



Método neutrosófico para la evaluación del impacto de la rabia bovina en la ganadería

Neutrosophic method for the evaluation of the impact of bovine rabies on livestock production

Marco Paul Medina Valencia¹, Melina Geraldin Flores Castro², Jolena Verónica Vinueza Lara³, and Álvaro Francisco Sánchez Cedeño⁴

¹ Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato, Ecuador. marcomv68@uniandes.edu.ec

² Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato, Ecuador. melinafc18@uniandes.edu.ec

³ Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato, Ecuador. jolenavl64@uniandes.edu.ec

⁴ Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato, Ecuador. ua.alvarosc29@uniandes.edu.ec

Resumen. La rabia, un virus zoonótico altamente relevante, se caracteriza por su rápida propagación a nivel mundial y su capacidad para infectar diversas especies. Esta enfermedad afecta el sistema nervioso central y representa un gran riesgo para los humanos, lo que hace crucial su erradicación inmediata. En el sector bovino, la rabia plantea desafíos significativos en términos de salud y economía. La transmisión a través de mordeduras de murciélagos agrava su impacto, generando brotes en varias provincias de Ecuador. Investigaciones cualitativas han resaltado la importancia de la información preventiva y la vacunación del ganado. En este contexto, se desarrollará una investigación cuyo objetivo es implementar un Método Neutrosófico para la evaluación del impacto de la rabia bovina en la ganadería. Este enfoque permitirá analizar la situación actual e incorporará la incertidumbre en la toma de decisiones. La educación de ganaderos y la población sobre los riesgos de la rabia bovina es fundamental, así como implementar esquemas de vacunación y establecer programas de vigilancia epidemiológica eficaces. La colaboración entre autoridades sanitarias y actores del sector ganadero será clave para desarrollar estrategias integrales de control, incluyendo políticas de vacunación obligatoria y mejoras en la infraestructura de salud animal, garantizando así la sostenibilidad del sector y la reducción del riesgo de contagio.

Palabras Claves: números neutrosófico, rabia, bovinos, zoonótico, virus, sexo.

Abstract. Rabies, a highly relevant zoonotic virus, is characterized by its rapid global spread and its ability to infect various species. This disease affects the central nervous system and represents a great risk to humans, making its immediate eradication crucial. In the bovine sector, rabies poses significant challenges in terms of health and economy. Transmission through bat bites aggravates its impact, generating outbreaks in several provinces of Ecuador. Qualitative research has highlighted the importance of preventive information and cattle vaccination. In this context, research will be developed with the objective of implementing a Neutrosophic Method for the evaluation of the impact of bovine rabies on livestock. This approach will allow the current situation to be analyzed and will incorporate uncertainty into decision-making. Educating cattle farmers and the population about the risks of bovine rabies is essential, as well as implementing vaccination schemes and establishing effective epidemiological surveillance programs. Collaboration between health authorities and stakeholders in the livestock sector will be key to developing comprehensive control strategies, including mandatory vaccination policies and improvements in animal health infrastructure, thus ensuring the sustainability of the sector and reducing the risk of contagion.

Keywords: neutrosophic numbers, rabies, bovine, zoonotic, virus, sex

1 Introducción

La rabia es una enfermedad de carácter zoonótico causada por un virus perteneciente al género *Lyssavirus*, se trata de una enfermedad aguda de consecuencias fatales para los animales que la poseen, esta tiende a atacar principalmente el sistema nervioso central, también existen cambios muy notorios en el comportamiento del ganado, presentan excitabilidad nerviosa y hay predominio de signos paralíticos de la enfermedad [1].

La rabia dependiendo el ecosistema en el que genere su afección, varía la transmisión, en animales urbanos como los caninos domésticos la rabia es transmitida por mordeduras, en cambio en animales silvestres la rabia es

transmitida por medio de las picaduras de animales portadores, en el caso de la rabia bovina es producida por la mordedura de murciélagos hematófagos de la especie *Desmodus rotundus*, este vector actúa como portador asintomático, su saliva puede excretar el virus hasta en un periodo de cinco meses. Este murciélagos se alimenta únicamente de la sangre de los animales domésticos como salvajes [2]

En América Latina y específicamente en Ecuador, la rabia en bovinos genera pérdidas económicas considerables debido a la muerte de los animales infectados, además se registra una disminución de la producción de leche, carne, mal desarrollo y anemias, en la última década en nuestro país se ha desarrollado un aumento de brotes de la rabia en bovinos, siendo alarmante para el sector ganadero, alrededor de 12 provincias han generado reportes [1].

En el Ecuador la entidad gubernamental a cargo de la regulación, control y prevención de enfermedades zoonóticas es Agrocalidad, cuando existe un reporte de casos, los animales son aislados y se hacen las pruebas respectivas. La prueba más utilizada es la prueba de inmunofluorescencia directa, se añade una gota de inmunoglobulina purificada, previamente mezclada con isotiocianato de fluoresceína a un frotis de tejido cerebral fijado con acetona [3,28].

Esta enfermedad es fatal por lo que no se recupera el estado de salud de los animales, por esta razón el ganado debe ser vacunado entre los 3 y 6 primeros meses de vida y luego a los 30 días [4]. Posteriormente la vacuna es anual. En el caso de reporte de brotes de rabia, los animales sanos de la misma producción y las granjas aledañas deberán ser vacunadas, cada cierto periodo de tiempo en Ecuador, Agrocalidad tiene campañas de vacunación contra la rabia bovina e las diferentes provincias del país. Los ganaderos pueden obtener la vacuna gratuitamente.

El periodo de incubación puede ser prolongado, lo que dificulta la detección temprana. El diagnóstico de la rabia en bovinos se basa en la observación clínica, pruebas de laboratorio y la identificación del virus en tejidos cerebrales [5]. El tratamiento es ineficaz una vez que aparecen los síntomas, por lo que la prevención es fundamental. La vacunación de los animales y la vigilancia epidemiológica son estrategias clave para controlar la enfermedad [6,29]. En este contexto, el objetivo del presente artículo es implementar un método neutrosófico para la evaluación del impacto de la rabia bovina en la ganadería.

2 Diseño del método para la evaluación del impacto de la rabia bovina en la ganadería

La presente sección realiza una descripción del método propuesto. Se detallan las diferentes actividades que garantizan la inferencia de la etapa procesamiento. Las actividades están computadas por: identificar los criterios evaluativos, determinar las relaciones causales, obtener el MCN resultante de las relaciones causales, inferencia del proceso. La Figura 1 muestra el flujo de la etapa de procesamiento.



Figura 1. Flujo de trabajo de la etapa de procesamiento.

Actividad 1: Identificación de los criterios evaluativos.

La actividad inicia con la identificación de los expertos que intervienen en el proceso. A partir del trabajo del grupo de expertos se determinan los criterios que se tendrán en cuenta para la inferencia del proceso. La actividad utiliza un sistema de trabajo en grupo mediante un enfoque multicriterios [7,30]. Formalmente se puede definir el problema de recomendación de la guarda a menores a partir de la responsabilidad parental mediante:

El número de indicadores evaluativos del proceso donde:

$$I = \{i_1, \dots, i_n\} \quad (1)$$

El número de expertos que interviene en la valoración multicriterio donde:

$$E = \{m_1, \dots, m_n\} \quad (2)$$

El resultado de la actividad es la obtención de los diferentes indicadores evaluativos sobre los perfiles de la rabia bovina en la ganadería.

Actividad 2: determinación de las relaciones causales de los criterios.

Una vez obtenidos los criterios evaluativos, se determina las relaciones causales. Las relaciones causales constituyen la expresión de causalidad entre los diferentes criterios evaluativos. La determinación de las relaciones causales consiste en establecer a partir del trabajo en grupo la implicación entre conceptos. La información resultante representa el conocimiento primario para nutrir el proceso de inferencia.

Las relaciones causales son representadas por variables difusas expresadas como términos lingüísticos. En los modelos lingüísticos se suelen usar conjuntos de etiquetas lingüísticas con granularidad no superior a 13. Es común utilizar conjuntos de granularidad impar, donde existe una etiqueta central y el resto de las etiquetas se distribuyen simétricamente a su alrededor.

Actividad 3: obtención del MCN.

Durante la etapa de ingeniería del conocimiento cada experto expresa la relación que existe entre cada par de conceptos C_i y C_j del mapa. Entonces, para cada relación causal se obtienen K reglas con la siguiente estructura: Si C_i es A entonces C_j es B y el peso W_{ij} es C. Cada nodo constituye un concepto causal, esta característica hace que la representación sea flexible para visualizar el conocimiento humano. La matriz de adyacencia se obtiene a partir los valores asignados a los arcos [8,31].

Los valores que se obtienen por el grupo de experto que intervienen en el proceso son agregados conformándose el conocimiento general con las relaciones entre los criterios. La actividad obtiene como resultado el FCM resultante [9].

A partir de la obtención de las relaciones causales, se realiza el análisis estático [10]. Se toma de referencia el conocimiento almacenado en la matriz de adyacencia. Para el desarrollo del presente método se trabaja con el grado de salida tal como muestra la ecuación (3) [11].

$$id_i = \sum_{j=1}^n \|I_{ji}\| \quad (3)$$

Actividad 4: procesamientos de la inferencia:

Un sistema modelado por un MCN evolucionará durante el tiempo, donde la activación de cada neurona dependerá del grado de activación de sus antecedentes en la iteración anterior [12, 13]. Normalmente este proceso se repite hasta que el sistema establezca o se alcance un número máximo de iteraciones.

El procesamiento para la inferencia, consiste en calcular el vector de estado A a través del tiempo, para una condición inicial A^0 [14]. De forma análoga a otros sistemas neuronales, la activación de C_i dependerá de la activación las neuronas que inciden directamente sobre el concepto C_i y de los pesos causales asociados a dicho concepto. La ecuación 6 muestra la expresión utilizada para el procesamiento.

$$A_i^{(K+1)} = f\left(A_i^{(K)} \sum_{i=1; j \neq i}^n A_i^{(K)} * W_{ji}\right) \quad (4)$$

Donde:

$A_i^{(K+1)}$: es el valor del concepto C_i en el paso k+1 de la simulación,

$A_i^{(K)}$: es el valor del concepto C_j en el paso k de la simulación,

W_{ji} : es el peso de la conexión que va del concepto C_j al concepto C_i y $f(x)$ es la función de activación.

Los sistemas inestables pueden ser totalmente caóticos o cíclicos, y son frecuentes en modelos continuos. En resumen, el proceso de inferencia en un MCD puede mostrar una de las siguientes características:

- Estados de estabilidad: si $\exists tk \in \mathbb{N}: A_i^{(t+x)} = A_i^{(t)} \forall t > tk$ por tanto, después de la iteración tk el FCM producirá el mismo vector de estado. Después esta configuración es ideal, pues representa la codificación de un patrón oculto en la causalidad [15].
- Estados cíclicos: si $\exists tk, P \in \mathbb{N}: A_i^{(t+p)} = A_i^{(t)} \forall t > tk$. El mapa tiene un comportamiento cíclico con periodo P . En este caso el sistema producirá el mismo vector de estado cada P -ciclos del proceso de inferencia [16].
- Estado caótico: el mapa produce un vector de estado diferente en cada ciclo. Los conceptos siempre varían su valor de activación [17].

3 Implementación del método neutrosófico para la evaluación del impacto de la rabia bovina en la ganadería

La presente sección ilustra la implementación del método propuesto para evaluar el impacto de la rabia bovina

en la ganadería. Se describe un estudio de caso centrado en una comunidad ganadera en Ambato, Ecuador, donde se llevará a cabo un análisis exhaustivo de las implicaciones de esta enfermedad zoonótica. A continuación se describen los resultados del estudio:

Actividad 1 Identificación de los criterios evaluativos:

Para llevar a cabo este estudio, se consultaron cinco expertos en salud animal, epidemiología y economía ganadera. Este panel de expertos fue seleccionado por su amplio conocimiento y experiencia en la temática, y su diversidad de especialidades proporcionó una base sólida para la identificación de los criterios evaluativos. A continuación, se describen las características del panel y los criterios evaluativos establecidos:

- **Experiencia:** El panel incluyó veterinarios, epidemiólogos y economistas agrícolas. Esta diversidad asegura un enfoque multidisciplinario para entender el impacto de la rabia en la ganadería.
- **Conocimiento local:** Cada experto tiene un conocimiento profundo del contexto ganadero de Ambato, lo que les permite aportar información relevante y específica sobre la región y sus desafíos particulares.
- **Participación:** Todos los miembros del panel participaron activamente en discusiones sobre los aspectos críticos de la rabia bovina, lo que fomentó un ambiente de colaboración y generación de ideas.
- **Reconocimiento en su campo:** Los expertos seleccionados son reconocidos en sus respectivas áreas, lo que les otorga credibilidad y autoridad en las evaluaciones realizadas.
- **Compromiso:** Los integrantes del panel demostraron un compromiso demostrado con la salud pública y animal así como en el desarrollo de la industria ganadera, lo que aumenta la relevancia y urgencia en sus recomendaciones.

El grupo de expertos consultados representa la base para la definición de los criterios evaluativos y las relaciones causales. A partir del trabajo realizado por el grupo de expertos se identificaron el conjunto de criterios. La tabla 1 muestra el resultado de los criterios identificados.

Tabla 1. Criterios evaluativos.

No.	Criterios
1	Frecuencia de incidencia: Evalúa la tasa de casos reportados de rabia bovina en la región. Este criterio permitirá comprender la extensión del problema y su evolución a lo largo del tiempo.
2	Efectos económicos: Considera la pérdida económica en las explotaciones ganaderas como resultado de la rabia, incluyendo gastos en tratamiento y pérdidas por muerte de animales.
3	Riesgos para la Salud Pública: Analiza la amenaza que representa la rabia bovina para la salud humana en la comunidad, especialmente en los casos de transmisión zoonótica.
4	Conocimiento y actitudes de los ganaderos: Evalúa el nivel de conciencia que tienen los ganaderos sobre la rabia, sus síntomas, y la importancia de las vacunas, lo que afecta su comportamiento en relación con la prevención de la enfermedad.

Actividad 2 determinaciones de las relaciones causales de los criterios:

Para la identificación de las relaciones causales se obtuvo la información del grupo de expertos que participa en el proceso. Como resultado se identificaron 5 matrices de adyacencia con el conocimiento expresado por cada experto. Las matrices pasaron por un proceso de agregación en la que se genera como resultado final una matriz de adyacencias resultante. La tabla 2 muestra la matriz de adyacencia resultante del proceso.

Tabla 2. Matriz de adyacencia de los criterios evaluativos.

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄
C ₁	[0.00]	[1,0,0]	[0.90,0,15,0.20]	[1,0,0]
C ₂	[1,0,0]	[0.00]	[0.8,0,15,0.20]	[1,0,0]
C ₃	[0.8,0,15,0.20]	[0.8,0,15,0.20]	[0.00]	[0.90,0,15,0.20]
C ₄	[1,0,0]	[1,0,0]	[1,0,0]	[0.00]

Actividad 3 obtención del MCN:

Una vez obtenidos los indicadores evaluativos y sus relaciones causales correspondientes en la actividad 2, se realiza la representación del conocimiento en el MCN resultante.

Actividad 4 procesamientos de la inferencia:

La matriz de adyacencia posee el conocimiento necesario para determinar los pesos atribuidos a cada indicador evaluativo. Para calcular los pesos, se emplea la ecuación 3. La tabla 3 muestra los resultados del cálculo realizado.

Tabla 3: Peso atribuido a los criterios evaluativos.

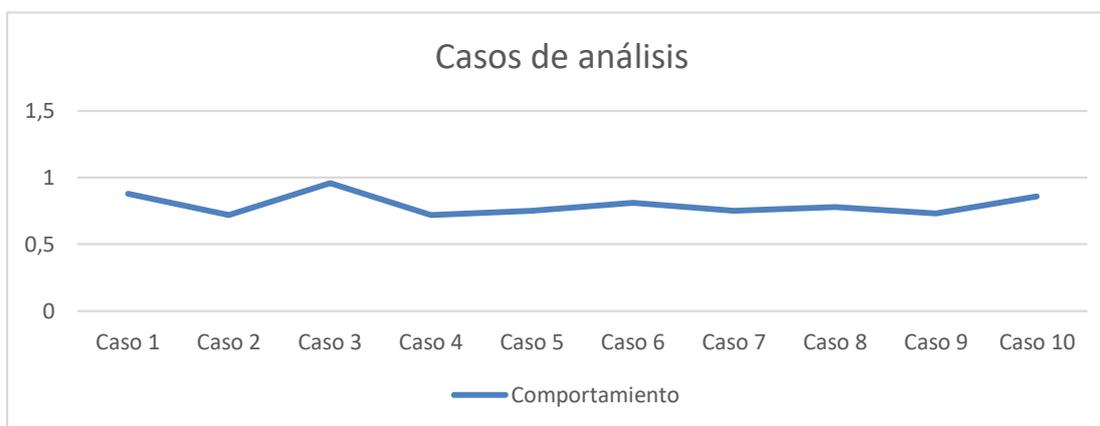
ID	Criterio evaluativo	Peso
C ₁	Frecuencia de incidencia	[0.82,0,15,0.20]
C ₂	Efectos económicos	[0.8,0,15,0.20]
C ₃	Riesgos para la Salud Pública	[0.71,0,10,0.20]
C ₄	Conocimiento y actitudes de los ganaderos	[0.85,0,15,0.20]

Una vez determinado los pesos de los indicadores. Se determinan las preferencias del comportamiento de 10 casos de análisis. Las tabla 4 muestran los resultados del cálculo realizado.

Tabla 4: Cálculo de preferencias atribuidas al impacto de la rabia bovina en la ganadería.

Criterio	Peso	Preferencia	Agregación
C ₁	[0.82,0,15,0.20]	[0.9, 0.1, 0.1]	[0.86,0,15,0.20]
C ₂	[0.8,0,15,0.20]	[1,0,0]	[0.90,0,15,0.20]
C ₃	[0.71,0,10,0.20]	[1,0,0]	[0.85,0,15,0.20]
C ₄	[0.85,0,15,0.20]	[1,0,0]	[0.92,0,15,0.20]
Índice			[0,88,0,15,0.20]

La figura 2 muestra una gráfica las preferencias del comportamiento de 10 casos de análisis.

**Figura 2.** Comportamiento de los diferentes casos de análisis.

A partir de la simulación, se identificaron los casos 3, 10 y 1 como los más críticos. Estos casos son descritos a continuación:

Caso 5: Bobina hembra con babesiosis

En una finca de Ambato, una vaca hembra sufrió la muerte repentina y fue referida al veterinario debido a un historial clínico que incluía signos compatibles con babesiosis. Tras el fallecimiento, se tomaron muestras de su cerebro para análisis histopatológico. En el examen de las muestras de sangre, se confirmaron signos de infección por *Babesia bovis*, utilizando tinción de Giemsa. Este caso destaca la necesidad de distinguir entre múltiples infecciones zoonóticas que podrían coexistir en el ganado de la región.

Caso 6: Becerro con incoordinación progresiva

Durante una revisión de varios lotes de ganado en la misma comunidad, se identificó una alta presencia de garrapatas y mordeduras de murciélagos hematófagos en todos los animales examinados. En particular, se observó un becerro de 45 días que mostraba incoordinación en sus extremidades posteriores y presentaba dificultades para alimentarse. Al examinarlo más de cerca, se notaron múltiples mordeduras en sus orejas y cuello. Se decidió separar al becerro para realizar estudios adicionales. A pesar del tratamiento intravenoso con suero glucosado durante tres días, el animal mostró un deterioro progresivo, terminando en postración, hipotermia y otros síntomas graves. Finalmente, se confirmaron resultados positivos para Babesiosis.

Caso 8: Hembra tratada sin lesiones relevantes

En un corral cercano, se reportó una hembra de cuatro meses que había recibido tratamiento por anaplasmosis y babesiosis. Según el veterinario de la comunidad, el animal estaba en recuperación. Sin embargo, durante la necropsia, no se encontraron lesiones significativas que indicaran la presencia de babesiosis o anaplasmosis. Esto sugiere un desenlace favorable tras el tratamiento, a pesar del riesgo de exposición a patógenos en la comunidad.

En los tres casos mencionados, se observó encefalitis no supurativa con características específicas, incluidas reacciones gliales y ateliosis neuronal. Las inclusiones típicas de los cuerpos de Negri fueron más prominentes en el primer caso, donde la severidad y la cantidad de lesiones fueron notablemente mayores. Esto resalta la variabilidad en la presentación clínica y los resultados diagnósticos asociados con la rabia bovina y las infecciones concurrentes en la comunidad ganadera de Ambato.

4 Discusión

La rabia paralítica bovina, conocida como derriengue, se origina principalmente por la mordedura del murciélago hematófago *Desmodus rotundus*, un virus neurotrópico clasificado en el género *Lyssavirus* de la familia *Rhabdoviridae*. Una vez que el virus entra en la herida, se infiltra en los nervios periféricos y se extiende hacia el sistema nervioso central. El periodo de incubación puede variar desde unos pocos días hasta meses, dependiendo de la localización de la mordedura y la cantidad de virus inoculado; a mayor proximidad de la herida al sistema nervioso central, más corto será este período. La saliva de los murciélagos contiene un anticoagulante que prolonga la hemorragia post-mordedura, debilitando al ganado. Además, las lesiones provocadas por estos murciélagos al alimentarse de sangre pueden disminuir tanto la producción de leche como el crecimiento del ganado [18,32].

Los factores de riesgo para la rabia paralítica incluyen la exposición a animales salvajes, el contacto con murciélagos y la falta de vacunación en el ganado. La interacción con reservorios silvestres, el periodo de incubación y las diversas formas clínicas también influyen en el desarrollo de la enfermedad. La expansión de las áreas agrícolas ha creado nuevos espacios de pastoreo, lo que incrementa el contacto entre los murciélagos y el ganado. Asimismo, el cambio climático podría afectar la distribución geográfica de estos murciélagos, ampliando las zonas de riesgo. La escasez de laboratorios especializados dificulta un diagnóstico oportuno, complicado por el desconocimiento de la enfermedad en áreas rurales, lo que retrasa la notificación de brotes y la implementación de tratamientos preventivos [19].

Un estudio realizado en Ecuador [20] reveló que, en cuanto al control de ectoparásitos, el 100% de los ganados enfrenta esta problemática, siendo las enfermedades más comunes la fiebre de garrapata (57%), estomatitis vesicular (19,8%), estrés calórico (14%), librilla seco (6%) y rabia bovina (3%). Este estudio también encontró que, en el último año, aproximadamente un bovino por finca presentó enfermedades, lo que representa el 11% del ganado.

El virus de la rabia se replica en las células estriadas, específicamente en los miocitos, cerca del punto de entrada del virus y luego se difunde hacia las terminaciones de los nervios motores. A medida que el virus avanza por el sistema nervioso central, en particular en la médula espinal, su progresión al cerebro es rápida. Esto provoca daños en las neuronas motoras, resultando en lesiones progresivas en los nervios motores inferiores, ocasionando la típica parálisis flácida asociada con la enfermedad. La propagación del virus hacia las glándulas salivales a través de los pares craneales representa la etapa final de la infección, indicando un daño cerebral significativo. Esta fase es crucial para la transmisión entre animales y de animales a humanos [21,33].

Los signos clínicos de la rabia en los animales dependen de cómo afecta el virus al cerebro. Generalmente, los animales presentan un cambio abrupto en su comportamiento seguido de parálisis progresiva que culmina en la muerte. En algunos casos, un animal puede fallecer rápidamente sin mostrar síntomas clínicos evidentes. Tras la exposición al virus, ya sea por mordedura u otra vía, el virus se dirige al cerebro. El periodo de incubación de la rabia puede oscilar entre 20 y 90 días, y su duración se ve influenciada por la inmunidad del huésped, la virulencia del virus y la distancia entre el sitio de la mordedura y el cerebro. Los síntomas iniciales, que son comunes tanto en humanos como en animales, incluyen aislamiento, apatía, pérdida de apetito, depresión, ansiedad y sensibilidad en el área afectada. En casos severos, esta sintomatología puede progresar hacia parálisis y dificultad para tragar, llevando eventualmente a la muerte por parálisis cardiorrespiratoria [2].

Existen principalmente dos formas de rabia en los bovinos que presentan signos específicos. La rabia furiosa se caracteriza por ansiedad, excitabilidad y agresividad, con episodios intermitentes de depresión. Los animales pierden su instinto de cuidado y muestran falta de temor hacia otros animales y humanos, lo que puede resultar en comportamientos repentinos y ataques sin provocación. Con el avance de la enfermedad, se desarrolla debilidad muscular, pérdida de coordinación y convulsiones. Por otro lado, la rabia muda o paralítica es la forma más común en el ganado. Los animales afectados tienden a ser melancólicos o dóciles, y la parálisis se localiza en la cara, garganta y faringe, manifestándose con expresiones faciales inusuales y babeo debido a la dificultad para tragar. Esta parálisis puede extenderse al resto del cuerpo, comenzando por las patas traseras, y culminar en coma y muerte. A medida que avanza la enfermedad, también pueden aparecer síntomas como confusión, depresión, somnolencia o agitación [22].

Los signos clínicos de la rabia en bovinos pueden ser bastante diversos. Ante la aparición de incoordinación motora, ataxia, parálisis u otros síntomas relacionados con el sistema nervioso central, un bovino debe considerarse sospechoso de rabia hasta que se descarte mediante pruebas de laboratorio. Los primeros indicios de la enfermedad suelen incluir el aislamiento del animal del resto del rebaño, apatía, pérdida de apetito, depresión, ansiedad y movimientos irregulares. A veces, también se pueden observar síntomas relacionados como sensibilidad y picazón en la zona de la mordedura, hiperexcitabilidad, aumento del deseo sexual, salivación excesiva y dificultad para

tragar. Con la progresión de la enfermedad, es posible que surjan complicaciones como parálisis en las extremidades posteriores [23,34].

La rabia se transmite a través de vectores que actúan como reservorios del agente infeccioso. En el caso de la rabia bovina, el principal vector es el murciélago hematófago, que se alimenta de sangre, aunque en regiones rurales los zorros también pueden ser responsables. En áreas urbanas, la transmisión a menudo se produce por mordeduras de perros y gatos. Mientras que el ganado suele ser el huésped final del virus, también puede haber un riesgo de infección en humanos, especialmente si se realiza una inspección en la cavidad oral de un animal infectado y el virus se inocula a través de heridas ocasionadas por los dientes del animal. Además, el virus puede trasladarse a los humanos a través del consumo de leche y carne de animales infectados.

Los métodos de diagnóstico para la rabia deben ser rápidos, sensibles y específicos, siguiendo las técnicas establecidas por la OMS y la OIE, y se llevan a cabo en laboratorios certificados. Las pruebas generalmente se aplican a tejido cerebral, siendo preferentes las muestras del tronco encefálico, hipocampo, tálamo, corteza cerebral, cerebelo y bulbo raquídeo. Sin embargo, también se pueden obtener de las glándulas salivales, aunque la sensibilidad y especificidad pueden variar. El diagnóstico debe realizarse tras extraer el encéfalo en condiciones asépticas, colocándolo en una bolsa de polietileno grueso o en un frasco de boca ancha sin conservantes. Es esencial etiquetar, empaquetar y refrigerar la muestra con suficiente hielo, asegurando que el traslado al laboratorio no exceda las 48 horas después de su recolección. Si no hay muestras adecuadas del cerebro, se puede tomar la muestra del bulbo raquídeo, para lo cual es necesario sumergirla en una solución de glicerol al 50% si se conserva por más tiempo [24].

Existen diferentes técnicas para el diagnóstico de rabia, entre ellas la microscopía electrónica, que permite observar la característica forma de bala de los rhabdovirus, y la inmunología directa, que utiliza la marcación de antígenos con fluoresceína para hacer visibles áreas fluorescentes verdes. Además, se emplean técnicas como PCR e inmunohistoquímica que permiten visualizar inclusiones en células infectadas. La OMS recomienda la identificación del virus mediante anticuerpos anti-nucleocápside utilizando inmunofluorescencia directa. La RT-PCR en tiempo real, utilizada en el diagnóstico molecular, ha mostrado que en bovinos las porciones anatómicas del córtex, médula y tálamo contienen una mayor cantidad de partículas virales, lo que indica su alta sensibilidad diagnóstica [25].

No existe un tratamiento específico para la rabia una vez que aparecen los síntomas del sistema nervioso central, y en la mayoría de los casos, la enfermedad resulta letal. Por lo tanto, la prevención es fundamental. La vacunación antes de la exposición es la mejor forma de evitar la rabia, especialmente en áreas de alto riesgo. La educación sobre la rabia y la promoción de prácticas seguras al interactuar con animales son cruciales para prevenir esta grave enfermedad.

El Sistema Integrado de Vigilancia Epidemiológica - Alerta (SIVE-Alerta) es un componente esencial de la salud pública en Ecuador, encargado de detectar oportunamente eventos de salud de importancia nacional e internacional, facilitando decisiones rápidas para prevenir y controlar brotes de rabia, entre otras enfermedades. Entre 2018 y 2022, Ecuador reportó 53 casos de rabia humana y 137 casos en animales, predominantemente en perros y gatos. SIVE enfatiza la necesidad de notificación inmediata de casos sospechosos debido a la alta mortalidad asociada a la encefalitis aguda, con un índice de mortalidad que puede alcanzar el 100%. La notificación debe realizarse de forma individual utilizando un formulario específico del Ministerio de Salud Pública [26].

El Instituto Nacional de Investigación en Salud Pública (INSPI) gestiona los casos sospechosos de rabia y los procedimientos necesarios para su confirmación. Ante sospechas de un animal infectado, es crucial aislarlo inmediatamente. Si el animal está vivo, el INSPI realiza las pruebas de laboratorio necesarias utilizando muestras como saliva y líquido cefalorraquídeo. Para los animales que se cree han muerto de rabia, se procede a la decapitación y se envían las cabezas intactas en hielo a los laboratorios del INSPI para su análisis. Aquellos confirmados como positivos deben ser sacrificados de inmediato por el personal del Ministerio de Salud Pública para evitar la propagación de la enfermedad [27].

El Programa Nacional Sanitario de Prevención y Control de Rabia Bovina es una iniciativa del Ministerio de Agricultura y Ganadería de Ecuador, ejecutada por Agrocalidad. Este programa busca reducir la incidencia de rabia bovina en el país, protegiendo así la salud pública y la producción ganadera a través de múltiples estrategias como son [1]:

1. Vigilancia epidemiológica: Se realiza un seguimiento constante de la enfermedad a través de la notificación obligatoria de casos sospechosos, el diagnóstico laboratorial, el análisis espacial y temporal de la información y la respuesta oportuna a los brotes.
2. Vacunación estratégica: Se ejecutan campañas anuales de vacunación gratuita para el ganado bovino en zonas de riesgo, priorizando la vacunación de animales jóvenes y aquellos que viven en áreas de alta incidencia. Se busca desarrollar nuevas vacunas más seguras, eficaces y de bajo costo.
3. Control de vectores: Se implementan medidas para reducir las poblaciones de murciélagos hematófagos, principales vectores de la rabia bovina, mediante la captura y eliminación de murciélagos, la protección de corrales y establos, y la educación de la población. Se busca desarrollar nuevos métodos de control más seguros, eficaces y sostenibles.

4. Educomunicación: Se difunde información y materiales educativos a la población sobre la rabia bovina, sus riesgos y medidas de prevención, utilizando diferentes canales de comunicación y promoviendo la participación de la comunidad.
5. Investigación: Se realizan estudios para comprender mejor la epidemiología, la patogénesis y el desarrollo de nuevas herramientas de control de la rabia bovina, como nuevas vacunas, métodos de diagnóstico y estrategias de control de vectores.

5 Conclusión

El impacto de la rabia bovina en la ganadería es significativo y requiere atención urgente. A pesar de que el murciélago *Desmodus rotundus* es reconocido como el principal vector de la enfermedad, muchos trabajadores en el campo carecen del conocimiento necesario para identificarlo y, por ende, implementar medidas preventivas efectivas. La falta de reconocimiento de los signos y síntomas de la rabia en bovinos se traduce en una gestión inadecuada, lo que facilita la progresión crónica de la enfermedad. La vacunación de los animales en áreas de alto riesgo es crucial, ya que se estima que cerca de 100,000 cabezas de ganado mueren cada año por esta enfermedad. No obstante, la mera vacunación no es suficiente si no se controla el vector; por ello, se requiere combinarla con campañas de erradicación, como la captura de murciélagos para el tratamiento con productos tóxicos. La inversión en prevención es mínima en comparación con las enormes pérdidas económicas, que ascienden a aproximadamente 300 millones de dólares anuales. En este contexto, el método neutrosófico resultó útil al evaluar el impacto de la rabia bovina en la ganadería, permitiendo la simulación de 10 casos de estudio en Ambato. Este enfoque no solo ayudó a identificar las áreas más afectadas, sino que también proporcionó una base sólida para desarrollar estrategias adecuadas que mitiguen la propagación de la rabia y protejan tanto la salud animal como la economía ganadera.

Referencias

- [1] Agrocalidad, "Programa Nacional Sanitario de Prevención y Control de Rabia Bovina. Ministerio de Agricultura y Ganadería de Ecuador," 2020.
- [2] F. Rocha, and R. A. Dias, "The common vampire bat *Desmodus rotundus* (Chiroptera: Phyllostomidae) and the transmission of the rabies virus to livestock: A contact network approach and recommendations for surveillance and control," *Preventive veterinary medicine*, vol. 174, pp. 104809, 2020.
- [3] K. S. V. Lucero, L. J. B. Quimis, and J. M. R. Baque, "Riesgos sanitarios asociados a zoonosis víricas: endemia, epidemia y pandemia," *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, vol. 5, no. 1, pp. 268-285, 2023.
- [4] D. Soler-Tovar, and L. E. Escobar, "Rabies transmitted from vampires to cattle: An overview," *PLoS one*, vol. 20, no. 1, pp. e0317214, 2025.
- [5] N. Brown, and L. E. Escobar, "A review of the diet of the common vampire bat (*Desmodus rotundus*) in the context of anthropogenic change," *Mammalian Biology*, vol. 103, no. 4, pp. 433-453, 2023.
- [6] R. A. Mora, "Virología molecular de la rabia: un enfoque clínico," *Revista Cubana de Medicina Tropical*, vol. 75, no. 1, 2023.
- [7] B. Bron Fonseca, and O. Mar Cornelio, "Método para el análisis lingüístico de estadísticas médica," *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, vol. 18, no. 1, pp. 110-127, 2025.
- [8] B. B. Fonseca, and O. M. Cornelio, "Método para el análisis lingüístico de estadísticas médica," *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, vol. 18, no. 1, pp. 110-127, 2025.
- [9] A. P. Anninou, and P. P. Groumpos, "A new mathematical model for fuzzy cognitive maps-application to medical problems," *Системная инженерия и информационные технологии*, vol. 1, no. 1, pp. 63-66, 2019.
- [10] Y. Martínez, A. Nowé, J. Suárez, and R. Bello, "A reinforcement learning approach for the flexible job shop scheduling problem." pp. 253-262.
- [11] M. Y. L. Vasquez, G. S. D. Veloz, S. H. Saleh, A. M. A. Roman, and R. M. A. Flores, "A model for a cardiac disease diagnosis based on computing with word and competitive fuzzy cognitive maps," *Revista de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad de Guayaquil*, vol. 19, no. 1, 2018.
- [12] F. Smarandache, "Neutrosophía y Plitogenia: fundamentos y aplicaciones," *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, vol. 17, no. 8, pp. 164-168, 2024.
- [13] F. Smarandache, "Significado Neutrosófico: Partes comunes de cosas poco comunes y partes poco comunes de cosas comunes," *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, vol. 18, no. 1, pp. 1-14, 2025.
- [14] R. Giordano, and M. Vurro, *Fuzzy cognitive map to support conflict analysis in drought management fuzzy cognitive maps*, 2010.
- [15] M. Amer, A. Jetter, and T. Daim, "Development of fuzzy cognitive map (FCM)-based scenarios for wind energy," *International Journal of Energy Sector Management*, 2011.

- [16] G. Felix, G. Nápoles, R. Falcon, W. Froelich, K. Vanhoof, and R. Bello, "A review on methods and software for fuzzy cognitive maps," *Artificial Intelligence Review*, vol. 52, no. 3, pp. 1707-1737, 2019.
- [17] H. Song, C. Miao, Z. Shen, W. Roel, D. Maja, and C. Francky, "Design of fuzzy cognitive maps using neural networks for predicting chaotic time series," *Neural Networks*, vol. 23, no. 10, pp. 1264-1275, 2010.
- [18] W. S. Sanchez-Gomez, C. I. Selem-Salas, D. I. Cordova-Aldana, and J. A. Erales-Villamil, "Common vampire bat (*Desmodus rotundus*) abundance and frequency of attacks to cattle in landscapes of Yucatan, Mexico," *Tropical Animal Health and Production*, vol. 54, no. 2, pp. 130, 2022.
- [19] R. A. Dias, M. F. Dornelas, and V. S. P. Gonçalves, "Turning the rationale of cattle rabies surveillance and control in Latin America: from rabies case to vampire bat aggression-based program," *Medical Research Archives*, vol. 10, no. 12, 2022.
- [20] S. M. Salazar Moreira, "Evaluación documental de los riesgos que representan las enfermedades zoonóticas en las personas dedicadas a la producción Bovina y Porcina," BABAHOYO: UTB, 2021, 2021.
- [21] D. de Souza, R. Oliveira, P. F. Asprino, F. Bettoni, C. Macedo, S. M. Achkar, W. d. O. Fahl, P. E. Brandão, and J. Castilho, "Evolution and divergence of the genetic lineage *Desmodus rotundus*/*Artibeus lituratus* of rabies virus in São Paulo State," *Archives of Virology*, vol. 168, no. 11, pp. 266, 2023.
- [22] A. d. C. Rodrigues da Silva, G. M. M. Caporale, C. A. Gonçalves, M. C. Targueta, F. Comin, C. R. Zanetti, and I. Kotait, "Antibody response in cattle after vaccination with inactivated and attenuated rabies vaccines," *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo*, vol. 42, pp. 95-98, 2000.
- [23] D. Fontana, F. Marsili, M. Etcheverrigaray, R. Kratje, and C. Prieto, "Rabies VLPs adjuvanted with saponin-based liposomes induce enhanced immunogenicity mediated by neutralizing antibodies in cattle, dogs and cats," *Journal of Virological Methods*, vol. 286, pp. 113966, 2020.
- [24] E. L. Rubio, "La Rabia, una enfermedad ancestral muy vigente," *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, vol. 30, no. Supl. 2, pp. 5-11, 2022.
- [25] S. Russo, L. Novaro, I. Burkhard, G. Centurión, and A. Luque, "Rabia: diagnostico y caracterizacion antigenica," *Revista de Educação Continuada em Medicina Veterinária e Zootecnia do CRMV-SP*, vol. 11, no. 1, pp. 49-49, 2013.
- [26] E. B. Rodríguez, A. I. Cirer, L. L. O. Tobar, and E. M. B. Martínez, "Importancia de la enfermería en la prevención y vigilancia epidemiológica en situaciones de emergencias o desastres," *Journal of Science and Research*, vol. 8, no. II CICS, 2023.
- [27] A. C. Palacios Pozo, "Establecimiento de indicadores de gestión en los procesos operacionales en, El instituto nacional de investigación y salud pública Cuenca," Universidad del Azuay, 2014.
- [28] Vásquez, Á. B. M., Carpio, D. M. R., Faytong, F. A. B., & Lara, A. R. "Evaluación de la satisfacción de los estudiantes en los entornos virtuales de la Universidad Regional Autónoma de Los Andes". Dilemas contemporáneos: Educación, Política y Valores, 2024.
- [29] Romero, A. V., Sánchez, F. M., & Estupiñán, C. P. "Inteligencia artificial en gestión hotelera: aplicaciones en atención al cliente". El patrimonio y su perspectiva turística, pp. 409-423, 2024.
- [30] Márquez Carriel, D. C., Oña Garcés, L., Vergara Romero, A., & Márquez Sánchez, F. "Assessing the need for a feminist foreign policy in Ecuador through a sentiment analysis based on neutroAlgebra". *Neutrosophic Sets and Systems*, vol. 71, num. 1, pp. 16, 2024.
- [31] Vergara-Romero, A., Macas-Acosta, G., Márquez-Sánchez, F., & Arencibia-Montero, O. "Child Labor, Informality, and Poverty: Leveraging Logistic Regression, Indeterminate Likert Scales, and Similarity Measures for Insightful Analysis in Ecuador". *Neutrosophic Sets and Systems*, vol 66, pp 136-145, 2024
- [32] von Feigenblatt, O. F. "Research Ethics in Education. In *Ethics in Social Science Research: Current Insights and Practical Strategies*", pp. 97-105. Singapore: Springer Nature Singapore, 2025.
- [33] von Feigenblatt, O. F. "Immediacy and Sustainable Development: The Perspective of Youth". *Revista Mexicana de Economía y Finanzas Nueva Época REMEF*, vol. 19, num 2, 2024
- [34] de León, E. R., Marqués, L. L., Poleo, A., & von Feigenblatt, O. F. "El estilo del liderazgo educativo en el proceso de enseñanza: una revisión de la literatura". In *Anales de la Real Academia de Doctores*. vol. 9, num. 2, pp. 289-308, 2024

Recibido: febrero 21, 2025. Aceptado: marzo 11, 2025