



Método multicriterio neutrosófico para la evaluación de la activación de irrigantes de forma ultrasónica y manual en las desinfecciones de conductos radiculares en endodoncias

Neutrosophic multicriteria method for the evaluation of ultrasonic and manual irrigant activation in root canal disinfection in endodontics

Luis Fernando Pérez Solís¹, Melanie Anahí Fiallos Acosta², and Doménica Carolina Moscoso Albuja³

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

² Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato, Ecuador; oa.melanieafa36@uniandes.edu.ec

³ Universidad Regional Autónoma de Los Andes, Ambato, Ecuador; oa.domenicacma59@uniandes.edu.ec

Resumen. La presente investigación tiene como objetivo desarrollar un método multicriterio neutrosófico para la evaluación de la activación de irrigantes de forma ultrasónica y manual en la desinfección de conductos radiculares en endodoncias. El estudio se centra en la eficacia de la activación de los irrigantes ultrasónicos y manuales, así como en aquellas técnicas diagnosticadas en el éxito o fracaso del tratamiento endodóntico, ya que permiten la limpieza y desinfección de los conductos radiculares. Sin embargo, este paso es de suma importancia en la práctica odontológica, donde los profesionales deben ofrecer un tratamiento eficaz y efectivo para los pacientes que lo necesiten, evitando fracasos endodónticos, fracturas de las piezas dentales, inflamación en la zona periapical o necrosis del tejido pulpar. Estos problemas son causados principalmente por la caries dental y la acumulación de microorganismos patógenos, que dan origen a enfermedades de carácter periodontal. Por tanto, el éxito de la activación de los irrigantes radica en que la forma ultrasónica ayuda a eliminar rápidamente estas afecciones en las piezas dentales mediante la solución de hipoclorito de sodio y otros agentes. En cambio, la activación manual no brinda la misma eficacia, ya que su método de desinfección se realiza con jeringas e instrumentación que, en muchos casos, puede perforar el tercio periapical de los conductos radiculares, lo que afectaría la zona del tejido pulpar.

Palabras Claves: método multicriterio neutrosófico, evaluación, activación de irrigantes, ultrasónica, desinfecciones de conductos radiculares, endodoncias.

Abstract. The present research aims to develop a multicriteria neutrosophic method for the evaluation of ultrasonic and manual activation of irrigants in the disinfection of root canals in endodontics. The study focuses on the efficacy of ultrasonic and manual activation of irrigants, as well as on those techniques diagnosed in the success or failure of endodontic treatment, since they allow the cleaning and disinfection of root canals. However, this step is of utmost importance in dental practice, where professionals must offer an efficient and effective treatment for patients who need it, avoiding endodontic failures, fractures of teeth, inflammation in the periapical area or necrosis of pulp tissue. These problems are mainly caused by dental caries and the accumulation of pathogenic microorganisms, which give rise to periodontal diseases. Therefore, the success of irrigant activation lies in the fact that the ultrasonic method helps to quickly eliminate these conditions in the teeth by means of the sodium hypochlorite solution and other agents. On the other hand, manual activation does not provide the same effectiveness, since its disinfection method is carried out with syringes and instruments that, in many cases, can perforate the periapical third of the root canals, which would affect the pulp tissue area.

Keywords: multicriteria neutrosophic method, evaluation, activation of irrigants, ultrasound, root canal disinfections, endodontics.

1 Introducción

La limpieza y desinfección de todas las áreas del conducto radicular utilizando soluciones irrigadoras es fundamental para el éxito del tratamiento endodóntico. Varios estudios han demostrado que, durante la preparación mecánica, muchas zonas del conducto no son alcanzadas por los instrumentos, afectando casi exclusivamente al cuerpo central del conducto [1]. En este contexto, la activación de irrigantes mediante ultrasonido se ha mostrado más eficaz para limpiar y desinfectar los conductos radiculares, sin las limitaciones que presenta la cavitación, lo que reduce el riesgo de transporte, perforación y desgaste de las paredes del canal, especialmente en el tercio apical.

Por lo tanto, la irrigación se considera un procedimiento clave en el tratamiento endodóntico. Los profesionales deben seleccionar la técnica y el sistema de irrigación más convenientes, ya sea manual o ultrasónico, con el fin de asegurar una desinfección completa de los conductos radiculares [2, 31]. Es crucial utilizar diferentes soluciones durante esta fase para eliminar tanto el tejido orgánico como los residuos generados durante la instrumentación. La efectividad de la limpieza, tanto mecánica como química, depende de que el irrigante entre en contacto con la totalidad del conducto radicular, siendo el tercio apical particularmente desafiante debido a su menor diámetro y a las complejidades anatómicas.

La investigación en este campo destaca la necesidad de desarrollar dispositivos eficaces para la limpieza y desinfección del sistema de conductos radiculares. Estos procedimientos de irrigación, junto con sistemas de agitación que faciliten la llegada del irrigante a zonas de difícil acceso, son esenciales, ya que muchas áreas son inalcanzables para los instrumentos manuales y rotatorios.

Irrigación manual

La irrigación manual implica el uso de presión positiva, realizada a través de una jeringa y una aguja de irrigación endodóntica, junto con cepillos y agitación manual utilizando un cono de gutapercha que se adapta al conducto radicular. Este método es preferentemente utilizado con hipoclorito de sodio, que fluye mediante jeringas y agujas adecuadas, generando un efecto de disolución y arrastre de los detritos presentes en el conducto. Generalmente, se emplean jeringas desechables de 5 cc y agujas desechables sin bisel de 25 mm de largo y 0.5 mm de diámetro.

Se aconseja realizar la irrigación antes, durante y después de la instrumentación de los conductos. Antes de iniciar la irrigación con hipoclorito de sodio, es indispensable verificar el correcto sellado del aislamiento absoluto con dique de goma en todas las paredes del cuello dental, para evitar que cualquier sustancia química más potente se derrame en la cavidad bucal del paciente. Además, al irrigar, se debe colocar una gasa en contacto íntimo con la corona dental para absorber el reflujo del líquido irrigante [3, 32].

Entre las ventajas de la irrigación manual se destacan el arrastre mecánico del contenido del conducto, la disolución tisular, la acción antibacteriana, la lubricación y el acondicionamiento de la superficie dentinaria.

Activación ultrasónica

La activación ultrasónica consiste en un procedimiento endodóntico que utiliza instrumentos de frecuencia para desinfectar eficazmente mediante la penetración del irrigante en los conductos dentales. Estos dispositivos son capaces de desalojar biopelículas adheridas a las paredes del conducto mediante un mecanismo de transmisión acústica, además de provocar cavitación hidrodinámica, caracterizada por la formación de burbujas que implosionan alrededor de los instrumentos [4].

Este método implica emplear energía ultrasónica a aditamentos o instrumentos que, al activarse en el interior del conducto, generan movimiento en el agente irrigante. El uso de ultrasonidos en endodoncia fue introducido por Richman en 1957. Originalmente, se usó no solo para la activación de la irrigación, sino también para la instrumentación; sin embargo, se discontinuó en ese contexto debido a su potencial para causar grandes desplazamientos apicales y deformaciones en el conducto, comprometiendo así el éxito del tratamiento.

Existen dos tipos de irrigación ultrasónica: una que se combina con la instrumentación ultrasónica y otra denominada irrigación pasiva ultrasónica (PuI), donde no se utiliza instrumentación ultrasónica. El término PuI fue introducido por Weller y colaboradores en 1980. La irrigación pasiva implica que el instrumento utilizado no ejerce efecto cortante sobre las paredes, sino que transmite únicamente la energía al irrigante, provocando fenómenos como microcorrientes acústicas y cavitación.

2 Materiales y métodos

La sección presenta la estructura del funcionamiento del método multicriterio neutrosófico para la evaluación de la activación de irrigantes de forma ultrasónica y manual en las desinfecciones de conductos radiculares en endodoncias. El funcionamiento está guiado por un flujo de trabajo de tres actividades [5, 6, 33]. El método basa su funcionamiento a partir un entorno neutrosófico para modelar la incertidumbre.

Se sustenta sobre un esquema de análisis de decisión lingüística que puede abordar criterios de diferente naturaleza y proporcionar resultados lingüísticos en un entorno neutrosófico [7], [8-10]. La figura 1 muestra las actividades fundamentales del método propuesto.

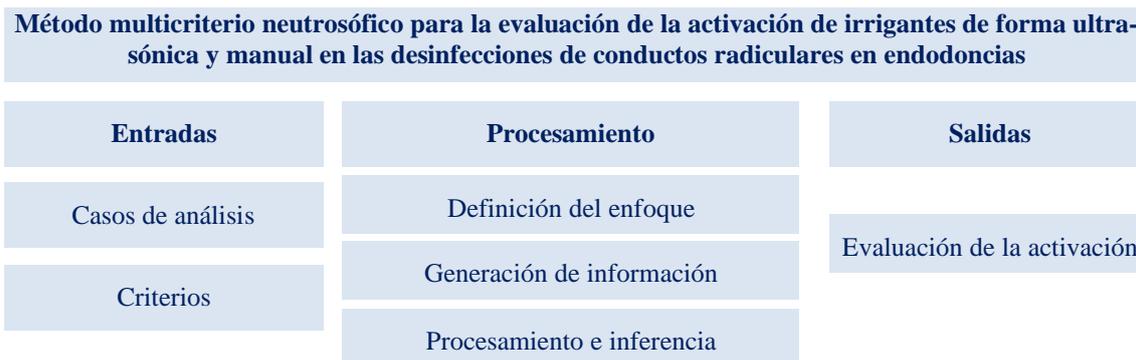


Figura 1: Representación del método propuesto.

El método está diseñado para soportar el flujo de trabajo y para la evaluación de la activación de irrigantes de forma ultrasónica y manual en las desinfecciones de conductos radiculares en endodoncias. Consta de las siguientes actividades: definición del enfoque, generación de información, y procesamiento e inferencia [11, 27, 34]. A continuación se describen las diferentes etapas del método:

1. Definición del enfoque

En esta etapa, el marco de evaluación se define para corregir la estructura sobre la toma de decisiones y para la evaluación de la activación de irrigantes de forma ultrasónica y manual en las desinfecciones de conductos radiculares en endodoncias. El marco se modela a partir de los siguientes elementos:

- Sea $E = \{e_1, \dots, e_n\}, (n > 2)$ un conjunto de expertos.
- Sea $TI = \{ti_1, \dots, ti_m\}, (m > 2)$ un conjunto de casos de análisis.
- Sea $C = \{c_1, \dots, c_k\}, (k > 2)$ un conjunto de criterios que caracterizan la evaluación de la activación de irrigantes de forma ultrasónica y manual en las desinfecciones de conductos radiculares en endodoncias.

Se utiliza un marco de información heterogéneo [12, 26]. Para cada experto se puede usar un dominio diferente numérico o lingüístico para evaluar cada criterio, atendiendo a su naturaleza en un entorno neutrosófico [13], [14, 15]. A partir de la modelación de los elementos que definen el enfoque se realiza la generación de las informaciones.

2. Generación de información

Mediante la definición del marco de trabajo se obtiene el conocimiento del conjunto de expertos. Por cada experto se suministra sus preferencias mediante el uso de vectores de utilidad. El vector de utilidad se expresa mediante la ecuación 1:

(1)

$$P_j^i = \{p_{j1}^i, \dots, p_{jh}^i\}$$

Donde:

P_j^i representa la preferencia otorgada al criterio c_k sobre los casos de análisis r_j expresado por el experto e_i .

La etapa obtiene las informaciones que son de necesidad para el procesamiento de las inferencias, a partir del conjunto de datos obtenidos mediante la consulta a los expertos, se realiza el procesamiento y la inferencia de las informaciones en función de obtener las recomendaciones sobre las toma de decisiones sobre para la evaluación de la activación de irrigantes de forma ultrasónica y manual en las desinfecciones de conductos radiculares en endodoncias.

3. Procesamiento e inferencia

La etapa de procesamiento e inferencia es la encargada de, a partir del marco de trabajo establecido con el conjunto de datos obtenidos, realizar la evaluación lingüística colectiva que sea interpretable para la toma de decisiones para la evaluación de la activación de irrigantes de forma ultrasónica y manual en las desinfecciones de conductos radiculares en endodoncias. Para ello la información es unificada y agregada [16, 17].

A partir del procesamiento se realiza un proceso de ordenamiento de alternativas que son priorizados para tratar con información heterogénea y dar resultados lingüísticos.

A 2TLNNS se define como [18, 32]:

A partir de $S = \{s_0, s_g\}$ que representa una 2TLSSs con cardinalidad impar $t + 1$.

Se define para $(S_t, a), (S_i, b), (S_f, c) \in L$ y $a, b, c \in [0, t]$, donde $(S_t, a), (S_i, b), (S_f, c) \in L$ expresan independientemente del grado de verdad, grado de indeterminación y el grado de falsedad por 2TLSSs.

Por lo tanto: 2TLNNSs se define:

$$l_j = \{(S_t, a), (S_i, b), (S_f, c)\} \quad (2)$$

Donde:

$$0 \leq \Delta^{-1}(St_j, a) \leq t, 0 \leq \Delta^{-1}(Si_j, b) \leq t, 0 \leq \Delta^{-1}(Sf_j, c) \leq t$$

$$0 \leq \Delta^{-1}(St_j, a) + 0 \leq \Delta^{-1}(Si_j, b) + 0 \leq \Delta^{-1}(Sf_j, c) \leq 3t$$

Mediante la función de puntuación y precisión se clasifica 2TLNN [19].

Sea

$$l_1 = \{(St_1, a), (Si_1, b), (Sf_1, c)\} a$$

2TLNN en L la función de puntuación y precisión en l_1 se define como:

$$S(l_1) = \Delta \left\{ \frac{2t + \Delta^{-1}(St_1, a) - \Delta^{-1}(Si_1, b) - \Delta^{-1}(Sf_1, c)}{3} \right\}, \Delta^{-1}(s(l_1)) \in [0, t] \quad (3)$$

$$H(l_1) = \Delta \left\{ \frac{t + \Delta^{-1}(St_1, a) - \Delta^{-1}(Sf_1, c)}{2} \right\}, \Delta^{-1}(h(l_1)) \in [0, t] \quad (4)$$

3. Procesamiento e inferencia:

La información se unifica en un dominio lingüístico específico (S_T). La información numérica se transforma al dominio lingüístico (S_T) siguiendo estos pasos:

- Seleccionar un dominio lingüístico específico, denominado conjunto de términos lingüísticos básicos (S_T).
- Transformación de valores numéricos en $[0, 1]$ al $F(S_T)$.
- Transformación de conjuntos difusos S_T sobre el en 2-tupla lingüística.

La agregación permite la unificación de las informaciones para lo cual se desarrolla mediante dos pasos con el objetivo de calcular una evaluación global de los casos de análisis.

El operador de agregación unifica las diferentes ponderaciones expresadas por cada experto [20], teniendo en cuenta su conocimiento y su importancia en el proceso toma de decisiones para determinar apoyar la toma de decisiones para la evaluación de la activación de irrigantes de forma ultrasónica y manual en las desinfecciones de conductos radiculares en endodoncias.

El paso final en el proceso de priorización es establecer una clasificación entre los casos de análisis, esta clasificación permite priorizar los casos analizados con más valor.

El caso de análisis más significativo es aquella que tiene la evaluación colectiva máxima $Max \{(r_i, a_j), = 1, 2, \dots, n\}$. Los requisitos se priorizan según este valor en orden decreciente.

3 Resultados y discusión

La presente sección, describe el funcionamiento del método multicriterio neutrosófico para la evaluación de la activación de irrigantes de forma ultrasónica y manual en las desinfecciones de conductos radiculares en endodoncias. Se realizó un estudio de caso aplicado a una organización para la evaluación de la activación de irrigantes de forma ultrasónica y manual en las desinfecciones de conductos radiculares en endodoncias. El objetivo consistió en determinar la toma de decisiones para la evaluación de la activación de irrigantes de forma ultrasónica y manual en las desinfecciones de conductos radiculares en endodoncias. El ejemplo ilustra la aplicabilidad del método.

Desarrollo de la actividad 1: Marco de evaluación

Para el presente estudio de caso, se identificó un marco de trabajo compuesto por:

$E = \{e_1, e_3\}$, que representan los 3 expertos que intervinieron en el proceso.

Los cuales realizan la evaluación:

$Ps = \{Ps_1, Ps_6\}$, de 6 Casos de análisis

A partir de la valoración de los

$C = \{c_1, c_7\}$ los cuales conforman los 7 criterios valorativos.

La tabla 1 muestra los criterios utilizados.

Tabla 1: Criterios utilizados para la evaluación de la activación de irrigantes de forma ultrasónica y manual en las desinfecciones de conductos radiculares en endodoncias.

No	Criterio	Descripción
1	Eficacia antibacteriana	Medir la reducción de la carga bacteriana en el conducto radicular después de la activación del irrigante. Esto puede incluir cultivos microbiológicos o pruebas de viabilidad celular.
2	Distribución del irrigante	Evaluar la capacidad del irrigante para alcanzar y penetrar en todas las áreas del conducto radicular, incluyendo complejidades anatómicas como curvas o ramificaciones.
3	Eliminación de debris	Observar la efectividad en la remoción de residuos dentales, como tejido necrótico y restos de la pasta, después de la activación. Esto puede medirse visualmente o a través de evaluaciones volumétricas.
4	Afectación del tejido periapical	Analizar el impacto que tiene la activación de irrigantes en el tejido periapical circundante, buscando tanto efectos positivos en la desinfección como potenciales efectos adversos.
5	Tiempos de activación	Evaluar la duración óptima de la activación ultrasónica o manual para lograr la desinfección más efectiva sin causar daño al tejido dental.
6	Interacción con materiales de relleno	Considerar si la activación del irrigante afecta la integridad de los materiales de obturación del conducto (como gutapercha) o de selladores utilizados.
7	Experiencia del operador	Tomar en cuenta la habilidad y la técnica del operador en la aplicación de las técnicas de irrigación ultrasónica y manual, lo que puede influir significativamente en los resultados obtenidos.

Cada experto podría dar la información de forma numérica o lingüística atendiendo a la naturaleza de los criterios. Se elige un dominio lingüístico común para verbalizar los resultados que se expresan en la Figura 2.

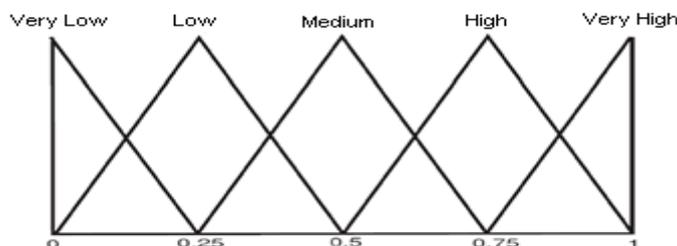


Figura 2. Dominio de Selección S_T .

Para los valores numéricos, se utilizará la escala lingüística siguiente con números neutrosóficos de valor único propuestos en la Tabla 2 [17].

Tabla 2: Términos lingüísticos empleados.

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)

Desarrollo de la actividad 2: Generación de información

A partir de la información obtenida sobre los casos de análisis, son almacenadas para su posterior procesamiento. El marco de evaluación es presentado en la Tabla 3. Los criterios de evaluación se realizan en la escala S_T .

Tabla 3: Presentación de los resultados

	e_1			e_2			e_3		
c_1	[0.3, 0.3, 0.2]	[0.6, 0.3, 0.2]	[0.8, 0.1, 0.2]	[0.7, 0.3, 0.1]	[0.5, 0.3, 0.3]	[0.6, 0.2, 0.2]	[0.6, 0.2, 0.2]	[0.9, 0.2, 0.1]	[0.5, 0.4, 0.1]
c_2	[0.9, 0.1, 0.2]	[0.9, 0.1, 0.2]	[0.9, 0.1, 0.2]	[0.9, 0.1, 0.2]	[0.9, 0.2, 0.1]	[0.7, 0.3, 0.1]	[0.6, 0.2, 0.2]	[0.6, 0.3, 0.2]	[0.5, 0.3, 0.3]
c_3	[0.8, 0.1, 0.2]	[0.6, 0.2, 0.2]	[0.3, 0.3, 0.2]	[0.5, 0.4, 0.1]	[0.5, 0.1, 0.4]	[0.8, 0.1, 0.3]	[0.6, 0.3, 0.2]	[0.9, 0.1, 0.2]	[0.7, 0.3, 0.1]
c_4	[0.5, 0.3, 0.3]	[0.9, 0.1, 0.2]	[0.5, 0.2, 0.4]	[0.8, 0.1, 0.3]	[0.8, 0.1, 0.2]	[0.7, 0.3, 0.1]	[0.9, 0.2, 0.1]	[0.6, 0.3, 0.2]	[0.6, 0.2, 0.2]
c_5	[0.3, 0.3, 0.2]	[0.6, 0.3, 0.2]	[0.8, 0.1, 0.2]	[0.7, 0.3, 0.1]	[0.5, 0.3, 0.3]	[0.6, 0.2, 0.2]	[0.6, 0.2, 0.2]	[0.9, 0.2, 0.1]	[0.5, 0.4, 0.1]
c_6	[0.5, 0.1, 0.4]	[0.9, 0.2, 0.1]	[0.5, 0.3, 0.3]	[0.6, 0.2, 0.2]	[0.3, 0.3, 0.2]	[0.5, 0.4, 0.1]	[0.9, 0.1, 0.2]	[0.6, 0.2, 0.2]	[0.8, 0.1, 0.3]
c_7	[0.5, 0.3, 0.3]	[0.9, 0.2, 0.1]	[0.5, 0.3, 0.3]	[0.8, 0.1, 0.3]	[0.3, 0.3, 0.2]	[0.5, 0.4, 0.1]	[0.9, 0.2, 0.1]	[0.6, 0.3, 0.2]	[0.8, 0.1, 0.3]

La información se transforma para unificar la información heterogénea. Los juegos difusos posteriores sobre S_T se transforman en 2-tuplas lingüísticas.

A partir del proceso de agregación se calculó una evaluación de los casos de análisis. Para el proceso de agregación se utilizó el promedio de ponderación de los números neutrosóficos lingüísticos de 2 tuplas. 2-TLNNWA a partir de los datos referidos por para cada experto [19, 26, 28]. En este caso los vectores de ponderación $W=(0.9, 0.6, 0.6, 0.9, 0.9, 0.6, 0.6)$.

Tabla 4: Procesamiento del resultado de los datos.

Casos de análisis	Preferencias
PS_1	[0.9, 0.9, 0.9, 0.9, 0.9, 0.6, 0.6]
PS_2	[0.6, 0.6, 0.6, 0.9, 0.9, 0.6, 0.6]
PS_3	[0.9, 0.6, 0.9, 0.6, 0.6, 0.9, 0.9]
PS_4	[0.9, 0.6, 0.9, 0.9, 0.6, 0.9, 0.9]
PS_5	[0.9, 0.6, 0.6, 0.9, 0.9, 0.6, 0.6]
PS_6	[0.9, 0.9, 0.9, 0.9, 0.6, 0.6, 0.6]

Para calcular la evaluación colectiva, el operador 2-TLNNWA se utiliza el vector de ponderación $V= [0.6, 0.6, 0.9, 0.6, 0.6, 0.9, 0.6]$ de la tabla 5.

Tabla 5: Evaluación colectiva para los casos de análisis.

[0.9, 0.6, 0.6, 0.9, 0.9, 0.6, 0.6]	PS_5
[0.6, 0.6, 0.6, 0.9, 0.9, 0.6, 0.6]	PS_2
[0.9, 0.9, 0.9, 0.9, 0.9, 0.6, 0.6]	PS_1
[0.9, 0.9, 0.9, 0.9, 0.6, 0.6, 0.6]	PS_6

Finalmente, se ordenan todas las evaluaciones colectivas y se establece una clasificación entre los casos de análisis con el propósito de identificar las mejores alternativas de puntuación calculadas.

Tabla 6: Resultados de la función de puntuación.

[0.9, 0.6, 0.6, 0.9, 0.9, 0.6, 0.6]	PS_5
[0.6, 0.6, 0.6, 0.9, 0.9, 0.6, 0.6]	PS_2
[0.9, 0.9, 0.9, 0.9, 0.9, 0.6, 0.6]	PS_1

En el estudio de caso, la clasificación de los casos de análisis quedó recomendada como sigue:

$Ps_5 < Ps_2 < Ps_1$, siendo este el para la evaluación de la activación de irrigantes de forma ultrasónica y manual en las desinfecciones de conductos radiculares en endodoncias, lo que puede influir significativamente en los resultados obtenidos.

4 Discusión

Bajo los criterios y opiniones de los autores para el desarrollo del artículo se expone que las dos técnicas de activación tanto manual como ultrasónica dejan remanentes de tejido pulpar en el interior del conducto radicular [1], [2]. En este estudio la técnica ultrasónica es la que más eficacia tuvo ya que permitió eliminar de forma versátil los tejidos, seguidos de una jeringa convencional como es el Endocativador, y por última la técnica Endo manual [21, 33].

En un estudio realizado por demostró que la irrigación ultrasónica pasiva asociada con hipoclorito de sodio al 2,5% fue eficaz en la eliminación del biofilm del interior de los conductos radiculares, comparada con la irrigación convencional o manual con jeringa. Sin embargo, al ser asociado con una concentración del 1% de hipoclorito de sodio, la irrigación ultrasónica pasiva no mostró diferencias significativas en la eliminación del biofilm de *Enterococcus faecalis* en comparación con la irrigación con jeringa [22, 29].

Varios estudios mencionan que la activación ultrasónica de los irrigantes, posterior a la instrumentación manual mejora la limpieza de los sistemas de los conductos y de los istmos.

La irrigación ultrasónica pasiva a los 4 milímetros triplica la eficacia de limpieza en un 88% en comparación a la manual con 25% de efectividad. En los últimos 3 y 2 milímetros, la irrigación manual no obtuvo resultados satisfactorios; sin embargo, bajo el método de ultrasonido se logra un 60% y 24% de eficiencia en ambos niveles respectivamente, es decir, el tercio apical se encuentra mucho más limpio en toda su extensión bajo el método ultrasónico pasivo que cuando se compara con la técnica de irrigación manual. Esto coincide con estudios de Van der Sluis 6, Borro 2, y Vineet 12 en donde obtienen mayor eficacia de la IUP que la irrigación por jeringa [23, 26].

En cuanto a la determinación y comparación del grado de limpieza del sistema de irrigación manual e irrigación ultrasónica pasiva, se demostró que la agitación ultrasónica pasiva con NaOCl 2.5% mejoró el desbridamiento de los canales radiculares en el tercio apical; por lo que se obtuvo mayor grado de limpieza en comparación con la irrigación manual, que mostró significativamente más residuos de barrido dentinario en el tercio apical [24, 30].

En cuanto a la evaluación y comparación de efectividad del sistema de irrigación manual e irrigación ultrasónica pasiva, se determinó que la IUP con NaOCl 2.5% es más efectiva en la eliminación de residuos de barrido dentinario del canal radicular que la irrigación manual. En consecuencia, la activación del irrigante potenció la acción disolvente de tejido orgánico, y al mismo tiempo mejoró el arrastre mecánico de residuos dentinarios hacia el exterior del conducto, maximizando su eficiencia en el tercio apical del sistema de conducto radicular [24, 34], [25, 26].

5 Conclusión

A partir del desarrollo de la investigación propuesta, se obtuvo un método multicriterio neutrosófico para la evaluación de la activación de irrigantes de forma ultrasónica y manual en las desinfecciones de conductos radiculares en endodoncias. La implementación del método propuesto, basó su funcionamiento en métodos neutrosóficos para modelar la incertidumbre.

A pesar que la activación ultrasónica tiene una mayor aceptación que la sónica, existen múltiples estudios donde no se encuentran diferencias significativas en cuanto a cual técnica es mejor, lo que va a depender de muchos factores como el tipo de pieza dental, su manipulación, para que tipo de patología se va a utilizar, entre otras, lo que sugiere que hay que seguir realizando estudios experimentales para determinar con una mayor precisión cual método de activación es mejor o definitivamente si ambos lo son.

Respecto a la capacidad de los ultrasonidos para la erradicación de bacterias, en la mayoría de los estudios analizados se empleó el sistema y se observó que su empleo después de la instrumentación provoca una reducción significativa del número de bacterias, alcanzando resultados mucho mejores que con la jeringa clásica y otros métodos de activación de irrigantes como es el manual.

Este sistema también causó una reducción considerable en la cantidad de unidades formadoras de colonias o acumulación de bacterias en los conductos radiculares. Estos resultados positivos podrían atribuirse a dos factores principales: la potencia ultrasónica provoca la separación de los biofilms de la pared del conducto, y que la bacteria se hace más permeable al hipoclorito sódico gracias a un debilitamiento temporal de la membrana.

Referencias

- [1] V. I. Pérez De Arce Carrasco, P. A. Rodríguez Olivares, and D. Echeverri Caballero, "Activación sónica versus ultrasónica de EDTA al 10% para remoción de barrillo dentinario en el tercio apical del canal radicular," *International journal of odontostomatology*, vol. 8, no. 1, pp. 153-159, 2014.
- [2] M. M. G. Palacios, N. S. P. Reyes, and D. C. B. Pijal, "Irrigación ultrasonica en endodoncia: análisis del estado del arte," *Universidad y Sociedad*, vol. 14, no. S3, pp. 476-486, 2022.
- [3] A. Retsas, R. J. Dijkstra, L. van der Sluis, and C. Boutsoukis, "The effect of the ultrasonic irrigant activation protocol on the removal of a dual-species biofilm from artificial lateral canals," *Journal of endodontics*, vol. 48, no. 6, pp. 775-780, 2022.
- [4] J. F. I. de la Vega, J. E. M. Paredes, L. C. N. Leite, and R. X. R. Cazares, "Efectividad antibacteriana entre sistema de irrigación ultrasónica pasiva y continua sobre *Enterococcus faecalis*. Estudio in vitro," *Odontología*, vol. 23, no. 2, pp. e3272-e3272, 2021.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] M. L. Vázquez, and F. Smarandache, *Neutrosofía: Nuevos avances en el tratamiento de la incertidumbre: Infinite Study*, 2018.
- [8] 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.
- [9] I. A. González, A. J. R. Fernández, and J. E. Ricardo, "Violación del derecho a la salud: caso Albán Cornejo Vs Ecuador," *Universidad Y Sociedad*, vol. 13, no. S2, pp. 60-65, 2021.
- [10] 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.
- [11] B. B. Fonseca, O. M. Cornelio, and I. P. Pupo, "Sistema de recomendaciones sobre la evaluación de proyectos de desarrollo de software," *Revista Cubana de Informática Médica*, vol. 13, no. 2, 2021.
- [12] H. Wang, F. Smarandache, R. Sunderraman, and Y. Q. Zhang, *Interval Neutrosophic Sets and Logic: Theory and Applications in Computing: Theory and Applications in Computing*: Hexis, 2005.
- [13] F. Smarandache, *A Unifying Field in Logics: Neutrosophic Logic. Neutrosophy, Neutrosophic Set, Neutrosophic Probability: Neutrosophic Logic. Neutrosophy, Neutrosophic Set, Neutrosophic Probability*: Infinite Study, 2005.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] J. Ye, "Single-valued neutrosophic minimum spanning tree and its clustering method," *Journal of intelligent Systems*, vol. 23, no. 3, pp. 311-324, 2014.
- [17] R. Sahin, and M. Yigider, "A Multi-criteria neutrosophic group decision making metod based TOPSIS for supplier selection," *arXiv preprint arXiv:1412.5077*, 2014.
- [18] J. Wang, G. Wei, and Y. Wei, "Models for green supplier selection with some 2-tuple linguistic neutrosophic number Bonferroni mean operators," *Symmetry*, vol. 10, no. 5, pp. 131, 2018.
- [19] F. Mata, "Modelos para sistemas de apoyo al consenso en problemas de toma de decisión en grupo definidos en contextos lingüísticos multigranulares," *Universidad de Jaén, Doctoral Thesis Jaén*, 2006.
- [20] 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.
- [21] P. Varela Domínguez, "Eficacia de diferentes sistemas de irrigación en conductos radiculares instrumentados con una lima recíprocante," 2016.
- [22] H. Monardes Cortés, M. Martínez Uribe, F. Arriagada Arriagada, and J. Abarca Reveco, "Capacidad de Disolución del Hipoclorito de Sodio con o sin Activación," *Avances en Odontostomatología*, vol. 35, no. 3, pp. 113-118, 2019.

- [23] A. García Delgado, J. Martín-González, L. Castellanos-Cosano, M. Martín Jiménez, and J. Segura-Egea, "Sistemas ultrasónicos para la irrigación del sistema de conductos radiculares," *Avances en odontoestomatología*, vol. 30, no. 2, pp. 79-94, 2014.
- [24] K. P. F. Mera, S. M. Mosquera, and D. D. G. Jácome, "La fotografía como herramienta de identificación personal y su uso en odontología: una revisión de la literatura," *RECIMUNDO*, vol. 4, no. 4, pp. 449-458, 2020.
- [25] M. Carvajal, and C. Gómez, "Irrigantes en endodoncia. Limpieza y desinfección en el tratamiento endodóntico," 2015.
- [26] Esparza-Pijal, F. I., Sandoval-Loyo, J. A., Zuña-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.
- [27] Leyva Vázquez, M. Y., Ricardo, J. E., & Smarandache, F. "Enhancing Set-Theoretic Research Methods with Neutrosophic Sets". *HyperSoft Set Methods in Engineering*, vol. 2 núm. 96, 2024.
- [28] Leyva, M., Hernández, R., & Estupiñán, J. "Análisis de sentimientos: herramienta para estudiar datos cualitativos en la investigación jurídica". *Universidad Y Sociedad*, vol. 13 núm. S3, pp 262-266, 2021.
- [29] Rodríguez, M. D. O., León, C. A. M., Rivera, C. D. N., Cueva, C. M. B. R., & Ricardo, C. J. E. "HERRAMIENTAS Y BUENAS PRACTICAS DE APOYO A LA ESCRITURA DE TESIS Y ARTICULOS CIENTIFICOS". *Infinite Study*, 2019.
- [30] Smarandache, F., Ricardo, J. E., Caballero, E. G., Vázquez, M. Y. L., & Hernández, N. B. "Delphi method for evaluating scientific research proposals in a neutrosophic environment". *Infinite Study*, 2020.
- [31] 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.
- [32] Márquez-Sánchez, F., & Sorhegui-Ortega, R. "La Globalización y los dilemas del Desarrollo (Globalization and the Dilemmas of Development)." In *III Congreso Científico Internacional " Sociedad del Conocimiento: Retos y Perspectivas"*. Samborondón, Ecuador, 2021.
- [33] ORAMAS, O., ORTIZ, M., & MARQUEZ, S. F. "Modelo de revisión continua de inventarios con incertidumbre en sus parámetros." *Revista Espacios*, vol. 41 núm. 1, 2020.
- [34] Alfonso Caveda, D., Sorhegui Ortega, R. A., Márquez Sánchez, F., & Bustamante Chán, M. M. "El modelo pedagógico de la Universidad Tecnológica Ecotec: fundamentos epistemológicos, didácticos y metodológicos para su implementación." *Revista científica ecociencia*, vol. 2 núm. 3, pp 1-12, 2015.

Recibido: 18 de octubre de 2024. Aceptada: 12 de noviembre de 2024