

Lógica difusa: un escudo para la estabilidad financiera cooperativa. Caso de estudio: Cooperativa Sumac Llacta Ltda.

Fuzzy logic: a shield for cooperative financial stability. Case study of the Sumac Llacta Ltda. Cooperative

Vicente Marlon Villa Villa*

Universidad Nacional de Chimborazo.
Riobamba-Ecuador.
mvilla@unach.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-4292-2391>

Rodrigo Enrique Velarde Flores

Universidad Nacional de Chimborazo.
Riobamba-Ecuador.
rvelarde@unach.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-5130-6822>

Mayra Karina Flores Escobar

Universidad Nacional de Chimborazo.
Riobamba-Ecuador.
k_ariflores@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-7702-8242>

María Genoveva Cuji García

Universidad Nacional de Chimborazo.
Riobamba-Ecuador.
maria.cuji@unach.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0009-6549-8819>

*Correspondencia:

mvilla@unach.edu.ec

Cómo citar este artículo:

Villa, V., Velarde, R., Flores, M., & Cuji, M. (2024). Lógica difusa: un escudo para la estabilidad financiera cooperativa. Caso de estudio: Cooperativa Sumac Llacta Ltda. *Esprint Investigación*, 3(3), 123-136. <https://doi.org/10.61347/ei.v3i3.86>

Recibido: 8 de noviembre de 2024

Aceptado: 20 de diciembre de 2024

Publicado: 30 de diciembre de 2024

Copyright: Derechos de autor 2024 Vicente Marlon Villa Villa, Rodrigo Enrique Velarde Flores, Mayra Karina Flores Escobar, María Genoveva Cuji García.



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

Resumen: La presente investigación evaluó la utilidad de la lógica difusa (*fuzzy logic*) para medir la estabilidad financiera de la Cooperativa Sumac Llacta Ltda. durante el período 2019-2022. El objetivo general fue desarrollar un modelo más preciso y flexible que los métodos tradicionales, identificando los factores claves que influyen en la estabilidad de la cooperativa. A través de un análisis exhaustivo de los estados financieros, se seleccionaron indicadores financieros relevantes y se modelaron utilizando conjuntos difusos. Estos conjuntos permiten manejar la incertidumbre presente en los datos financieros. Esta investigación enmarcada en un paradigma positivista, con un enfoque cuantitativo, un nivel descriptivo, una modalidad de campo y documental, empleó un diseño no experimental de corte transversal. Se utilizaron técnicas de análisis documental y lógica difusa con números borrosos trapezoidales, aplicando la metodología CAMEL, el instrumento fue la guía de análisis de documentos, la población fue de 16 documentos financieros. Los resultados muestran que el modelo de lógica difusa es eficaz para evaluar la estabilidad financiera de la cooperativa, al considerar la imprecisión y la incertidumbre de los datos. Además, el modelo identifica factores claves para la toma de decisiones estratégicas. Se concluye que la lógica difusa es una herramienta prometedora para evaluar la estabilidad financiera de las cooperativas, ya que proporciona una evaluación más flexible y precisa, contribuyendo a fortalecer la gestión financiera y garantizar la sostenibilidad a largo plazo de estas instituciones. Los hallazgos de este estudio pueden servir como base para futuras investigaciones en el campo de la evaluación financiera cooperativa.

Palabras clave: Cooperativas, estabilidad financiera, lógica difusa, modelización financiera, riesgo financiero.

Abstract: This research evaluated the usefulness of fuzzy logic to measure the financial stability of the Sumac Llacta Ltda. Cooperative during the period 2019-2022. The general objective was to develop a more precise and flexible model than traditional methods, identifying the key factors that influence the stability of the cooperative. Through an exhaustive analysis of the financial statements, relevant financial indicators were selected and modeled using fuzzy sets. These sets make it possible to manage the uncertainty present in the financial data. This research, framed in a positivist paradigm, with a quantitative approach, a descriptive level, a field and documentary modality, used a non-experimental cross-sectional design. Documentary analysis techniques and fuzzy logic with trapezoidal fuzzy numbers were used, applying the CAMEL methodology, the instrument was the document analysis guide, the population was 16 financial documents. The results show that the fuzzy logic model is effective in assessing the financial stability of the cooperative, by considering the imprecision and uncertainty of the data. In addition, the model identifies key factors for strategic decision making. It is concluded that fuzzy logic is a promising tool for assessing the financial stability of cooperatives, as it provides a more flexible and accurate assessment, contributing to strengthening financial management and ensuring the long-term sustainability of these institutions. The findings of this study can serve as a basis for future research in the field of cooperative financial assessment.

Keywords: Cooperatives, financial modeling, financial risk, financial stability, fuzzy logic.

1. Introducción

En un contexto global caracterizado por mercados financieros cada vez más dinámicos y complejos, las herramientas capaces de gestionar la incertidumbre son esenciales para garantizar la sostenibilidad de las instituciones financieras. En este escenario, la lógica difusa (*fuzzy logic*) emerge como una metodología innovadora que revoluciona el análisis financiero, permitiendo una gestión resiliente y adaptativa frente a las condiciones cambiantes. Este enfoque es especialmente relevante para las cooperativas de ahorro y crédito, entidades fundamentales para la inclusión financiera y el desarrollo económico regional, que enfrentan el desafío de equilibrar solvencia, liquidez y rentabilidad para asegurar su estabilidad a largo plazo (Luna et al., 2019).

La estabilidad financiera de estas cooperativas se define como su capacidad para mantener un equilibrio sólido entre activos y pasivos, administrando eficientemente recursos, riesgos y operaciones (Londoño-Patiño, 2020). Este equilibrio no solo les permite resistir alteraciones económicas y financieras, sino cumplir con sus obligaciones y reforzar la confianza de sus socios. Sin embargo, las herramientas tradicionales de análisis, como la metodología CAMEL, presentan limitaciones al abordar la incertidumbre inherente a los datos financieros y las fluctuaciones del entorno económico (Rodríguez & Donoso, 2022).

Introducido por Zadeh en 1965 (Goguen, 2014), la lógica difusa se presenta como una herramienta innovadora y poderosa para superar estas limitaciones. Al utilizar conjuntos difusos y funciones trapezoidales, este enfoque permite modelar datos imprecisos y clasificar indicadores clave como liquidez, suficiencia patrimonial, rentabilidad (ROE y ROA) e índice de morosidad, convirtiéndose en una alternativa eficaz para evaluar la salud financiera de las cooperativas (Chanchí et al., 2021). Además, su capacidad para manejar la incertidumbre y generar escenarios proyectivos mejora significativamente la precisión del análisis financiero y facilita la toma de decisiones estratégicas informadas, posicionando a la lógica difusa como un recurso valioso para fortalecer la sostenibilidad financiera de las cooperativas en un entorno económico incierto (Vidal et al., 2019).

El objetivo de la presente investigación es demostrar cómo la lógica difusa puede ser utilizada como una herramienta eficaz e innovadora para mejorar la estabilidad financiera de las cooperativas de ahorro y crédito. A través de la modelización de datos financieros imprecisos, este enfoque supera las limitaciones de métodos tradicionales como CAMEL y abre nuevas posibilidades para la gestión estratégica en el sector cooperativo (Moreno et al., 2024).

En síntesis, la aplicación de la lógica difusa representa un avance significativo hacia una gestión más inteligente y adaptativa en la gestión financiera de las cooperativas de ahorro y crédito en un entorno caracterizado por la incertidumbre (Carpio-Peralta et al., 2021). Su uso no solo fortalece la capacidad de las cooperativas para enfrentar desafíos, sino que fomenta un enfoque proactivo y estratégico en la búsqueda de estabilidad y sostenibilidad financiera (Talledo, 2022).

En el presente estudio se considera ciertas definiciones como:

Fuzzy Logic: es una forma de lógica utilizada para manejar la incertidumbre y la imprecisión, permitiendo modelar situaciones en las que los valores de verdad pueden tener grados de verdad. Según Zadeh (1965, como se citó en Goguen, 2014), la lógica difusa es una forma de lógica multivaluada en la que los valores de verdad de las variables pueden ser cualquier número real entre 0 y 1. Esta lógica se emplea para manejar el concepto de verdad parcial, donde el valor de verdad puede oscilar entre completamente verdadero y completamente falso.

Valuación e Intervalo de Confianza: Tinto (2015) manifiesta que la valuación implica asignar un valor numérico a un fenómeno percibido, utilizando una escala adecuada. En la lógica borrosa, estas valuaciones oscilan entre 0 (falso) y 1 (verdadero). Es importante no confundir los términos valuación y probabilidad, ya que la valuación es un dato subjetivo proporcionado por una o varias personas en diferentes escalas, mientras que la probabilidad es un dato objetivo validado con el tiempo y generalmente aceptado.

En el análisis de datos, el intervalo de confianza es un rango que predice dónde caerá el valor verdadero de un parámetro con cierto nivel de certeza. Este rango usa dos valores (A y B) que no pueden ser mayores a 1, y A no puede ser mayor que B. Esto simplifica la expresión de las valuaciones y facilita su interpretación y análisis ($0 \leq A \leq B \leq 1$).

Escala Endecadaria: de acuerdo con Tinto (2015) es un sistema de valoración que utiliza once puntos para medir la intensidad o grado de un fenómeno. En el contexto de la lógica difusa, esta escala abarca de 0 (falso) a 1 (verdadero), permitiendo una evaluación más precisa y detallada en comparación con sistemas de evaluación más simples, lo cual es crucial para el análisis y la toma de decisiones (ver tabla 1).

Tabla 1*Escala Endecadaria*

| Valor | Descripción |
|-------|--------------------------|
| 0 | Falso |
| 0.1 | Prácticamente falso |
| 0.2 | Casi falso |
| 0.3 | Bastante falso |
| 0.4 | Más falso que verdadero |
| 0.5 | Tan falso como verdadero |
| 0.6 | Más verdadero que falso |
| 0.7 | Bastante verdadero |
| 0.8 | Casi verdadero |
| 0.9 | Prácticamente verdadero |
| 1 | Verdadero |

Proaño (2023) destaca que, en el ámbito de la operación con números difusos, las funciones más importantes incluyen las de tipo triangular, trapezoidal, gaussiana y sigmoideal.

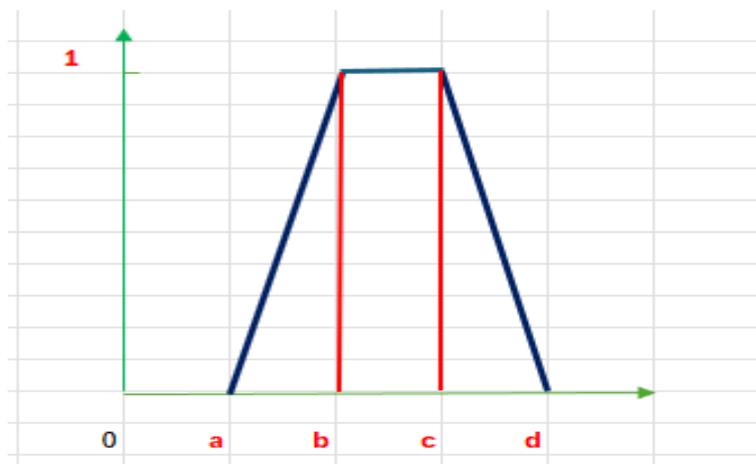
Función trapezoidal: Revelo (2006) define la función trapezoidal como una herramienta matemática utilizada en lógica difusa para representar la pertenencia de elementos a conjuntos difusos. Esta función, con forma de trapecoide, se caracteriza por cuatro parámetros específicos que marcan los puntos de inicio y fin, así como los puntos de cambio de pendiente, componiéndose de segmentos lineales ascendentes y descendentes, y una sección central plana.

$$A = \begin{cases} 0 & \text{si } (x \leq a) \text{ o } (x \geq d) \\ \frac{(x - a)}{(b - a)} & \text{si } x \in (a, b] \\ 1 & \text{si } x \in (b, c) \\ \frac{(d - x)}{(d - c)} & \text{si } x \in (c, d) \end{cases} \quad (1)$$

La figura 1 muestra la función trapezoidal, una función de pertenencia típica utilizada en lógica difusa para modelar conjuntos difusos. Su forma general es un trapecoide, definido por los parámetros a , b , c y d , que delimitan sus límites y pendiente.

Figura 1

Función trapezoidal



Nota. Fuente: Ravelo (2006).

Reglas difusas: a juicio de Saldaña & Guamán (2019), son enunciados que, mediante el uso de adverbios, modifican conjuntos difusos. Estas reglas siguen una estructura de “Si – Entonces”, donde tanto el antecedente como el consecuente son proposiciones difusas. Existen dos tipos de reglas: las atómicas y las compuestas. Las reglas atómicas son proposiciones individuales, mientras que las compuestas combinan proposiciones atómicas mediante conectivos de conjunciones, disyunciones, negaciones e implicaciones.

Variables lingüísticas: se definen como variables cuyos valores son palabras o frases en un lenguaje natural o artificial, como los utilizados en simulaciones por computadora e interacciones de robots. Un ejemplo de variable lingüística es el costo del transporte, que puede expresarse en términos lingüísticos como “bajo”, “promedio” o “alto”, en lugar de cantidades específicas como “US\$10”, “US\$50” o “US\$100”. Además de los términos básicos, los valores lingüísticos pueden incluir conectivos como “y”, “o”, “ya sea”, “ni”, la negación “no” y modificadores como “muy”, “más o menos”, “completamente”, “bastante”, “extremadamente”, “algo”, entre otros. Estas variables son muy comunes en los modelos difusos (Profillidis & Botzoris, 2019, pp. 176-177).

Análisis CAMEL: en opinión de Crespo (2011) es un sistema que evalúa la solidez de las instituciones financieras mediante cinco parámetros: Capital, Calidad del Activo, Administración, Rentabilidad y Liquidez. Este método resume factores financieros, operativos y de cumplimiento normativo en un solo indicador, facilitando a supervisores y al público una comprensión clara del estado del sistema financiero e identificando debilidades que comprometan la estabilidad financiera y requerir medidas correctivas.

En la tabla 2 se presenta el indicador, el significado, la fórmula y el promedio del método CAMEL utilizado en esta investigación.

Tabla 2

Indicador, significado, fórmula, promedio del método CAMEL

| Indicador | Significado | Fórmulas | Metas CAMEL |
|-------------------------|--|--|-------------|
| Liquidez | Evalúa la capacidad de una organización para actuar rápidamente en caso de retiro público. | $\frac{\text{Fondos disponibles}}{\text{Total pasivo a corto plazo}}$ | 44.41% |
| Suficiencia patrimonial | Indica qué porcentaje de los resultados están cubiertos por activos que están inmovilizados. Una relación es mejor cuanto más grande es. | $\frac{\text{Patrimonio} + \text{resultados}}{\text{Activos inmovilizados netos}}$ | 620.75% |
| Rentabilidad | ROE: determina el rendimiento de las acciones. Un mejor estado de la empresa se indica con valores más altos en el indicador. | $\frac{\text{Utilidad o pérdida del ejercicio}}{\text{Patrimonio neto}}$ | ROE: 0.31% |
| | ROA: Evalúa la rentabilidad de los activos. Los valores más altos de esta relación indican que el negocio va mejor. | $\frac{\text{Utilidad o pérdida del ejercicio}}{\text{Activo promedio}}$ | ROA: 0.74% |
| Rendimiento de cartera | Da una señal de la eficacia de la institución en el cobro a sus clientes. | $\frac{\text{Provisión cartera comercial}}{\text{Cartera improductiva comercial}}$ | 29.04% |
| | | $\frac{\text{Provisión cartera consumo}}{\text{Cartera improductiva consumo}}$ | 41.22% |
| Índice de morosidad | El índice muestra los créditos que podrían deteriorarse si el cliente se declara insolvente. | $\frac{\text{Cartera improductiva comercial}}{\text{Cartera bruta comercial}}$ | 6.99% |
| | | $\frac{\text{Cartera improductiva consumo}}{\text{Cartera bruta consumo}}$ | 5.92% |

Nota. Fuente: Díaz et al. (2017).

2. Metodología

La presente investigación se centró en evaluar la calidad de la información contenida en 16 documentos financieros de la Cooperativa de Ahorro y Crédito Sumac Llacta Ltda. Adoptó un enfoque cuantitativo con un nivel descriptivo, enmarcada en un paradigma positivista, con una modalidad de campo y documental. Se utilizó un diseño no experimental de corte transversal. Se aplicó la metodología CAMEL combinada con técnicas de análisis documental y lógica difusa trapezoidal. La lógica difusa permitió modelar la incertidumbre inherente a la evaluación de la calidad de la información, mientras que la metodología CAMEL proporcionó un marco estructurado para el análisis. Se diseñó una guía de análisis específica para evaluar criterios como la claridad, la relevancia y la confiabilidad de la información. Los datos se recolectaron a través de un análisis detallado de cada documento y se analizaron utilizando software especializado.

Diseño metodológico para evaluar la salud financiera de la Cooperativa de Ahorro y Crédito Sumac Llacta Ltda. utilizando CAMEL y Lógica Difusa

Para la comparación entre ambos métodos se realizó un proceso estructurado y riguroso que garantizara la validez y la precisión de los resultados. A continuación, se detallan los pasos implementados en el proceso:

1. Recolección de datos

La recolección de datos para este estudio se realizó a partir de fuentes confiables, incluyendo los estados financieros y estados de resultados de la cooperativa, proporcionados por la Superintendencia de Economía Popular y Solidaria (SEPS). Además, se analizaron informes adicionales relevantes que aportan información clave sobre la estabilidad financiera del sector cooperativo en Ecuador.

2. Identificación de indicadores claves

Para evaluar la estabilidad financiera de la Cooperativa Sumac Llacta Ltda. se seleccionaron los siguientes indicadores clave: liquidez, suficiencia patrimonial, rentabilidad (ROE y ROA), eficiencia microeconómica e índice de morosidad.

3. Evaluación con el Método CAMEL

a. Cálculo de indicadores claves:

Siguiendo las normas del modelo CAMEL se aplicaron las fórmulas establecidas a los datos financieros sin depurar de los años 2019-2022 para calcular cada indicador clave. Así, por ejemplo:

$$\text{Liquidez: } \frac{\text{Fondos Disponibles}}{\text{Total Pasivo a corto plazo}}$$

b. Clasificación de Indicadores:

Cada indicador fue evaluado en función de metas predefinidas por la SEPS, asignando calificaciones como "Débil", "Bueno", "Óptimo", etc.

c. Limitaciones identificadas:

El modelo CAMEL presenta una visión simplificada de la realidad financiera, al no considerar matices o rangos intermedios, lo que dificulta su aplicación en situaciones complejas o inusuales.

4. Evaluación con Lógica Difusa

a. Definición de variables lingüísticas

Se asignaron etiquetas lingüísticas a cada indicador financiero. Por ejemplo, para 'liquidez', se utilizaron los términos 'pesimista', 'ideal' y 'óptimo'.

b. Construcción de funciones de pertenencia

Se utilizó la función trapezoidal, que permite representar matemáticamente el grado de pertenencia de cada indicador a un conjunto difuso.

c. Fuzzificación de datos

Conversión de valores numéricos en términos lingüísticos utilizando el software GeoGebra. Aplicación de reglas difusas del tipo "Si-entonces" para evaluar escenarios financieros (pésima, mala, regular, bueno, muy bueno).

d. Defuzzificación:

Los términos lingüísticos obtenidos fueron transformados nuevamente en números para compararlos con los datos de CAMEL.

5. Comparación entre CAMEL y Fuzzy Logic

a. Criterios de evaluación

Precisión: se evaluó si los métodos detectaron matices específicos en los indicadores financieros.

Adaptabilidad: se analizó cómo cada método responde a datos extremos o variables atípicas.

Consistencia: se compararon los resultados año por año para verificar la coherencia de ambos métodos.

6. Instrumentos

Para el desarrollo del estudio se utilizaron instrumentos que permitieron el análisis de los indicadores financieros. Entre ellos, el software GeoGebra y Excel fueron empleados para realizar cálculos matemáticos y generar gráficos ilustrativos. Además, se utilizó una guía de observación financiera, la cual facilitó la recopilación de datos relevantes, y una matriz de evaluación diseñada específicamente para calificar los indicadores bajo las dos metodologías de análisis aplicadas, asegurando un enfoque estructurado y objetivo en la interpretación de los resultados.

3. Resultados

En particular, la Cooperativa de Ahorro y Crédito Sumac Llacta Ltda., al igual que otras instituciones del sector, enfrenta el desafío de evaluar y garantizar su estabilidad financiera en un entorno económico dinámico e incierto. Los métodos tradicionales, como la metodología CAMEL, aunque efectivos en algunos aspectos, muestran limitaciones al tratar con la imprecisión inherente a los datos financieros y las variaciones en los escenarios económicos. En este ambiente, la lógica difusa se presenta como una herramienta poderosa y flexible para abordar estas limitaciones.

Durante el período 2019-2022, esta cooperativa desarrolló un modelo de análisis financiero basado en lógica difusa para evaluar su estabilidad financiera. Este modelo incorporó conjuntos difusos y funciones trapezoidales para representar indicadores claves como la liquidez, suficiencia patrimonial, rentabilidad e índice de morosidad. A diferencia de los modelos tradicionales que emplean valores estrictos y absolutos, la lógica difusa permitió clasificar estos indicadores en términos lingüísticos (por ejemplo: "Débil", "Regular", "Bueno", "Óptimo"), lo que permitió una evaluación más flexible y ajustada a la realidad económica de la cooperativa.

Los resultados confirmaron que este modelo fue eficaz para identificar problemas como la insuficiencia patrimonial y las bajas tasas de liquidez, ofreciendo una evaluación integral y adaptada

a la realidad económica de la cooperativa. Los hallazgos destacan el potencial de esta metodología para abordar desafíos comunes en el sector cooperativo, especialmente en contextos de incertidumbre económica. Por lo tanto, las enseñanzas extraídas de este análisis pueden ser aplicadas tanto a nivel nacional como internacional, contribuyendo a la sostenibilidad financiera y fortalecimiento de su papel en el desarrollo económico y social.

Método CAMEL

Los resultados de los indicadores claves del análisis CAMEL para la cooperativa de Ahorro y Crédito Sumac Llacta Ltda. se muestran en la tabla 3. Durante el período 2019-2022 los indicadores financieros presentaron variaciones significativas. La liquidez (23,35 %) y la suficiencia patrimonial (255,30 %) alcanzaron sus máximos en 2021, aunque disminuyeron en 2022 a 9,74 % y 177 %, respectivamente. La rentabilidad mostró una tendencia negativa, registrando pérdidas en 2021 y 2022, mientras que el índice de morosidad descendió constantemente, reflejando una posible mejora en la calidad crediticia. Los indicadores ROE y ROA, junto con los sectores comerciales y de consumo, experimentaron fluctuaciones, destacando una recuperación en 2022.

Tabla 3

Indicadores financieros según el método CAMEL

| Año | LQ | SP | RT | | IM | Consumo |
|------|--------|---------|---------|--------|-----------|---------|
| | | | ROE | ROA | Comercial | |
| 2019 | 11,27% | 31% | 2,00% | 0,45% | 4,15% | 5,81% |
| 2020 | 14,22% | 243,12% | 1,01% | 0,25% | 3,53% | 5,99% |
| 2021 | 23,35% | 255,30% | -13,95% | -1,70% | 1,81% | 3,34% |
| 2022 | 9,74% | 177% | -18,87% | -3,87% | 3,48% | 6,94% |

Método Fuzzy Logic

Definición de variables lingüísticas: se colocaron etiquetas lingüísticas a cada uno de los indicadores financieros (ver tabla 4).

Tabla 4

Variables lingüísticas

| LQ | | SP | | ROE | | |
|------------|-------|-------------|---------|-------------|------|-------------|
| Inferior a | 14.79 | Inferior a | 206.91 | Inferior a | 0.09 | Inferior |
| | 29.61 | | 413.83 | | 0.21 | 4.66 |
| | 44.41 | | 620.75 | | 0.31 | 6.99 |
| | 59.21 | | 827.67 | | 0.41 | 9.32 |
| | 74.01 | En adelante | 1034.59 | En adelante | 0.52 | En adelante |
| | | | | | | 11.65 |

Construcción de funciones de pertenencia: se consideraron los períodos con la mayor suficiencia patrimonial, correspondiente al año 2021, y con la menor suficiencia patrimonial, correspondiente al año 2020, para calcular la función trapezoidal de cada indicador.

Indicador de liquidez

En función de los conjuntos borrosos, es esencial aclarar las condiciones de la función trapezoidal $\frac{(x-a)}{(b-a)}$, donde x representa el valor de la variable de liquidez proporcionada por la SEPS; a y b son los valores del conjunto borroso “pesimista”, y son cruciales para determinar el grado de pertenencia de la variable LQ (Liquidez).

Datos:

$$x (\text{Año 2020} - LQ) = 14.22\%;$$

$$x (\text{Año 2021} - LQ) = 23.35\%;$$

$$a = 14.79; b = 29.61;$$

Estos son los valores que representan el conjunto “Pesimista” según las variables lingüísticas previamente mencionadas.

AÑO 2020:

AÑO 2021:

$$LQ = \frac{(23,35 - 14,79)}{(29,61 - 14,79)}$$

$$LQ = \frac{(14,22 - 14,79)}{(29,61 - 14,79)}$$

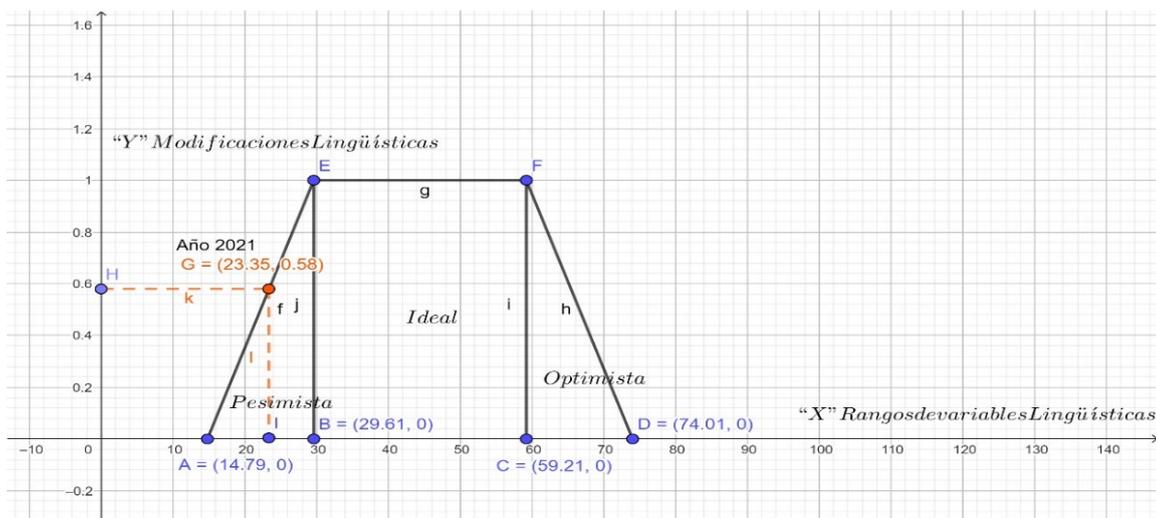
$$LQ = -0,04$$

$$LQ = 0,58$$

A partir de los datos obtenidos se genera una representación gráfica (figura 2) considerando los valores del conjunto difuso “Pesimista” ($A = 14,79$ y $B = 29,61$), “Ideal” ($B = 29,61$ y $C = 59,21$) y “Óptimo” ($C = 59,21$ y $D = 74,01$). En 2020, la liquidez corriente no cumple con los criterios del conjunto difuso, lo que indica problemas en el cumplimiento de compromisos financieros y operativos. En 2021, la situación mejora ligeramente, con la liquidez corriente siendo parte del conjunto difuso pesimista con una intensidad de 0.58, indicando alguna capacidad de cumplimiento financiero.

Figura 2

Variable Liquidez utilizando la función trapezoidal en la lógica difusa



Es importante resaltar que se aplicó el mismo procedimiento para los demás indicadores claves. Se definieron las reglas difusas para cada indicador, incluyendo el rango de estabilidad, la estabilidad financiera y el valor asignado. La tabla 5 muestra la regla difusa definida para el indicador Liquidez como ejemplo.

Tabla 5*Reglas difusas para el indicador Liquidez*

| Indicador | Rango de estabilidad | Estabilidad financiera | Valor asignado |
|-----------|----------------------|------------------------|----------------|
| Liquidez | 0,0 – 0,2 | Pésima | 0,1 |
| | 0,3 – 0,4 | Mala | 0,2 |
| | 0,5 – 0,6 | Regular | 0,3 |
| | 0,7 – 0,8 | Bueno | 0,6 |
| | 0,9 – 1 | Muy bueno | 0,8 |

Fuzzificación de datos: en esta sección se implementaron las reglas difusas previamente definidas a los indicadores financieros pertinentes, tales como liquidez, suficiencia patrimonial, rentabilidad, índices de morosidad y otros, con el objetivo de representar estos datos de forma difusa, que se presentan en la tabla 6.

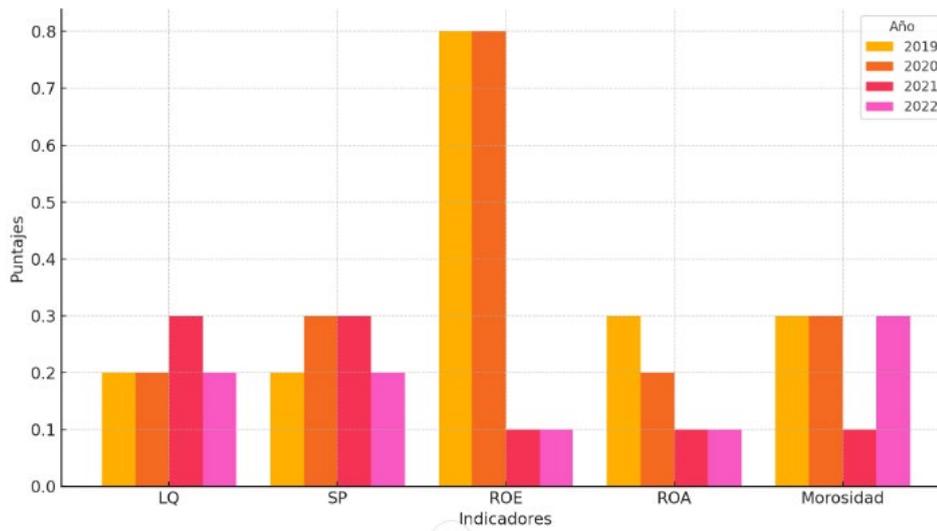
Tabla 6*Fuzzificación de datos*

| Indicador | LQ | SP | ROE | ROA | Morosidad |
|-----------|------------------|------------------|--------------------|------------------|------------------|
| Año 2019 | Mala (0.2) | Malo (0.2) | Muy Bueno (0.8) | Regular (0.3) | Regular (0.3) |
| Año 2020 | Malo (0.2) | Regular (0.3) | Muy Bueno (0.8) | Malo (0.2) | Regular (0.3) |
| Año 2021 | Regular (0.3) | Regular (0.3) | Pésimo (0.1) | Pésimo (0.1) | Pésimo (0.1) |
| Año 2022 | Mala (0.2) | Malo (0.2) | Pésimo (0.1) | Pésimo (0.1) | Regular (0.3) |

La figura 3 presenta una comparación de los indicadores financieros (liquidez, suficiencia patrimonial, ROE, ROA y morosidad) entre 2019 y 2022. En términos de liquidez (LQ), los valores permanecen bajos a lo largo del período, con una ligera mejora en 2020, pero sin alcanzar niveles significativos. La suficiencia patrimonial (SP) muestra un aumento considerable en 2020, estabilizándose en 2021, pero con una leve caída en 2022. El indicador de rentabilidad sobre el patrimonio (ROE) destaca en 2019 con un pico muy superior al resto de los años, mientras que en los años posteriores presenta una tendencia descendente marcada. La rentabilidad sobre activos (ROA) sigue un patrón similar al ROE, con una caída progresiva desde 2019 hasta 2022, indicando una reducción sostenida en la eficiencia para generar ingresos. Finalmente, el índice de morosidad experimenta un descenso constante durante el período, lo que sugiere mejoras en el manejo de la calidad crediticia de la cooperativa. En general, los datos reflejan desafíos financieros persistentes, con mejoras aisladas en algunos indicadores y caídas significativas en otros, especialmente en la rentabilidad.

Figura 3

Comparación de indicadores por año



Comparación entre los métodos CAMEL y Fuzzy Logic

La comparación entre el método CAMEL y la lógica difusa se presenta en la tabla 7. Se analiza que entre 2019 y 2022, los indicadores CAMEL de la cooperativa reflejan fluctuaciones significativas en su estabilidad financiera, alternando entre fortalezas y debilidades. En 2019 y 2020, la cooperativa destacó por un desempeño sobresaliente en ROE y ROA, aunque enfrentó deficiencias en liquidez y suficiencia patrimonial. En 2021, se evidenció un deterioro generalizado, mientras que en 2022 los resultados fueron mixtos, con áreas moderadas y otras deficientes. Desde el enfoque de lógica difusa, la evaluación integra fortalezas y debilidades para ofrecer una visión más equilibrada y conservadora, calificando la estabilidad financiera como “Buena” en los primeros años, pero como “Pésima” en los periodos más críticos, subrayando la necesidad de atender las vulnerabilidades estructurales de la cooperativa.

Tabla 7

Comparación entre el método CAMEL y la Fuzzy Logic

| Año | Componente CAMEL | Valor CAMEL | Calidad CAMEL | Valor difuso Estabilidad financiera | Grado de pertenencia Estabilidad financiera |
|------|-------------------------------|-------------|----------------------|-------------------------------------|---|
| 2019 | Liquidez | 0.3 | Débil | Mala | 0.2 |
| | Suficiencia Patrimonial | 0.4 | Regular | Malo | 0.2 |
| | Rentabilidad ROE | 1.0 | Absolutamente Óptimo | Muy Bueno | 0.8 |
| | Rentabilidad ROA | 0.3 | Débil | Regular | 0.3 |
| | Índice de Morosidad Comercial | 0.5 | Medianamente Bueno | Regular | 0.3 |

| | | | | | |
|------|-------------------------------|-----|----------------------|-----------|-----|
| | Liquidez | 0.3 | Débil | Malo | 0.2 |
| | Suficiencia Patrimonial | 0.4 | Regular | Regular | 0.3 |
| 2020 | Rentabilidad ROE | 1.0 | Absolutamente Óptimo | Muy Bueno | 0.8 |
| | Rentabilidad ROA | 0.3 | Débil | Malo | 0.2 |
| | Índice de Morosidad Comercial | 0.5 | Medianamente Bueno | Regular | 0.3 |
| | Liquidez | 0.5 | Medianamente Bueno | Regular | 0.3 |
| | Suficiencia Patrimonial | 0.4 | Regular | Regular | 0.3 |
| 2021 | Rentabilidad ROE | 0.0 | Pésimo | Pésimo | 0.1 |
| | Rentabilidad ROA | 0.0 | Pésimo | Pésimo | 0.1 |
| | Índice Morosidad Comercial | 0.2 | Malo | Pésimo | 0.1 |
| | Liquidez | 0.2 | Malo | Malo | 0.2 |
| | Suficiencia Patrimonial | 0.2 | Malo | Malo | 0.2 |
| 2022 | Rentabilidad ROE | 0.0 | Pésimo | Pésimo | 0.1 |
| | Rentabilidad ROA | 0.0 | Pésimo | Pésimo | 0.1 |
| | Índice Morosidad Comercial | 0.5 | Medianamente Bueno | Regular | 0.3 |

4. Conclusiones

La investigación demuestra que el modelo de lógica difusa es altamente efectivo para evaluar la estabilidad financiera de la Cooperativa Sumac Lacta Ltda. durante el período 2019-2022. Al considerar la imprecisión y la incertidumbre inherentes en los datos financieros, la lógica difusa permite una evaluación precisa y detallada en comparación con los métodos tradicionales. Este modelo ofrece una visión más matizada de los indicadores financieros claves, lo que facilita una toma de decisiones informada y estratégica.

Al integrar la lógica difusa con la metodología CAMEL, la investigación resalta cómo esta técnica permite manejar eficazmente la incertidumbre presente en los datos financieros. Mientras que los métodos tradicionales, como CAMEL, dependen de valores exactos y categorías fijas, la lógica difusa proporciona una evaluación flexible, permitiendo clasificar los indicadores financieros dentro de un rango más amplio. Esta característica es crucial para las cooperativas, que suelen enfrentarse a fluctuaciones en sus datos financieros que no siempre encajan en una clasificación rígida.

La implementación de la lógica difusa en la evaluación financiera de las cooperativas no solo mejora la precisión de las decisiones estratégicas, sino que fortalece la gestión financiera y contribuye a la sostenibilidad a largo plazo de estas instituciones. Los resultados de este estudio sugieren que la lógica difusa puede ser una herramienta fundamental para optimizar las operaciones financieras de las cooperativas, ayudándolas a enfrentar desafíos económicos con mayor adaptabilidad y resiliencia, lo que puede tener un impacto positivo en su estabilidad y crecimiento futuro.

Referencias

- Carpio-Peralta, M. C., Álvarez-Gavilanes, J. E., & Orellana-Orellana, E. F. (2021). Modelo de gestión financiera sostenible aplicando lógica difusa en el Hospital Humanitario. *Cienciamatria*, 7(12), 4-37. <https://doi.org/10.35381/cm.v7i12.418>
- Chanchí, G. E., Sierra, L. M., & Campo, W. Y. (2021). Aplicación de la lógica difusa en la implementación de rúbricas de evaluación en el contexto universitario. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, (42), 174-187. <https://n9.cl/3ecym>
- Crespo, J. Y. (2011). CAMEL vs. discriminante, un análisis de riesgo al sistema financiero venezolano. *Ecos de Economía*, 15(33), 25-47. <https://n9.cl/puwyp>
- Díaz, J., Coba, E., Moreno, K., & Santamaría, E. (2017). La lógica difusa aplicada a los ratios financieros en el sector cooperativo del Ecuador. *INNOVA Research Journal*, 2(6), 64-82. <https://n9.cl/k0kx1>
- Goguen, J. A. (2014). L. A. Zadeh. Fuzzy sets. *Information and control*, vol. 8 (1965), pp. 338–353. - L. A. Zadeh. Similarity relations and fuzzy orderings. *Information sciences*, vol. 3 (1971), pp. 177–200. *The Journal of Symbolic Logic*, (4), 656-657. <https://n9.cl/u5w2w>
- Londoño-Patiño, J. (2020). Toma de decisiones basada en la productividad en Pymes manufactureras: aproximación desde la Lógica Difusa. *Revista CEA*, 6(12), 181-207. <https://n9.cl/rlgvq>
- Luna, K., Espinoza, J., Sarmiento, W., Andrade, C., & Chamba, V. (2019). Análisis financiero en el sector industrial con aplicación de herramientas de la lógica borrosa. *Ciencia Digital*, 3(2.3), 112-124. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i2.3.566>
- Moreno, C., Vega, A., & Chanchí, G. (2024). Herramienta de estimación de la confiabilidad de clientes potenciales del sector financiero mediante el uso de técnicas de análisis de sentimientos y lógica difusa. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada*, 1(43), 24-34. <https://doi.org/10.24054/rcta.v1i43.2801>
- Proaño, B. (2023). *Análisis financiero* (1º. ed). Universidad del Azuay. <https://publicaciones.uazuay.edu.ec/flip/books/libro/uazuay-libro-303.pdf>
- Profillidis, V. A., & Botzoris, G. N. (2018). *Modeling of transport demand: Analyzing, calculating, and forecasting transport demand*. Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/book/9780128115138/modeling-of-transport-demand>
- Revelo, S. (2006). *Simulación de un convertidor multinivel apilable controlado con lógica difusa* [Tesis de maestría, Universidad de las Américas Puebla]. Repositorio institucional. <https://n9.cl/o1tli>
- Rodríguez, L., & Donoso, A. (2022). Propuesta teórica de una metodología para el análisis de los riesgos empresariales por procesos y lógica difusa en el sector turístico cubano. *Contaduría y Administración*, 67(3). <https://doi.org/10.22201/fca.24488410e.2022.3474>

- Saldaña, C. X., & Guamán, G. (2019). Análisis financiero basado en la técnica Fuzzy Logic, como instrumento para la toma de decisiones en la empresa Italimentos Cía. Ltda. *Revista Economía y Política*, (30), 72-95. <https://n9.cl/9ddqy>
- Talledo, D. (2022). Lógica difusa aplicada a la bolsa de valores. *Global Business Administration Journal*, 6(2), 3-16. <https://doi.org/10.31381/gbaj.v6i2.5167>
- Tinto, J. (2015). *Implementación de tecnologías de avanzada (fuzzy-set) aplicadas a los sistemas de control y gestión en las cadenas agroalimentarias del Ecuador*. Universidad Técnica de Machala. <https://n9.cl/a0d5l>
- Vidal, K., Erazo, J., & Narváez, I. (2019). La lógica difusa como herramienta de evaluación financiera de proyectos de inversión. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 4(1), 309-348. <https://n9.cl/ep6lr>

Transparencia

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés que influyan en la objetividad de este estudio.

Fuente de financiamiento

No se recibieron fondos financieros de ninguna organización que pudiera tener interés en los resultados presentados.

Contribución de autoría

Vicente Marlon Villa Villa: Conceptualización, metodología, software, validación, análisis formal, investigación, visualización, redacción - preparación del borrador original, redacción - revisión y edición, financiamiento, administración del proyecto, recursos, supervisión.

Rodrigo Enrique Velarde Flores: Conceptualización, metodología, software, validación, análisis formal, investigación, gestión de datos, visualización, redacción - preparación del borrador original, redacción - revisión y edición, financiamiento, administración del proyecto, recursos, supervisión.

Mayra Karina Flores Escobar: Metodología, software, validación, análisis formal, investigación, visualización, redacción - revisión y edición, financiamiento, recursos.

María Genoveva Cuji García: Software, validación, análisis formal, investigación, gestión de datos, visualización, redacción - revisión y edición, financiamiento, recursos.

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