) y marzo (~361 mm), aunque febrero, mayo y otros meses también superan los 250 mm. Estas condiciones climáticas favorecen la persistencia de patógenos y vectores, por lo que constituyen un factor determinante en el análisis epidemiológico de las enfermedades de las especies de producción.

Para estimar la magnitud del problema sanitario, se calculó la tasa de incidencia acumulada por especie y cantón mediante la siguiente fórmula: $Incendencia_{ij} = (C_{ij} / N_{ij}) \times 100$

Donde: $Incendencia_{ij}$: Tasa de incidencia (%) en el cantón j para la especie i . C_{ij} : Número de casos registrados de la enfermedad en la especie i y cantón j ., N_{ij} : Población animal estimada en riesgo para la especie i en el cantón j .

Fuente de datos

Este estudio se basa en datos recopilados a través de la vigilancia pasiva (n=154) realizada por Agrocalidad, la Agencia de Regulación y Control Fito y Zoonosanitario de Ecuador. Los datos corresponden a registros oficiales de enfermedades diagnosticadas en diversas especies animales dentro de los cantones de la provincia de Napo (*cantón*: división administrativa secundaria en Ecuador, equivalente a un municipio o condado en otros países) en el período 2019–2024 (El Chaco n= 15, Quijos n= 35, Archidona n= 25, Tena= 60 y Arosemena Tola= 19). Cada registro incluye información sobre la fecha de diagnóstico, el cantón y parroquia de procedencia (*parroquia*: subdivisión territorial dentro de un cantón, similar a un distrito o localidad), la especie afectada, la edad del animal, el tipo de diagnóstico realizado y la patología identificada.

Se realizó un análisis observacional de tipo descriptivo y exploratorio, enfocado en caracterizar la distribución espacial y temporal de las enfermedades notificadas en la provincia de Napo. Para ello, se analizaron los casos reportados por cantón y parroquia con el objetivo de identificar zonas de alta incidencia, se evaluó la evolución de las patologías a lo largo del tiempo mediante la frecuencia de casos por año y mes, y se examinó la distribución de enfermedades según la especie afectada, identificando las

principales patologías presentes en bovinos, porcinos, ovinos y equinos. Para el componente geográfico, se elaboró un mapa provincial utilizando R con los paquetes *sf* y *leaflet*, representando la ubicación de los casos reportados por parroquia mediante puntos georreferenciados. Cada punto fue codificado por color según la patología registrada. Esta representación permitió identificar la distribución espacial y la concentración relativa de enfermedades en la provincia de Napo durante el período 2019–2024.

Análisis estadístico

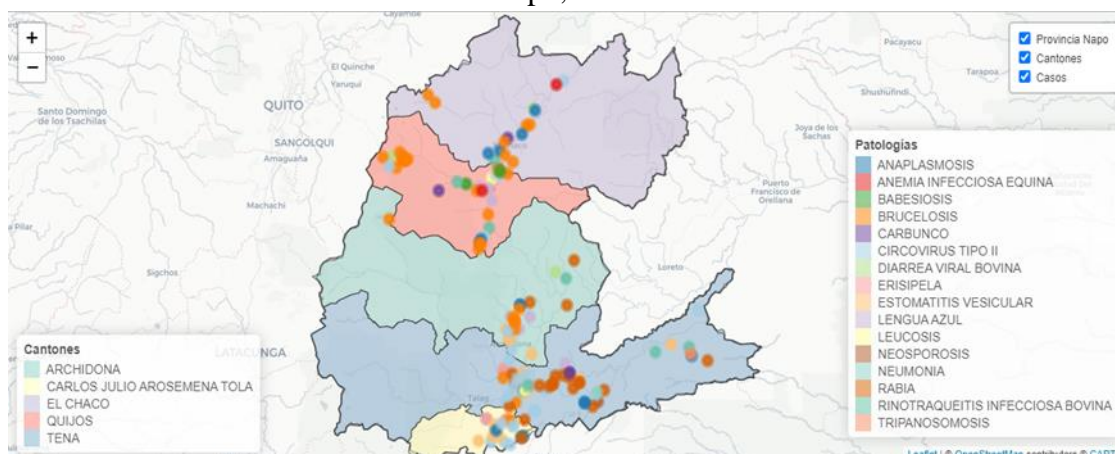
Se aplicó un modelo de regresión lineal utilizando el método de mínimos cuadrados ordinarios (OLS) para proyectar la evolución de los casos en los años 2025 y 2026. La elección de este modelo se debe a su simplicidad y eficacia para identificar tendencias generales en series temporales⁽⁷⁾. La regresión lineal permite detectar incrementos o disminuciones constantes en la incidencia de enfermedades a lo largo del tiempo. Además, es una herramienta adecuada cuando se trabaja con datos anuales y se busca realizar proyecciones a corto plazo. Este método también facilita la interpretación de los resultados y la comunicación de los hallazgos a audiencias no especializadas.

Limitaciones del estudio

Cabe señalar que los datos obtenidos podrían estar sujetos a subregistro, especialmente en zonas rurales donde la capacidad diagnóstica, la cobertura de campañas o los mecanismos de notificación son limitados. Por ejemplo, en estudios realizados en regiones amazónicas de Brasil y Perú, se ha estimado que, por cada caso confirmado de rabia bovina, podrían existir entre 5 y 10 casos no notificados debido a la falta de vigilancia activa⁽⁸⁾. En el caso de brucelosis, investigaciones en zonas de producción extensiva en Ecuador han reportado que la subnotificación puede superar el 60 %, asociada a prácticas informales de manejo y ausencia de diagnóstico serológico sistemático⁽⁹⁾. Esta situación representa una limitación importante en la interpretación de los resultados, especialmente en cantones con baja actividad ganadera o limitada presencia institucional.

Resultados

El análisis de distribución geográfica evidenció una concentración desigual de las enfermedades sanitarias en los distintos cantones de la provincia de Napo (Figura 1). En total, se registraron reportes en 5 cantones y 19 parroquias durante el período 2019–2024. Los cantones Tena y Quijos concentraron el mayor número de notificaciones. En Tena, la rabia fue la patología más frecuente, con presencia en cinco parroquias; mientras que en Quijos se observó una alta incidencia de brucelosis, distribuida en seis parroquias.

Figura 1: Distribución geográfica de enfermedades animales notificadas en la provincia de Napo, Ecuador

La incidencia por especie y cantón (Cuadro 1) evidencia diferencias notables en la distribución de enfermedades. En general, los cantones de Tena y Quijos registraron los porcentajes más altos de animales afectados, particularmente en especies bovinas y porcinas. Se observaron incidencias superiores al 10 % en algunas combinaciones de cantón y especie, lo que sugiere zonas con mayor riesgo sanitario. Estas variaciones podrían estar relacionadas con factores productivos y el acceso a servicios veterinarios.

Cuadro 1: Distribución porcentual de la incidencia de enfermedades notificadas en animales domésticos en la provincia de Napo, clasificada por cantón y especie

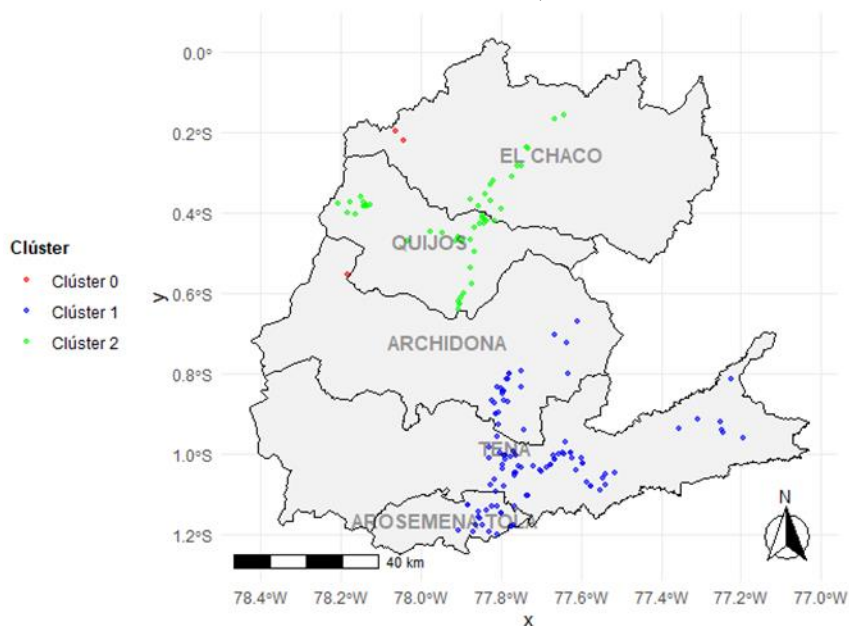
Cantón	Bovinos	Equinos	Ovinos	Porcinos
Archidona	0.25	0	0	0.06
C.J Arosemena Tola	0.41	0	0	0.3
El Chaco	0.06	0.01	0.01	0.01
Quijos	0.2	0.01	0.01	0.03
Tena	0.52	0	0	0.34

Las enfermedades con distribución más dispersa, como el circovirus Tipo II y la estomatitis vesicular, se reportaron en múltiples cantones sin un patrón de concentración definido. Estudios previos han señalado que enfermedades virales con transmisión indirecta o vía fómites, tienden a expandirse en áreas con alto flujo de animales y deficientes medidas de bioseguridad⁽¹⁰⁾. En el caso de la estomatitis vesicular, su presencia en cantones con actividades ganaderas mixtas podría indicar brotes esporádicos asociados a vectores mecánicos y condiciones ambientales favorables, como se ha documentado en zonas de clima cálido y húmedo⁽¹¹⁾. La provincia de Napo, por su ubicación limitante con la provincia de Pichincha se encuentra en un lugar de tránsito de especies productivas que son adquiridas en ferias masivas de comercialización en provincias como Santo Domingo y Pichincha, cuyo destino final son provincias vecinas como Orellana, Sucumbíos y Pastaza. La notificación de los casos correspondientes a circovirus tipo II y la estomatitis vesicular mostró una dispersión en múltiples cantones, pero sin un patrón de concentración definido. Por otro lado, patologías como

anaplasmosis mostraron una distribución más uniforme, con casos registrados en distintos puntos de la provincia, lo que indica su posible naturaleza endémica en la región.

Para analizar en el patrón de agrupación territorial, se aplicó el algoritmo DBSCAN con coordenadas georreferenciadas de los casos reportados entre 2019 y 2024. Este análisis permitió identificar tres clústeres espaciales bien definidos en la provincia de Napo (Figura 2). Se identificaron tres agrupaciones espaciales: el clúster 0 (rojo) comprende casos dispersos en la zona norte (El Chaco), posiblemente asociados a baja densidad de notificación o subregistro; el clúster 1 (azul) se concentra en los cantones de Tena y Carlos Julio Arosemena Tola, reflejando una mayor densidad de reportes, probablemente por mayor accesibilidad a servicios sanitarios; y el clúster 2 (verde) se localiza principalmente en Quijos, con una distribución intermedia. Estos resultados permiten identificar zonas de prioridad epidemiológica para el fortalecimiento de la vigilancia veterinaria.

Figura 2: Análisis de clúster de patologías reportadas en la provincia de Napo (2019–2024)

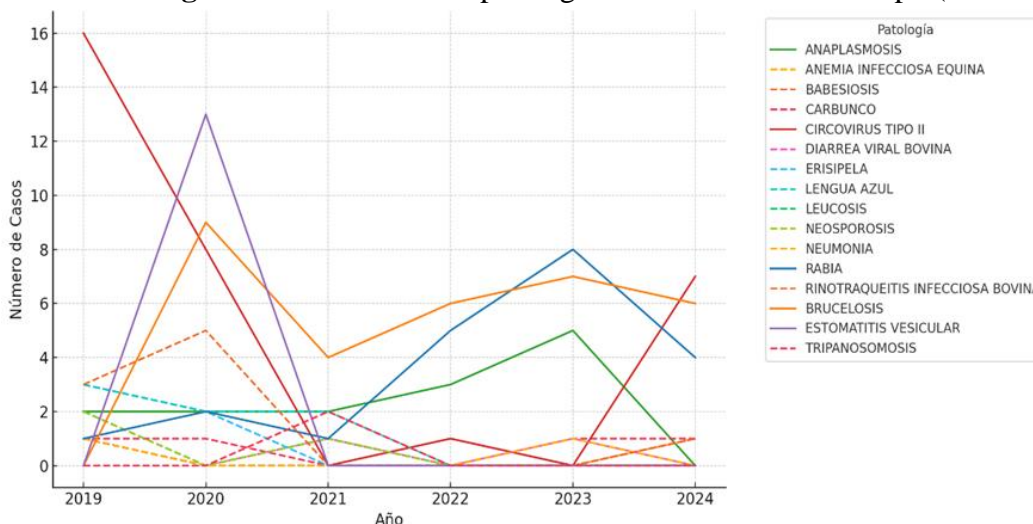


Otras enfermedades, como circovirus Tipo II y estomatitis vesicular, se distribuyen en varios cantones, sugiriendo posibles factores ambientales o de movilidad del ganado en su propagación. La concentración de ciertas patologías en áreas específicas resalta la necesidad de fortalecer estrategias de vigilancia y control sanitario en los cantones más afectados, con énfasis en vacunación, monitoreo epidemiológico y restricciones de movimiento para prevenir brotes.

El análisis de tendencia anual de las patologías reportadas en la provincia de Napo entre 2019 y 2024 (Figura 3) evidenció un comportamiento epidemiológico heterogéneo entre las diferentes enfermedades. Durante 2019 y 2020 se observó una baja frecuencia de notificaciones, posiblemente asociada a la disminución de las actividades de vigilancia durante la pandemia por COVID-19. A partir de 2021, se evidenció un incremento

progresivo en los reportes, alcanzando el mayor número de casos registrados en 2023. En los años con mayor número de casos de rabia (2020 y 2023), se registraron también algunos de los niveles más altos de precipitación en la provincia de Napo, con promedios mensuales que superaron los 400 mm en marzo y junio, respectivamente. Estas condiciones de alta pluviosidad podrían favorecer la actividad de los murciélagos hematófagos (*Desmodus rotundus*), principal vector identificado en brotes de rabia bovina en la región, tal como ha sido reportado en estudios previos en la Amazonía ecuatoriana⁽²⁾.

Figura 3: Tendencias de patologías en la Provincia de Napo (2019-2024)

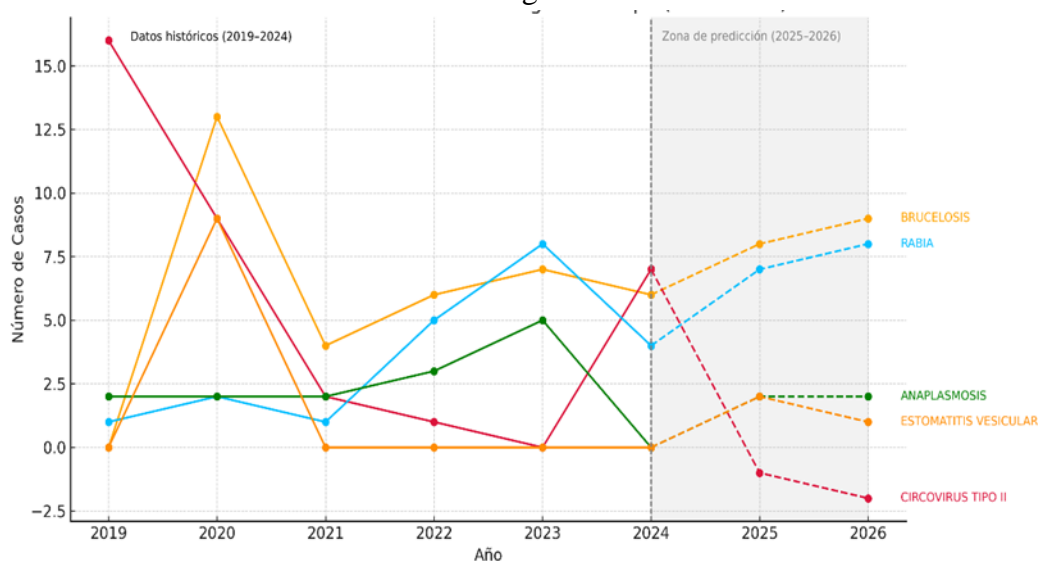


La tendencia anual para la presencia de casos de acuerdo con el tipo de enfermedad logró identificar distintos patrones. La rabia mostró un comportamiento creciente con picos en 2020 y 2023, lo cual podría reflejar una estacionalidad vinculada a brotes esporádicos en determinadas zonas de riesgo. En contraste, la brucelosis presentó una tendencia más irregular, con repuntes en 2020 y 2023, sin un patrón estacional claro, lo que sugiere una posible subnotificación o influencia de factores productivos. Otras patologías como el circovirus tipo II y la estomatitis vesicular mostraron una reducción progresiva en los reportes desde 2020, lo que podría indicar un mejor control o fluctuaciones en la exposición. Por otro lado, enfermedades como la anaplasmosis, la neosporosis y la lengua azul se mantuvieron con frecuencias bajas y relativamente estables durante todo el periodo, lo cual podría reflejar una endemicidad baja o limitaciones en el diagnóstico.

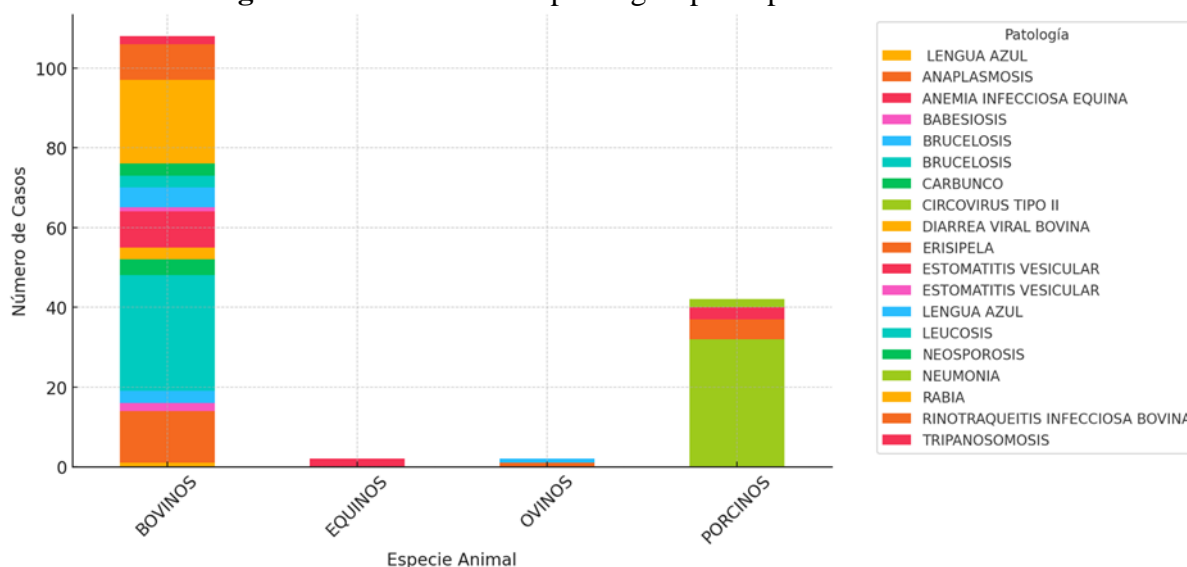
Mediante la aplicación de modelos de regresión lineal, se realizó una proyección (Figura 4) del comportamiento de las patologías más prevalentes en los próximos años (2025-2026). Los resultados indicaron que: rabia y brucelosis seguirán en aumento si no se refuerzan las estrategias de prevención y control. Circovirus Tipo II y estomatitis vesicular podrían continuar con su tendencia decreciente, lo que sugiere que las medidas implementadas han sido efectivas. Anaplasmosis y otras enfermedades con incidencia estable no presentan variaciones significativas en su proyección. Estas proyecciones

resaltan la necesidad de continuar con los programas de vigilancia epidemiológica y prevención, especialmente en aquellas enfermedades con tendencias crecientes.

Figura 4: Evolución histórica de las cinco patologías más frecuentes en la provincia de Napo entre 2019 y 2024, junto con una proyección para 2025 y 2026 basada en un modelo de regresión lineal



Se observa que rabia y brucelosis continúan mostrando una tendencia al alza, con estimaciones que indican un posible aumento de casos en los próximos años si no se implementan medidas de control efectivas. Anaplasmosis mantiene un comportamiento estable sin variaciones significativas. Por otro lado, enfermedades como circovirus Tipo II y estomatitis vesicular presentan una tendencia decreciente, lo que sugiere que podrían estar bajo mayor control gracias a intervenciones sanitarias previas. El análisis de la distribución de patologías por especie animal (Figura 5) reveló que los bovinos y porcinos fueron las especies con mayor incidencia de enfermedades, mientras que los equinos y ovinos presentaron una cantidad significativamente menor de casos registrados. En bovinos, se observó una alta prevalencia de brucelosis, rabia y rinotraqueítis infecciosa bovina, lo que sugiere que estas enfermedades representan un problema recurrente en la población bovina. Por otro lado, en porcinos, se identificó una concentración notable de circovirus Tipo II, lo que indica una posible tendencia epidemiológica dentro de esta especie. La diversidad de patologías fue mayor en bovinos, mientras que en porcinos predominó una enfermedad específica. Estos resultados permiten entender la distribución de enfermedades según la especie y pueden ser clave para el desarrollo de estrategias de prevención y control.

Figura 5: Distribución de patologías por especie animal

Estos hallazgos coinciden con reportes previos realizados en Ecuador, donde enfermedades como brucelosis, rabia y rinotraqueítis infecciosa bovina han sido clasificadas como de interés sanitario nacional por su impacto en la producción y salud pública. En la región amazónica, se han documentado brotes esporádicos de rabia bovina transmitida por murciélagos hematófagos, lo que refuerza su carácter endémico en zonas rurales de Napo. Por su parte, la alta frecuencia de circovirus tipo II en porcinos también ha sido señalada en estudios realizados en regiones productoras del país, indicando su expansión y necesidad de vigilancia específica; estos antecedentes respaldan que los resultados observados no son aislados, sino que reflejan una continuidad epidemiológica relevante en la zona.

Discusión

La dispersión espacial observada en enfermedades como Circovirus tipo II y estomatitis vesicular podría estar asociada a factores como la alta movilidad del ganado, el intercambio comercial entre cantones y la ausencia de controles sanitarios efectivos en zonas de tránsito pecuario. Estudios previos han señalado que enfermedades virales con transmisión indirecta o vía fómites tienden a expandirse en áreas con alto flujo de animales y deficientes medidas de bioseguridad⁽¹²⁾.

En el caso de la estomatitis vesicular, su presencia en cantones con actividades ganaderas mixtas podría indicar brotes esporádicos asociados a vectores mecánicos y condiciones ambientales favorables, como se ha documentado en zonas de clima cálido y húmedo⁽¹³⁾. La provincia de Napo, por su ubicación limitante con la provincia de Pichincha, se encuentra en un lugar de tránsito de especies productivas que son adquiridas en ferias masivas de comercialización en provincias como Santo Domingo y Pichincha, cuyo destino final son provincias vecinas como Orellana, Sucumbíos y Pastaza.

Las tendencias observadas en el periodo 2019–2024 muestran un incremento progresivo en rabia y brucelosis, lo que indica que las estrategias de control aplicadas hasta el momento no han sido completamente efectivas para detener su avance. Este comportamiento es preocupante, ya que ambas enfermedades tienen implicaciones tanto para la sanidad animal como para la salud pública, al ser rabia una zoonosis de alto riesgo y brucelosis una enfermedad de impacto económico en la producción pecuaria por cierres de mercados; y también por su influencia en la salud humana debido al consumo de productos derivados de animales infectados⁽¹⁴⁾. A pesar de estos desafíos, el aumento de las enfermedades zoonóticas reportadas también refleja un avance significativo de los sistemas de vigilancia y notificación, lo que podría conducir a largo plazo a mejores estrategias de gestión y control⁽¹⁵⁾.

El estudio del comportamiento epidemiológico en la provincia de Napo permitió identificar patrones espaciales y temporales relevantes para la propagación de enfermedades en especies productivas. De acuerdo con los resultados, rabia y brucelosis destacan como patologías prioritarias por su alta incidencia y tendencia creciente durante el periodo 2019–2024, especialmente en los cantones de Tena y Quijos, respectivamente. Estos hallazgos coinciden con lo reportado en otras investigaciones en zonas tropicales de América Latina, donde estas enfermedades son endémicas y están asociadas a deficiencias en cobertura vacunal, movilidad animal y contacto con fauna silvestre^(16,17). El modelo de regresión lineal aplicado en este estudio permitió realizar una proyección de las patologías más frecuentes para los años 2025 y 2026. Los resultados indican que rabia y brucelosis seguirán en aumento, lo que podría asociarse a servicios veterinarios inadecuados⁽¹⁸⁾. Esto refuerza la necesidad de fortalecer las estrategias de control en la provincia de Napo, específicamente en cantones como Quijos y Tena. Es fundamental ampliar la cobertura de vacunación en áreas críticas, priorizar cantones con alta incidencia de enfermedades zoonóticas y reforzar la vigilancia epidemiológica. La participación comunitaria es esencial para detectar y responder oportunamente a los brotes⁽¹⁹⁾, así como implementar controles más estrictos en la movilidad del ganado. El análisis de los patrones de movimiento animal puede servir como base para intervenciones específicas en zonas de alto riesgo, haciendo hincapié en la necesidad de establecer controles rigurosos⁽²⁰⁾.

La concentración de rabia en el cantón Tena puede estar asociada a la interacción entre ganado bovino y fauna silvestre, particularmente con murciélagos hematófagos (*D. rotundus*), que han sido identificados como los principales vectores del virus en sistemas ganaderos amazónicos^(2,21). En Napo, se ha reportado actividad frecuente de estos quirópteros en zonas de producción extensiva. En el caso de Quijos, la alta incidencia de brucelosis podría estar relacionada con una baja cobertura vacunal, escaso control reproductivo, intercambio de animales sin control sanitario y baja percepción del riesgo por parte de los productores, lo que contribuye a mantener cadenas de transmisión activas dentro del hato bovino⁽²²⁾. La persistencia de la enfermedad en cantones como Quijos sugiere también transmisión vertical y prácticas inadecuadas en el manejo reproductivo, lo que concuerda con estudios en zonas de producción extensiva de Ecuador⁽⁹⁾.

La presencia de circovirus tipo II y estomatitis vesicular en varios cantones refuerza la hipótesis de que estas enfermedades pueden estar relacionadas con la movilidad de animales infectados y el comercio de ganado sin controles sanitarios rigurosos⁽²³⁾. Los estudios epidemiológicos en sistemas productivos han demostrado que las enfermedades con distribución dispersa suelen estar vinculadas a prácticas comerciales que facilitan la propagación de patógenos en áreas de alta interacción entre animales. La cartografía de estos desplazamientos revela que los países centrales funcionan como núcleos de propagación, favoreciendo la circulación de patógenos a través de redes comerciales y logísticas, lo que refuerza la importancia de controlar y monitorear estos flujos para mitigar riesgos sanitarios⁽²²⁾. Por el contrario, si bien los sistemas intensivos suelen ser criticados por su papel en la propagación de enfermedades, las prácticas ganaderas extensivas también presentan riesgos únicos debido a la menor bioseguridad y al aumento de las poblaciones de animales, lo que complica la evaluación de los riesgos generales de aparición de enfermedades⁽²⁴⁾.

La disminución de circovirus Tipo II y estomatitis vesicular podría estar asociada con la implementación de regulaciones de bioseguridad más estrictas y el desarrollo de campañas de prevención impulsadas en los últimos años⁽²⁵⁾. Aun así, estas mejoras no garantizan la erradicación, ya que cambios en la política sanitaria, el incumplimiento de protocolos o la reintroducción de animales infectados podrían provocar nuevos brotes⁽²⁶⁾. La baja incidencia de enfermedades en equinos y ovinos podría deberse al subregistro, más que a una verdadera baja prevalencia, lo cual representa una debilidad estructural en los sistemas de vigilancia^(27,28).

Los resultados del estudio muestran que algunas enfermedades podrían estar influenciadas por variables climáticas. En particular, rabia evidenció picos de casos en 2020 y 2023, coincidiendo con meses de alta pluviosidad como marzo y junio, donde las precipitaciones superaron los 400 mm en cantones afectados. Este patrón sugiere una posible relación con condiciones ambientales que favorecen la actividad de los vectores^(29,30). Aunque este estudio no incluyó un análisis multivariado con variables ambientales, los patrones observados justifican su incorporación en futuras investigaciones.

Conclusiones e implicaciones

El presente estudio evidenció un aumento progresivo en los casos de rabia y brucelosis en la provincia de Napo durante el periodo 2019–2024, con una concentración geográfica significativa en los cantones de Tena y Quijos. Estos hallazgos indican que las estrategias de control sanitario vigentes no han sido completamente efectivas para contener la propagación de estas enfermedades, lo que representa un riesgo tanto para la salud animal como para la salud pública y la economía local. El uso de herramientas estadísticas y geoespaciales, como la regresión lineal y el análisis de clústeres DBSCAN, permitió identificar zonas de alto riesgo y generar proyecciones de incidencia que podrían orientar

la planificación sanitaria hacia 2025 y 2026. Estas técnicas resultan valiosas para mejorar la capacidad de respuesta del sistema de vigilancia pasiva. Como implicación práctica, se recomienda priorizar intervenciones focalizadas en los cantones con mayor carga sanitaria, reforzar los programas de vacunación, implementar controles más estrictos sobre la movilidad pecuaria y fortalecer los mecanismos de notificación y diagnóstico en campo. Asimismo, el abordaje territorial propuesto puede servir como modelo replicable para otras provincias con condiciones epidemiológicas similares. En conjunto, los resultados contribuyen al diseño de estrategias sanitarias más efectivas y a la asignación eficiente de recursos, promoviendo un enfoque preventivo y basado en riesgo para el control de enfermedades de importancia zoonótica y económica en regiones tropicales.

Literatura citada:

1. Kappes A, Tozooni T, Shakil G, Railey AF, McIntyre KM, Mayberry DE, Rushton J, Pendell DL, Marsh TL. Livestock health and disease economics: a scoping review of selected literature. *Front Vet Sci* 2023;10: 1168649 <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1168649>.
2. Soler-Tovar D, Escobar LE. Rabies transmitted from vampires to cattle: An overview. *PLoS One*. 2025;20(1): e0317214 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0317214>.
3. Fu Y, Liu Y, Song W, Yang D, Wu W, Lin J, Yang X, *et al.* Early monitoring-to-warning internet of Things system for emerging infectious diseases via networking of light-triggered point-of-care testing devices. *Exploration* 2023;3(6):20230028 <https://doi.org/10.1002/exp.20230028>.
4. Ahmad M, Ahmed I, Akhtar T, Amir M, Parveen S, Narayan E, Rehman SU. Strategies and innovations for combatting diseases in animals. *World Acad Sci J* 2024;(6):6-55. <https://doi.org/10.3892/wasj.2024.270>.
5. Coradduzza E, Loi F, Porcu F, Mandas D, Secci F, Pisanu M, Pasini C, *et al.* Passive surveillance as a key tool to African swine fever eradications in wild boar: A standardized protocol to find the carcasses in Mediterranean area. [Preprints]. 2023. 202312.0571. <https://doi.org/10.20944/preprints202312.0571.v1>.
6. Schober A, Rzhetsky A, Rust MJ. Seasonal disease in the United States has the hallmarks of an entrained circannual clock. *medRxiv* 2021;(5):26.21257655. <https://doi.org/10.1101/2021.05.26.21257655>.
7. Roustaei N. Application and interpretation of linear-regression analysis. *Med Hyp Ophthalmol* 2024;13(3):151. <https://doi.org/10.51329/mehdiophthal1506>.
8. Ventura MCS, Neves JMM, Pinheiro RS, Santos MVC, Lemos ERS, Horta MAP. The silent threat: Unraveling the impact of rabies in herbivores in Brazil. *Animals* 2024; 14(16):2305. <https://doi.org/10.3390/ani14162305>.

9. Garrido-Haro A, Barrionuevo-Samaniego M, Moreno-Caballeros P, Burbano-Enriquez A, Sánchez-Vázquez MJ, Pompei J, *et al.* Seroprevalence and risk factors related to bovine brucellosis in continental Ecuador. *Pathogens* 2023;12(9):1134. <https://doi.org/10.3390/pathogens12091134>.
10. Walsh MG, Sawleshwarkar S, Hossain S, Mor SM. Whence the next pandemic? The intersecting global geography of the animal-human interface, poor health systems and air transit centrality reveals conduits for high-impact spillover. *One Health* 2020;(11):100177. <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2020.100177>.
11. Vasco-Julio D, Aguilar D, Maldonado A, de la Torre E, Cisneros-Montufar MS, Bastidas-Caldes C, Navarro JC, de Waard JH. Molecular tracking of the origin of vesicular stomatitis outbreaks in 2004 and 2018, Ecuador. *Vet Sci* 2023;10(3):181. <https://doi.org/10.3390/vetsci10030181>.
12. Maity HK, Samanta K, Deb R, Gupta V. Revisiting porcine circovirus infection: Recent insights and its significance in the piggery sector. *Vaccines* 2023;11(8):1308. <https://doi.org/10.3390/vaccines11081308>.
13. Thomas MB. Epidemics on the move: Climate change and infectious disease. *PLoS Biol* 2020;18(11):e3001013. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001013>.
14. Lane JK, Kelly TR, Bird BH, Chenais E, Roug A, Vidal G, Gallardo RA, Zhou H, VanHoy G, Smith WA. A one health approach to reducing livestock disease prevalence in developing countries: Advances, challenges, and prospects. *Ann Rev Anim Biosci* 2024;13:277-302. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-111523-102133>.
15. Ganguly S. Brucellosis: Emerging and re-emerging zoonosis. *Indian Sci J Res Eng Manag* 2024;8:448. <https://doi.org/10.55041/ijsrem35324>.
16. Shanmugaraj B, Kothalam R, Mohamed Sheik TAA. A brief overview on the threat of zoonotic viruses. *Microbes Infect Dis* 2024;6(3):2034-2041. <https://doi.org/10.21608/mid.2024.294905.1975>.
17. López-Merino A. Brucellosis in Latin America. *CRC Press* 2020:151-161. <https://doi.org/10.1201/9781003068518-13>.
18. Ortega-Sánchez R, Bárcenas-Reyes I, Cantó-Alarcón GJ, Luna-Cozar J, Contreras-Magallanes YG, González-Ruíz S, *et al.* Descriptive and time-series analysis of rabies in different animal species in Mexico. *Front Vet Sci* 2022;9:800735. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.800735>.

19. Singh R, Singh KP, Cherian S, Saminathan M, Kapoor S, Reddy GBM, Panda S, Dhama K. Rabies – epidemiology, pathogenesis, public health concerns and advances in diagnosis and control: A comprehensive review. *Vet Quarterly* 2017;37(1):212-251. <https://doi.org/10.1080/01652176.2017.1343516>.
20. Miranda ME. Effective surveillance strategies for human and canine rabies elimination programs. *Food and Fertilizer Technology Center* 2016;7:325 <https://doi.org/10.56669/zbbs3419>.
21. Mirzaie K, Mowlaei S, Arsevska E, Vosough Ahmadi B, Ambrosini F, Rosso F, Chevanne E. Analysis of livestock mobility and implications for the risk of foot-and-mouth disease virus spread in Iran. *Ruminants* 2023;3(4):299-323. <https://doi.org/10.3390/ruminants3040027>.
22. Shocket MS, Anderson CB, Caldwell JM, Childs ML, Couper LI, Han S, *et al.* Environmental drivers of vector-borne diseases. Oxford University Press. 2020:85-118.
23. Megid J, Benavides TJA, Belaz SLD, Castro CFF, Devidé RBL, Appolinário CM, *et al.* Serological surveillance of rabies in free-range and captive common vampire bats *Desmodus rotundus*. *Front Vet Sci* 2021;8:681423. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.681423>.
24. Wakchaure R, Ganguly S. Disease resistance in livestock: A review. *J Immunol Immunopathol* 2016;8(2):27 <https://doi.org/10.5958/0973-9149.2016.00015.0>.
25. Lezaar Y, Manneh M, Apolloni A, Berrada J, Bouslikhane M. Transboundary livestock network in Africa: How circulate pathogens and where to act to prevent the epizootics spread? *Epidemiol Open J* 2023;8:1-19. <https://doi.org/10.17140/epoj-8-130>.
26. Bartlett H, Holmes MA, Petrovan SO, Williams DR, Wood JLN, Balmford A. Understanding the relative risks of zoonosis emergence under contrasting approaches to meeting livestock product demand. *R Soc Open Sci* 2022;9(6): 211573. <https://doi.org/10.1098/rsos.211573>.
27. Chiwero NB, Ayithey FK. Biosafety and biosecurity measures against COVID-19 and other high-risk zoonotic diseases. *Authorea* 2020 [preprint]. <https://doi.org/10.22541/au.158697098.81004920>.
28. Bloch EM, Sullivan D, Casadevall A, Shoham S, Tobian AAR, Gebo KA. Applying lessons of COVID-19 and other emerging infectious diseases to future outbreaks. *mBio* 2024;15(6):e01109-24. <https://doi.org/10.1128/mbio.01109-24>.

29. Suryawanshi R, Thakare R, Kamat H, Deshmukh OJ, Shinde OP, Alapure R, Kamble A. Climate change impacts and risks for animal health: Indian context: A review. *Agric Rev* 2024;46(5):782-789 <https://doi.org/10.18805/ag.r-2712>.
30. Tadiri CP, Ebert D. The role of temperature in the start of seasonal infectious disease epidemics. *Oikos* 2023;11:e10014. <https://doi.org/10.1111/oik.10014>.