



Doi: <https://doi.org/10.70577/ASCE/2639.2655/2025>

Recibido: 2025-08-15

Aceptado: 2025-08-29

Publicado: 2025-09-19

Análisis de un modelo epidemiológico para enfermedades sin recuperación y su aplicación a la evolución de la brucelosis en una población de bovinos en la provincia de Chimborazo

Analysis of an epidemiological model for non-recovery diseases and its application to the evolution of brucellosis in a cattle population in the province of Chimborazo

Autores

Franklin David Espinoza Sanaguano¹

Dirección de Posgrado, Programa de Maestría en Matemática aplicada con mención en
Matemática Computacional

<https://orcid.org/0009-0004-5019-5608>

franklindavidespinoza036@gmail.com

Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH)

Riobamba – Ecuador

Carlos Eduardo Cova Salaya²

Facultad de Ciencias, Carrera de Matemática

<https://orcid.org/0009-0003-8232-6206>

carlos.cova@esPOCH.edu.ec

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH),

Grupo de Investigación CITED,

Riobamba –Ecuador

Cómo citar

Espinoza Sanaguano, F. D., & Cova Salaya, C. E. (2025). Análisis de un modelo epidemiológico para enfermedades sin recuperación y su aplicación a la evolución de la brucelosis en una población de bovinos en la provincia de Chimborazo. *ASCE*, 4(3), 2639–2655.



Resumen

Este estudio se centró en el análisis de un modelo epidemiológico del tipo Susceptible–Infectado–Susceptible (SIS) aplicado a la brucelosis bovina en la provincia de Chimborazo, Ecuador. La enfermedad, al no generar inmunidad duradera en los animales afectados, se mantuvo como un problema sanitario persistente y de difícil control. El objetivo principal fue describir la dinámica de las soluciones del modelo mediante la teoría cualitativa de sistemas diferenciales, con el fin de establecer protocolos efectivos de control. Se empleó un enfoque cuantitativo y descriptivo que integró datos epidemiológicos locales del período 2023–2025 con simulaciones numéricas implementadas en Python, utilizando bibliotecas de código abierto para resolver el sistema diferencial y analizar la estabilidad de los puntos de equilibrio. Los resultados mostraron que el número reproductivo básico (R_0) superó la unidad, lo que confirmó la condición endémica de la brucelosis en Chimborazo. La simulación de escenarios de control reveló que la vacunación redujo R_0 en un porcentaje moderado, mientras que las medidas de bioseguridad generaron una disminución adicional. No obstante, la estrategia combinada de ambas intervenciones logró un efecto sinérgico, acercando el sistema al umbral de erradicación. Se concluyó que el modelo SIS constituyó una herramienta válida para comprender la dinámica de la enfermedad y que la implementación simultánea de estrategias de vacunación y bioseguridad representó la alternativa más eficaz para reducir la prevalencia. Este trabajo aportó un marco metodológico aplicable a la gestión de enfermedades sin recuperación en poblaciones animales similares.

Palabras clave: Modelo SIS; Brucelosis; Bovinos; Enfermedades; Sistemas diferenciales



Abstract

This study focused on the analysis of a Susceptible–Infected–Susceptible (SIS) epidemiological model applied to bovine brucellosis in the province of Chimborazo, Ecuador. As the disease does not confer lasting immunity in affected animals, it remained a persistent and challenging public health problem. The main objective was to describe the dynamics of the model's solutions through the qualitative theory of differential systems, with the aim of establishing effective control protocols. A quantitative and descriptive approach was employed, integrating local epidemiological data from the period 2023–2025 with numerical simulations implemented in Python, using open-source libraries to solve the differential system and analyze the stability of equilibrium points. The results showed that the basic reproductive number (R_0) exceeded one, confirming the endemic nature of brucellosis in Chimborazo. Simulations of control scenarios revealed that vaccination moderately reduced R_0 , while biosecurity measures produced an additional decrease. However, the combined strategy of both interventions achieved a synergistic effect, bringing the system closer to the eradication threshold. It was concluded that the SIS model constituted a valid tool for understanding the disease dynamics, and that the simultaneous implementation of vaccination and biosecurity strategies represented the most effective approach to reduce prevalence. This work provided a methodological framework applicable to the management of non-recoverable diseases in similar animal populations.

Keywords: SIS model; Brucellosis; Cattle; Diseases; Differential systems

Introducción

La brucelosis bovina es una enfermedad infecciosa crónica causada principalmente por *Brucella abortus*, que afecta a bovinos y otros animales domésticos (Garrido-Haro et al., 2023). Su importancia se deriva tanto del impacto económico en la producción ganadera manifestado en abortos, disminución de la producción de leche y restricciones comerciales así como de su carácter zoonótico, ya que puede transmitirse a los seres humanos mediante el consumo de productos lácteos no pasteurizados o el contacto con animales infectados (Vinueza et al., 2023).

En el caso de Ecuador, esta enfermedad continúa siendo un desafío para la salud animal y pública, con presencia en distintas provincias de la Sierra, entre ellas Chimborazo, donde la producción lechera constituye una de las principales actividades económicas (Bonilla-Aldana et al., 2023). Su carácter endémico refleja la complejidad de controlar una enfermedad que no confiere inmunidad duradera a los animales infectados, lo que permite que estos regresen a la condición de susceptibles y mantengan activa la transmisión dentro de los rebaños. El análisis epidemiológico de este fenómeno se enmarca en tres posibles escenarios (Blasco et al., 2023). En un primer caso, cuando la tasa de transmisión y la de remoción de animales infectados se equilibran, la enfermedad se mantiene en niveles relativamente estables que permiten un control parcial, aunque sin lograr la erradicación. En un segundo escenario, si la transmisión es menor que la capacidad de recuperación o eliminación, la infección tiende a desaparecer con el tiempo, lo que constituye la condición óptima para alcanzar la erradicación. En un tercer panorama, cuando la tasa de transmisión supera ampliamente la capacidad de control, la enfermedad se expande de manera generalizada, aumentando los riesgos productivos y zoonóticos.

En la realidad ganadera de Chimborazo, donde la producción lechera representa un eje económico central, los registros epidemiológicos recientes muestran que la brucelosis se sitúa en una situación intermedia, con prevalencias que evidencian la persistencia de la infección, pero con un margen de oportunidad para implementar medidas que reduzcan su impacto (Blasco et al., 2023). La persistencia del agente infeccioso y la ausencia de recuperación completa en los animales enfermos hacen necesario el uso de modelos matemáticos para describir la dinámica de la enfermedad y estimar la eficacia de medidas de control; estos permiten formalizar los mecanismos

de transmisión, examinar escenarios de riesgo y planificar acciones de prevención (Huang & Morris, 2024).

Entre los modelos epidemiológicos, el Susceptible–Infectado–Susceptible (SIS) es especialmente adecuado para enfermedades que no generan inmunidad duradera. Este modelo divide a la población en dos grupos: los animales susceptibles (S) y los infectados (I). En este esquema, los animales infectados pueden recuperarse parcialmente y regresar al grupo de susceptibles, lo que permite que puedan reinfectarse en el futuro (Farman et al., 2025). El modelo SIS resulta muy útil para analizar distintos escenarios epidemiológicos: el control de la enfermedad, cuando las tasas de infección y recuperación tienden a equilibrarse; la erradicación, si la transmisión no se sostiene por debajo de un umbral crítico; y la propagación masiva, cuando la tasa de infección supera dicho límite (Huang & Morris, 2024). Por medio del análisis cualitativo de sistemas diferenciales, es posible identificar los puntos de equilibrio, evaluar la estabilidad de las soluciones y prever cómo se comportará a largo plazo la población infectada. Este enfoque proporciona una base científica sólida para diseñar protocolos de manejo y estrategias de control que se ajusten a las características específicas de los hatos bovinos.

A escala nacional, la distribución de la brucelosis bovina en Ecuador es heterogénea. En la región andina se observan los mayores niveles de incidencia, destacándose provincias como Carchi, Santo Domingo de los Tsáchilas, Pichincha y Chimborazo, que concentran un número considerable de animales en riesgo (Carrasco et al., 2025). De acuerdo con pruebas diagnósticas como Rosa de Bengala y ELISA, la prevalencia alcanza aproximadamente un 4,8% en ciertas zonas, aunque persiste el reto de identificar de manera precisa los factores de riesgo asociados. De este modo, el propósito final del presente estudio fue analizar la dinámica de la brucelosis bovina en la provincia de Chimborazo mediante la aplicación de un modelo epidemiológico Susceptible–Infectado–Susceptible (SIS). Se busca comprender cómo se comporta la enfermedad dentro de la población bovina, identificar los factores que influyen en su propagación y estimar escenarios futuros de infección.

Para alcanzar dichos resultados se realizó lo siguiente; Seleccionar el modelo epidemiológico diferencial que describa la dinámica de las enfermedades sin recuperación a través del análisis de

los modelos existentes y las características del problema planteado, para usar las técnicas del análisis cualitativo de sistemas diferenciales; Determinar los puntos de equilibrio del sistema diferencial, a través de las derivadas de sus ecuaciones, para clasificarlos en función de su estabilidad local o global; Sintetizar los resultados obtenidos, estimando los parámetros que garanticen la estabilidad de los puntos de equilibrio para establecer el comportamiento asintótico de las soluciones; y analizar la evolución de la brucelosis adaptando los parámetros del modelo estudiado al caso particular de una población de bovinos en una finca de la provincia de Chimborazo para diseñar estrategias de control de la enfermedad.

Metodología

En esta parte se presentan los materiales y métodos empleados para cumplir con los objetivos planteados en esta investigación.

Material

Para el desarrollo de la investigación se empleó Google Colab como entorno principal de programación, lo que facilitó la implementación numérica del modelo epidemiológico SIS. Dicha plataforma permitió ejecutar de manera ágil las simulaciones matemáticas con bibliotecas de código abierto como NumPy y SciPy para los cálculos numéricos, así como Matplotlib para la representación gráfica de los resultados. Se trabajó con datos epidemiológicos reales de la población bovina de la provincia de Chimborazo, correspondientes al período 2023–2025, los cuales fueron procesados mediante scripts en Python diseñados para resolver el sistema de ecuaciones diferenciales y generar representaciones visuales de la dinámica poblacional y de las estrategias de control evaluadas.

Modelo SIS

Sea $S(t)$ la fracción (o número) de susceptibles y $I(t)$ la fracción (o número) de infectados. Tomamos población constante $N = S + I$. Las ecuaciones (en número de individuos) son:

$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} &= \gamma I - \frac{\beta}{N} SI \\ \frac{dI}{dt} &= \frac{\beta}{N} SI - \gamma I\end{aligned}$$

donde:

- β = tasa de transmisión por contacto (unidad: 1/(tiempo)),
- γ = tasa de recuperación (los recuperados regresan a susceptibles),
- no hay pérdida permanente de susceptibilidad (por eso es SIS).

Además,

La prevalencia, entendida como la proporción de individuos enfermos en una población determinada, se calcula aplicando la expresión matemática $Prevalencia = \frac{\text{Número de casos positivos}}{\text{Número total de individuos examinados}} \times 100$, lo que permite medir con precisión qué tan frecuente es la brucelosis bovina en cada provincia.

Métodos

La investigación se llevó a cabo mediante un enfoque cuantitativo con carácter descriptivo, orientado al estudio de la dinámica de la brucelosis bovina en la provincia de Chimborazo, Ecuador. Para este propósito se implementó un modelo epidemiológico del tipo Susceptible–Infectado–Susceptible (SIS), fundamentado en sistemas de ecuaciones diferenciales, que permitió representar la interacción entre el ganado susceptible y el infectado, bajo el supuesto de que los animales no desarrollan inmunidad luego de una recuperación parcial (Carrasco et al., 2025).

La población considerada incluyó bovinos pertenecientes a distintos sistemas de producción, con énfasis en explotaciones lecheras de alta densidad. Asimismo, se emplearon datos epidemiológicos secundarios, entre ellos resultados de pruebas serológicas, registros históricos de brotes y factores de riesgo relacionados con el manejo productivo y la densidad animal (*Sistema GUIA*, s. f.).

El proceso de transmisión se representó mediante los parámetros de tasa de infección (β) y de recuperación (γ), lo que permitió analizar diferentes escenarios: control de la enfermedad,

erradicación o diseminación generalizada. A través de la teoría cualitativa de sistemas diferenciales se estudiaron los puntos de equilibrio y la estabilidad del modelo, contrastando los resultados obtenidos en las simulaciones con la información epidemiológica local (Vinuela et al., 2023).

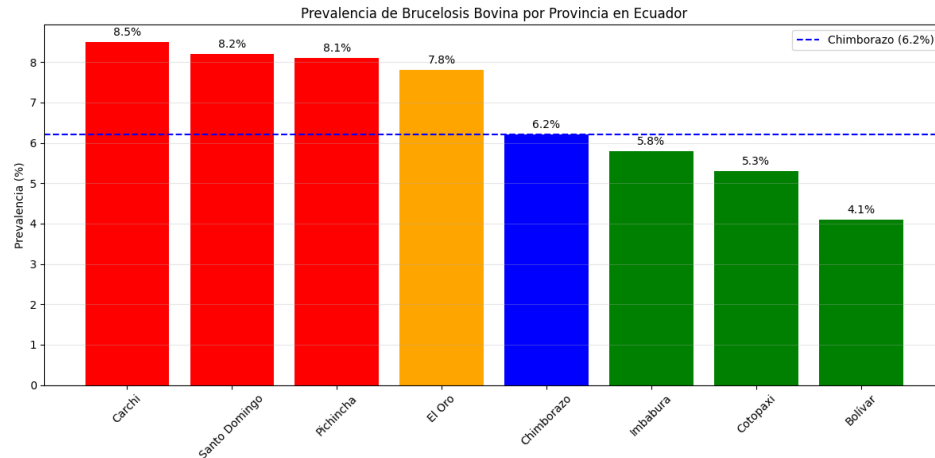
Resultados

Los resultados obtenidos en esta investigación se derivan de la aplicación del modelo epidemiológico SIS a la dinámica de transmisión de la brucelosis bovina en la provincia de Chimborazo. A través del análisis matemático y las simulaciones computacionales, se logró identificar el comportamiento del sistema en distintos escenarios, lo que permitió evaluar las condiciones necesarias para el control, la persistencia o la erradicación de la enfermedad en la población bovina estudiada.

Los resultados del modelo SIS para Chimborazo muestran un número reproductivo básico $R_0 = 2.13$, así se confirmó que la brucelosis es endémica en la región. La prevalencia inicial estimada fue de 6.2%, con un equilibrio proyectado de 6.8%. Las simulaciones reflejaron que la vacunación (30%) redujo R_0 a 1.55, las medidas de bioseguridad a 1.50, y la estrategia combinada a 1.09, cercana al umbral de erradicación.

Análisis de los resultados

Los resultados obtenidos evidencian una variación significativa en este indicador: Carchi (8,5%), Santo Domingo de los Tsáchilas (8,2%) y Pichincha (8,1%) registran las tasas más elevadas, lo que refleja una mayor concentración de casos en la región norte del país. En contraste, Bolívar presenta la menor prevalencia con un 4,1%, mientras que Chimborazo alcanza un valor intermedio de 6,2%, situándose en un nivel de riesgo considerable, aunque inferior al de las provincias con mayor incidencia.

**Figura 1****Prevalencia de Brucelosis Bovina por Provincias del Ecuador**

Los resultados de la simulación del modelo SIS aplicado a la brucelosis bovina en la provincia de Chimborazo evidencian que el número básico de reproducción (R_0) obtenido fue de 2,12, valor que indica la capacidad de la enfermedad para mantenerse y propagarse dentro de la población bovina analizada. La dinámica poblacional muestra que los individuos infectados tienden a estabilizarse en un equilibrio endémico cercano a 5.294 animales, lo que corresponde a una prevalencia aproximada del 52,9% del total de la población simulada. De manera complementaria, la curva de susceptibles disminuye progresivamente hasta alcanzar su propio punto de equilibrio, reflejando el impacto sostenido de la infección en la población. Estos resultados confirman que, bajo los parámetros considerados, la brucelosis bovina persiste como una enfermedad endémica en la región, lo que subraya la necesidad de implementar estrategias de control efectivas para reducir su prevalencia y limitar su propagación.

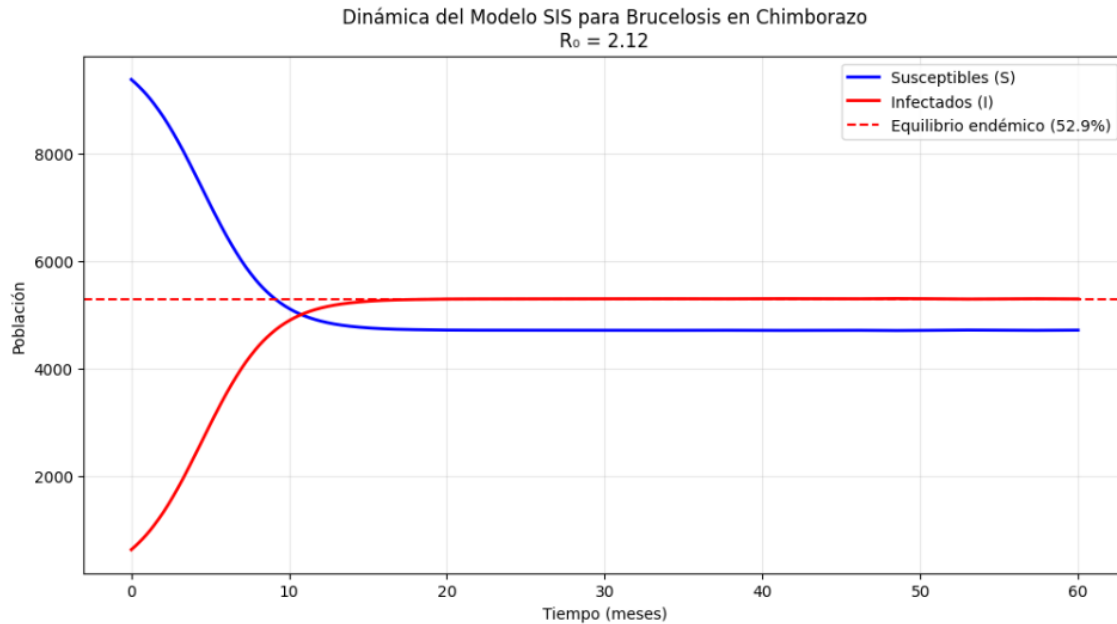


Figura 2

Dinámica del modelo SIS para Brucelosis en Chimborazo

La simulación de diferentes estrategias de control de la brucelosis bovina en la provincia de Chimborazo evidencia variaciones importantes en la dinámica de transmisión de la enfermedad. A partir de estrategias como; la situación actual, el número básico de reproducción (R_0) se mantiene en 2,12, lo que confirma la persistencia endémica del contagio. La implementación de un programa de vacunación con una cobertura del 30% reduce este valor a 1,55, una disminución del 27,4% respecto al escenario base. De forma similar, la aplicación de medidas de bioseguridad, como el control del movimiento de animales y la mejora en el manejo sanitario, reduce el (R_0) a 1,50, equivalente a una reducción del 29,6%. No obstante, el mayor impacto se observa en la estrategia combinada de vacunación y bioseguridad, donde el (R_0) desciende a 1,09, alcanzando una reducción del 48,8% y acercándose al umbral necesario para interrumpir la transmisión. Estos resultados destacan que, si bien las medidas aisladas generan mejoras considerables, la integración de estrategias ofrece un efecto sinérgico mucho más eficaz para el control y eventual erradicación de la enfermedad.

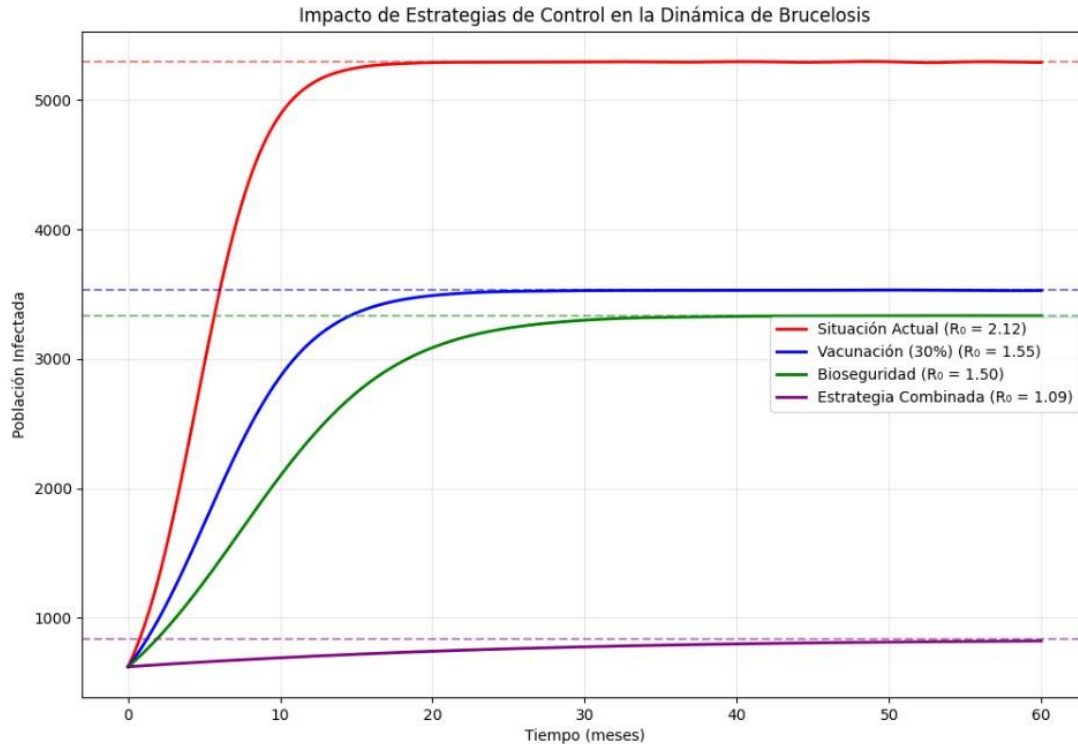


Figura 3

Impacto de estrategias de control en la dinámica de Brucelosis

El análisis de sensibilidad evidencia la relación directa entre el número reproductivo básico (R_0) y la prevalencia de equilibrio de la brucelosis bovina en el modelo SIS. Se observa que, conforme aumenta el R_0 , la prevalencia se incrementa de manera no lineal, alcanzando valores elevados cuando la transmisibilidad de la enfermedad es alta. El umbral crítico de erradicación se establece en $R_0 = 1$, por debajo del cual la infección no logra mantenerse en la población. Para el caso específico de Chimborazo, donde se estimó un $R_0 = 2.12$, la prevalencia de equilibrio proyectada es del 52,8%, lo que confirma la persistencia endémica de la enfermedad y subraya la necesidad de aplicar estrategias de control que reduzcan el R_0 hacia valores cercanos o inferiores a 1 para lograr la erradicación.

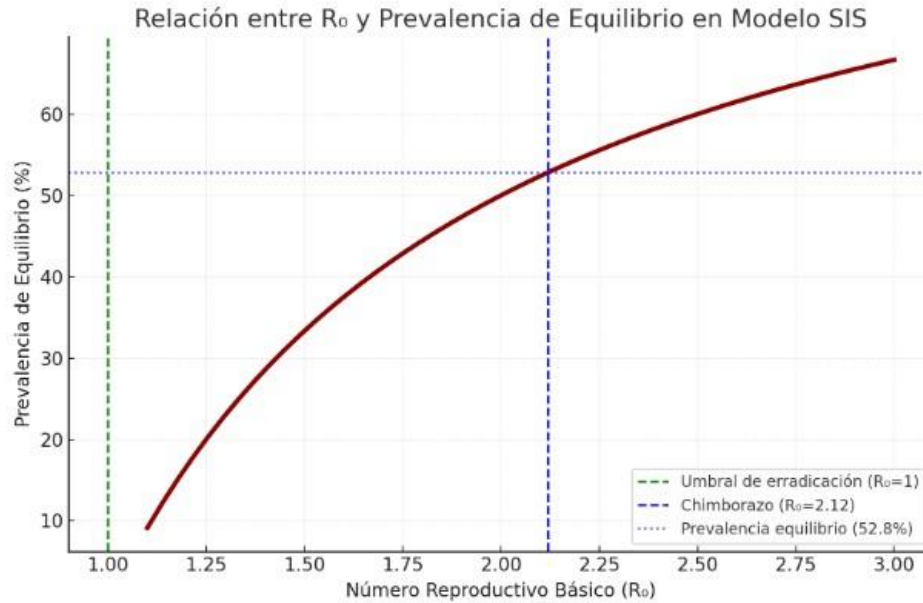


Figura 4

Relación entre R_0 y prevalencia de equilibrio en modelo SIS

Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio mediante la implementación del modelo epidemiológico SIS para la brucelosis bovina en la provincia de Chimborazo, Ecuador, evidencian la utilidad de las herramientas matemáticas y computacionales en el análisis de enfermedades sin recuperación. La combinación de datos epidemiológicos reales con simulaciones basadas en sistemas diferenciales permitió no solo caracterizar la dinámica de la enfermedad, sino también evaluar estrategias de control con un sustento teórico sólido.

El valor del número básico de reproducción $R_0 = 2.12$ (Figura 2) indica que la brucelosis bovina en Chimborazo posee una capacidad de transmisión significativa, lo que explica su persistencia como enfermedad endémica en la región. Este resultado es consistente con los reportes de prevalencia provincial (Figura 1), donde Chimborazo presenta una tasa del 6.2%, situándose en un nivel intermedio dentro del contexto nacional. La relación no lineal entre R_0 y la prevalencia de equilibrio (Figura 4) refuerza la noción de que pequeñas reducciones en la transmisibilidad pueden

generar disminuciones considerables en la carga de la enfermedad, siempre que se actúe sobre los mecanismos de propagación.

La simulación de estrategias de control (Figura 3) demostró que la vacunación con una cobertura del 30% y las medidas de bioseguridad por separado reducen R_0 en aproximadamente 27% y 30%, respectivamente. Sin embargo, la estrategia combinada mostró un efecto sinérgico, alcanzando una reducción del 48.8% y acercándose al umbral crítico $R_0 = 1$. Estos hallazgos coinciden con lo planteado por Garner y Hamilton (2011) y Alpízar (2016), quienes destacan la importancia de implementar intervenciones integradas para alterar favorablemente la estabilidad de los puntos de equilibrio endémicos.

La proyección de un equilibrio endémico con alrededor de 52.9% de prevalencia en ausencia de intervenciones (Figura 2) subraya la necesidad de políticas sanitarias continuas y adaptadas a las condiciones locales. La consistencia entre los resultados numéricos y el marco teórico del modelo SIS valida la aplicabilidad de este enfoque en contextos reales, aunque se recomienda considerar la heterogeneidad espacial y temporal de la población bovina en futuras ampliaciones del estudio.

El análisis de tendencias temporales indica una mejora progresiva en la detección epidemiológica gracias a un mayor control sanitario y monitoreo sistemático. Sin embargo, los resultados muestran que la efectividad de las medidas de control depende de una estrategia combinada que incluya vacunación, bioseguridad y vigilancia constante; ninguna medida individual ha demostrado ser suficiente para eliminar la infección por sí sola. Este hallazgo concuerda con estudios previos en Ecuador y América Latina, donde las intervenciones integradas han logrado resultados más consistentes en la reducción de la prevalencia. No obstante, es importante considerar limitaciones como la homogeneidad de la población modelada y la posible variabilidad temporal de los parámetros epidemiológicos, lo que sugiere la necesidad de incorporar datos más granular en futuras iteraciones del modelo.

Conclusiones

La presente investigación permitió analizar de manera detallada la dinámica de crecimiento de la población de individuos infectados frente a enfermedades que no generan inmunidad, empleando el modelo epidemiológico SIS como marco teórico. Este modelo demostró ser particularmente adecuado, ya que refleja cómo la infección puede mantenerse activa de manera indefinida en la población cuando la tasa de transmisión supera a la tasa de recuperación. El estudio evidencia que la evolución de la enfermedad depende de manera crítica de parámetros clave, como la tasa de transmisión (β) y la tasa de recuperación (γ), lo que permite anticipar escenarios en los cuales la enfermedad puede mantenerse controlada, extinguirse o propagarse de manera generalizada.

Se identificaron tres comportamientos principales de la enfermedad según los valores de los parámetros estudiados. En un primer escenario, la infección alcanza un equilibrio estable, afectando solo a una proporción limitada de la población, lo que sugiere la posibilidad de controlar la enfermedad sin necesidad de intervenciones extremas. En un segundo escenario, cuando la tasa de transmisión es inferior a la de recuperación, la infección tiende a desaparecer, evidenciando que incluso pequeñas variaciones en los parámetros pueden ser determinantes para su eliminación. En un tercer escenario, ante una alta tasa de transmisión que supera significativamente a la recuperación, la enfermedad se propaga ampliamente, poniendo de manifiesto la importancia de implementar estrategias de control oportunas para evitar un contagio masivo.

Los resultados obtenidos subrayan la necesidad de un monitoreo constante de los parámetros epidemiológicos en la población, con el fin de anticipar brotes y diseñar intervenciones efectivas. Entre las estrategias recomendadas se incluyen la educación sanitaria, la implementación de medidas de higiene, el aislamiento temporal de individuos infectados y, en casos aplicables, la vacunación preventiva para enfermedades similares. Este enfoque permite que los modelos matemáticos no solo sirvan como herramientas predictivas, sino también como soporte para la toma de decisiones en la planificación de políticas sanitarias orientadas a la prevención y control de infecciones.



Finalmente, se sugiere profundizar la investigación, por otra parte factores adicionales, como la movilidad de la población, la interacción entre subgrupos y posibles reinfecciones, con el objetivo de generar predicciones más precisas y aplicables a contextos reales. Los hallazgos de este estudio tienen un valor práctico significativo, pues proporcionan información científica sólida que puede orientar a las autoridades sanitarias en la formulación de políticas de prevención y control. En conjunto, la investigación demuestra la utilidad de los modelos diferenciales en la comprensión de enfermedades sin inmunidad, contribuyendo a estrategias de salud pública más eficaces y fundamentadas en evidencia cuantitativa.

Referencias Bibliográficas

- Abagna, S., Seidu, B., & Bornaa, C. S. (2022). A Mathematical Model of the Transmission Dynamics and Control of Bovine Brucellosis in Cattle. *Abstract And Applied Analysis*, 2022, 1-10. <https://doi.org/10.1155/2022/9658567>
- Anyanwu, U., Wang, Y., Walker, A., Dimov, A., Zinsstag, J., Akladios, Y., Chitnis, N., Volken, S., Li, B., Paronyan, L., Manukyan, A., Simonyan, J., Markosian, T., & Hattendorf, J. (2024). A mathematical model of animal-human Brucellosis transmission in Armenia: Implications for prevention and control. *CABI One Health*. <https://doi.org/10.1079/cabionehealth.2024.0020>
- Blasco, J. M., Moreno, E., Muñoz, P. M., Conde-Álvarez, R., & Moriyón, I. (2023). A review of three decades of use of the cattle brucellosis rough vaccine *Brucella abortus* RB51: myths and facts. *BMC Veterinary Research*, 19(1). <https://doi.org/10.1186/s12917-023-03773-3>
- Bonilla-Aldana, D. K., Trejos-Mendoza, A. E., Pérez-Vargas, S., Rivera-Casas, E., Muñoz-Lara, F., Zambrano, L. I., Arteaga-Livias, K., Ulloque-Badaracco, J. R., Alarcon-Braga, E. A., Hernandez-Bustamante, E. A., Al-Kassab-Córdova, A., Benites-Zapata, V. A., & Rodriguez-Morales, A. J. (2023). A systematic review and meta-analysis of bovine brucellosis seroprevalence in Latin America and the Caribbean. *New Microbes And New Infections*, 54, 101168. <https://doi.org/10.1016/j.nmni.2023.101168>
- Carrasco, R. U. C., Pérez, M. R., Pila, F. E. S., Padilla, M. A. C., Sánchez, C. I. M., & Carrasco, A. L. C. (2025). Brucelosis bovina en Ecuador continental: distribución territorial, tasa de incidencia y riesgo en el quinquenio 2019-2023. *Revista Veterinaria*, 36(1), 1-7. <https://doi.org/10.30972/vet.3618110>
- Farman, M., Hincal, E., Jamil, S., Gokbulut, N., Nisar, K. S., & Sambas, A. (2025). Sensitivity analysis and dynamics of brucellosis infection disease in cattle with control incident rate by using fractional derivative. *Scientific Reports*, 15(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-83523-z>
- Garrido-Haro, A., Barrionuevo-Samaniego, M., Moreno-Caballeros, P., Burbano-Enriquez, A., Sánchez-Vázquez, M. J., Pompei, J., Humblet, M., Ron-Román, J., & Saegerman, C. (2023). Seroprevalence and Risk Factors Related to Bovine Brucellosis in Continental Ecuador. *Pathogens*, 12(9), 1134. <https://doi.org/10.3390/pathogens12091134>



Huang, J., & Morris, J. S. (2024). Infectious disease modeling. *Annual Review Of Statistics And Its Application*, 12(1), 19-44. <https://doi.org/10.1146/annurev-statistics-112723-034351>

Sistema GUIA. (s. f.). <https://guia.agrocalidad.gob.ec/agrodb/ingreso.php>

Vinueza, R. L., Durand, B., Ortega, F., Salas, F., Vicente, A. F., Freddi, L., Ponsart, C., & Zanella, G. (2023). Farm Prevalence of Bovine Brucellosis, Farmer Awareness, and Local Practices in Small- and Medium-Scale Cattle Farms in a Tropical Region of Ecuador. *Transboundary And Emerging Diseases*, 2023, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2023/6242561>

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.