



Lógica difusa neutrosófica para medir el potencial regenerativo de la fibrina rica en plaquetas y leucocitos (L-PRF) en la salud ósea y periodontal de los tejidos bucales

Neutrosophic fuzzy logic to measure the regenerative potential of platelet- and leukocyte-rich fibrin (L-PRF) in bone and periodontal health of oral tissues

Gabriela Ximena Marín Vega¹, Lourdes Elizabeth Menéndez Oña², and Delia María Villacrés Yancha³

¹ Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato, Ecuador; uq.gabrielamv05@uniandes.edu.ec

² Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato, Ecuador; uq.lourdesmo79@uniandes.edu.ec

³ Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato, Ecuador; uq.deliavy72@uniandes.edu.ec

Resumen. El L-PRF (Leukocyte-Platelet Rich Fibrin, una segunda generación de concentrados plaquetarios) mejora significativamente la cicatrización de heridas en tejidos blandos y duros. La presente investigación tiene como objetivo desarrollar un método neutrosófico para medir el potencial regenerativo de la fibrina rica en plaquetas y leucocitos en la salud ósea y periodontal de los tejidos bucales. Los resultados obtenidos con la implementación del método neutrosófico evidencian que el uso de PRF como llenado y biomaterial antihemorrágico durante las extracciones dentales parece una opción eficaz en pacientes de cirugía cardíaca bajo terapia anticoagulante. A diferencia de plasma rico en plaquetas (PRP), que es un gel o una suspensión, de leucocitos rico en plaquetas el (L-PRF) es una membrana de fibrina 3D generada de la centrifugación de la sangre entera en un tubo precipitador que no contiene anticoagulante, dando como resultado un coágulo de fibrina que tiene abundantes factores de crecimiento y citoquinas. Además, el PRF es mucho más barato que la fibrina colas y la mayoría de los kits de PRP disponibles.

Palabras Claves: números neutrosófico, L-PRF, salud ósea y periodontal, cirugía cardíaca.

Abstract. L-PRF (Leukocyte-Platelet Rich Fibrin, a second generation of platelet concentrates) significantly improves wound healing in soft and hard tissues. The present research aims to develop a neutrosophic method to measure the regenerative potential of platelet- and leukocyte-rich fibrin in bone and periodontal health of oral tissues. The results obtained with the implementation of the neutrosophic method show that the use of PRF as a filler and antihemorrhagic biomaterial during dental extractions seems to be an effective option in cardiac surgery patients under anticoagulant therapy. Unlike platelet-rich plasma (PRP), which is a gel or suspension, leukocyte-rich platelet-rich plasma (L-PRF) is a 3D fibrin membrane generated from the centrifugation of whole blood in a precipitator tube that contains no anticoagulant, resulting in a fibrin clot that is abundant in growth factors and cytokines. Additionally, PRF is much cheaper than fibrin glues and most PRP kits available.

Keywords: neutrosophic numbers, L-PRF, bone and periodontal health, cardiac surgery.

1 Introducción

A lo largo de los años, los avances en medicina regenerativa han sido impulsados por la constante búsqueda de métodos más efectivos y seguros para abordar la pérdida de tejido en la cavidad oral, desde injertos óseos hasta materiales sintéticos. En este contexto, el L-PRF surge como una evolución significativa en la aplicación de terapias de regeneración ósea, superando limitaciones previas y ofreciendo resultados prometedores en la regeneración de tejidos óseos y periodontales [1].

La fibrina rica en plaquetas y leucocitos (L-PRF) se desarrolló primero como biomaterial autólogo en Francia desde 2001 [2]. Al contrario de otros productos ricos en plaquetas, en esta práctica no demanda ni anticoagulante

ni trombina bovina. Esto con lleva que la fibrina rica en plaquetas y leucocitos va a ser la segunda generación de concentrado de plaquetas [3, 50].

Sin un anticoagulante, la mayoría de las plaquetas se activan unos pocos minutos después de contactar las paredes del tubo, lo que inicia la cascada de coagulación. El fibrinógeno es inicialmente concentrado en la parte superior del tubo, antes de la trombina circulante transforma en fibrina. Un coágulo de fibrina se forma en la mitad del tubo, justo entre los glóbulos rojos en la parte inferior y el plasma acelular en la parte superior [4].

El interés de esta técnica obedece enteramente de la rapidez de la extracción de sangre y el traspaso a la centrifugadora. Sin el anticoagulante, las muestras de sangre empiezan a coagular casi seguidamente tras el contacto con el tubo de vidrio, y en unos pocos minutos se tarda en la centrifugación para concentrar el fibrinógeno en parte media y superior del tubo [5, 49].

La regeneración de tejidos está dada por una diversidad de acciones intra y extracelulares que son controladas por las proteínas de señalización y un proceso complejo que obedece a una sucesión de eventos que contienen: unión, la migración y la proliferación celular [6].

El L-PRF está desarrollado para mejorar el crecimiento y la proliferación de los osteoblastos. Facilita una importante disminución en el tiempo de recuperación de los tejidos blandos y parece una disminución en el dolor postoperatorio. Este método se destaca por aprovechar los recursos biológicos propios del paciente, minimizando riesgos de rechazo y ofreciendo un enfoque autólogo que se alinea con los principios de la medicina personalizada [7, 51].

La presente investigación tiene como objetivo desarrollar un método neutrosófico para medir el potencial regenerativo de la fibrina rica en plaquetas y leucocitos en la salud ósea y periodontal de los tejidos bucales. Con la implementación de este método se busca proporcionar una visión integral del potencial regenerativo de esta tecnología y fomentar una comprensión más profunda de su impacto en la práctica clínica odontológica.

2 Preliminares

La lógica difusa es un modo de razonamiento que aplica valores múltiples de verdad o confianza a las categorías restrictivas durante la resolución de problemas. El conjunto es una colección de objetos que pueden clasificarse gracias a las características que tienen común. Se define de dos formas: por extensión ($\{a, e, i, o, u\}$) o por comprensión.

Un conjunto booleano A es una aplicación de un conjunto referencial S en el conjunto $\{0, 1\}$, $A : S \rightarrow \{0,1\}$, y se define con una función característica:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } x \in A \\ 0 & \text{si } x \notin A \end{cases} \quad (1)$$

Los conjuntos difusos dan un valor cuantitativo a cada elemento, el cual representa el grado de pertenencia al conjunto [8], [9]. Un conjunto difuso A es una aplicación de un conjunto referencial S en el intervalo $[0, 1]$ $A : S \rightarrow [0,1]$, y se define por medio de una función de pertenencia: $0 \leq \mu_A(x) \leq 1$.

Mientras más cercano esté el valor a 0 menos podemos asegurar la pertenencia de un elemento a un conjunto [8], [10], [11]. Por el contrario cuanto más cercano esté el valor a 1 más podemos asegurar la pertenencia del elemento al conjunto [12-14] [52, 53, 54].

Puede representarse como un conjunto de pares ordenados de un elemento genérico x , $x \in A$ y su grado de pertenencia $\mu_A(x)$:

$$A = \{(x, \mu_A(x)), \mu_A(x) \in [0,1]\} \quad (2)$$

El trabajo con lógica difusa puede ser representado con el empleo de variables lingüísticas para mejorar la interpretabilidad de los datos. Las variables lingüísticas son aquellas del lenguaje natural caracterizadas por los conjuntos difusos definidos en el universo de discurso en la cual se encuentran definidas [15, 50].

Para definir un conjunto de términos lingüísticos se debe establecer previamente la granularidad de la incertidumbre del conjunto de etiquetas lingüísticas con el que se va a trabajar [16], [17], [18]. La granularidad de la incertidumbre es la representación cardinal del conjunto de etiquetas lingüísticas usadas para representar la información.

El grado de pertenencia de un elemento $M(x)$ a un conjunto difuso será determinado por funciones de pertenencia [19, 20]. Las funciones típicas de pertenencia más abordadas en la literatura científica son [21], [22], [23]: Función Triangular, Función Trapezoidal, Función Gaussiana.

Función Triangular: Definido por sus límites inferior a y superior b , y el valor modal m , tal que $a < m < b$ [24], [25], [26], [27].

$$A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \\ \frac{(x-a)}{(m-a)} & \text{si } a < x \leq m \\ \frac{(b-x)}{(b-m)} & \text{si } m < x < b \\ 0 & \text{si } x \geq b \end{cases} \quad (3)$$

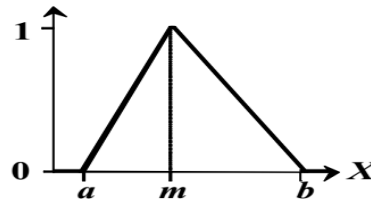


Figura. 1. Función triangular.

Función Trapezoidal: Definida por sus límites inferior a y superior d , y los límites b y c , correspondientes al inferior y superior respectivamente de la meseta [28], [25],[29][55].

$$A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \text{ o } x \geq d \\ \frac{(x-a)}{(b-a)} & \text{si } a < x < b \\ 1 & \text{si } b \leq x \leq c \\ \frac{(d-x)}{(d-c)} & \text{si } c < x < d \end{cases} \quad (4)$$

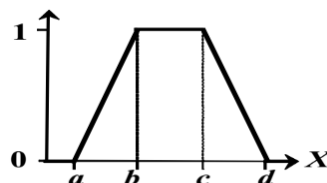


Figura. 2. Función trapezoidal.

Función Gaussiana. Definida por su valor medio m y el valor $k > 0$. Es la típica campana de Gauss (mayor k , más estrecha es la campana) [30], [31], [32].

$$A(x) = e^{-k(x-m)^2} \quad (5)$$

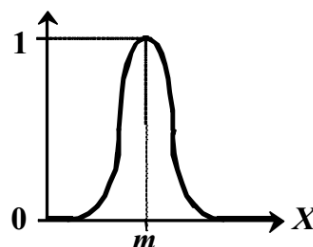


Figura. 3. Función gaussiana.

Sobre los conjuntos difusos se pueden realizar operaciones lógicas de intersección (conjunción), la unión (disyunción) y el complemento (negación). Para hacer dichas operaciones se pueden utilizar las T-Normas y las S-Normas. Las T-Normas especifican las condiciones que deben reunir las operaciones para interceptar conjuntos y las S-Normas lo hacen para las uniones [33, 34, 51].

Las intersecciones ocurren en las conjunciones y las contribuciones, de forma parecida las uniones ocurren en las disyunciones y el global [35, 36, 56]. Estas operaciones son realizadas en los sistemas expertos para calcular

los factores de certeza de las reglas de producción. Según las T-Normas y las S-Normas estas operaciones cumplen con las siguientes condiciones:

Es una operación T-norma si cumple las siguientes propiedades:

$$1 \quad \text{Conmutativa} \quad T(x, y) = T(y, x) \quad (6)$$

$$2 \quad \text{Asociativa} \quad T(x, T(y, z)) = T(T(x, y), z). \quad (7)$$

$$3 \quad \text{Monótono creciente} \quad T(x, y) > T(x, y) \text{ si } x \geq x' \cap y \geq y' \quad (8)$$

$$4 \quad \text{Elemento neutro} \quad T(x, 1) = x \quad (9)$$

Es una operación T-conorma si cumple las siguientes propiedades:

$$1 \quad \text{Conmutativa} \quad S(x, y) = T(y, x) \quad (10)$$

$$2 \quad \text{Asociativa} \quad S(x, S(y, z)) = S(S(x, y), z) \quad (11)$$

$$3 \quad \text{Monótono creciente} \quad S(x, y) > T(x, y) \text{ si } x \geq x' \cap y \geq y' \quad (12)$$

$$4 \quad \text{Elemento neutro} \quad S(x, 1) = x \quad (13)$$

En un sistema expresado mediante lógica difusa se tienen variables lingüísticas, sus etiquetas, las funciones de pertenencia de las etiquetas, las reglas de producción y los factores de certeza asociados a estas reglas. Como datos de entrada al sistema se tienen valores numéricos que toman las variables lingüísticas.

Los valores de entradas se convierten en valores de pertenencia a etiquetas difusas que son equivalentes a los factores de certeza [37]. Este proceso se llama Fuzzyficación, dado que convierte valores numéricos a difusos.

A partir de estos valores obtenidos en el proceso de Fuzzyficación ocurre el proceso de propagación de certeza usando las reglas de producción definidas. Este es el proceso de Inferencia Fuzzy, en el cual se utilizan las funciones de las T-Normas y las S-Normas [38, 52], [39, 49].

Obteniéndose como resultados valores de certeza que se refieren a las pertenencias a los conjuntos de salida. A partir de los valores de pertenencia a las variables lingüísticas de salida hay que obtener los valores numéricos de estas y a este proceso se le denomina Desfuzzyficación. La Desfuzzyficación de las variables puede realizarse por el Método del Centroide que constituye el más utilizado para este proceso [40], [41], [42, 57]. La figura 4 muestra un esquema de un sistema expresado mediante lógica difusa.

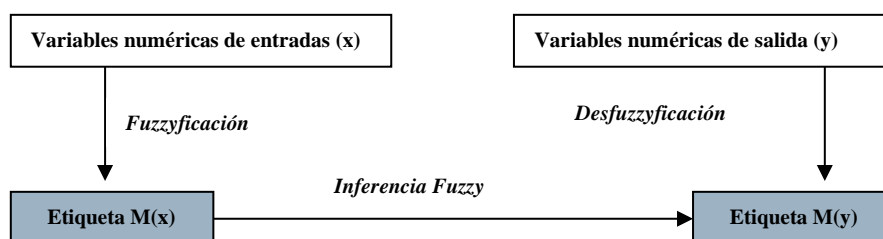


Figura. 4. Esquema de un sistema expresado mediante lógica difusa.

Los números neutrosóficos se definen como: un $N = \{(T, I, F) : T, I, F \subseteq [0, 1] \}$, una valoración neutrosófica es un mapeo de un grupo de fórmulas proporcional a N , esto es que por cada oración p tiene:

$$v(p) = (T, I, F) \quad (14)$$

Con el propósito de facilitar la aplicación práctica a la toma de decisiones y problemas de ingeniería, se realizó la propuesta de las Unidades Neutrosóficas de Valor Único. (SVN) [43],[44], [45, 53], que permiten el uso de variables lingüísticas [46], [47], lo que aumenta la forma de interpretar los modelos de recomendación y el uso de la indeterminación. Sea X un universo de habla. Un SVN sobre X es un objeto de la forma.

$$A = \{x, u_A(x), r_A(x), v_A(x) : x \in X\} \quad (15)$$

3 Método difuso neutrosófico para medir el efecto de trastornos psicosociales y de salud

El método para medir el potencial regenerativo de la L-PRF en la salud ósea y periodontal de los tejidos bucales basa su funcionamiento mediante la lógica difusa. Utiliza el proceso de inferencia basado en el Centroide o Centro de Gravedad (GOC) en la Defuzzyficación numérica.

La inferencia basada en GOC garantiza no tener que ajustar ningún coeficiente, solo es necesario conocer las funciones de pertenencia de cada una de las etiquetas definidas. Para inferir con GOC se parte de los valores de pertenencia a cada una de las etiquetas asociadas a la variable que se quiere Defuzzyficar. Para cada variable de salida fuzzyficada, se trunca el valor máximo de la función de pertenencia de cada etiqueta, a partir del valor obtenido durante la inferencia.

El proceso se realiza de igual forma para cada etiqueta. Cada etiqueta se trunca según el valor de certeza inferido. Se garantiza que sean más truncados los gráficos de las etiquetas inferidos con menor valor. Luego se combina el resultado del truncamiento de todas estas funciones y se obtiene el centro de gravedad [48]. Para eso se usa la ecuación 16:

$$GOC = \frac{\int M(x) * x dx}{\int M(x) dx} \tag{16}$$

Donde M(x) representa el grado de pertenencia del elemento X que tomará valores en el universo discurso, usando un paso definido. Mientras menor sea este paso más exacto será el resultado del GOC.

Para medir el potencial regenerativo de la L-PRF en la salud ósea y periodontal, el método implementa la lógica difusa, que tendrá como variables lingüísticas las etiquetas definidas en la tabla 1. Estos indicadores son estabilidad emocional, antecedentes psicosociales y de salud. Como variable de salida se tiene la evaluación del efecto de trastornos psicosociales y de salud. Se definió que cada una de estas variables de entrada o salida, tendrán asociadas las etiquetas de Baja, Media, Alta y Excelente. Para valorar el impacto que tienen las etiquetas lingüísticas de la variable de salida ver Tabla 1.

Tabla 1: Impacto de las etiquetas de la variable de salida.

Etiqueta	Impacto
Baja	Costo-Efectividad
Media	Eficiencia regenerativa
Alta	Seguridad y efectos secundarios

Seguridad y efectos secundarios: La seguridad en la aplicación del L-PRF es esencial, especialmente en pacientes con condiciones especiales, como aquellos en terapia anticoagulante. Este criterio involucra el monitoreo de cualquier efecto adverso asociado a su uso, como infecciones, hemorragias o reacciones alérgicas. Además, es fundamental realizar un seguimiento a largo plazo de los pacientes para evaluar la estabilidad de la regeneración ósea y periodontal y para detectar cualquier complicación asociada con el uso del L-PRF. La implementación de protocolos de estudio que incluyan ensayos clínicos controlados puede proporcionar datos sólidos sobre la seguridad del L-PRF.

Eficiencia regenerativa: Este criterio evalúa la capacidad del L-PRF para promover la cicatrización y regeneración de tejidos. Se pueden medir parámetros como la velocidad de cicatrización de heridas, la calidad del tejido regenerado (incluyendo vascularización y formación de hueso nuevo) y la integración de L-PRF con los tejidos circundantes. Establecer métricas objetivas, como el uso de biomarcadores específicos y estudios histológicos, permitirá cuantificar de manera precisa la eficiencia regenerativa del L-PRF en comparación con métodos convencionales o con el plasma rico en plaquetas (PRP).

Costo-Efectividad: Dado que el L-PRF es una alternativa más económica que otras técnicas de regeneración, como la fibrina colas o los kits de PRP disponibles, este criterio analiza el balance entre costo y resultado en términos de regeneración tisular. Se debe llevar a cabo un análisis de costo-efectividad que considere no solo el costo del procedimiento inmediato, sino también los beneficios a largo plazo en términos de reducción de complicaciones, tiempos de tratamiento y mejor calidad de vida del paciente. Esta evaluación permitirá determinar la viabilidad económica del L-PRF como opción de tratamiento en diversas situaciones clínicas.

Para la etiqueta Baja la función de pertenencia asociada será la función triangular, tal que $\langle 0,4,5 \rangle$. El primer valor representa dónde comienza la función, el segundo dónde se hace 1, el tercero dónde comienza a disminuir y el cuarto dónde se hace 0.

Para la etiqueta Media, utilizando la función PI, se tiene $\langle 4,5,6,7 \rangle$.

Para la etiqueta ALTA, de función de distribución gaussiana igualmente, será $\langle 6,7,8,9 \rangle$.

La Figura 5 muestra las funciones de pertenencia de las etiquetas lingüísticas de las variables de entrada.

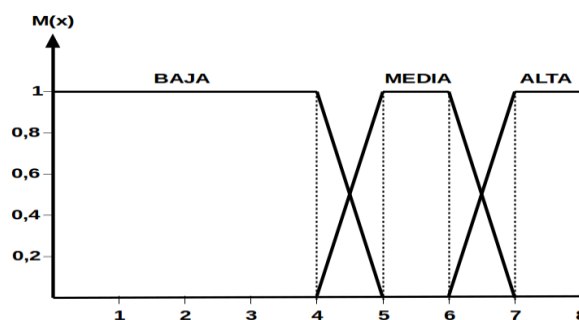


Figura 5. Funciones de pertenencia de las etiquetas lingüísticas de las variables de entrada.

Los valores de pertenencia expresado en las etiquetas lingüísticas pueden ser correspondido con los conjunto de términos lingüísticos neutrosóficos tal como muestra la tabla 2.

Tabla 2: Términos lingüísticos empleados.

Término lingüístico	Números SVN	Variables numéricas
Extremadamente buena (EB)	(1,0,0)	10
Muy muy buena (MMB)	(0.9, 0.1, 0.1)	9
Muy buena (MB)	(0.8,0.15,0.20)	5
Buena (B)	(0.70,0.25,0.30)	7
Medianamente buena (MDB)	(0.60,0.35,0.40)	6
Media (M)	(0.50,0.50,0.50)	5
Medianamente mala (MDM)	(0.40,0.65,0.60)	4
Mala (MA)	(0.30,0.75,0.70)	3
Muy mala (MM)	(0.20,0.85,0.80)	2
Muy muy mala (MMM)	(0.10,0.90,0.90)	1
Extremadamente mala (EM)	(0,1,1)	0

Utilizando la valoración de expertos en el tema se definieron las reglas de producción. Estas reglas garantizan que siempre la evaluación del potencial regenerativo de la L-PRF esté mayormente determinada por la menor evaluación obtenida en los indicadores de entrada.

Una vez que se tienen estos datos se podrá proceder a la Fuzzyficación de las variables de entrada. El universo discurso es igual para todas las variables de entrada que se han definido, por lo que todas las variables de entrada tienen las mismas etiquetas lingüísticas y funciones de pertenencia.

Luego de calcular los factores de certeza para cada una de las etiquetas de las variables de entrada, se pasará a la fase de Inferencia Fuzzy. En esta se calcularán los factores asociados a las etiquetas de las variables de salida. A partir de las cuatro reglas de producción definidas se calcularán las DISY y CTR necesarias, siguiendo el par Mínimo-Máximo de las T-Normas y S-Normas.

En la tercera fase se procederá a la Defuzzyficación que se realizará mediante el Método del Centroide. El paso será de 1, dado que x irá desde X_1 hasta X_{10} , para ganar en exactitud en la medida del potencial regenerativo de la L-PRF en la salud ósea y periodontal de los tejidos bucales. Las etiquetas de la variable de salida serán las mismas utilizadas para las variables de entrada, al igual que sus funciones de pertenencia.

4 Resultados y discusión

Para evaluar los resultados de la presente investigación se realizará una experimentación. El experimento tendrá como principal objetivo demostrar la aplicabilidad de la lógica difusa basada en la experiencia del usuario para medir el potencial regenerativo de la L-PRF en la salud ósea y periodontal de los tejidos bucales.

Se tienen los valores de entrada [3, 2, 5,] para los indicadores del potencial regenerativo de la L-PRF. En el proceso de Fuzzyficación se calculan los factores de certeza de cada una de las variables de entrada para cada una de sus etiquetas. Al aplicarle la Fuzzyficación a las variables de entrada, teniendo los valores numéricos asociados

a cada una de ellas, se obtienen los resultados de la Tabla 3. El cálculo de los grados de pertenencia se realiza según las funciones típicas de pertenencia.

Tabla 3. Grados de pertenencia de los valores de entrada a los conjuntos difusos.

Variables Lingüísticas	Etiqueta Bajo	Etiqueta Medio	Etiqueta Alto
1- Cicatrización de heridas.	(1,0,0)	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.8,0,15,0.20)
2- Vascularización del tejido regenerado	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.8,0,15,0.20)	(0.9, 0.1, 0.1)
3- Mejora en los parámetros periodontales	(0.70,0.25,0.30)	(0.70,0.25,0.30)	(0.70,0.25,0.30)

- **Mejoría en la cicatrización de heridas:** Uno de los indicadores más evidentes de que está funcionando la regeneración es la evaluación de la cicatrización de heridas. Esto puede incluir la disminución del tiempo de cicatrización desde el momento de la intervención hasta la completa recuperación del tejido. Se pueden utilizar escalas de evaluación de heridas para medir parámetros como la reducción del tamaño de la herida, el cambio en el tejido (de exudado a granulación), y la aparición de epitelización. Un proceso de cicatrización más rápido y efectivo indica que el L-PRF está cumpliendo su función regenerativa.
- **Vascularización del tejido regenerado:** La formación de nuevos vasos sanguíneos (vascularización) es crítica para la salud y funcionalidad del tejido regenerado. Se puede evaluar mediante técnicas de imagen, como la ecografía Doppler o la angiografía, o mediante la observación clínica de riego sanguíneo en el área tratada. La presencia de una red vascular adecuada es indicativa de que el L-PRF está promoviendo un entorno favorable para la regeneración, garantizando el suministro de nutrientes y oxígeno necesarios para la curación.
- **Mejora en los parámetros periodontales:** En el caso de aplicaciones en salud periodontal, los indicadores clínicos podrían incluir la reducción de la profundidad de las bolsas periodontales y una mejora en la ganancia de inserción clínica (CIG). Estas mejoras pueden medirse mediante sondaje periodontal antes y después del tratamiento. Un descenso en la profundidad de las bolsas y un aumento en la CIG indicarían que el tratamiento con L-PRF está apoyando la regeneración del tejido periodontal y ayudando a restaurar la salud oral.

El proceso de Inferencia Fuzzy se realiza a través de las reglas definidas, utilizando el par Mínimo-Máximo de las T-Normas y S-Normas. Una vez realizado este proceso se obtienen los valores que se muestran en la Tabla 4 para la variable de salida potencial regenerativo de la L-PRF en la salud ósea y periodontal de los tejidos bucales.

Tabla 4: Grados de pertenencia de los valores de entrada a los conjuntos difusos

Variables Lingüísticas	Etiqueta Bajo	Etiqueta Medio	Etiqueta Alto
Potencial regenerativo de la L-PRF en la salud ósea y periodontal de los tejidos bucales	(0.9, 0.1, 0.1)	(0.8,0,15,0.20)	(0.8,0,15,0.20)

La Inferencia Fuzzy arroja como resultados que el grado de pertenencia de la variable de salida es de 1 para la etiqueta bajo y de 0,8 para la etiqueta medio. Para Desfuzzyficar la variable de salida se aplica el Método del Centroide.

En la figura 6 se muestra el grado de pertenencia de la variable de salida (Potencial regenerativo de la L-PRF en la salud ósea y periodontal de los tejidos bucales) con valor 8.9. Aquí se observa que para el valor de esta variable, el grado de pertenencia de a la etiqueta lingüística bajo es del 100%, lo cual significa que tiene un alto potencial para ser empleado en pacientes de cirugía cardíaca bajo terapia anticoagulante .

5 Discusiones

En investigaciones relacionadas, se ha explorado el potencial del L-PRF (Fibrina Rica en Plaquetas y Leucocitos) como un biomaterial sólido que combina fibrina y leucocitos, producido sin la adición de sustancias activadoras a la sangre extraída [2, 49, 58]. Este proceso da lugar a una estructura de fibrina robusta, que se ha definido como un coágulo autógeno optimizado, generando una membrana de fibrina densa y enriquecida con factores de crecimiento y proteínas de matriz.

La técnica de obtención del L-PRF consiste en la extracción de 10 ml de sangre del paciente y su inmediata centrifugación a 3,000 rpm durante 10 minutos o a 2,700 rpm durante 12 minutos, sin el uso de anticoagulantes. En los casos de pacientes anticoagulados, se sugiere aumentar la duración de la centrifugación hasta 18 minutos. Cada tubo de extracción de sangre produce una única membrana de L-PRF. Este proceso resulta en la sedimentación de los glóbulos rojos en el fondo del tubo, donde se forma un coágulo de color rojo. En la parte superior se encuentra un suero con bajo contenido celular, y entre ambas capas está la matriz de fibrina, cargada de plaquetas y leucocitos. Al eliminar las porciones superior e inferior, se obtiene el L-PRF en forma de gel, que puede usarse de inmediato o prensarse para formar membranas [6, 54].

Una vez obtenidas las membranas, estas son sometidas a una compresión suave utilizando un kit específico, lo que permite preparar el L-PRF para su aplicación clínica en aproximadamente cinco minutos. Las membranas pueden mantenerse viables durante 2.5 a 3 horas, irrigadas con exudado, lo que ayuda a prevenir su deshidratación.

En el ámbito de la investigación y desarrollo de biomateriales, se ha introducido una forma avanzada de fibrina rica en plaquetas (A-PRF), que se obtiene a través de modificaciones en los procedimientos de centrifugación, utilizando velocidades menores (1,500 rpm durante 14 minutos). Este enfoque ha demostrado no solamente un aumento en el número de plaquetas, sino también una mejora en la funcionalidad de los linajes celulares fagocíticos, como los monocitos y macrófagos. Adicionalmente, se ha observado un incremento en la cantidad de células progenitoras vivas en comparación con el L-PRF, lo que sugiere que la A-PRF podría ofrecer ventajas significativas en la liberación de proteínas y, en consecuencia, en su aplicación clínica para la regeneración de tejidos [4, 59].

Estos hallazgos enfatizan la importancia del L-PRF y su versión avanzada, A-PRF, en el contexto de la regeneración de tejidos, abriendo nuevas perspectivas en el tratamiento de diversas condiciones clínicas. La efectividad del L-PRF en procedimientos de bioingeniería, así como su costo-efectividad en comparación con otras técnicas, lo convierten en una opción prometedora para la regeneración oral y otras aplicaciones relacionadas con la salud [5].

La investigación ha permitido corroborar el potencial regenerativo del A-PRF, que acelera la cicatrización de los tejidos blandos y duros, al mismo tiempo que reduce el edema y el dolor postoperatorio. Estas características contribuyen a una mejor evolución del proceso quirúrgico, optimizando los resultados y aumentando la satisfacción del paciente. En el ámbito de la implantología, el L-PRF muestra su versatilidad al emplearse tanto en implantes inmediatos como en aquellos colocados de manera diferida. Se utiliza en diversas presentaciones, como membranas o mezclado con hueso particulado.

Al analizar la efectividad del L-PRF en implantes colocados inmediatamente tras una extracción, se ha observado que puede mejorar la estabilidad implantaria y la regeneración ósea periimplantaria. Sin embargo, estas mejoras no son estadísticamente significativas, lo que sugiere que, aunque el L-PRF proporciona beneficios, su impacto puede variar dependiendo de las circunstancias clínicas individuales.

La colocación del coágulo de fibrina cerca de un defecto óseo podría ser beneficiosa para la curación en presencia de implantes óseos sintéticos. Esto sugiere un nuevo enfoque en el uso de coágulos de sangre, controlados mediante la química de superficie de los biomateriales, lo cual puede actuar como agentes terapéuticos para mejorar la regeneración ósea. Además, la integración de coágulos de sangre óptimos o PRP junto con estructuras porosas podría generar un microambiente nutritivo favorable para la ingeniería de tejido óseo.

El L-PRF se aplica en cirugía oral, especialmente en casos de perforaciones del seno maxilar, ya sea como membrana o como barrera de protección en lesiones óseas que contienen biomateriales como la hidroxiapatita. Su uso se extiende a la técnica de Stick bone, que implica la colocación de otro biomaterial entre dos membranas de L-PRF, lo que potencia las posibilidades de éxito en diversas intervenciones quirúrgicas [1].

Además, los resultados de distintos estudios indican que el uso de membranas de PRF puede llevar a la cobertura total de la raíz dental, así como a un estado saludable del tejido gingival tras seis meses de tratamiento. Otros hallazgos han demostrado que la aplicación de PRF contribuye a la reducción de bolsas periodontales y mejora la inserción clínica, además de incrementar la densidad radiográfica en los defectos tratados.

El L-PRF, que contiene un significativo porcentaje de leucocitos y plaquetas, es capaz de liberar de manera continua factores de crecimiento y citoquinas que son esenciales en el proceso de curación. Esto se traduce en un potencial para promover la diferenciación y proliferación celular durante más de siete días.

La preparación del L-PRF es un proceso simple que utiliza una muestra de sangre del paciente, la cual se centrifuga de acuerdo con un procedimiento específico, resultando en una membrana rica en leucocitos y factores

de crecimiento. Esto estimula no solo el crecimiento óseo, sino también la proliferación celular y la angiogénesis. Dado su enfoque económico y sus beneficios comprobados, el L-PRF debe ser considerado como una opción relevante en la cirugía oral y maxilofacial [3, 49].

A diferencia del plasma rico en plaquetas (PRP), que se presenta como un gel o suspensión, el L-PRF es una membrana de fibrina sólida generada a partir de sangre completa, sin anticoagulantes. Esta membrana posee una densa matriz tridimensional, enriquecida con plaquetas y factores de crecimiento, lo que la convierte en un complemento ideal en los procedimientos quirúrgicos, gracias a sus excelentes características de manipulación y su capacidad de suturarse al lecho de la herida. [58, 59]

Los estudios sobre los cambios dimensionales en el reborde alveolar tras extracciones dentales, comparando el uso de L-PRF y A-PRF+ con una curación sin intervención, revelan que ambos tratamientos mostraron tasas de éxito superiores al control respecto al relleno alveolar. Esto enfatiza la relevancia del uso de L-PRF y A-PRF+ en la promoción de la salud y regeneración ósea postquirúrgica, y corrobora los resultados alcanzados en la presente investigación, donde se identificó un alto potencial regenerativo de la L-PRF en la salud ósea y periodontal de los tejidos bucales.

6 Conclusión

La aplicación de la teoría de la lógica difusa en el análisis y evaluación del potencial regenerativo de la L-PRF ha permitido generar datos precisos y cuantificables, en comparación con métodos cualitativos tradicionales. Este enfoque riguroso y objetivo ha sido fundamental para determinar con exactitud los beneficios de la L-PRF en la regeneración de los tejidos óseos y periodontales de la cavidad oral.

Los resultados obtenidos a través de la implementación de la lógica difusa demuestran de manera contundente el alto potencial regenerativo de la L-PRF en la salud ósea y periodontal de los tejidos bucales. La membrana de fibrina rica en leucocitos y plaquetas ha sido capaz de estimular de manera efectiva la diferenciación y proliferación celular, la angiogénesis y la curación de heridas, en comparación con otros tratamientos convencionales.

Debido a la capacidad de la lógica difusa para procesar datos imprecisos y ambiguos, se ha logrado cuantificar con detalle los efectos positivos de la L-PRF en diversos procedimientos clínicos, como la colocación de implantes inmediatos, el manejo de defectos óseos y el tratamiento de recesiones gingivales. Estas mejoras se han evidenciado en parámetros como la estabilidad implantaria, la regeneración ósea periimplantaria, la cobertura radicular completa y la reducción de bolsas periodontales.

Asimismo, el análisis con lógica difusa ha permitido determinar que el uso sistemático de la L-PRF en cirugía oral y maxilofacial debe ser considerado como una opción clínica de gran interés, dado su enfoque económico, su sencillo proceso de preparación y sus probados beneficios en la salud de los tejidos bucales.

Referencias

- [1] G. B. Reyes, E. M. Moreira, O. R. Martín, J. E. A. Abreu, and M. S. Ruiz, "Evaluación de algunos factores predictivos de dificultad en la extracción de los terceros molares inferiores retenidos," *Mediciego*, vol. 23, no. 1, pp. 8-15, 2017.
- [2] P. Dragonas, T. Katsaros, G. Avila-Ortiz, L. Chambrone, J. H. Schiavo, and A. Palaiologou, "Effects of leukocyte-platelet-rich fibrin (L-PRF) in different intraoral bone grafting procedures: a systematic review," *International journal of oral and maxillofacial surgery*, vol. 48, no. 2, pp. 250-262, 2019.
- [3] A. A. Rodríguez, D. M. Navarro, and J. C. Moya, "Grado de dificultad en terceros molares mandibulares retenidos/Degree of difficulty in mandibular impacted third molars," *Archivos del Hospital Universitario "General Calixto García"*, vol. 9, no. 1, pp. 65-74, 2021.
- [4] A. Crisci, S. Manfredi, and M. Crisci, "Fibrin rich in Leukocyte-Platelets (L-PRF) and Injectable Fibrin Rich Platelets (I-PRF), two opportunity in regenerative surgery: Review of the sciences and literature," *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences (IOSR-JDMS)*, vol. 18, no. 4, pp. 66-79, 2019.
- [5] R. Loureiro, D. Sumi, H. Tames, S. Ribeiro, C. Soares, R. Gomes, and M. Daniel, "Cross-sectional imaging of third molar-related abnormalities," *American Journal of Neuroradiology*, vol. 41, no. 11, pp. 1966-1974, 2020.
- [6] L. H. Matzen, L. Schropp, R. Spin-Neto, and A. Wenzel, "Radiographic signs of pathology determining removal of an impacted mandibular third molar assessed in a panoramic image or CBCT," *Dentomaxillofacial Radiology*, vol. 46, no. 1, pp. 20160330, 2017.
- [7] M. M. Q. Marquez, J. A. Beltrán-Silva, J. B. B. Morales, A. E. Alva, and C. E. D. C. López, "Relación entre la edad cronológica y la mineralización del tercer molar inferior según método de Demirjian," *Revista Estomatológica Herediana*, vol. 24, no. 2, pp. 63-63, 2014.

- [8] L. A. Lumba, U. Khayam, and L. S. Lumba, "Application of Fuzzy Logic for Partial Discharge Pattern Recognition." pp. 210-215.
- [9] M. Chang, K. Kim, and D. Jeon, "Research on Terrain Identification of the Smart Prosthetic Ankle by Fuzzy Logic," *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 27, no. 9, pp. 1801-1809, 2019.
- [10] I. Soesanti, and R. Syahputra, "A Fuzzy Logic Controller Approach for Controlling Heat Exchanger Temperature," *Journal of Electrical Technology UMY*, vol. 3, no. 4, pp. 206-213, 2020.
- [11] S. Zhang, X. Huang, J. Min, Z. Chu, X. Zhuang, and H. Zhang, "Improved fuzzy logic method to distinguish between meteorological and non-meteorological echoes using C-band polarimetric radar data," *Atmospheric Measurement Techniques*, vol. 13, no. 2, pp. 537-537, 2020.
- [12] J. E. Ricardo, M. Y. L. Vázquez, A. J. P. Palacios, and Y. E. A. Ojeda, "Inteligencia artificial y propiedad intelectual," *Universidad y Sociedad*, vol. 13, no. S3, pp. 362-368, 2021.
- [13] I. A. González, A. J. R. Fernández, and J. E. Ricardo, "Violación del derecho a la salud: caso Albán Comejo Vs Ecuador," *Universidad Y Sociedad*, vol. 13, no. S2, pp. 60-65, 2021.
- [14] G. Á. Gómez, J. V. Moya, J. E. Ricardo, and C. V. Sánchez, "La formación continua de los docentes de la educación superior como sustento del modelo pedagógico," *Revista Conrado*, vol. 17, no. S1, pp. 431-439, 2021.
- [15] J. Fan, S. Yu, J. Chu, D. Chen, M. Yu, T. Wu, J. Chen, F. Cheng, and C. Zhao, "Research on multi-objective decision-making under cloud platform based on quality function deployment and uncertain linguistic variables," *Advanced Engineering Informatics*, vol. 42, pp. 100932, 2019.
- [16] C. Li, and J. Yuan, "A new multi-attribute decision-making method with three-parameter interval grey linguistic variable," *International Journal of Fuzzy Systems*, vol. 19, no. 2, pp. 292-300, 2017.
- [17] S. Xian, Z. Yang, and H. Guo, "Double parameters TOPSIS for multi-attribute linguistic group decision making based on the intuitionistic Z-linguistic variables," *Applied Soft Computing*, vol. 85, pp. 105835, 2019.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] R. Ahsan, T. T. Chowdhury, W. Ahmed, M. A. Mahia, T. Mishma, M. R. Mishal, and R. M. Rahman, "Prediction of Autism Severity Level in Bangladesh Using Fuzzy Logic: FIS and ANFIS." pp. 201-210.
- [22] E. Kayacan, S. Coupland, R. John, and M. A. Khanesar, "Elliptic membership functions and the modeling uncertainty in type-2 fuzzy logic systems as applied to time series prediction." pp. 1-7.
- [23] M. M. G. Lorenzo, and R. E. B. Pérez, "A model and its different applications to case-based reasoning," *Knowledge-based systems*, vol. 9, no. 7, pp. 465-473, 1996.
- [24] Y. Li, and S. Tong, "Adaptive fuzzy control with prescribed performance for block-triangular-structured nonlinear systems," *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 26, no. 3, pp. 1153-1163, 2017.
- [25] V. Kreinovich, O. Kosheleva, and S. N. Shahbazova, "Why triangular and trapezoid membership functions: A simple explanation," *Recent Developments in Fuzzy Logic and Fuzzy Sets*, pp. 25-31: Springer, 2020.
- [26] G. Nápoles, I. Grau, and R. Bello, "Constricted Particle Swarm Optimization based algorithm for global optimization," *Polibits*, no. 46, pp. 05-11, 2012.
- [27] 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.
- [28] S. Mustafá, S. Asghar, and M. Hanif, "Fuzzy logistic regression based on least square approach and trapezoidal membership function," *Iranian Journal of Fuzzy Systems*, vol. 15, no. 6, pp. 97-106, 2018.
- [29] R. Bello, A. Puris, A. Nowe, Y. Martínez, and M. M. García, "Two step ant colony system to solve the feature selection problem." pp. 588-596.
- [30] S. Azimi, and H. Miar-Naimi, "Designing programmable current-mode Gaussian and bell-shaped membership function," *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, vol. 102, no. 2, pp. 323-330, 2020.
- [31] A. C. Tolga, I. B. Parlak, and O. Castillo, "Finite-interval-valued Type-2 Gaussian fuzzy numbers applied to fuzzy TODIM in a healthcare problem," *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 87, pp. 103352, 2020.
- [32] A. Dorzhigulov, and A. P. James, "Deep Neuro-Fuzzy Architectures," *Deep Learning Classifiers with Memristive Networks*, pp. 195-213: Springer, 2020.

- [33] M. Bello, G. Nápoles, K. Vanhoof, and R. Bello, "Data quality measures based on granular computing for multi-label classification," *Information Sciences*, vol. 560, pp. 51-67, 2021.
- [34] R. Bello, A. Nowe, Y. Caballero, Y. Gómez, and P. Vrancx, "A model based on ant colony system and rough set theory to feature selection." pp. 275-276.
- [35] 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.
- [36] 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.
- [37] 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.
- [38] A. Motylska-Kuzma, and J. Mercik, "Fuzzyfication of Repeatable Trust Game." pp. 135-144.
- [39] M. Kankaras, and I. Cristea, "Fuzzy Reduced Hypergroups," *Mathematics*, vol. 8, no. 2, pp. 263, 2020.
- [40] K. Kolekar, B. Bardhan, T. Hazra, and S. Chakrabarty, "Fuzzy Logic Modelling to Predict Residential Solid Waste Generation: A Case Study of Baranagar," *Waste Management and Resource Efficiency*, pp. 1155-1166: Springer, 2019.
- [41] U. Shrivastav, S. K. Singh, and A. Khamparia, "A Nobel Approach to Detect Edge in Digital Image Using Fuzzy Logic." pp. 63-74.
- [42] J. Silva, D. Marques, R. Aquino, and O. Nobrega, "A PLC-based Fuzzy Logic Control with Metaheuristic Tuning," *Studies in Informatics and Control*, vol. 28, no. 3, pp. 265-278, 2019.
- [43] H. Wang, F. Smarandache, Y. Zhang, and R. Sunderraman, "Single valued neutrosophic sets," *Review of the Air Force Academy*, no. 1, pp. 10, 2010.
- [44] S. Pramanik, R. Roy, T. K. Roy, and F. Smarandache, "Multi attribute decision making strategy on projection and bidirectional projection measures of interval rough neutrosophic sets," *Neutrosophic Sets and Systems*, vol. 19, pp. 101-109, 2018.
- [45] F. Ahmad, A. Y. Adhami, and F. Smarandache, "Single valued neutrosophic hesitant fuzzy computational algorithm for multiobjective nonlinear optimization problem," *Neutrosophic sets and systems*, vol. 22, pp. 76-86, 2018.
- [46] M. Y. L. Vázquez, K. Y. P. Teurel, A. F. Estrada, and J. G. González, "Modelo para el análisis de escenarios basados en mapas cognitivos difusos: estudio de caso en software biomédico," *Ingeniería y Universidad: Engineering for Development*, vol. 17, no. 2, pp. 375-390, 2013.
- [47] J. L. G. González, and O. Mar, "Algoritmo de clasificación genética para la generación de reglas de clasificación," *Serie Científica*, vol. 8, no. 1, 2015.
- [48] C. R. García - Jacas, Y. Marrero - Ponce, C. A. Brizuela, J. Suárez - Lezcano, and F. Martínez - Rios, "Smoothed Spherical Truncation based on Fuzzy Membership Functions: Application to the Molecular Encoding," *Journal of computational chemistry*, vol. 41, no. 3, pp. 203-217, 2020.
- [49] Esparza-Pijal, F. I., Sandoval-Loyo, J. A., Zuñiga-Anilema, L. H., & Estupiñán-Ricardo, J. "Incidencia del consumo de sustancias sujetas a fiscalización en el rendimiento académico de los adolescentes" *CIENCIAMATRIA*, vol. 10 núm. 1, pp 795-805, 2024.
- [50] Moncayo, V. E. V., Ricardo, J. E., Mosquera, G. A. C., & Salcedo, V. H. L. "El derecho a la tutela judicial efectiva y el derecho a la igualdad de las personas con discapacidad en relación con la estabilidad laboral". *Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina*, vol. 10, pp 161-173, 2022.
- [51] Estupiñan, R. J., Fernández, A. J. R., Sánchez, I. R. A., Cobas, D. E. P., & Soto, O. E. V. "Producción científica y visibilidad de investigadores UNIANDES en SCOPUS: estudio bibliométrico retrospectivo en Ecuador". *Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud*, vol. 34 núm. 1, pp 31, 2023.
- [52] Estupiñan, R. J., Vázquez, M. Y. L., Gómez, S. D. Á., Manzanet, J. E. A., Soto, O. E. V., & Guzmán, A. A. R. "La aplicación de la neutrosofía en las ciencias médicas: una revisión bibliográfica narrativa". *Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud*, vol. 34 núm. 1, pp 32, 2023.
- [53] Estupiñán Ricardo, J., Domínguez Menéndez, J. J., Barcos Arias, I. F., Macías Bermúdez, J. M., & Moreno Lemus, N. "Neutrosophic K-means for the analysis of earthquake data in Ecuador". *Neutrosophic Sets and Systems*, vol. 44 núm. 1, pp 29, 2021
- [54] Feigenblatt, O. F. V., & Estupiñán Ricardo, J. "El reto de la sostenibilidad en los países en desarrollo: el caso de Tailandia". *Revista Universidad y Sociedad*, vol. 15 núm. 4, pp 394-402, 2023.
- [55] 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.

- [56] Márquez-Carriel, G., Vergara-Romero, A., Márquez-Sánchez, F., & Albán-Molestina, G. "Bidependencia Internacional en Ecuador: Estados Unidos y China". *Revista Científica ECOCIENCIA*, vol. 9 núm. 6, pp 1-19, 2022.
- [57] Vergara-Romero, A., Jimber-del-Río, J. A., & Márquez-Sánchez, F. "Food autonomy within food sovereignty: Evidence from a structural model". *Agronomy*, vol. 12 núm. 5, pp 1141, 2022.
- [58] Leonard, Y. G., Sánchez, F. M., del Río, J. A. J., & Romero, A. V. "Capítulo 4. Tourist destination management and cultural heritage: a perspective of the city of Havana" *La gestión turística del patrimonio: una visión multidisciplinaria*, p. 93. Thomson Reuters Aranzadi, 2022.
- [59] Márquez-Carriel, G., Márquez-Sánchez, F., & Vergara-Romero, A. "Relationship between the people's Republic of China and the Republic of Ecuador: a perspective from the dependency theory." *Universidad y Sociedad*, vol. 15 núm. 2, pp 49-62, 2023.

Recibido: 9 de octubre de 2024. Aceptada: 6 de noviembre de 2024