



Método neutrosófico multicriterio para la evaluación del impacto de la mastitis bovina en la producción y calidad de la leche

Neutrosophic multicriteria method for the evaluation of the impact of bovine mastitis on milk production and quality

Dayana Lizbeth Arequipa Vilca ¹, Joseline Mishell Cuji Suqui ², Paola Estefanía Guamán Car-gua³, and Raúl González Salas ⁴

¹ Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato. Ecuador. dayanaav51@uniandes.edu.ec

² Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato. Ecuador. joselinecs37@uniandes.edu.ec

³ Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato. Ecuador. aa.paolaegc42@uniandes.edu.ec

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

Resumen. La mastitis bovina es una enfermedad global que causa importantes pérdidas económicas en las explotaciones lecheras, afectando tanto a granjas pequeñas, medianas como grandes. Esta afección es provocada por una variedad de cepas bacterianas, siendo *S. aureus* el patógeno infeccioso más comúnmente aislado en casos de mastitis subclínica y crónica. Además de las repercusiones económicas, la mastitis también genera problemas de bienestar animal y representa un riesgo para la seguridad alimentaria. Con el fin de evaluar de manera integral el impacto de esta enfermedad, el objetivo propuesto en esta investigación es desarrollar un método neutrosófico multicriterio para la evaluación del impacto de la mastitis bovina en la producción y calidad de la leche. Este método permitirá analizar y ponderar los diferentes factores relacionados con la clínica, patología y tratamiento de la mastitis bovina. La implementación de este enfoque facilitará la identificación de las variables más significativas y su interrelación, proporcionando así una herramienta eficaz para la toma de decisiones en la gestión de la salud bovina y la optimización de la producción láctea. En consecuencia, la investigación no solo contribuirá a una mejor comprensión del problema de la mastitis en la industria láctea, sino que también permitirá desarrollar estrategias más efectivas para mitigar su impacto.

Palabras Claves: Método Neutrosófico Multicriterio, mastitis bovina, diagnóstico clínico, calidad de la leche.

Abstract. Bovine mastitis is a global disease that causes significant economic losses in dairy farms, affecting both small, medium and large farms. This disease is caused by a variety of bacterial strains, with *S. aureus* being the most commonly isolated infectious pathogen in cases of subclinical and chronic mastitis. In addition to the economic repercussions, mastitis also generates animal welfare problems and represents a risk to food safety. In order to comprehensively assess the impact of this disease, the objective proposed in this research is to develop a multicriteria neutrosophic method for the evaluation of the impact of bovine mastitis on milk production and quality. This method will allow to analyse and weigh the different factors related to the clinic, pathology and treatment of bovine mastitis. The implementation of this approach will facilitate the identification of the most significant variables and their interrelation, thus providing an effective tool for decision-making in the management of bovine health and the optimisation of dairy production. Consequently, the research will not only contribute to a better understanding of the mastitis problem in the dairy industry, but will also allow for the development of more effective strategies to mitigate its impact.

Keywords: Multicriteria Neutrosophic Method, bovine mastitis, clinical diagnosis, milk quality

1 Introducción

Los productos lácteos, especialmente la leche, se encuentran entre las fuentes de alimentos más esenciales para la mayor parte de la población mundial. La creciente demanda mundial de productos lácteos está impulsando la

Dayana L. Arequipa V, Joseline M. Cuji S, Paola E. Guamán C, Raúl González S. Método neutrosófico multicrite-rio para la evaluación del impacto de la mastitis bovina en la producción y calidad de la leche

necesidad de aumentar la producción media de leche por vaca. Los aumentos en la producción de leche han sido resultado de la selección genética, así como de una mejor nutrición y manejo de las vacas. Uno de los mayores problemas que afectan a la alta producción de leche es la mala salud de las ubres, en particular debido a la mastitis [1].

La mastitis, que se manifiesta como una inflamación de la glándula mamaria, es actualmente una de las enfermedades más extendidas que afectan al ganado lechero. Aproximadamente entre el 60 y el 70% de todos los antimicrobianos administrados en las granjas lecheras son para prevenir y tratar la mastitis [2]. La salud pública está potencialmente en riesgo porque la mastitis puede transmitir zoonosis y enfermedades asociadas a toxinas alimentarias. Por esta razón, no se recomienda el consumo directo de leche cruda debido a la alta probabilidad de contaminación con microorganismos de la vaca, el pasto, la máquina de ordeño y los contenedores. Por lo tanto, la pasteurización de la leche es obligatoria para garantizar su seguridad y prolongar su vida útil [3].

Según Krishnamoorthy et al [4] La mastitis se puede clasificar en tres tipos, a saber, mastitis subclínica, clínica y crónica, y depende de los organismos causantes, la raza, la edad, la inmunidad y la etapa de lactancia del animal. La mastitis subclínica (SCM) causa una pérdida importante en la producción de leche debido a la ausencia de cambios visibles en la leche y la dificultad de detección. La mastitis clínica (CM), caracterizada por hinchazón de la ubre, leche que contiene escamas, coágulos y leche acuosa, se observa macroscópicamente. La mastitis crónica es una forma rara pero conduce a una inflamación persistente de la glándula mamaria en animales lecheros.

La mastitis es la enfermedad infecciosa más frecuente en el ganado lechero, con pérdidas económicas mundiales estimadas en más de 40 mil millones de dólares por año. La salud de la ubre es de suma importancia para la producción lechera sustentable. Esta enfermedad de producción se considera una patología importante de las vacas lecheras que da como resultado una reducción de la producción de leche, pérdida de calidad y cantidad de leche, pérdidas debido a la leche descartada, sacrificio prematuro, costos de tratamiento por el uso de antimicrobianos en la granja y costo adicional de mano de obra [5,26].

El diagnóstico de mastitis subclínica en vacas lecheras, así como la detección temprana de mastitis clínicamente expresadas que inducen cambios macroscópicos en la secreción de leche, es un componente esencial de cualquier programa establecido para mejorar los parámetros de salud de una granja lechera. Este objetivo es de enorme interés económico, tanto para los ganaderos como para los fabricantes, dado que una gran cantidad de células somáticas en la leche y la presencia de bacterias tienen una influencia negativa grave en la producción y calidad de la leche [6].

En cuanto al diagnóstico de la mastitis la principal barrera para la adopción de nuevas herramientas es el desafío relacionado con su implementación sin interrumpir el flujo tecnológico en rebaños grandes y medianos. El desafío aún más significativo es su incorporación al flujo técnico de las granjas intensivas de estabulación libre. Es por esto que, a pesar de sus ventajas, el uso de pruebas "al lado de la vaca" ha disminuido en la práctica a medida que la ganadería lechera intensiva ha progresado [7]. En el contexto de la ganadería lechera intensiva, el método tradicional de ordeño manual se ha eliminado en su mayor parte en favor del ordeño automatizado o a máquina. Posteriormente, se desarrollaron técnicas de detección automática para mastitis bovina basadas en biosensores y que emplean tecnología de detección apropiada, como el monitoreo en línea del recuento de células somáticas (ISCC) junto con la conductividad eléctrica (CE) de la leche basada en cuartos, para la evaluación de la salud de la ubre y la detección temprana de mastitis en granjas de gran escala [8,27].

Dado que el vínculo entre la salud y el bienestar animal y la seguridad alimentaria está bien documentado, uno de los principales objetivos de la nueva Política Agrícola Común (PAC), es mejorar la respuesta de la agricultura de la Unión Europea (UE) a las necesidades alimentarias y sanitarias de la sociedad. Esto incluye proporcionar productos animales seguros y nutritivos producidos de forma sostenible, con estándares más elevados de bienestar animal [9]. Por lo tanto, el uso de herramientas no invasivas para controlar la salud de las ubres y la prevención de la mastitis bovina puede permitir la transición a un modelo de granja con bajo uso de antibióticos con animales más sanos y productos lácteos más seguros [10].

Con el fin de evaluar de manera integral el impacto de esta enfermedad, el objetivo propuesto en esta investigación es desarrollar un método neutrosófico multicriterio para la evaluación del impacto de la mastitis bovina en la producción y calidad de la leche.

2 Método neutrosófico multicriterio para la evaluación del impacto de la mastitis bovina en la producción y calidad de la leche

El sistema propuesto está estructurado para analizar los factores asociados a la mastitis bovina que influyen en la producción y calidad de la leche. Basa su funcionamiento mediante un enfoque multicriterio multiexperto que permite evaluar el impacto de esta enfermedad en el proceso productivo. Utiliza en su inferencia modelos causales como forma de representar el conocimiento a partir de la técnica de inteligencia artificial Mapa Cognitivo Neutrosófico [11, 12]. El método está diseñado mediante una arquitectura en tres capas para modelar el contexto analizado: entradas, procesamiento y salidas.

- Entrada de la información: representan el conjunto de vacas lecheras a analizar, los síntomas, manifestaciones asociadas a la enfermedad, las relaciones causales que poseen los síntomas, y los expertos que

intervienen en el sistema para establecer las relaciones causales.

- Procesamiento de la información: se realiza mediante el flujo de trabajo que conforman las cinco actividades del núcleo de inferencia para la evaluación del impacto de la mastitis bovina en la producción y calidad de la leche.
- Salida de la información: representan los resultados del procesamiento donde se obtiene la evaluación del impacto.

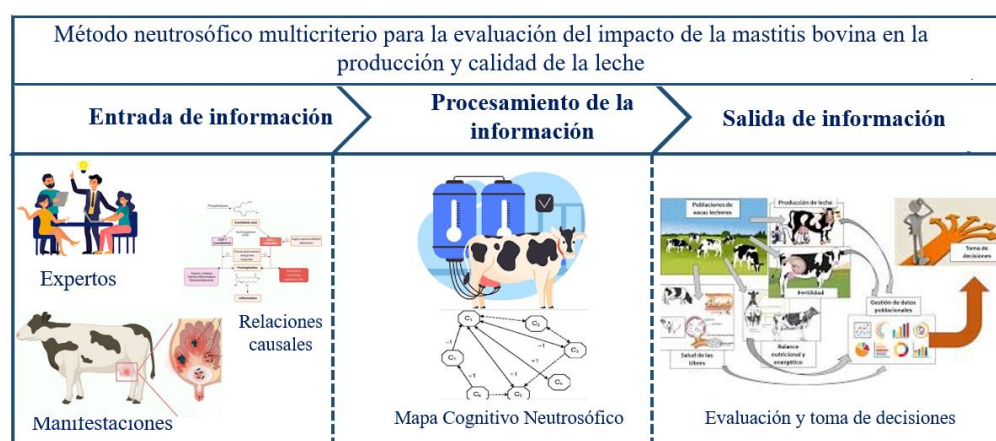


Figura 1. Estructura general del método neutrosófico multicriterio para la evaluación del impacto de la mastitis bovina en la producción y calidad de la leche.

El método para la evaluación del impacto de la mastitis bovina en la producción y calidad de la leche, está conformado por cinco actividades descritas a continuación:

Actividad 1 identificación de las manifestaciones: La identificación de las manifestaciones representa la actividad en la que se determinan el conjunto general de criterios clínicos, epidemiológicos y de producción, que representan la base de inferencia. Se utiliza un enfoque multicriterio para analizar la base de casos, por lo que se identifican la mayor cantidad de manifestaciones posibles.

Actividad 2 determinación de las relaciones causales: La determinación de las relaciones causales utiliza un enfoque multicriterio multiexperto. Garantiza la representación del conocimiento causal de las manifestaciones. La actividad consiste en extraer el conocimiento que poseen los expertos sobre los síntomas y consecuencias que se manifiestan relacionados a la mastitis bovina. Las relaciones causales son expresadas mediante un dominio de valores que expresan relaciones de implicación directas o inversas para lo cual se utiliza la escala tal como muestra la Tabla 1. Esta actividad es muy importante ya que el conocimiento que poseen los expertos sobre los síntomas no está registrado en la base de casos analizada.

Tabla 1: Dominio de valores para expresar causalidad.

Término lingüístico	Números SVN
Extremadamente buena (EB)	[1,0,0]
Muy muy buena (MMB)	[0.9, 0.1, 0.1]
Muy buena (MB)	[0.8,0.15,0.20]
Buena (B)	[0.70,0.25,0.30]
Medianamente buena (MDB)	[0.60,0.35,0.40]
Media (M)	[0.50,0.50,0.50]
Medianamente mala (MDM)	[0.40,0.65,0.60]
Mala (MA)	[0.30,0.75,0.70]
Muy mala (MM)	[0.20,0.85,0.80]
Muy muy mala (MMM)	[0.10,0.90,0.90]
Extremadamente mala (EM)	[0,1,1]

Durante la determinación de las relaciones causales se realiza un proceso de agregación donde se obtiene un arreglo denominado matriz de adyacencia que representa los valores asignados a los arcos [13, 14] de modo que:

$$M = \begin{bmatrix} \ddots & \ddots & \ddots \\ \ddots & W_{ij} & \ddots \\ \ddots & \ddots & \ddots \\ \ddots & \ddots & \ddots \end{bmatrix}$$

La matriz de adyacencia $M = M(C_i C_j)$ representa el valor causal de la función del arco, el nodo C_i que es imparte C_j . C_i incrementa causalmente a C_j si $M_{ij} = -1$, y no imparte causalmente si $M_{ij} = 0$.

Actividad 3 identificación de los pesos atribuidos a las manifestaciones: a partir de la obtención de la matriz de adyacencia, los valores agregados emitidos por los expertos son agrupados; se conforman las relaciones con los pesos de los nodos, a través del cual es generado el Mapa Cognitivo Neutrosófico resultante [15,28]. Mediante un análisis estático del resultado de los valores obtenidos en la matriz de adyacencia se puede calcular el grado de salida utilizándose la ecuación (1) donde se obtienen los pesos atribuidos a cada manifestación [16-18].

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

Actividad 4 identificación de las incidencias: la identificación de las incidencias es la actividad que consiste en determinar cuáles síntomas están presentes en las vacas lecheras analizadas. Para ello se entrevista a los especialistas a cargo del proceso de producción y se determina la incidencia de los factores de riesgo y aspectos de calidad presentados. La Tabla 2 muestra el dominio de valores con sus etiquetas lingüísticas utilizados para expresar las preferencias sobre los síntomas.

Tabla 2: Dominio de valores para expresar preferencias.

Valor	Impacto
[0,1,1]	Ausencia del síntoma (AS)
[0.20,0.85,0.80]	Ligera presencia del síntoma (LP)
[0.50,0.50,0.50]	Baja presencia del síntoma (BP)
[0.70,0.25,0.30]	Presencia del síntoma (PS)
[1,0,0]	Alta presencia del síntoma (AP)

Actividad 5 generación de la evaluación: el proceso de evaluación se basa en la simulación del escenario propuesto por Glykas [19] los nuevos valores de los conceptos expresan la influencia de los conceptos interconectados al concepto específico y se calculan mediante la ecuación (2):

$$A_i^{(K+1)} = f\left(A_i^{(K)} \sum_{j=1; j \neq i}^n A_j^{(K)} * W_{ji}\right) \quad (2)$$

Donde:

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

$A_j^{(K)}$: 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 [20].

3. Implementación del método para la evaluación del impacto de la mastitis bovina en la producción y calidad de la leche

La presente sección describe la implementación del Método neutrosófico multicriterio para la evaluación del impacto de la mastitis bovina en la producción y calidad de la leche. La implementación del método se lleva a cabo a través de una serie de actividades estructuradas. La primera actividad se centra en la identificación de las manifestaciones, donde se determina un conjunto integral de criterios clínicos, epidemiológicos y de calidad de la producción que servirán como base para la inferencia. Utilizando un enfoque multicriterio, se analizan los casos para identificar la mayor cantidad posible de manifestaciones relacionadas con la mastitis.

La segunda actividad consiste en la determinación de las relaciones causales mediante un enfoque multicriterio multiexperto, asegurando que se represente el conocimiento causal de estas manifestaciones. En esta fase, se extrae el conocimiento de especialistas sobre los síntomas y efectos de la mastitis en la producción y calidad de la leche, expresando las relaciones causales a través de un dominio de valores basado en una escala adecuada. [29]

La tercera actividad implica la identificación de los pesos atribuidos a las manifestaciones, donde se utilizan los valores obtenidos en la matriz de adyacencia para generar un Mapa Cognitivo Neutrosófico, lo que permite

calcular el grado de salida para cada manifestación. A continuación, en la actividad cuatro, se identifican las incidencias al determinar los signos presentes en los animales analizados, para lo cual se realizan inspecciones que evalúan factores de riesgo y aspectos clínicos. La actividad cinco se enfoca en la generación de la evaluación, utilizando la simulación de escenarios propuestos para calcular nuevos valores que reflejan la influencia de conceptos interconectados, permitiendo una evaluación más precisa del impacto de la mastitis bovina en la producción y calidad de la leche. La implementación de este método se realizará mediante un estudio de caso, tal como se muestra a continuación:

Actividad 1 identificación de las manifestaciones:

La identificación de la mastitis bovina es crucial para garantizar la salud de la ubre y mantener la calidad de la leche. Las manifestaciones de esta enfermedad pueden clasificarse en signos clínicos y biomarcadores. La prueba de mastitis de California (CMT) y pruebas similares son herramientas comunes en granjas para evaluar la salud de la ubre, aunque su interpretación puede ser subjetiva, ofreciendo resultados menos confiables que el conteo de células somáticas. Sin embargo, su eficiencia radica en su rapidez, costo accesible y accesibilidad para los ganaderos. Por otro lado, el examen de diversos biomarcadores en la leche, como enzimas indicadoras de daño tisular, ofrece información valiosa sobre la presencia de infección. La actividad de la N-acetil- β -d-glucosaminidasa (NAGasa) y la lactato deshidrogenasa (LDH) son ejemplos de ensayos que pueden indicar no solo la mastitis clínica sino también la subclínica. Tras una infección intramamaria, se produce un aumento de inmunoglobulina G (IgG) en la leche, y tanto la LDH como la albúmina sérica (SA) pueden atravesar la barrera sangre-leche, sirviendo como indicadores útiles para predecir la infección en la ubre.

Los síntomas de las infecciones por *coliformes* incluyen leche anormal, hinchazón de las ubres, leche acuosa y pérdida de apetito. Los patógenos menores o comensales son microorganismos que colonizan la glándula mamaria, como *Corynebacterium bovis* o *Staphylococci coagulasa-negativos* (CNS). Las bacterias que son residentes comunes del canal del pezón y pueden identificarse a partir de muestras de leche, pero que tienen una importancia clínica limitada y rara vez inducen inflamación, se clasifican como patógenos menores. Las infecciones menores producen un aumento menor en el recuento de células somáticas promedio de la leche. Los casos clínicos son causados con frecuencia por microorganismos que se encuentran en el medio ambiente [21,30]. Para determinar las manifestaciones en este estudio se utilizó el criterio de experto llegando a las siguientes conclusiones propuestas en la tabla 3.

Tabla 3: Identificación de las manifestaciones.

Nodo	Manifestación	Descripción
C ₁	Cambios en la apariencia física de la leche	La leche afectada por mastitis puede presentar un cambio en su color, consistencia y presencia de grumos o flujos anormales. Estos cambios son indicativos de un proceso inflamatorio en la ubre y afectan la aceptabilidad de la leche en el mercado.
C ₂	Aumento en el conteo de células somáticas (CCS)	La mastitis se asocia con un aumento del conteo de células somáticas, que indica la respuesta inmunológica del animal ante la infección. Un alto CCS no solo señala la presencia de infección, sino que también puede alterar la calidad del producto, haciéndolo menos apto para la venta y el procesamiento.
C ₃	Alteraciones en los niveles de los componentes de la leche	La presencia de mastitis puede modificar los niveles de proteínas, grasas y lactosa en la leche. Por ejemplo, puede haber una disminución de la lactosa y alteraciones en la composición de proteínas. Esto no solo afecta la calidad nutricional de la leche, sino que también puede influir en el rendimiento durante la producción de lácteos.
C ₄	Elevación de biomarcadores específicos en la leche	La detección de biomarcadores como LDH y NAGasa se eleva durante infecciones intramamarias. La IgG también tiende a aumentar como parte de la respuesta inmune. Estos biomarcadores son útiles para el diagnóstico y pueden ayudar a los ganaderos a tomar decisiones informadas sobre el manejo y tratamiento de la mastitis.
C ₅	Rendimiento lechero disminuido	Los animales afectados por mastitis tienden a mostrar una reducción significativa en su producción de leche, especialmente en casos severos. Esto se traduce en pérdidas económicas para el ganadero, ya que menos leche significa menos ingresos, además de potenciales costos adicionales en tratamientos y manejo de las infecciones.

Actividad 2 determinación de las relaciones causales:

La determinación de las relaciones causales entre las manifestaciones se utiliza en la escala propuesta en la Tabla 1, donde participaron 5 expertos, se obtuvieron los 5 Mapas Cognitivos Neutrosóficos agregando las respuestas en un único resultado. La Tabla 4 muestra la matriz de adyacencia obtenida como resultado del proceso.

Tabla 4: Matriz de adyacencia resultante.

	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
C ₁	[0, 0, 0]	[0.9, 0.1, 0.1]	[1,0,0]	[1,0,0]	[1,0,0]
C ₂	[1,0,0]	[0, 0, 0]	[0.9, 0.1, 0.1]	[0.9, 0.1, 0.1]	[1,0,0]
C ₃	[1,0,0]	[1,0,0]	[0, 0, 0]	[0.9, 0.1, 0.1]	[0.9, 0.1, 0.1]
C ₄	[0.9, 0.1, 0.1]	[1,0,0]	[0.9, 0.1, 0.1]	[0, 0, 0]	[1,0,0]
C ₅	[1,0,0]	[0.9, 0.1, 0.1]	[0.9, 0.1, 0.1]	[0.9, 0.1, 0.1]	[0, 0, 0]

Actividad 3 identificación de los pesos atribuidos a las manifestaciones:

Para la identificación de los pesos se tiene en cuenta la base de conocimiento almacenada en la matriz de adyacencia de la Tabla 4, aplicando la función (1), se obtiene el comportamiento del peso atribuido a las manifestaciones. La Tabla 5 muestra los pesos resultantes.

Tabla 5: Peso atribuido a las manifestaciones.

Criterios	Manifestaciones	Peso
C ₁	Cambios en la apariencia física de la leche	[0.86,0,15,0.20]
C ₂	Aumento en el conteo de células somáticas (CCS)	[0.84,0,15,0.20]
C ₃	Alteraciones en los niveles de los componentes de la leche	[0.9, 0.1, 0.1]
C ₄	Elevación de biomarcadores específicos en la leche	[0.8,0,15,0.20]
C ₅	Rendimiento lechero disminuido	[0.82,0,15,0.20]

Actividad 4 identificaciones de las incidencias:

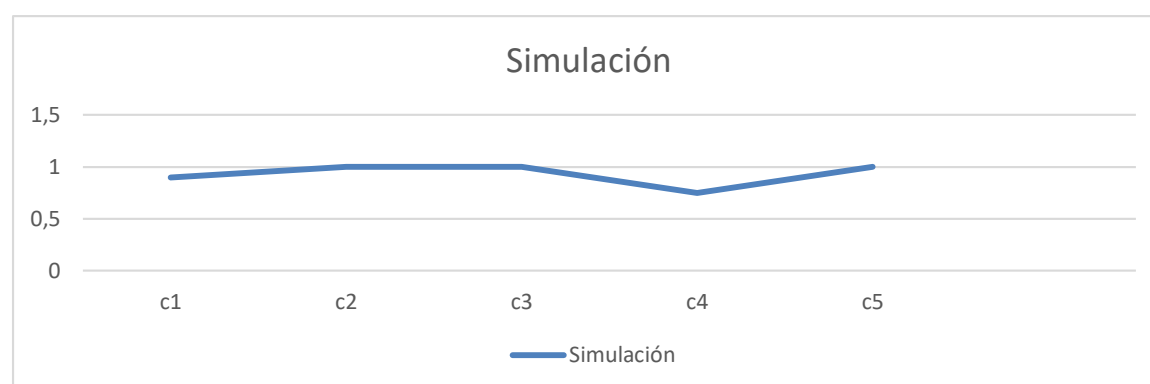
A partir de la entrevista a los especialistas encargados del cuidado bovino se determinó el grado de preferencia que poseen las manifestaciones mediante la autovaloración emitida. El estudio fue realizado en una alternativa que representa el bovino objeto de estudio. La Tabla 6 muestra los valores resultantes.

Tabla 6: Preferencia atribuida a las manifestaciones del bovino objeto de estudio.

Alternativa	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
A ₁	[0.9, 0.1, 0.1]	[1,0,0]	[1,0,0]	[0.75, 0.5,0.25]	[1,0,0]

Actividad 5 generación de la evaluación:

A partir del proceso de simulación de escenario, se obtuvieron las predicciones de los comportamientos en el tiempo de los casos de vaca lechera con mastitis mediante el empleo de la ecuación (2). La predicción modela las relaciones de causalidad de los síntomas y prevé la evolución de ellos en los animales. La Figura 2 muestra el resultado de la simulación donde se muestran las manifestaciones y su evolución.

**Figura 2:** Resultado de la simulación de las manifestaciones para el bovino que representa la alternativa A₁.

A partir del comportamiento de los pesos atribuidos a las alternativas y el desarrollo de las manifestaciones se determina mediante un proceso de agregación el grado de pertenencia de la enfermedad. La Tabla 7 muestra el resultado del cálculo realizado.

Tabla 7: Peso atribuido a las manifestaciones.

Alternativa A _i	Pesos	Preferencias	Agregación
C ₁	[0.86,0,15,0.20]	[0.9, 0.1, 0.1]	[0.88,0,15,0.20]
C ₂	[0.84,0,15,0.20]	[1,0,0]	[0.92, 0.1, 0.1]
C ₃	[0.9, 0.1, 0.1]	[1,0,0]	[0.93, 0.1, 0.1]
C ₄	[0.8,0,15,0.20]	[0.75, 0.5,0.25]	[0.79, 0.5,0.25]
C ₅	[0.82,0,15,0.20]	[1,0,0]	[0.90, 0.1, 0.1]
Índice			[0.88,0,15,0.20]

A partir del índice determinado se realiza una comparación del valor donde el $I = 0.88$, para el caso analizado representa un alto impacto de la mastitis bovina en la producción y en la afectación de la calidad de la leche.

4 Resultados y discusión

La mastitis es causada por una variedad de cepas bacterianas, pero también se han documentado en la literatura casos de mastitis viral, algal y fúngica. Los organismos bacterianos más importantes que causan mastitis son *Staphylococcus aureus*, *S. agalactiae*, *S. zooepidemicus*, *S. faecalis*, *S. pyogenes*, *Klebsiella spp*, *Mycobacterium bovis*, *E. coli*, *Brucella abortus*, *Pseudomonas pyocyaneus*, *Leptospira pomona*, *Pasteurella multocida*. Entre estos, *S. aureus* es el patógeno infeccioso más comúnmente aislado en la mastitis bovina subclínica y crónica en todo el mundo. Los organismos fúngicos responsables de la mastitis son *Trichosporon spp*, *Aspergillus fumigatus*, *A. modulus*, *Candida spp* [10].

Identificar el agente patógeno que causa la mastitis bovina es un paso primordial para el manejo exitoso de la mastitis bovina porque permite a los veterinarios reducir el riesgo de desarrollar infecciones crónicas y planificar en consecuencia el tratamiento antibiótico que se les proporcionará a los animales. Por esta razón, los investigadores han orientado su atención al desarrollo de herramientas de diagnóstico rápidas y fáciles de usar para la detección molecular, basadas en nanotecnología o microfluidica, que se puedan usar y ofrezcan un resultado preciso en un período de tiempo muy corto sin que la muestra de leche requiera un procesamiento complejo.

Los patógenos más comunes encontrados en la mastitis podrían identificarse en la glándula mamaria o en el medio ambiente, incluidos los excrementos, la superficie del suelo, las infecciones infecciosas y ambientales son las causas más comunes de mastitis. *S. aureus* y *S. agalactiae* son los patógenos infecciosos más prevalentes. Durante el proceso de ordeño, se transmiten de ubres infectadas a limpias a través de las manos contaminadas del ordeñador y las toallas de tela utilizadas para lavar o secar las ubres de muchos animales, así como las moscas. *Streptococcus* es la bacteria que se encuentra con mayor frecuencia en las infecciones ambientales (*S. uberis*, *S. dysgalactiae*) y coliformes como *E. coli* y *Klebsiella*. Entre el ordeño, se considera que se transmiten infecciones ambientales. Las infecciones por coliformes a menudo están relacionadas con un entorno sucio, mientras que *Klebsiella* se puede encontrar en aserrín que contiene corteza o tierra [22,31].

Cuando se descubre una mastitis, se requiere un tratamiento inmediato; la terapia debe estar dirigida a la bacteria causante o iniciarse según la información del rebaño o la experiencia personal. También es importante determinar si se requiere terapia o no, teniendo en cuenta los criterios de selección de la vaca. En cualquier causa de mastitis, se requieren primeros auxilios, que incluyen la aplicación de cubitos de hielo en la superficie de la ubre. La leche infectada de los pezones infestados debe drenarse tres veces al día y desecharse adecuadamente [23].

Para garantizar la eliminación sanitaria, se puede agregar una solución de fenol al 5% a la leche contaminada. Los terneros deben evitar la succión de pezones enfermos. Al ordeñar el rebaño, asegúrese de ordeñar primero las vacas sanas y no infectadas, luego las vacas infectadas. Se debe consultar a un veterinario conocido antes de la terapia. La terapia más común para los tipos leves y moderados de mastitis son los tubos intramamarios con antibióticos, que generalmente se administran sin saber el tipo de bacteria que está causando la enfermedad [24].

Los antimicrobianos β -lactámicos, en particular la penicilina G, son la primera opción para el tratamiento de la mastitis causada por estreptococos y estafilococos sensibles a la penicilina. Se recomienda el tratamiento sistémico, idealmente en combinación con el tratamiento intramuscular, en la mastitis clínica causada por *S. aureus* y en casos graves de mastitis por coliformes. La resistencia a los antimicrobianos es un problema importante y la selección de antibióticos debería basarse en los resultados de los cultivos y las pruebas de sensibilidad, en lugar de en una terapia empírica. Además, produce residuos de antibióticos en la leche, que pueden ser muy perjudiciales para la salud de los consumidores [25,32].

5 Conclusión

La investigación ha evidenciado que la mastitis continua siendo una de las enfermedades más prevalentes en las vacas lecheras, generando efectos adversos significativos tanto en el bienestar animal como en la economía de

las explotaciones. Esta condición es una de las principales razones del uso de antimicrobianos en la industria lechera, lo que ha llevado a la implementación de regulaciones a nivel nacional e internacional para mitigar el uso excesivo de antibióticos, en respuesta a la creciente preocupación por la resistencia a estos agentes. En este contexto, se ha demostrado la utilidad del método neutrosófico implementado, que permite evaluar de manera precisa el impacto de la mastitis bovina en la producción y calidad de la leche. Los resultados de la evaluación indicaron un alto impacto, lo que destaca la necesidad de tratamiento de las infecciones intramamarias (IMI). Este enfoque enfatiza que no todas las IMI requieren tratamiento antibiótico y que las decisiones terapéuticas deben fundamentarse en los resultados de cultivos y pruebas de sensibilidad, en lugar de seguir una práctica empírica. Además, el éxito del tratamiento está condicionado por múltiples factores, incluyendo el agente causal, la paridad de la vaca, la etapa de lactancia, la presencia de otras enfermedades sistémicas y las alteraciones en el parénquima mamario. Por lo tanto, es crucial que el manejo de la mastitis sea supervisado de manera constante por un veterinario, garantizando un enfoque integral que favorezca la salud del ganado y la sostenibilidad de la producción lechera.

Referencias

- [1] D. Sánchez-Macías, L. E. Hernández-Castellano, A. Morales-de la Nuez, B. Herrera-Chávez, A. Argüello, and N. Castro, "Somatic cells: A potential tool to accelerate low-fat goat cheese ripening," *International Dairy Journal*, vol. 102, pp. 104598, 2020.
- [2] M. Stevens, S. Piepers, and S. De Vlieghe, "Mastitis prevention and control practices and mastitis treatment strategies associated with the consumption of (critically important) antimicrobials on dairy herds in Flanders, Belgium," *Journal of Dairy Science*, vol. 99, no. 4, pp. 2896-2903, 2016.
- [3] P. Bórawski, A. Pawlewicz, A. Parzonko, J. Harper, K. and L. Holden, "Factors shaping cow's milk production in the EU," *Sustainability*, vol. 12, no. 1, pp. 420, 2020.
- [4] P. Krishnamoorthy, A. L. Goudar, K. P. Suresh, and P. Roy, "Global and countrywide prevalence of subclinical and clinical mastitis in dairy cattle and buffaloes by systematic review and meta-analysis," *Research in veterinary science*, vol. 136, pp. 561-586, 2021.
- [5] A. S. Neculai-Valeanu, A. M. Arion, B. M. Mădescu, C. M. Rîmbu, and Ș. Creangă, "Nanomaterials and essential oils as candidates for developing novel treatment options for bovine mastitis," *Animals*, vol. 11, no. 6, pp. 1625, 2021.
- [6] S. Chakraborty, K. Dhama, R. Tiwari, M. Iqbal Yatoo, S. K. Khurana, R. Khandia, A. Munjal, P. Munuswamy, M. A. Kumar, and M. Singh, "Technological interventions and advances in the diagnosis of intramammary infections in animals with emphasis on bovine population—a review," *Veterinary Quarterly*, vol. 39, no. 1, pp. 76-94, 2019.
- [7] K. Sharun, K. Dhama, R. Tiwari, M. B. Gugjoo, M. Iqbal Yatoo, S. K. Patel, M. Pathak, K. Karthik, S. K. Khurana, and R. Singh, "Advances in therapeutic and management approaches of bovine mastitis: a comprehensive review," *Veterinary Quarterly*, vol. 41, no. 1, pp. 107-136, 2021.
- [8] S. Paudyal, P. Melendez, D. Manriquez, A. Velasquez-Munoz, G. Pena, I. Roman-Muniz, and P. Pinedo, "Use of milk electrical conductivity for the differentiation of mastitis causing pathogens in Holstein cows," *Animal*, vol. 14, no. 3, pp. 588-596, 2020.
- [9] J. R. Barrett, G. K. Innes, K. A. Johnson, G. Lhermie, R. Ivanek, A. Greiner Safi, and D. Lansing, "Consumer perceptions of antimicrobial use in animal husbandry: A scoping review," *PLoS one*, vol. 16, no. 12, pp. e0261010, 2021.
- [10] R. Paramasivam, D. R. Gopal, R. Dhandapani, R. Subbarayalu, M. P. Elangovan, B. Prabhu, V. Veerappan, A. Nandheeswaran, S. Paramasivam, and S. Muthupandian, "Is AMR in dairy products a threat to human health? An updated review on the origin, prevention, treatment, and economic impacts of subclinical mastitis," *Infection and Drug Resistance*, pp. 155-178, 2023.
- [11] F. Smarandache, "Neutrosophia y Plitogenia: fundamentos y aplicaciones," *Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas*, vol. 17, no. 8, pp. 164-168, 2024.
- [12] 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.
- [13] J. E. Ricardo, N. B. Hernández, R. J. T. Vargas, A. V. T. Suntaxi, and F. N. O. Castro, "La perspectiva ambiental en el desarrollo local," *Dilemas contemporáneos: Educación, Política y Valores*, 2017.
- [14] O. Mar Cornelio, Y. Zulueta Véliz, and M. Leyva Vázquez, "Sistema de apoyo a la toma de decisiones para la evaluación del desempeño en la Universidad de las Ciencias Informáticas," 2014.
- [15] O. Mar, I. Santana, YunweiChen, and G. Jorge, "Model for decision-making on access control to remote laboratory practices based on fuzzy cognitive maps," *Revista Investigación Operacional*, vol. 45, no. 3, pp. 369-380, 2024.
- [16] S. D. Álvarez Gómez, A. J. Romero Fernández, J. Estupiñán Ricardo, and D. V. Ponce Ruiz, "Selección del docente tutor basado en la calidad de la docencia en metodología de la investigación," *Conrado*, vol. 17, no. 80, pp. 88-94, 2021.

- [17] J. E. Ricardo, V. M. V. Rosado, J. P. Fernández, and S. M. Martínez, “Importancia de la investigación jurídica para la formación de los profesionales del Derecho en Ecuador,” *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*, 2020.
- [18] J. E. Ricardo, J. J. D. Menéndez, and R. L. M. Manzano, “Integración universitaria, reto actual en el siglo XXI,” *Revista Conrado*, vol. 16, no. S 1, pp. 51-58, 2020.
- [19] Author ed.^eds., “Fuzzy Cognitive Maps: Advances in Theory, Methodologies, Tools and Applications,” *Secaucus, NJ, USA: Springer Verlag*, 2010, p.^pp. Pages.
- [20] R. Giordano, and M. Vurro, *Fuzzy cognitive map to support conflict analysis in drought management fuzzy cognitive maps*, 2010.
- [21] R. Rossi, A. Amarante, L. Correia, S. Guerra, D. Nobrega, G. Latosinski, B. Rossi, V. Rall, and J. Pantoja, “Diagnostic accuracy of Somaticell, California Mastitis Test, and microbiological examination of composite milk to detect *Streptococcus agalactiae* intramammary infections,” *Journal of Dairy Science*, vol. 101, no. 11, pp. 10220-10229, 2018.
- [22] A. Ashraf, and M. Imran, “Causes, types, etiological agents, prevalence, diagnosis, treatment, prevention, effects on human health and future aspects of bovine mastitis,” *Animal health research reviews*, vol. 21, no. 1, pp. 36-49, 2020.
- [23] M. S. Kamel, and N. M. Bakry, "Clinical and subclinical mastitis," *The Microbiology, Pathogenesis and Zoonosis of Milk Borne Diseases*, pp. 153-190: Elsevier, 2024.
- [24] N. H. Youssif, N. M. Hafiz, M. A. Halawa, and M. Saad, “Potential risk of antimicrobial resistance related to less common bacteria causing subclinical mastitis in cows,” *Journal of Advanced Veterinary Research*, vol. 13, no. 2, pp. 222-229, 2023.
- [25] H. Barkema, Y. Schukken, and R. Zadoks, “Invited review: The role of cow, pathogen, and treatment regimen in the therapeutic success of bovine *Staphylococcus aureus* mastitis,” *Journal of dairy science*, vol. 89, no. 6, pp. 1877-1895, 2006.
- [26] 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.
- [27] 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.
- [28] 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.
- [29] 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
- [30] 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.
- [31] 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
- [32] 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 20, 2025. Aceptado: marzo 10, 2025