

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Odontología
Escuela Profesional de Odontología



**Evaluación del efecto inhibitorio del plasma frío sobre el crecimiento de
Enterococcus Faecalis, Arequipa 2022**

Tesis presentada por la Bachiller :

Rueda Garces, Yasmin Nataly

ORCID: 0009-0007-9971-7931

para optar el Título Profesional de Cirujana Dentista

Asesor:

Dr. Figueroa Banda, Rufo Alberto

ORCID: 0000-0001-7249-0270

Arequipa – Perú

2026

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ODONTOLOGIA

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 03 de Noviembre del 2025

Dictamen: 015285-C-EPO-2025

Visto el borrador del expediente 015285, presentado por:

2015230092 - RUEDA GARCES YASMIN NATALY

Titulado:

**EVALUACIÓN DEL EFECTO INHIBITORIO DEL PLASMA FRÍO SOBRE EL CRECIMIENTO DE
ENTEROCOCCUS FAECALIS, AREQUIPA 2022**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

CIRUJANO DENTISTA

**29242362 - GALLEGOS VARGAS HERBERT MARIO
DICTAMINADOR**



**29666930 - ROSADO LINARES MARTIN LARRY
DICTAMINADOR**



**29649041 - ZEVALLOS CHAVEZ MARCO ANTONIO
DICTAMINADOR**



EVALUACIÓN DEL EFECTO INHIBITORIO DEL PLASMA FRÍO SOBRE EL CRECIMIENTO DE ENTEROCOCCUS FAECALIS, AREQUIPA 2022

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%

INDICE DE SIMILITUD

13%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	3%
2	www.alimentatec.com Fuente de Internet	1%
3	repositorio.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	www.researchgate.net Fuente de Internet	1%
5	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
6	roderic.uv.es Fuente de Internet	1%
7	www.scielo.org.ve Fuente de Internet	1%
8	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%

Dedicatoria

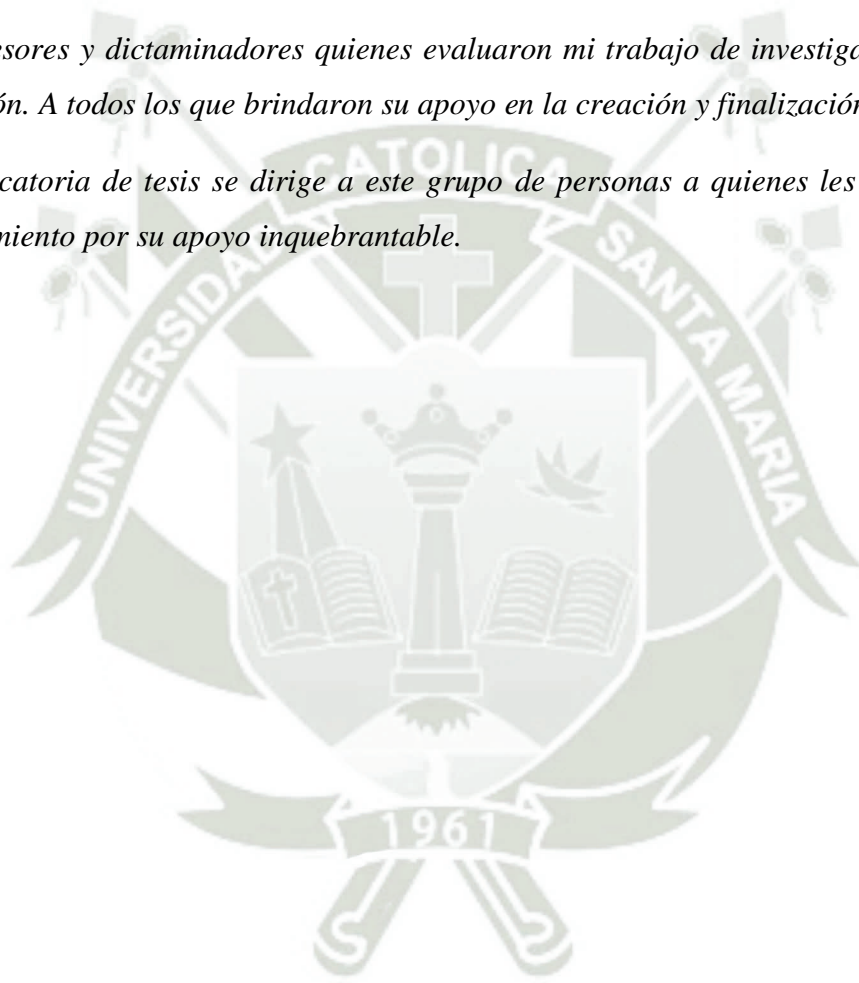
Dedico esta tesis a mis padres Carmen y Felix quienes fueron un gran apoyo emocional y su gran apoyo total a lo largo de 5 años de Universidad.

A mis amigos y amigas que me acompañaron desde el I Semestre.

A mis docentes quienes nunca desistieron al enseñarme, A quienes siguieron confiando en mi potencial y mantuvieron su esperanza en mí.

A mis asesores y dictaminadores quienes evaluaron mi trabajo de investigación y dieron su aprobación. A todos los que brindaron su apoyo en la creación y finalización de esta tesis.

Esta dedicatoria de tesis se dirige a este grupo de personas a quienes les debo mi sincero agradecimiento por su apoyo inquebrantable.



Agradecimientos

A mis padres:

Ustedes siempre han sido el motor que impulsa mis sueños y esperanzas, quienes estuvieron a mi lado en los momentos más difíciles durante mis horas de estudio. Siempre han sido mis mejores guías. Hoy, al finalizar mis estudios, les dedico este logro queridos padres, como una meta más alcanzada. Me enorgullece tenerlos a mi lado en este momento tan importante.

A mis asesores:

Al Dr. Alberto Figueroa y Dr. Gustavo Obando, su paciencia y constancia fueron fundamentales para lograr este trabajo. Sus consejos siempre fueron útiles cuando tenía dificultades para plasmar mis ideas. Ustedes desempeñaron un papel importante en esta historia con sus valiosas contribuciones profesionales. Le agradezco por sus palabras de apoyo en momentos difíciles y por estar ahí para brindarme orientación cuando he tenido dudas. Su presencia ha sido invaluable y le estoy muy agradecido.

A los docentes:

Los conocimientos que nos brindaron fueron de gran sabiduría y sus conocimientos se caracterizaron por ser rigurosos y precisos. Queridos profesores, les debo todo lo que soy. Dondequiera que vaya, los tendré presente en mi trayectoria profesional. Su semilla de conocimientos germinó en mi alma y espíritu. Agradezco su paciencia, por compartir su invaluable conocimiento de manera profesional, por su dedicación, perseverancia y tolerancia.

A mis compañeros:

Mis amigos y compañeros de aulas, hoy concluimos una etapa de nuestro proceso de formación y no puedo evitar recordar todas las tardes y horas de trabajo que compartimos juntos. Hoy cerramos una parte importante en esta historia de vida y quiero agradecerles por su apoyo y constancia durante los momentos más difíciles, por compartir horas de estudio juntos. Gracias por estar siempre ahí.

RESUMEN

Objetivo: Esta investigación tiene como objetivo comprobar el uso del Plasma frio inhibe el crecimiento de la bacteria *Enterococcus faecalis*.

Plasma Frio: Es un gas parcialmente ionizado que, a diferencia del plasma caliente (como el del sol), funciona a temperaturas mucho más bajas, a menudo cercanas o ligeramente superiores a la temperatura ambiente. Se genera aplicando energía eléctrica a un gas, lo que ioniza algunas de sus partículas para crear una mezcla reactiva de electrones, iones, especies neutras y radicales libres.

Metodología: Se estableció el tamaño de muestra mínimo basándose en investigaciones previas. Para llevar a cabo el análisis inferencial, se utilizaron las pruebas estadísticas ANOVA, t de Student y Tukey con un nivel de significancia del 5%. Se requirió del dispositivo experimental usa 10 Kv para la producción del plasma frio. Se utilizó 6 placas Petri, una para cada tiempo de exposición: 5, 10, 15, 20,25 y 30 segundos.

Resultados: Los resultados fueron significativos ($p < 0.05$) pero los menos favorables para el dispositivo de Plasma frio en los tiempos 5,10 y 15 segundos donde se observó una pequeña reducción de las UFC. Los resultados más notorios y favorables para el dispositivo de Plasma frio se dio en los tiempos de 20, 25 y 30 segundos donde la bacteria *Enterococcus faecalis* reacciono de manera sensible

Conclusión: Se demostró que el plasma frio inhibe el crecimiento bacteriano de *Enterococcus faecalis*.

Palabras clave: UFC, Enterococcus faecalis, plasma frio.

ABSTRACT

Objective: This research aimed to verify that cold plasma inhibits the growth of the bacteria *Enterococcus faecalis*.

Cold Plasma: It is a partially ionized gas that, unlike hot plasma (such as that in the sun), operates at much lower temperatures, often near or slightly above room temperature. It is generated by applying electrical energy to a gas, which ionizes some of its particles to create a reactive mixture of electrons, ions, neutral species, and free radicals.

Methodology: The minimum sample size was established based on previous research. To conduct the inferential analysis, ANOVA, Student's *t*, and Tukey's statistical tests were used with a significance level of 5%. The experimental device required 10 kV for cold plasma production. Six Petri dishes were used, one for each exposure time: 5, 10, 15, 20, 25, and 30 seconds.

Results: The results were significant ($p < 0.05$) but were least favorable for the cold plasma device at times of 5, 10, and 15 seconds, where a small reduction in CFUs was observed. The most notable and favorable results for the cold plasma device occurred at the 20, 25, and 30-second intervals, where the *Enterococcus faecalis* bacteria reacted sensitively.

Conclusion: It was demonstrated that cold plasma inhibits the bacterial growth of *Enterococcus faecalis*.

Keywords: CFU, *Enterococcus faecalis*, cold plasma.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCION 1

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO TEÓRICO 3

1. Determinación del problema 4

2. Pregunta de investigación 4

3. Justificación 5

3.1. Actualidad 5

3.2. Utilidad 5

3.3. Relevancia científica 5

3.4. Originalidad 5

3.5. Viabilidad 5

3.6. Interés personal 5

4. Objetivos 6

4.1. Objetivo general: 6

4.2. Objetivo específico: 6

5. Marco Conceptual y Antecedentes Investigativos 6

Análisis de Antecedentes Investigativos Internacionales 17

6. HIPÓTESIS 23

CAPÍTULO II: PLANTEAMIENTO OPERACIONAL 24

1. Diseño metodológico: 25

2. Población y muestra: 25

3. Tabla de variables: 26

4. Técnicas y procedimientos: Laboratorial 26

4.1. Cepa de bacterias 26

4.2. Verificación 27

4.3. Observación macroscópica 27

4.4. Observación microscópica 27

4.5. Caracterización de las colonias: 27

4.6. Identificación de morfotipos bacterianos:.....	27
4.7. Pruebas de sensibilidad:.....	28
5. Plan de análisis.....	28
6. Consideraciones éticas: No refiere.....	28
7. Recursos:.....	29
7.1. Recursos Humanos.....	29
7.2. Recursos Físicos.....	29
7.3. Recursos Económicos.....	29
7.4. Materiales:.....	29
8. Cronograma.....	31
CAPÍTULO III:	32
RESULTADOS	32
1. Resultados.....	33
2. Discusión.....	47
3. Conclusiones.....	49
4. Recomendaciones.....	50
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N° 1: COMPORTAMIENTO DE ENTEROCOCCUS FAECALIS, EN EL GRUPO EXPERIMENTAL Y CONTROL, AREQUIPA 2022	33
TABLA N° 2: EFECTO DE LA APLICACIÓN DEL PLASMA FRIO POR 5 SEGUNDOS SOBRE EL CRECIMIENTO BACTERIANO EN ENTEROCOCCUS FAECALIS, AREQUIPA 2022	35
TABLA N° 3: EFECTO DE LA APLICACIÓN DEL PLASMA FRIO POR 10 SEGUNDOS SOBRE EL CRECIMIENTO BACTERIANO EN ENTEROCOCCUS FAECALIS, AREQUIPA 2022.....	37
TABLA N° 4: EFECTO DE LA APLICACIÓN DEL PLASMA FRIO POR 15 SEGUNDOS SOBRE EL CRECIMIENTO BACTERIANO EN ENTEROCOCCUS FAECALIS, AREQUIPA 2022.....	39
TABLA N° 5: EFECTO DE LA APLICACIÓN DEL PLASMA FRIO POR 20 SEGUNDOS SOBRE EL CRECIMIENTO BACTERIANO EN ENTEROCOCCUS FAECALIS, AREQUIPA 2022.....	41
TABLA N° 6: EFECTO DE LA APLICACIÓN DEL PLASMA FRIO POR 25 SEGUNDOS SOBRE EL CRECIMIENTO BACTERIANO EN ENTEROCOCCUS FAECALIS, AREQUIPA 2022.....	43
TABLA N° 7: EFECTO DE LA APLICACIÓN DEL PLASMA FRIO POR 30 SEGUNDOS SOBRE EL CRECIMIENTO BACTERIANO EN ENTEROCOCCUS FAECALIS, AREQUIPA 2022.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N°1: COMPORTAMIENTO DE ENTEROCOCCUS FAECALIS, EN EL GRUPO EXPERIMENTAL, AREQUIPA 2022	34
FIGURA N°2: EFECTO DE LA APLICACIÓN DEL PLASMA FRIO POR 5 SEGUNDOS SOBRE EL CRECIMIENTO BACTERIANO EN ENTEROCOCCUS FAECALIS, AREQUIPA 2022	36
FIGURA N° 3: EFECTO DE LA APLICACIÓN DEL PLASMA FRIO POR 10 SEGUNDOS SOBRE EL CRECIMIENTOBACTERIANO EN ENTEROCOCCUS FAECALIS, AREQUIPA 2022	38
FIGURA N° 4: EFECTO DE LA APLICACIÓN DEL PLASMA FRIO POR 15 SEGUNDOS SOBRE EL CRECIMIENTOBACTERIANO EN ENTEROCOCCUS FAECALIS, AREQUIPA 2022	40
FIGURA N° 5: EFECTO DE LA APLICACIÓN DEL PLASMA FRIO POR 20 SEGUNDOS SOBRE EL CRECIMIENTOBACTERIANO EN ENTEROCOCCUS FAECALIS, AREQUIPA 2022	42
FIGURA N° 6: EFECTO DE LA APLICACIÓN DEL PLASMA FRIO POR 25 SEGUNDOS SOBRE EL CRECIMIENTOBACTERIANO EN ENTEROCOCCUS FAECALIS, AREQUIPA 2022	44
FIGURA N° 7: EFECTO DE LA APLICACIÓN DEL PLASMA FRIO POR 30 SEGUNDOS SOBRE EL CRECIMIENTOBACTERIANO EN ENTEROCOCCUS FAECALIS, AREQUIPA 2022	46

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: INSTRUMENTO	57
ANEXO 2: EVIDENCIA FOTOGRÁFICA	58



INTRODUCCION

En la actualidad, la inmunidad de los organismos microscópicos a los agentes antibacterianos representa un serio desafío para la salud colectiva a escala planetaria. En este contexto, la tecnología del plasma frío se muestra como una opción viable no solo para el control de microorganismos sino también para la prevención de infecciones. Este tipo de plasma tiene la particularidad de originar radicales libres, tipos reactivos de oxígeno y nitrógeno que producen efectos biológicos nocivos para los microorganismos, incluyendo bacterias patógenas. El objetivo de este estudio es analizar el efecto inhibitorio del plasma frío sobre el crecimiento de una bacteria grampositiva como lo es; "*Enterococcus faecalis*" que se encuentra en el microbiota intestinal y que es responsable de diversas infecciones tanto en el ser humano como en animales.

En el ámbito de la Odontología, los especialistas de la salud dental estamos familiarizados con las conocidas técnicas y medicaciones no invasivas, para prevenir complicaciones en los procedimientos de endodoncia debido a la bacteria "*Enterococcus faecalis*". Proponiendo así por medio de este Proyecto de Tesis una posible nueva técnica entre todas las demás que existen para evitar el crecimiento de la bacteria *Enterococcus faecalis* en la cavidad oral.

Es así como el Dr. Gustavo Obando creó un dispositivo experimental el cual emite plasma frío usando 10Kv de energía, teniendo en cuenta los antecedentes investigativos sobre el plasma frío podemos poner a prueba a la bacteria *Enterococcus faecalis*, primero sembrando la bacteria en una Placa Petri para luego más adelante y según los resultados que obtengamos, exponer el dispositivo en un conducto radicular dental.

El actual análisis se realizó en la urbe de Arequipa, Perú, y los resultados obtenidos podrían contribuir a la elaboración de innovadoras tácticas de regulación para esta y otras bacterias patógenas relacionadas.





CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO TEÓRICO

1. Determinación del problema

En la actualidad, la inmunidad de los organismos microscópicos a los agentes antibacterianos representa un serio desafío para la salud colectiva a escala planetaria. En este contexto, la tecnología del plasma frío se muestra como una opción viable no solo para el control de microorganismos sino también para la prevención de infecciones. Este tipo de plasma tiene la particularidad de originar radicales libres, tipos reactivos de oxígeno y nitrógeno que producen efectos biológicos nocivos para los microorganismos, incluyendo bacterias patógenas. El objetivo de este estudio es analizar el efecto inhibitorio del plasma frío sobre el crecimiento de una bacteria grampositiva como lo es; “*Enterococcus faecalis*” que se encuentra en el microbiota intestinal y que es responsable de diversas infecciones tanto en el ser humano como en animales (1).

En el ámbito de la Odontología, los especialistas de la salud dental estamos familiarizados con las conocidas técnicas y medicaciones no invasivas, para prevenir complicaciones en los procedimientos de endodoncia debido a la bacteria “*Enterococcus faecalis*”. Proponiendo así por medio de este Proyecto de Tesis una posible nueva técnica entre todas las demás que existen para evitar el crecimiento de la bacteria *Enterococcus faecalis* en la cavidad oral.

Es así como el Dr. Gustavo Obando creo un dispositivo experimental el cual emite Plasma frío usando 10Kv de energía, teniendo en cuenta los antecedentes investigativos sobre el Plasma frío podemos poner a prueba a la bacteria *Enterococcus faecalis*, primero sembrando la bacteria en una Placa Petri para luego más adelante y según los resultados que obtengamos, exponer el dispositivo en un conducto radicular dental.

El actual análisis se realizó en la urbe de Arequipa, Perú, y los resultados obtenidos podrían contribuir a la elaboración de innovadoras tácticas de regulación para esta y otras bacterias patógenas relacionadas.

2. Pregunta de investigación

¿Cuál es el efecto inhibitorio del plasma frío sobre el crecimiento de *Enterococcus faecalis*, Arequipa 2022?

3. Justificación

3.1. Actualidad

El estudio se ejecutó durante el presente año, el objetivo fue dispensar información laboratorial actualizada sobre una técnica, debido a la limitada información sobre el efecto del plasma frío frente al crecimiento bacteriano del “*Enterococcus Faecalis*” en nuestro campo netamente odontológico.

3.2. Utilidad

Este estudio es relevante y altamente beneficioso, pues reveló la eficacia del plasma frío en la inhibición de la bacteria *Enterococcus faecalis* y más aún en su crecimiento de está. Además, proporcione información relevante y resultados objetivos que serán de gran valor para futuras investigaciones en este campo.

3.3. Relevancia científica

Este trabajo de investigación sirvió de contribución científica a la especialidad de Endodoncia, ya que los profesionales dedicados a esta rama de la Odontología se confrontan a las infecciones ocasionadas por el bacilo *Enterococcus faecalis*, directamente en los conductos radiculares infectados dando como conclusión en algunos casos el fracaso del tratamiento de conductos.

3.4. Originalidad

El actual trabajo de análisis presenta un carácter innovador, debido a que no tenemos conocimiento de algún trabajo que dé a conocer el efecto del plasma frío sobre *Enterococcus faecalis* directamente en nuestro departamento de Arequipa.

3.5. Viabilidad

Este estudio de investigación actual dispuso de todos los equipos necesarios que entraron en evaluación para nuestro tema, además del tiempo necesario que el trabajo conllevo.

3.6. Interés personal

El presente trabajo me interesa a nivel personal, además de mi progreso profesional en el campo de ciencia añadiendo innovadora información para futuras investigaciones. Adjuntando que es requisito fundamental para la obtención de mi grado profesional como Cirujano Dentista.

4. Objetivos

4.1. Objetivo general:

- Evaluación del efecto inhibitorio del plasma frío sobre el crecimiento de la bacteria *Enterococcus faecalis*.

4.2. Objetivo específico:

- Evaluar el efecto inhibitorio del plasma frío sobre el crecimiento bacteriano de *Enterococcus faecalis* a los 5, 10 y 15 segundos.
- Evaluar el efecto inhibitorio del plasma frío sobre el crecimiento bacteriano de *Enterococcus faecalis* a los 20, 25 y 30 segundos.

5. Marco Conceptual y Antecedentes Investigativos

5.1. Plasma Frío

El plasma es un estado de la materia que se produce cuando un gas se ioniza total o parcialmente por medio de diversas fuentes de energía, como la electricidad, calorífica y la radiación iónica. Asimismo, el plasma, al estar compuesto de partículas cargadas libres como electrones e iones, se comporta como un conductor eléctrico excepcional. Es uno de los cuatro estados de la materia, junto con los sólidos, fluidos y vapores (2).

El plasma es un estado de la materia que se produce cuando las partículas de un gas reciben suficiente energía para ionizarse y liberar electrones. Estos electrones interactúan con las moléculas gaseosas, generando formas de reacción que pueden interactuar con el ambiente. Debido a su capacidad para conducir electricidad, el plasma es considerado uno de los cuatro estados fundamentales de la materia, junto con los estados; líquidos, sólidos y gaseosos (3).

El plasma se divide en dos categorías principales: plasma calórico y plasma no calórico. El plasma calórico se caracteriza por la igualdad de temperaturas en todas las sustancias químicas debido a su alta temperatura y equilibrio termodinámico. Por otro lado, los plasmas no térmicos, también conocidos como plasmas fríos, se distinguen por su capacidad para mantener temperaturas más bajas debido a un enfriamiento eficiente de iones y moléculas neutras durante las colisiones, evitando así el equilibrio térmico. El plasma frío pueden generarse en entornos vacíos, llamados también plasmas de presión reducida, conocidos como plasmas de presión ambiental. En los plasmas de presión reducida, los electrones tienen una tasa de choque mínima, lo que resulta en energías de

electrones relativamente elevada en comparación con las que usualmente conocemos como partículas más densas, como iones y neutrales, lo que mantiene el sistema en un estado de no equilibrio térmico. La aplicación de plasma frío es una técnica muy novedosa que se utiliza para descontaminar tejidos vivos o materiales sensibles a la temperatura ambiente y presión atmosférica, sin generar un daño significativo al entorno debido al calor. Esta técnica se considera una opción eficaz para inactivar microorganismos en el biofilm o destruir su estructura de manera respetuosa con el medio ambiente y económica. Los efectos resultantes se deben al estrés oxidativo inducido por los productos químicos presentes en el plasma (4).

5.2. Clasificación del plasma

A. Plasmas a altas temperaturas

Existen dos categorías principales de plasmas: los de alta temperatura, donde se observa un equilibrio térmico entre todas las categorías, incluyendo electrones, iones y partículas neutras, como se ve en el caso del plasma de fusión láser, donde las temperaturas de los electrones, iones y partículas gaseosas neutras son todas iguales, y los de baja temperatura.

B. Plasma en bajas temperaturas

Estos plasmas se clasifican en dos categorías principales tomando en consideración los niveles de energía relativa de los electrones y las partículas densas, que son los iones y las partículas neutras. Una de estas categorías es el plasma térmico (TP), el cual está en estado de equilibrio térmico. La otra categoría es el plasma no térmico (NTP).

5.3. Clasificación de los plasmas fríos

Los NTP pueden generarse en dos tipos de entornos: plasmas de presión reducida, que se desarrollan en recintos de vacío, y plasmas a presión atmosférica, que se crean a presión ambiental.

En los plasmas de presión reducida, la cifra de colisiones de electrones es mínima, lo que impide que las partículas densas se calienten significativamente. Como consecuencia, el plasma no logra alcanzar un equilibrio térmico.

A. Plasma a baja presión

Se generan en entornos característicos, ya sea en entornos de presión reducida o a presión atmosférica. En los fluidos ionizados de baja tensión, la baja frecuencia de choque de electrones evita el sobrecalentamiento de las partículas densas, lo que resulta en que el plasma no alcanza estabilidad térmica (5).

En el caso de los fluidos ionizados de baja tensión, se realiza un proceso de vacío hasta

que la presión se acerca a 0,1 . Luego, se introduce el gas deseado, como (O₂), (He), (Ar) o (H₂O₂), hasta alcanzar una presión operativa que se encuentra en el rango de 0,1 mbar a 1 mbar. Una vez que se ha alcanzado la presión operativa deseada, se pone en marcha el generador, lo que lleva a la ionización del gas en el compartimento. Además, se introduce continuamente gas en el compartimento de vacío, lo que permite una renovación constante del gas en su interior (3).

B. Plasma a presión atmosférica

Los generadores de plasma operan a presión atmosférica, lo que conlleva ventajas en aspectos sintéticos de la maquinaria y reducción notable de los costos de producción y conservación. Además, facilitan laborar con tejidos vivos en su sitio de origen y con materiales particularmente delicados (4).

C. Fuentes de plasma frío

Se utilizan varias técnicas para producir plasma frío en hPa. Entre las modalidades esenciales se encuentran la descarga de corona, la descarga de aislamiento dieléctrico, el plasma de emisión luminosa uniforme a una atmósfera, los chorros de plasma hPa y la emisión de cátodo de microagujero.

En este estudio se emplea un originador de plasma de microdescarga de superficie, debido a su aplicación en áreas ambientales, biológicas y biomédicas para la inactivación de bacterias. Además, se proporciona una descripción detallada de los equipos y el chorro de plasma utilizado en la investigación (2).

D. Descarga DBD

Esta herramienta emplea un generador de plasma de microdescarga superficial. La descarga se encuentra obstruida por una capa de material aislante que recubre uno o ambos electrodos. Los equipos de descarga superficial se conforman por un electrodo extenso y delgado revestido por una superficie aislante a lo largo de su extensión, lo que posibilita que la descarga se difunda a lo largo de la superficie del aislante, aunque el espacio de descarga no esté claramente delimitado. Adicionalmente, se proporciona una explicación minuciosa del chorro de plasma empleado en el estudio (5).

La configuración coplanar se asemeja a la disposición de pantalla de plasma en televisores, combinando elementos de descarga y volumen. En esta configuración, se emplean DBD con polaridades opuestas, que se encuentran dentro de un material dieléctrico cerca de una superficie. Las descargas de barrera dieléctrica (DBD) son una opción segura y sencilla para generar una descarga no térmica en condiciones de presión atmosférica. Esta estructura evita la formación de chispas o arcos eléctricos al restringir

la corriente de descarga mediante el uso del material dieléctrico. En las DBDs a presión atmosférica, es común observar filamentos llamados streamers que surgen de diversos puntos en la superficie eléctrico (6).

Las DBDs pueden operar a un amplio rango de presiones de gas (generalmente entre 104 y 106 pascales) y pueden utilizar corriente alterna con una amplia gama de frecuencias (desde 50 Hz hasta 1 MHz) e incluso voltajes pulsados. En algunas configuraciones especiales con dieléctricos específicos, se puede utilizar corriente continua. La distancia promedio entre los electrodos en una DBD cambia en centímetros. Estos mecanismos de descarga de barrera dieléctrica son seguros, sólidos y económicos, lo que ha impulsado su aplicación en diversas áreas, como la generación industrial de ozono, la modificación de superficies de polímeros, la deposición química en fase vapor mediante plasma (7).

E. Chorro de plasma a aPH

Es necesario configurar dos electrodos dispuestos en forma concéntrica para facilitar el paso de una mezcla de gases, como helio y oxígeno. El electrodo intrínseco se conectará a la energía de radiofrecuencia operando a 14.46 MHz y se le aplicará un voltaje que variará entre 101 y 251 V, mientras que los electrodos externos se enlazarán a tierra (8). La dimensión del chorro de plasma puede ajustarse de manera altamente adaptable, permitiendo reducir su diámetro a escalas microscópicas. Esto facilita el estudio de la interacción del chorro con un pequeño número de células naturales e incluso con una sola celulosa. Para ejecuciones que requieran una aplicación en gran escala o en áreas extensas, es posible mover el chorro a lo largo de la superficie del objeto o utilizar un modo de disposición en forma de matriz (9).

5.4. Química del plasma

A pesar de que la mayor parte de la atmósfera que nos rodea consiste en partículas neutras, existe una pequeña proporción de -e libres presentes. Esta ionización es en gran medida el resultado de la influencia de los rayos, que originan peso en las partículas en el orden de $10^9/m^3$ al nivel del mar (10).

En términos generales, al aplicar un campo eléctrico a un gas, los -e son sometidos a una fuerza que les proporciona velocidad, lo que a su vez puede dar lugar a la ionización de estos electrones al colisionar con las moléculas del gas inerte. En un plasma bajo presión ambiental, los electrones sufren múltiples colisiones durante su trayecto entre los

electrodos de un DBD, lo que puede alterar su dirección y energía, pero no hay transferencia de energía a las partículas más pesadas debido a la diferencia de masa entre ellas. Por lo tanto, si la fuente de producción de plasma es apropiada, las partículas más pesadas se mantendrán cerca de la temperatura ambiente.

Se pueden generar especies reactivas de plasma mediante una variedad de procesos físicos que ocurren durante las colisiones de electrones con átomos o moléculas. Estos procesos incluyen la disociación ($e^- + AB \rightarrow A + B$), la ionización ($e^- + M \rightarrow M^+ + 2e^-$), la ionización disociativa ($e^- + AB \rightarrow A^+ + B + 2e^-$), la captación de electrones ($e^- + M \rightarrow M^-$), captación disociativa ($e^- + AB \rightarrow A^- + B$) y la excitación ($e^- + M \rightarrow M^* + e^-$ en el escenario de átomos).

Durante este proceso, se generan especies reactivas en forma de moléculas y átomos excitados dentro del gas. Además, la colisión de los electrones da origen a los con radicales de reacción. Estas especies reactivas interactúan entre sí, lo que conlleva a la creación de nuevas partículas del plasma (11).

Las reacciones entre estas especies generan otras especies reactivas de mayor duración, como peróxido de hidrógeno (H_2O_2), nitritos (NO_2^-), nitratos (NO_3^-) y ozono (12).

5.5. Plasma directo (PD) y plasma indirecto (PI)

A. PD

Una exposición al plasma directo se produce al colocarla entre los dos electrodos y contribuye en la generación de plasma (13). En este proceso, la muestra se encuentra en contacto con las reacciones de plasma (14).

En lo que respecta a la UV, su contribución a la inactivación de bacterias es limitada en comparación con el impacto de un campo eléctrico de alta intensidad. En dispositivos médicos, se ha comprobado que el efecto eléctrico potencia la efectividad antimicrobiana gracias al campo magnético (15). Los campos eléctricos pulsados de alta intensidad y de corta duración en nanosegundos han demostrado su capacidad para alterar la fisiología tanto de células de mamíferos como de bacterias (16). La investigación llevada a cabo por Stoodley et al. ha sostenido que la aplicación de campos eléctricos pulsados de alta intensidad en nanosegundos puede influir en la composición biológica de las células. Además, se ha observado que la exposición del biofilm a campos eléctricos con polaridad alternante provoca su contracción y expansión, lo que aumenta su sensibilidad a los

antibióticos (17). Asimismo, se ha comprobado que las partículas cargadas funcionan en la eliminación de bacterias mediante la exposición directa. Esto se debe a que el acopio de carga en la membrana bacteriana origina una fuerza electrostática que sobrepasa la resistencia de la membrana, lo que al final induce su desgarro (18).

La combinación de radiación UV, campos eléctricos y partículas cargadas durante la exposición directa al plasma puede potenciar la eficacia en la inactivación de microorganismos (19).

B. Plasma indirecto

Durante este proceso, las reacciones de O y N generadas se transfieren al entorno hidratado del biofilm. La composición precisa se difunde dentro del biofilm depende del vínculo de componente presentes de las sustancias poliméricas extracelulares (EPS). La producción de plasma se ve influenciada por su estructura, la tipología de gas utilizado y las propiedades del líquido o la interfaz con los que interactúa. En este estudio, se empleó un enfoque de plasma indirecto mediante la técnica de barrera dieléctrica de microsuperficie (DBD) o SMD. Los chorros de plasma y DBD son ejemplos de exposición indirecta (20).

C. Soluciones activas

Las soluciones biológicas potenciadas por plasma (PAM) y el agua impulsada por plasma (PAW) son mezclas biológicas enriquecidas con especies reactivas de O y N de larga persistencia. Estos recursos pueden aplicarse en situaciones médicas donde no es factible generar plasma, como en áreas anatómicas pequeñas y cavidades de difícil acceso. En esta investigación, se utilizó un enfoque de plasma indirecto mediante la técnica de campo eléctrico de microsuperficie (DBD) o SMD (21).

La producción de PAM crece como tecnología prometedora en el campo de la medicina de plasma. Asimismo, han demostrado su eficacia en diversas aplicaciones médicas, incluyendo la desinfección de tejidos vivos, la eliminación de células cancerosas, la desinfección de dispositivos médicos e incluso como enjuague oral en odontología. En razón a ello se mantiene estable a nivel de temperatura, no causa daño al tejido vivo cuando se administra con cuidado (22).

D. Mecanismo de acción

Químicamente el ANTP es complejo y su eficacia está influenciada por las características de diseño de la tecnología y los criterios del sistema, incluyendo los compuestos y tasa de flujo del gas, así como el voltaje y la recurrencia (9). El plasma tiene compuestos pueden afectar la inactivación de microorganismos de manera conjunta o individual.

A pesar de que se ha demostrado que la reacción de plasma que causan la erradicación de bacterias, todavía no se conocen completamente los mecanismos precisos de este proceso. Se sostiene que erradicación de bacterias ocurre mediante tres mecanismos distintos (22).

1. La permeabilización de la membrana puede provocar la pérdida de sustancias celulares.
2. Las RONS pueden causar un daño crítico a las proteínas intracelulares.
3. El ADN puede sufrir daño directo.

Se ha notado que las células microbianas pueden pasar por un proceso de muerte en dos fases, lo que significa que después de una disminución rápida en la cantidad de células, hay un período de estabilidad antes el crecimiento significativo en la mortalidad (9). Durante este proceso, las células experimentan una serie de cambios biológicos en secuencia antes de volverse inactivas. Diversas investigaciones han revelado que, tras un breve contacto con el plasma, las células acceden a un estado en el que son viables, pero no pueden ser cultivadas (VBNC) (7).

Actualmente se está investigando en detalle los mecanismos precisos mediante los cuales los ANTP desactivan las bacterias. No obstante, se ha observado que las reacciones de O y N, además los átomos del círculo eléctrico funcionan en este proceso. Las bacterias, en particular las anaeróbicas, son extremadamente reactivas a las especies reactivas de oxígeno (ROS) (23).

La pared celular bacteriana puede sufrir daños debido al bombardeo de Partículas con carga eléctrica, que incluyen iones y electrones (24). Esto puede provocar la erosión de enlaces químicos y la creación de aberturas o poros en las membranas, lo que a su vez permite que sustancias tóxicas del plasma ingresen al interior de la bacteria con mayor facilidad (25). La inactivación mediante erosión parece ser una opción más efectiva en

el caso de las bacterias Gram-negativas, ya que su pared celular es más frágil en comparación con las bacterias Gram-positivas que tienen una estructura de membrana más resistente (26). Sin embargo, se nota que las bacterias Gram-positivas experimentan un mayor daño dentro de la célula debido a niveles más elevados de especies reactivas de oxígeno intracelulares en comparación con las bacterias Gram-negativas. Esto se debe a que las bacterias Gram-negativas tienen una pared celular más susceptible a la inactivación por erosión (14).

En cuanto al plasma directo, se ha observado que el acopio de carga en la cubierta bacteriana y la consecuente potencia electrostática producida pueden exceder la oposición de la cubierta, lo que a su vez puede llevar a su ruptura. Por lo tanto, la erosión de la membrana celular, inducida por esta acumulación de carga, intensifica la difusión de las reacciones que pueden surgir durante la liberación de plasma en el interior de las células.

La erosión es un procedimiento donde los átomos, moléculas, radicales y compuestos orgánicos interactúan, lo que resulta en la ruptura de enlaces químicos, especialmente en compuestos de hidrocarburos. Como consecuencia, se generan partículas moleculares y compuestos evaporables que son liberados desde las células, lo que puede dar lugar a alteraciones en la morfología celular. Estas alteraciones pueden variar desde la reducción del tamaño celular hasta la formación de canales profundos e incluso la destrucción completa de la célula. El oxígeno atómico y el ozono tienen la capacidad de reaccionar eficazmente con estos enlaces químicos expuestos, acelerando así la descomposición molecular (27).

5.6. Enterococcus

El género *Enterococcus* es un microorganismo que se halla en la flora bacteriana en los conductos radiculares y también se halla naturalmente en diferentes regiones del cuerpo humano, como el tracto digestivo, el sistema genitourinario, sistema respiratorio, la piel y la cavidad bucal (28).

Por los ochenta se presumía que los *Enterococcus* formaban parte del género *Streptococcus*. No obstante, con el paso del tiempo y la realización de más estudios, se descubrió que estos microorganismos presentaban un antígeno del grupo D que los diferenciaba de los *Streptococcus*. Debido a esto, se creó un nuevo género para los *Enterococcus* (29).

Pueden ser identificados por su capacidad para prosperar en un entorno que contiene bilis esculina, lo que resulta en un cambio en el color a un tono marrón oscuro. Los *Enterococcus* generalmente adoptan una forma celular esférica y tienden a agruparse en pares. No se componen de esporas y otras tienen la capacidad de movimiento gracias a la existencia de unos flagelos. Sus tierras exhiben una textura cremosa y un color blanquecino. Son bacterias grampositivas, no producen catalasa y tienen la capacidad de desarrollarse en entornos con un 6,5% de cloruro de sodio o un 40% de bilis. Además, pueden sobrevivir a altas temperaturas (30).

5.7. *Enterococcus faecalis*

Estamos haciendo referencia a una bacteria con forma de coco, que se presenta en en parejas, y es clasificada como Gram positiva. Esta bacteria es facultativamente anaerobia, no se mueve y no forma esporas. Su notable capacidad radica en su capacidad para causar infecciones en los conductos de los dientes. Lo que la distingue aún más es su habilidad para prosperar en microambientes que serían perjudiciales para otras bacterias, incluso en presencia de Ca(OH)_2 . La resistencia que exhibe ante este compuesto le permite subsistir y multiplicarse en el conducto radicular, lo que da lugar a la colonización y posterior infección. Además, *Enterococcus faecalis* posee la destreza de generar sustancias que resultan en agregados o biofilms, lo que le otorga una notoria resistencia a los tratamientos antimicrobianos (31).

5.8. Taxonomía

Este organismo está clasificado dentro del dominio Bacteria, perteneciente al filo *Firmicutes*. Se ubica en la clase *Bacilli*, orden *Lactobacillales*, y se asigna a la familia *Enterococcaceae*, género *Enterococcus* y especie *faecalis*.

5.9. Morfología

“*Enterococcus faecalis*” Son microorganismos con forma de cocos, con un rango de tamaño de 0,6 a 2,0 micrómetros de largo y de 0,6 a 2,5 micrómetros de ancho, son Gram positivos y tienden a agruparse en cadenas cortas o en pares. Estos microorganismos no tienen la capacidad de formar esporas.

A. Factores de virulencia

Los *Enterococcus* poseen factores de virulencia que les permiten adherirse a células y a la matriz extracelular, lo que les otorga la capacidad de invadirlas. Asimismo, sus toxinas pueden causar daño y regular el efecto de inmunomodulación (32).

La transferencia de material genético y resistencia a antibióticos entre las cepas de “*Enterococcus faecalis*” y otras especies se establece a través de una adhesina que está codificada en plásmidos, lo que posibilita el intercambio de estos plásmidos entre la cepa que dona y la cepa que recibe. Este proceso es conocido como Sustancias de Agregación (33).

Proteína enterocócica. Esta proteína presenta varias repeticiones de partículas y su papel en la virulencia todavía no está definido. Se ha sugerido que podría tener la función de evitar su detección por parte del sistema inmunológico (34).

Gelatinasa. Las proteasas bacterianas tienen como función principal la adquisición de nutrientes peptídicos para los organismos, y al mismo tiempo, se ha observado que su actividad puede ocasionar perjuicio en la célula infectada (30).

Hemolisina. Los “alfa hemolíticos” producen una toxina llamada hemolisina, la cual está codificada por el plásmido. Esta toxina tiene como efecto la lisis de células sanguíneas y bacterianas, lo que puede disminuir la fagocitosis (35).

5.10. Crecimiento bacteriano:

El crecimiento bacteriano se lleva a cabo a través de un proceso de división celular llamado fisión binaria, en el cual una bacteria se divide en dos células hijas. A menos que ocurran mutaciones, estas células hijas serán genéticamente idénticas a la célula madre, lo que resulta en un aumento local en la población bacteriana. Cuando el número promedio de células hijas que sobreviven es mayor que uno, la población bacteriana experimenta un crecimiento exponencial. Para analizar este tipo de crecimiento en cultivos bacterianos, los microbiólogos utilizan diversos métodos para enumerar las bacterias presentes. Algunos de estos métodos son individuales y directos, como la microscopía y la citometría de flujo, mientras que otros son indirectos pero aplicables a grandes muestras, como la medición de la biomasa. Además, existen métodos indirectos tanto individuales como masivos, como el conteo de colonias, el método del número más probable, la medición de la turbidez y la absorción de nutrientes. La utilización de modelos es una herramienta valiosa que ayuda a relacionar la teoría con las mediciones experimentales (36).

5.11. Mecanismo de acción de plasma frío sobre la bacteria *Enterococcus faecalis*

En nuestra investigación el dispositivo de plasma frío quemó por impulsos eléctricos a la bacteria *Enterococcus faecalis* al ser proyectada directamente, se puede decir que se da la destrucción de la bacteria mediante un proceso físico.

Al momento de dirigir el dispositivo hacia la bacteria *Enterococcus faecalis* esta logra destruir la pared celular y coagular el citoplasma dándose así la muerte de la bacteria de una manera automática.

Obtuvimos así un resultado prometedor y utilizando los resultados podemos afirmar que el plasma frío es un agente bactericida, mas no bacteriostático ya que no se detuvo el metabolismo de la bacteria ni la reproducción, sino se dio la muerte de la bacteria.

Otros estudios acerca del plasma frío sobre la bacteria *Enterococcus faecalis*:

Uno de los primeros informes de uso de plasma en endodoncia ocurrió en 2004, cuando Whittaker et al. indicó su uso para la esterilización de instrucciones de endodoncia. En este estudio, la tecnología demostró ser beneficiosa en la reducción de la cantidad absoluta de materiales proteicos y microorganismos (37).

A cambio del uso en el tratamiento de endodoncia, se ha estudiado el plasma debido a su actividad antimicrobiana. Üreyen Kaya et al. comparó la eficacia antimicrobiana del plasma atmosférico, el sistema de gases de ozono y el NaOCl al 2,5 % en las paredes del conducto radicular y los túbulos dentinarios infectados con *Enterococcus faecalis*. Se utilizó una mezcla de gases He y O₂ durante 5 minutos, a través de una aguja insertada en el conducto radicular. La medición de microorganismos se realizó mediante conos de papel para conocer la cantidad restante en el canal de luz y mediante raspados de dentina molidos. Tanto el NaOCl como el plasma fueron mejores que el ozono en el canal coronal y medio de los conductos radiculares. Se ha demostrado que la eliminación de *Enterococcus faecalis* en el canal de luz con NaOCl fue mayor que con plasma. Sin embargo, dentro de los túbulos dentinarios el plasma obtuvo un efecto antimicrobiano superior al NaOCl en el tercio medio, donde hay isthmos, y un resultado similar en los tercios cervicales y apicales. Por lo tanto, se ha sugerido que el plasma puede ser un complemento en la eliminación de microorganismos durante el tratamiento de endodoncia (38).

Du et al. utilizaron la pluma de plasma con mezcla de He y O₂ (Heliox) en la boca de las células durante 5, 10 y 15 minutos. Los canales estaban infectados con *Enterococcus faecalis*. Se concluyó que 5 minutos de tratamiento no fueron tan eficientes como los

demás y que el efecto bactericida aumentó según el tiempo de emisiones plasmáticas (39).

Pan et al. evaluó, in vitro, la viabilidad del tratamiento con plasma de aire frío premezclado con O₂ a 2 a 5 mm de distancia de la abolladura y eliminado de *Enterococcus faecalis* biofilm del interior de los canales infectados en comparación con el tratamiento con hidróxido de calcio durante 7 días. El análisis por microscopía electrónica de barrido mostró ruptura en la membrana de la bacteria. La microscopía confocal indicó que el tratamiento con plasma indujo la muerte de *Enterococcus faecalis* y la destrucción de la biopelícula. Se ha demostrado que el plasma puede llegar profundamente a los sitios infectados en el sistema de conducto radicular (40).

Schaudinn et al. informó de la eficacia del tratamiento con plasma para reducir los populares biofilms ex vivo en el conducto radicular. Se extrajeron tres dientes y se extrajo y cultivó cuidadosamente el contenido intracanal. Los dientes estaban contaminados con este biofilm y se observó que el redesarrollo del biofilm por plasma fue inferior al obtenido en el tratamiento con Na- OCl 6%. Se ha encontrado que la presencia visible de llama plasmática en el conducto radicular no es suficiente para eliminar la eficacia del biofilm bacteriano (41).

Habib et al. realizó un estudio para investigar los efectos del plasma atmosférico de aire y O₂ en una biopelícula de *Enterococcus faecalis* en los canales de los dientes humanos. Utilizó 24 dientes, que fueron instrumentados y el plasma se aplicó durante 2 minutos. Debido a su fase gaseosa, el plasma fue capaz de penetrar profundamente en los sitios infectados en el complejo sistema de conducto radicular. Las pruebas de cultivo mostraron que el tratamiento con plasma fue capaz de eliminar alrededor del 97% de los microorganismos. El tratamiento en ese momento demostró ser muy efectivo en la reducción de la viabilidad y la actividad metabólica de la bacteria. Se ha demostrado que el plasma atmosférico es tan efectivo como el 6% de NaOCl irrigado (42).

Análisis de Antecedentes Investigativos Internacionales

Estudio 1: “TECNOLOGIAS DE PLASMA FRIO PARA ELIMINAR PATOGENOS EN LOS ALIMENTOS”

Resumen:

En el ámbito de la industria alimentaria, se están utilizando tecnologías basadas en plasma frío para eliminar la presencia de agentes patógenos en el ambiente y en las superficies en contacto con los productos alimenticios. Esto desempeña un papel crucial en garantizar la seguridad y prolongar la conservación de los alimentos. Existe un creciente interés en la incorporación de esta tecnología en las líneas de producción de alimentos. Además, se destaca que la compañía "Baxx" ha desarrollado y patentado una máquina que utiliza plasma frío para la erradicación de bacterias, virus y esporas presentes en el entorno. La tecnología de plasma frío se basa en la generación de radicales hidroxilos (OH⁻) en el aire a partir de la humedad ambiental. Estos radicales se adhieren a las paredes celulares de las bacterias, eliminando átomos de hidrógeno y provocando la muerte de los microorganismos. Como resultado de este proceso, los patógenos se eliminan y se produce agua. De acuerdo con las pruebas realizadas por los desarrolladores de esta tecnología, se ha observado que después de un período de 90 minutos, el sistema tiene la capacidad de eliminar el 99% de las bacterias presentes en el aire y alcanza una efectividad del 88.96% en la eliminación de rastros de virus. Las pruebas realizadas por laboratorios con certificación confirman que el equipo de Baxx tiene la capacidad de eliminar eficazmente: "*Escherichia Coli*, *Staphylococcus Aureus*, *Campylobacter*, *Listeria Monocytogenes*, *Pseudomonas* y *Aspergillus Niger*". Esta tecnología es adecuada para su implementación en los procesos de descongelación, refrigeración, tratamiento y empaquetado de productos alimenticios. Su capacidad para erradicar microorganismos garantiza la seguridad alimentaria y una conservación más efectiva, al tiempo que disminuye la presencia de microorganismos en los productos alimenticios. Este enfoque tecnológico también puede aplicarse para eliminar olores no deseados. Es crucial resaltar que este sistema no sustituye las prácticas de limpieza e higiene, sino que funciona como un instrumento complementario que mejora la eficacia de los procesos de desinfección. Esta nueva herramienta de desinfección es de gran interés debido a su capacidad para eliminar microorganismos sin la necesidad de usar compuestos tóxicos o altos niveles de radiación. Gracias a su impacto mínimo en los alimentos, podría ser una alternativa efectiva para reducir la carga microbiológica en productos frescos sin perjudicar sus características nutricionales y sensoriales.

Microcomentario:

Esta investigación nos da a conocer cómo se creó un dispositivo de plasma frío llamado Baxx. Los análisis efectuados por laboratorios con certificación mostraron que la tecnología “Baxx” puede eliminar con éxito: “*Escherichia Coli*, *Staphylococcus Aureus*, *Campylobacter*, *Listeria Mono Cytogeneses*, *Pseudomonas* y *Aspergillus Niger*”.

Estudio 2: TERAPIAS PLASMATICAS FOTODINAMICAS Y TOLERABLES A LOS TEJIDOS COMO ALTERNATIVAS A LOS ANTIMICROBIANOS PARA EL CONTROL DE BIOPELICULAS PATOGENICAS”

Autor: Marco Aurelio Paschoal, Thereza Cristina Botelho Dantas, Simone Duarte Curr
Oral Health Rep (2015) 2:57-62

Resumen:

La necesidad de nuevas técnicas antimicrobianas ha se vuelven críticos por varias razones, incluida la aparición de cepas resistentes debido a una prescripción excesiva uso indebido de antibióticos. La boca está colonizada por un gran número de microorganismos. Cuando estos microorganismos son organizados como biopelículas pueden contribuir a enfermedades crónicas en la población humana, como caries dental, candidiasis, y enfermedad periodontal. Por lo tanto, han surgido enfoques antimicrobianos alternativos para facilitar el tratamiento de estas enfermedades. Como terapias novedosas, la quimioterapia antimicrobiana fotodinámica y el plasma tolerable por tejidos son métodos prometedores que ofrecen la posibilidad de descontaminación microbiana con Disminución de las probabilidades de los efectos secundarios tradicionales. Por ende, el propósito de esta revisión es proporcionar una visión general y direcciones futuras de estos nuevos enfoques para controlar las biopelículas orales patógenas.

Microcomentario:

El siguiente artículo nos da a conocer como la bacteria *Enterococcus faecalis* se reduce su producción mediante el riego al 1% de NaOCI, se cómo el procedimiento convencional logra su eficacia al 88,99 en comparación de los tratamientos innovadores o convencionales para estabilizar las biopelículas orales patógenas.

Estudio 3: “UN DISPOSITIVO DE PLASMA RC PARA LA ESTERILIZACION DEL CONDUCTO RADICULAR DE LOS DIENTES”

Autor: “Lu, Senior Member, IEEE, Yinguang Cao, Ping Yang, Qing Xiong, Zilan Xiong, Yubin Xian, and Yuan Pan” Nuclear Laboratorio de tecnología electromagnética avanzada y fusión, Ministerio de Educación y la Facultad de ingenierías de Huazhong Universidad de Ciencia y Tecnología, Wuhan 430074, China Y. TongJi Medical College, Huazhong Universidad de Ciencia y Tecnología, Wuhan 430074, China

Resumen:

La aplicación de plasma frío en la esterilización del conducto radicular de un diente ha atraído recientemente una gran atención. En este papel, un dispositivo de chorro de plasma confiable y fácil de usar, que puede generar plasma dentro del conducto radicular, se informa. El plasma se puede tocar con las manos desnudas y se puede dirigir manualmente mediante un que el usuario lo coloque en el conducto radicular para su desinfección sin causar ninguna sensación dolorosa. Cuando se utiliza He / O₂ (20%) como gas de trabajo, las temperaturas de rotación y vibración del plasma son aproximadamente 300 K y 2700 K, respectivamente. La corriente de descarga máxima es aproximadamente 10 mA. Los resultados del experimento de inactivación preliminar muestran que puede matar eficazmente *Enterococcus faecalis*, uno de los principales tipos de bacterias que causan el fracaso del tratamiento del conducto radicular en varios minutos.

Microcomentario:

La presente investigación nos informa que los dispositivos de descarga dieléctrica se utilizan para desinfectar el conducto radicular que no se realiza con los métodos tradicionales, al cual la mejor manera es generando plasma dentro del conducto radicular, dando como resultado que el dispositivo de chorro de plasma frío no causa daño dentro del conducto y con eficacia de matar a la Bacteria *Enterococcus Faecalis*.

Estudio 4: “USO DEL PLASMA FRIO EN EL CONTROL DEL BIOFILM DE CANDIDA ALBICANS EN PROTESIS DENTALES DE RESINA ACRILICA”.

Resumen:

El estudio se realizó con la finalidad de analizar el uso de plasma frío en el control de biopelículas de *Candida* en prótesis de resina acrílica. Se llevó a cabo una búsqueda en la base de datos Pubmed, utilizando las siguientes palabras clave combinadas entre sí: “plasma frío”, “*Candida albicans*” y “resinas acrílicas”, en el periodo de 2010 a 2017. Se encontraron 478 resultados en la búsqueda y Se seleccionaron 7 artículos científicos, utilizando como criterio de inclusión: estudios clínicos experimentales in vitro y/o controlados, que involucraran el uso de plasma frío sobre superficies de resina acrílica y/o que evaluaran el crecimiento de *Candida albicans* sobre estas. La literatura reporta que el plasma frío, disponible en diferentes composiciones gaseosas, tiene como principal mecanismo de acción aumentar la hidrofiliidad de las superficies de las resinas, fortaleciendo los enlaces químicos y, por lo tanto, desfavoreciendo la adherencia inicial de *Candida albicans*, que iniciaría el proceso de colonización -y la futura aparición de infección oral- por este hongo oportunista. También aumenta la microdureza de las dentaduras postizas y, por lo tanto, su resistencia a la corrosión, pero no muestra efectos significativos en propiedades como la rugosidad de la superficie, el módulo de elasticidad y la resistencia a la flexión. Se concluye que el uso de plasma puede ser promisorio en la prevención de la adhesión fúngica a las bases protésicas, sin alterar negativamente las propiedades físicas y mecánicas de los materiales involucrados, sin embargo, existe escasez en la literatura de trabajos que lo comparen con otros. mecanismos antifúngicos y estudios clínicos a largo plazo. También aumenta la microdureza de las dentaduras postizas y, por lo tanto, su resistencia a la corrosión, pero no muestra efectos significativos en propiedades como la rugosidad de la superficie, el módulo de elasticidad y la resistencia a la flexión. Se concluye que el uso de plasma puede ser promisorio en la prevención de la adhesión fúngica a las bases protésicas, sin alterar negativamente las características físicas y los atributos mecánicos de los materiales involucrados, sin embargo, existe escasez en la literatura de estudios que lo comparen con otros. mecanismos y estudios antifúngicos médicos a largo plazo. También aumenta la microdureza de las dentaduras postizas y, por lo tanto, su resistencia a la corrosión, pero no muestra efectos significativos en propiedades como la rugosidad de la superficie, El módulo de elasticidad y la capacidad de resistencia a la flexión.

Microcomentario:

Se concluye que el uso de plasma puede ser promisorio en la prevención de la adhesión fúngica a las bases protésicas, sin alterar negativamente las características físicas y los atributos mecánicos de los materiales involucrados, sin embargo, existe escasez en la literatura de estudios que lo comparen con otros mecanismos y estudios antifúngicos médicos a largo plazo.

Estudio 5: “TERAPIA CON PLASMA FRIO DE UN CONDUCTO DENTAL INFECTADO CON BIOPELICULAS IN VITRO DE *ENTEROCOCCUS FAECALIS*”,

Autor: “Jie Pan, Ke Sun, Yongdong Liang, Peng Sun, Xiaohui Yang, Jing Wang, Jue Zhang, Weidong Zhu, JJ Jing Fang, and Kurt H. Becker” Departamento de Odontología General, Escuela Universitaria de Pekín y Hospital de Estomatología, Beijing, China; Academia de Estudios Interdisciplinarios Avanzados, Universidad de Pekín, Beijing, China; Escuela de Estomatología, Universidad Lan Zhou, Lan Zhou, China; Facultad de Ingeniería, Universidad de Pekín, Beijing, China; Department de Ciencia y Tecnología Aplicadas, Saint Peter's College, Jersey City, Nueva Jersey; y Departamento de Física Aplicada, Instituto Politécnico de la Universidad de Nueva York, Brooklyn, Nueva York.

Resumen:

Esterilización completa de una raíz infectada canal es un desafío importante en el tratamiento de endodoncia. Los métodos tradicionales a menudo no pueden lograr una esterilización de alta eficiencia debido a la complejidad del sistema de conductos radiculares. El objetivo del estudio fue investigar in vitro la viabilidad e usar un resfriado tratamiento con plasma de un conducto radicular infectado con biopelículas de *Enterococcus faecalis*. Métodos: Setenta dientes de una sola raíz infectados con biopelículas de *E. faecalis* fueron dividido en 7 grupos. El grupo 1 sirvió como negativo grupo de control (sin tratamiento), y el grupo 7 fue el grupo de control positivo con dientes tratados con calcio medicación intracanal de hidróxido durante 7-8 días. Grupos 2 a 6 dientes incluidos tratados con plasma frío durante 2, 4, 6, 8 y 10 minutos, respectivamente. La desinfección del El biofilm de *E. faecalis* fue evaluado por formación de colonias recuento de unidades (CFU). Microscopía electrónica de barrido se utilizó para evaluar los cambios estructurales de *E. faecalis* y después del tratamiento con plasma. Se utilizó microscopía láser de barrido con focal para investigar

la vitalidad de los microorganismos en la biopelícula antes y después del tratamiento con plasma. Resultados: Se evidenció una reducción significativa en la cantidad de UFC después de tratamiento prolongado con plasma frío (basado en el análisis estadístico de los dientes en los grupos 2-6). Comparado con el grupo de control positivo, tratamiento con plasma frío de 8 o 10 minutos (grupos 5 y 6) tuvieron una mayor eficacia antimicrobiana ($p < 0,05$). El escaneo El análisis microscópico electrónico mostró que las bacterias la membrana se rompió, y la estructura de la biopelícula fue completamente destruido por el plasma. Escaneo con focal Los estudios microscópicos con láser indicaron que el tratamiento con plasma indujo la muerte de *E. faecalis* y la destrucción de la biopelícula. Conclusiones: El plasma frío tuvo una alta eficiencia en la desinfección de las biopelículas de *E. faecalis* en el tratamiento de conducto radicular in vitro.

Microcomentario:

La presente investigación nos informa que la esterilización del conducto radicular infectado con los métodos tradicionales es difícil, este artículo nos da que el conducto radicular está infectado con la bacteria *Enterococcus faecalis* utilizando Microscopia de barrido para ver su vitalidad en la biopelícula, nos muestra la disminución de la bacteria al tratamiento con plasma en frío y su destrucción en la biopelícula. (6)

6. HIPÓTESIS

Dado que, las investigaciones previas del plasma frío han demostrado tener actividad antibacteriana:

Es probable que, el plasma frío pueda inhibir el crecimiento bacteriano de *Enterococcus faecalis*.



**CAPÍTULO II:
PLANTEAMIENTO
OPERACIONAL**

1. Diseño metodológico:

El presente estudio tuvo un abordaje cuantitativo dado que utilizó estadísticas para la presentación de los resultados. Asimismo, fue prospectivo, transversal, descriptivo, laboratorial. Su diseño fue experimental y su nivel es explicativo.

2. Población y muestra:

Se conformaron 7 grupos: 6 grupos experimentales concordantes con los 6 tiempos de exposición al plasma frío (5, 10, 15, 20, 25 y 30 segundos). Asimismo, se incluyó un grupo control negativo que no recibió ningún estímulo. Se inocularon 05 placas Petri para cada tiempo respectivamente. Es decir, 30 placas Petri que entraron en la investigación.

Criterios de inclusión y criterios de exclusión

Criterio de Inclusión:

- Que la cepa de *Enterococcus faecalis* sea viable y certificada
- Que la inoculación de la cepa sea efectuada en un laboratorio
- La intensidad del estímulo en cada exposición debe ser de 30Newton
- Que el medio de cultivo sea Agar selectivo para *Enterococcus*

Criterios de exclusión:

- Otras cepas bacterianas
- Cepas no certificadas de *Enterococcus faecalis*
- Administración del inóculo fuera del laboratorio
- Otros tipos de agar

3. Tabla de variables:

VARIABLE	INDICADORES	CATEGORIAS/VALORES
Variable estímulo: Plasma frío (dispositivo físico que produce chispa eléctrica de alto voltaje)	05 segundos 10 segundos 15 segundos 20 segundos 25 segundos 30 segundos	Chispa eléctrica
Variable respuesta: Enterococcus Faecalis	Sensible (muerte) Resistente (vive)	Viabilidad

4. Técnicas y procedimientos: Laboratorial

La observación microbiológica es un procedimiento de laboratorio empleado con el fin de examinar microorganismos, como bacterias, hongos y virus, con el objetivo de recoger información sobre su morfología, estructura y características. Esta técnica puede incluir la observación directa de los microorganismos a través de un microscopio, involucra la inoculación de muestras en medios de cultivo para su crecimiento y la realización de pruebas adicionales para identificar la presencia de ciertas características, como la capacidad de fermentar ciertos azúcares. Se utilizó una bacteria estandarizada de *Enterococcus Faecalis*; el instrumento se obtuvo de la recolección de 2 grupos de UFC (unidades formadoras de colonias): el primer grupo de control no se aplicó el plasma frío (experimental); en cambio en el segundo grupo experimental se aplicó el plasma frío (experimental). La evaluación de la inhibición de los dos grupos fue a los 5, 10, 15, 20, 25 y 30 segundos.

4.1. Cepa de bacterias

Para nuestra investigación se obtuvo una cepa ATCC, Se tomó un tubo previamente sellado que contiene “*Enterococcus faecalis*” certificado. Luego, se preparó una suspensión en tioglicolato en una proporción de 1 parte de bacterias por cada 10 partes

de tioglicolato. Esta suspensión se colocó en una estufa a una temperatura de 37 grados centígrados y se incubó durante un período de 24 a 48 horas.

4.2. Verificación

Después de la observación, se tomó una muestra de 50 microlitros (μl) del medio que contenía el inóculo utilizando una micropipeta y se aplicó sobre la superficie del medio selectivo Agar Enterococcus (KF). Se procedió a esparcir uniformemente el inóculo en toda la superficie del medio utilizando un asa de inoculación previamente esterilizada. A continuación, los medios se incubaron en una estufa a 37°C durante un período de hasta 72 horas en condiciones de microaerofilia, y se sellaron con cinta adhesiva para evitar posibles fugas.

4.3. Observación macroscópica

La observación se llevó a cabo al examinar las colonias que se desarrollaron en la superficie del medio de cultivo Agar Enterococcus (KF). Se tuvieron en cuenta aspectos como la forma, tamaño, color, consistencia y apariencia de los bordes de estas colonias, utilizando el microscopio.

4.4. Observación microscópica

Se seleccionó una pequeña muestra de las colonias que se desarrollaron en la superficie del medio Agar Enterococcus (kf) utilizando un asa de hengle previamente esterilizada. Luego, se depositó esta muestra en un portaobjetos y se procedió a realizar la tinción de Gram con el objetivo de examinarla bajo el lente de inmersión (100x) del microscopio.

4.5. Caracterización de las colonias:

En los casos con resultados positivos, las colonias que se formaron en la superficie del medio Agar Enterococcus (KF) se describieron como de tono crema claro, redondeadas, con un diámetro que variaba entre 1 y 2 mm, ligeramente elevadas, de aspecto cremoso y con bordes lisos y continuos. Se observó inhibición del crecimiento a los 5, 10, 15, 20, 25 y 30 segundos La investigación fue realizada con el apoyo de un microbiólogo.

4.6. Identificación de morfotipos bacterianos:

Tras llevar a cabo la tinción de Gram y efectuar las observaciones microscópicas, se identificaron microorganismos que aparecieron como cocos en disposición de pares y

cadenas, mostrando una tinción Gram positiva (tonalidad morada), lo que indicó que pertenecían al género *Enterococcus*. Los diferentes tipos morfológicos bacterianos se identificaron a partir de las colonias que se desarrollaron en el medio Agar *Enterococcus* (KF).

4.7. Pruebas de sensibilidad:

El objetivo del antibiograma en el laboratorio es evaluar la reacción de un microorganismo frente a uno o varios antimicrobianos y, en términos generales, anticipar su efectividad clínica. La Organización Internacional de Normalización ha actualizado las categorías de sensibilidad, intermedia y resistencia de los antibióticos con el objetivo de evitar confusiones. La categoría de sensibilidad se refiere a cuando una bacteria aislada es inhibida en el laboratorio por una concentración de un antimicrobiano que tiene una alta probabilidad de éxito en el tratamiento. La categoría intermedia se refiere a cuando una bacteria aislada es inhibida en el laboratorio por una concentración de un antimicrobiano que tiene un efecto terapéutico incierto. Por último, la categoría de resistencia se refiere a cuando una bacteria aislada es inhibida en el laboratorio por una concentración de un antimicrobiano que tiene una alta probabilidad de fracaso en el tratamiento. Según se fundamenten en el cálculo de la Concentración Mínima Inhibitoria (CMI). Valores admisibles (mg/mL) de las concentraciones mínimas inhibitorias: Estándares de calidad en las pruebas de CIM.

5. Plan de análisis

Considerando que a la investigadora le interesa más que las amplitudes de los halos inhibitorios, si la bacteria es sensible o resistente, se utilizó frecuencias absolutas y porcentuales para expresar el comportamiento de la variable respuesta. En este sentido y bajo la premisa de que la variable respuesta va a ser tomada como categórica, se utilizó la prueba chi cuadrado de homogeneidad. Por el contrario, si la variable respuesta es cuantitativa se utilizó medidas de tendencia central y dispersión. En este caso particular la prueba ANOVA análisis de balance.

6. Consideraciones éticas: No refiere.

7. Recursos:

7.1. Recursos Humanos

- **Investigadora:** Yasmin Nataly Rueda Garces
- **Asesor:** Alberto Figueroa Banda

7.2. Recursos Físicos

Laboratorio privado

7.3. Recursos Económicos

Se establece que la recolección de fondos y otras tareas de investigación fueron financiadas por la tesista.

7.4. Materiales:

A. Medios reactivos

- Agua destilada
- Cepa de "*Enterococcus faecalis*"
- Caldo BHI
- Agar Kf
- Agar Mueller Hinton
- Agar mitis salivarius

B. Equipos de laboratorio

- Esterilizador a vapor
- Báscula eléctrica
- Placa de cocción eléctrica
- Cámara de incubación
- Horno
- Nevera
- Mechero de Bunsen

C. Instrumentos de laboratorio

- Pipetas
- Portatubos
- Tubos de ensayo
- Placas de cultivo
- Varillas de vidrio
- Asas de Digralsky
- Recipientes de vidrio
- Matraces
- Micropipetas Eppendorf
- Tubos Eppendorf
- Soportes para tubos Eppendorf
- Papel de filtro circular

D. Materiales de escritorio

- Cámara de fotos
- Rotuladores permanentes
- Regla graduada en milímetros
- Cinta adhesiva tipo masking tape
- Papel de manualidad

E. Bolígrafo Material documental

- Ficha laboratorial

8. Cronograma

Actividades	Abril 2022	Agosto 2022	Octubre 2025
Aprobación del proyecto de Investigación	XXX XXXX		
Recolección de datos		XXX	
Interpretación de resultados		XXX	
Análisis de resultados		XXX	
Análisis y discusión de resultados			XXX
Elaboración de informe final			XXX

CAPÍTULO III: RESULTADOS



1. Resultados

TABLA N° 1:

**COMPORTAMIENTO DE ENTEROCOCCUS FAECALIS, EN EL GRUPO
EXPERIMENTAL Y CONTROL, AREQUIPA 2022**

GRUPO EXPERIMENTAL	UFC			Grupo Control
	Tiempo de exposición	Media aritmética	Desviación estándar	Media Aritmética
5 seg, (a)	19,23	0,50	19,70	24.2
10 seg, (b)	16,27	0,47	16,80	24.2
15 seg, (c)	13,10	0,20	13,30	24.2
20 seg, (d)	6,60	0,62	7,30	24.2
25 seg, (e)	2,27	0,21	2,50	24.2
30 seg, (f)	0,13	0,15	0,30	24.2
Repeticiones	3			

Fuente: Elaboracion propia

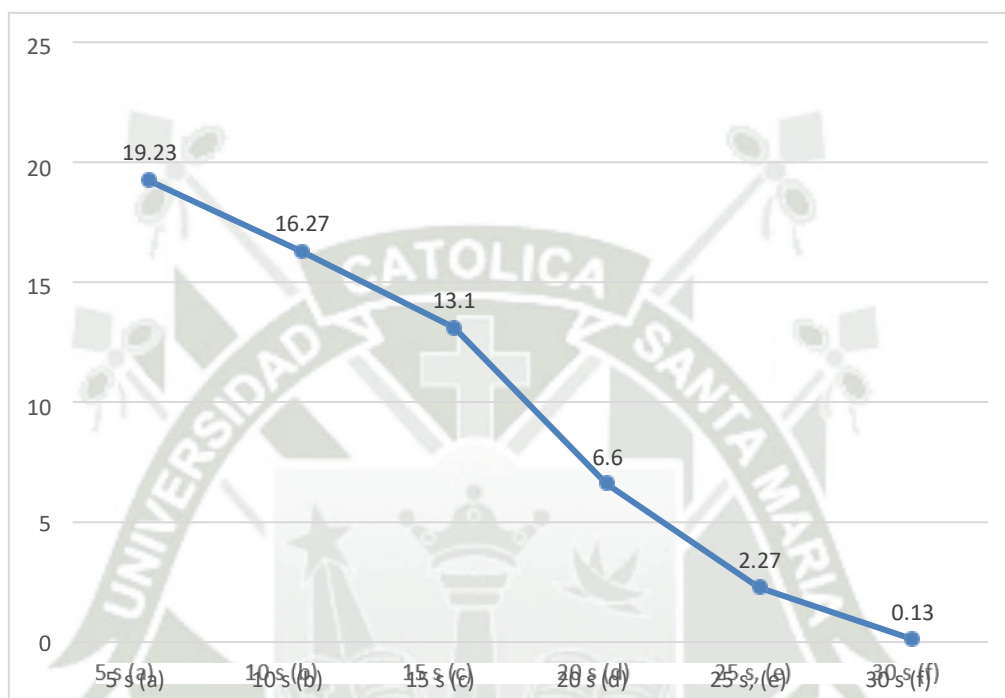
P = 1742,56 (P < 0,05) S.S

Interpretación:

Se puede notar que ha habido una variación en la media de los valores, donde el resultado de la prueba (a) fue 19,23, (b) 16,27, (c) 13,10, (d) 6,60, (e) 2,27, (f) 0,13. A diferencia del grupo control que se mantiene con 24, 2. Además, se ha observado que la prueba estadística ANOVA arrojó un resultado significativo y se llevó a cabo una prueba adicional de TUKEY para identificar dónde se produjo el cambio. Se ha evidenciado que ha habido una variación en el crecimiento, ya que todas las muestras fueron diferentes, y se ha confirmado estadísticamente que ha habido una diferencia en el crecimiento, con una disminución en el número de UFC.

FIGURA N°1:

**COMPORTAMIENTO DE ENTEROCOCCUS FAECALIS, EN EL GRUPO
EXPERIMENTAL, AREQUIPA 2022**



Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 2:

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DEL PLASMA FRIO POR 5 SEGUNDOS SOBRE
EL CRECIMIENTO BACTERIANO EN ENTEROCOCCUS FAECALIS, AREQUIPA
2022**

TIEMPO	Grupo de estudio	
	Control	Experimental
05 segundos		
Media aritmética	24,20	19,23
Desviación estándar		
Valor mínimo		
Valor máximo	0,00	0,50
	24,20	18,70
	24,20	19,70
Repeticiones	3	

Fuente: Elaboración propia

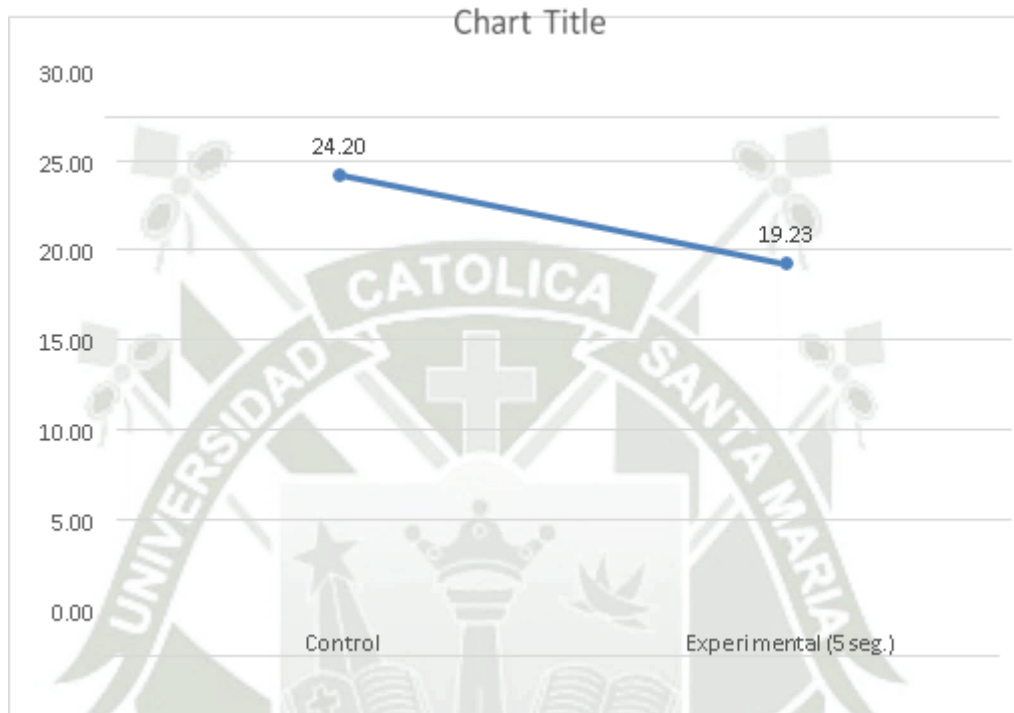
$$t = 17.09 \quad P = 0.003 \quad (P < 0,05) \quad S.S.$$

Interpretación:

Se puede observar que existe diferencia que es estadísticamente significativa entre las medias de las UFC, siendo de 24.20 para el grupo de control y 19.23 para el grupo experimental. Según los resultados de la prueba T de Student, el valor de p es menor a 0.05, lo que nos lleva a inferir que hay una diferencia estadísticamente significativa entre los grupos. Esto indica que la aplicación del plasma frío ha demostrado ser efectiva.

FIGURA N°2:

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DEL PLASMA FRIO POR 5 SEGUNDOS SOBRE
EL CRECIMIENTO BACTERIANO EN ENTEROCOCCUS FAECALIS, AREQUIPA
2022**



Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 3:

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DEL PLASMA FRIO POR 10 SEGUNDOS SOBRE
EL CRECIMIENTO BACTERIANO EN ENTEROCOCCUS FAECALIS, AREQUIPA
2022**

TIEMPO	Grupo de estudio	
	Control	Experimental
10 segundos		
Media aritmética	24,20	16,27
Desviación estándar		
Valor mínimo	0,00	0,47
Valor máximo	24,20	15,90
	24,20	16,80
Repeticiones		3

Fuente: Elaboración propia

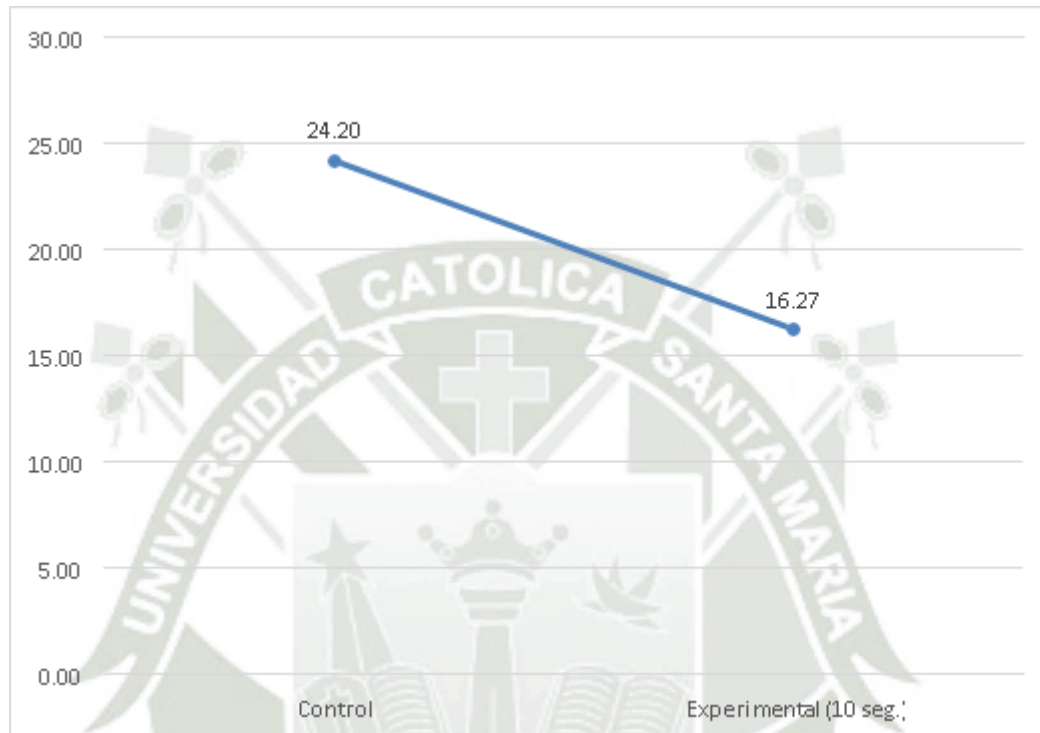
$$T = 29.07 \quad P = 0.001 \quad (P < 0,05) \text{ S.S.}$$

Interpretación:

Se puede observar que hay una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las UFC, siendo de 24.20 para el grupo de control y 16.27 para el grupo experimental. Según los resultados de la prueba T de Student, el valor de p es menor a 0.05, lo que nos lleva a inferir que hay una diferencia estadísticamente significativa entre los grupos. Esto indica que la aplicación del plasma frío ha demostrado ser efectiva.

FIGURA N° 3:

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DEL PLASMA FRIO POR 10 SEGUNDOS SOBRE
EL CRECIMIENTO BACTERIANO EN ENTEROCOCCUS FAECALIS, AREQUIPA
2022**



Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 4:

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DEL PLASMA FRIO POR 15 SEGUNDOS SOBRE
EL CRECIMIENTO BACTERIANO EN ENTEROCOCCUS FAECALIS, AREQUIPA
2022**

TIEMPO	Grupo de estudio	
	Control	Experimental
15 segundos		
Media aritmética	24,20	13,10
Desviación estándar		
Valor mínimo	0,00	0,20
Valor máximo	24,20	12,90
	24,20	13,30
Repeticiones		3

Fuente: Elaboración propia

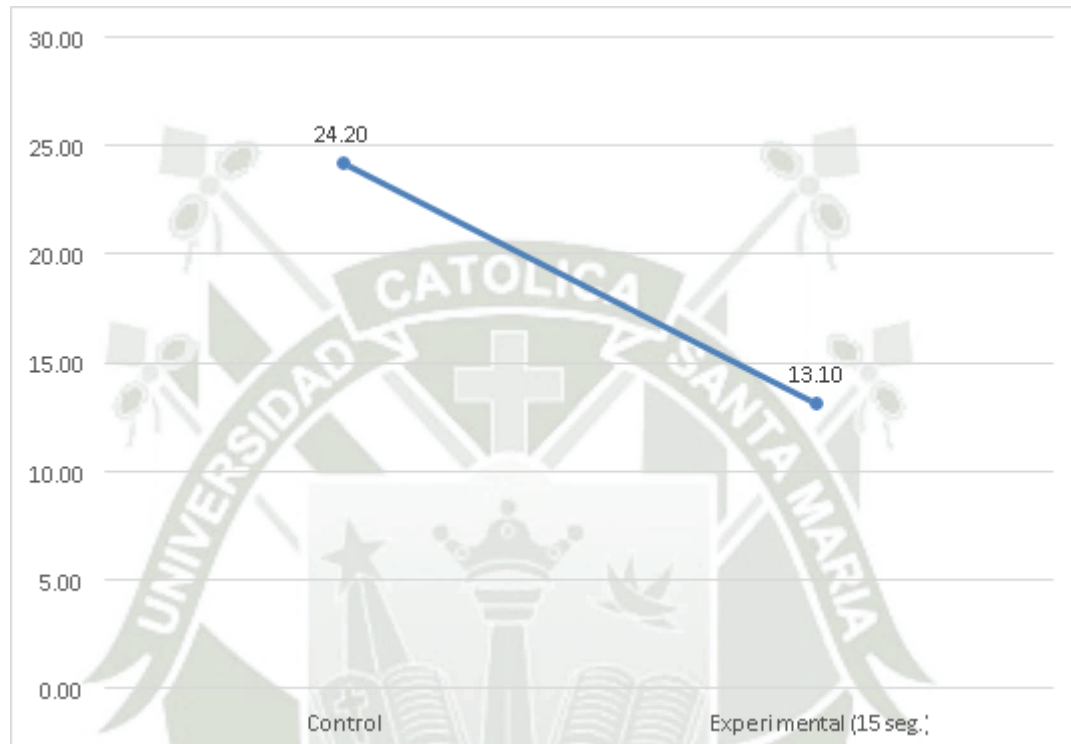
$$T = 96.12 \quad P = 0.00 \quad (P < 0,05) \quad S.S.$$

Interpretación:

Se puede observar que hay una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las UFC, siendo de 24.20 para el grupo de control y 13.10 para el grupo experimental (15 segundos). Según los resultados de la prueba T de Student, el valor de p es menor a 0.05, lo que nos lleva a inferir que hay una diferencia estadísticamente significativa entre los grupos. Esto indica que la aplicación del plasma frío ha demostrado ser efectiva.

FIGURA N° 4:

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DEL PLASMA FRIO POR 15 SEGUNDOS SOBRE
EL CRECIMIENTO BACTERIANO EN ENTEROCOCCUS FAECALIS, AREQUIPA
2022**



Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 5:

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DEL PLASMA FRIO POR 20 SEGUNDOS SOBRE
EL CRECIMIENTO BACTERIANO EN ENTEROCOCCUS FAECALIS, AREQUIPA
2022**

TIEMPO	Grupo de estudio	
	Control	Experimental
20 segundos		
Media aritmética	24,20	6,60
Desviación estándar		
Valor mínimo	0,00	0,62
Valor máximo	24,20	6,10
	24,20	7,30
Repeticiones		3

Fuente: Elaboración propia

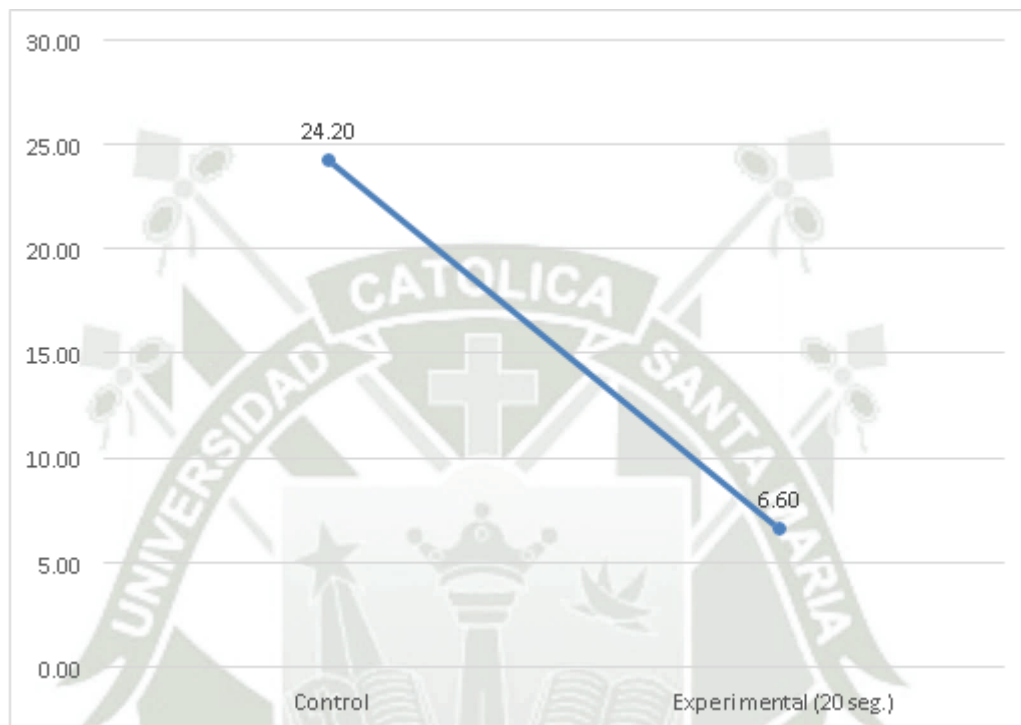
$$T = 48.81 \quad P = 0.00 \quad (P < 0,05) \text{ S.S.}$$

Interpretación:

Se puede observar que hay una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las UFC, siendo de 24.20 para el grupo de control y 6.60 para el grupo experimental (20 segundos). Según los resultados de la prueba T de Student, el valor de p es menor a 0.05, lo que nos lleva a inferir que hay una diferencia estadísticamente significativa entre los grupos. Esto indica que la aplicación del plasma frío durante 20 segundos ha demostrado ser efectiva.

FIGURA N° 5:

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DEL PLASMA FRIO POR 20 SEGUNDOS SOBRE
EL CRECIMIENTO BACTERIANO EN ENTEROCOCCUS FAECALIS, AREQUIPA
2022**



Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 6:

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DEL PLASMA FRIO POR 25 SEGUNDOS SOBRE
EL CRECIMIENTO BACTERIANO EN ENTEROCOCCUS FAECALIS, AREQUIPA
2022**

TIEMPO	Grupo de estudio	
	Control	Experimental
25 segundos		
Media aritmética	24,20	2,27
Desviación estándar	0,00	0,21
Valor mínimo		
Valor máximo	24,20	2,10
	24,20	2,50
Repeticiones	3	

Fuente: Elaboración propia

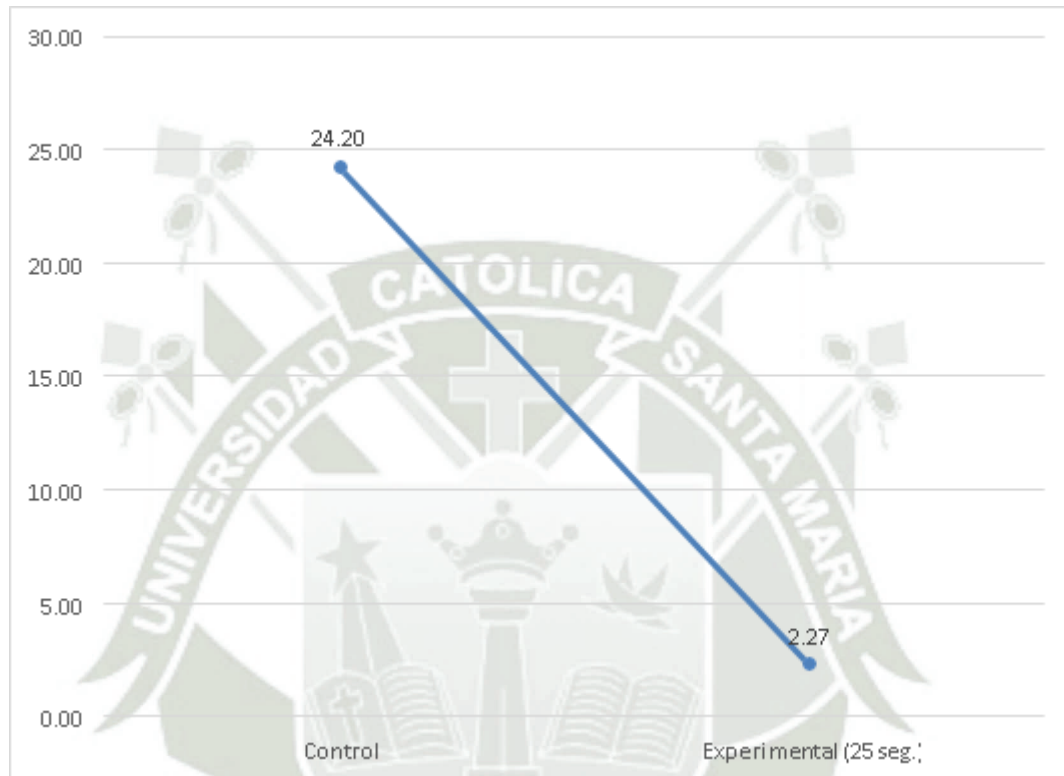
$$T = 182.49 \quad P = 0.00 \quad (P < 0,05) \quad S.S.$$

Interpretación:

Se puede observar que hay una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las UFC, siendo de 24.20 para el grupo de control y 2.27 para el grupo experimental (25 segundos). Según los resultados de la prueba T de Student, el valor de p es menor a 0.05, lo que nos lleva a inferir que hay una diferencia estadísticamente significativa entre los grupos. Esto indica que la aplicación del plasma frío durante 25 segundos ha demostrado ser efectiva.

FIGURA N° 6:

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DEL PLASMA FRIO POR 25 SEGUNDOS SOBRE
EL CRECIMIENTO BACTERIANO EN ENTEROCOCCUS FAECALIS, AREQUIPA
2022**



Fuente: Elaboración propia

TABLA N° 7:

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DEL PLASMA FRIO POR 30 SEGUNDOS SOBRE
EL CRECIMIENTO BACTERIANO EN ENTEROCOCCUS FAECALIS, AREQUIPA
2022**

TIEMPO	Grupo de estudio	
	Control	Experimental
30 segundos		
Media aritmética	24,20	0,13
Desviación estándar	0,00	0,15
Valor mínimo		
Valor máximo	24,20	0,00
	24,20	0,30
Repeticiones	3	

Fuente: Elaboración propia

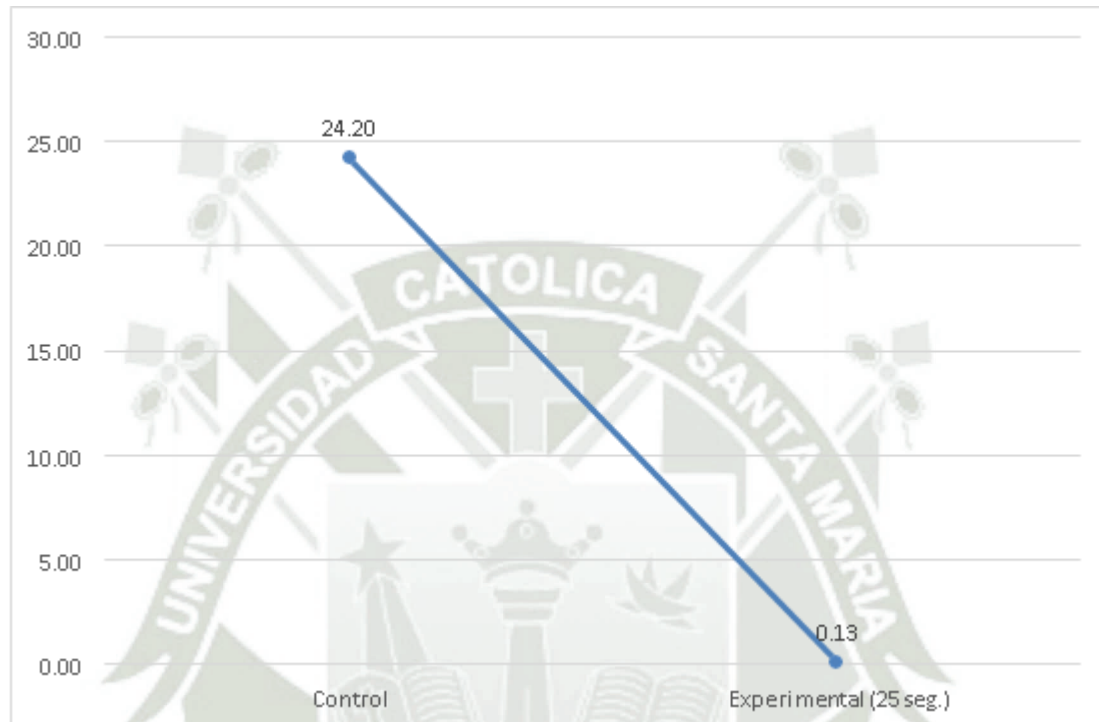
$$T = 272,89 \quad P = 0.00 \quad (P < 0,05) \text{ S.S.}$$

Interpretación:

Se puede observar que hay una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las UFC, siendo de 24.20 para el grupo de control y 0.13 para el grupo experimental (30 segundos). Según los resultados de la prueba T de Student, el valor de p es menor a 0.05, lo que nos lleva a inferir que hay una diferencia estadísticamente significativa entre los grupos. Esto indica que la aplicación del plasma frío durante 30 segundos ha demostrado ser efectiva.

FIGURA N° 7:

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DEL PLASMA FRIO POR 30 SEGUNDOS SOBRE
EL CRECIMIENTO BACTERIANO EN ENTEROCOCCUS FAECALIS, AREQUIPA
2022**



Fuente: Elaboración propia

2. Discusión

Se llevó a cabo este estudio con el propósito de evaluar el efecto inhibitorio del plasma frío en el desarrollo de la bacteria *Enterococcus faecalis*. La finalidad de esta investigación fue contribuir de forma significativa al ámbito académico, generando nuevos conocimientos que puedan servir como base para futuros estudios.

En este estudio, se empleó un dispositivo experimental de plasma frío para evaluar el efecto inhibitorio de la bacteria *Enterococcus faecalis* en una placa Petri. Es importante destacar que se ha utilizado previamente un dispositivo similar que produce plasma frío directamente en el conducto radicular, obteniendo un resultado exitoso con una eficacia del 99%.

Se utilizó el dispositivo de plasma frío como terapia para evaluar su efectividad antimicrobiana sobre la bacteria *Enterococcus faecalis*. Además, se logró controlar las biopelículas patógenas mediante el uso de terapias plasmáticas.

Los resultados obtenidos en relación al efecto del plasma frío sobre *Enterococcus faecalis* demostraron una eficacia significativa, especialmente después de 30 segundos de tratamiento.

Baxx ha llevado a cabo una investigación similar y ha patentado un dispositivo altamente efectivo de plasma frío para erradicar bacterias, virus y esporas del ambiente. El plasma frío opera al dispersar radicales hidroxilos (OH⁻) en el aire, los cuales se generan a partir de la humedad en el ambiente. Estos radicales se adhieren a la pared celular de las bacterias y les quitan los átomos de hidrógeno, lo que resulta en la muerte de los microorganismos patógenos. Como resultado, se elimina la presencia de estos microorganismos y se produce agua. Los ensayos realizados por laboratorios certificados han demostrado que el dispositivo de Baxx es capaz de eliminar: “*Escherichia Coli, Staphylococcus Aureus, Campylobacter, Listeria Mono Cytogeneses, Pseudomonas y Aspergillus Niger*”.

Marco Aurelio Paschoal, Thereza Cristina Botelho Dantas, Simone Duarte en su investigación titulada “TERAPIAS PLASMATICAS FOTODINAMICAS Y TOLERABLES A LOS TEJIDOS COMO ALTERNATIVAS A LOS ANTIMICROBIANOS PARA EL CONTROL DE BIOPELICULAS PATOGENICAS”

concluyeron que han surgido enfoques antimicrobianos alternativos para facilitar el tratamiento de estas enfermedades. Como terapias novedosas, la quimioterapia antimicrobiana fotodinámica y el plasma tolerable por tejidos son métodos prometedores que ofrecen la posibilidad de descontaminación microbiana con Disminución de las probabilidades de los efectos secundarios tradicionales. El objetivo de esta revisión es proporcionar una perspectiva general y sugerir posibles direcciones futuras para el control de biopelículas orales patógenas mediante estos nuevos enfoques.

Lu, Senior Member et. al en su estudio denominado “UN DISPOSITIVO DE PLASMA RC PARA LA ESTERILIZACION DEL CONDUCTO RADICULAR DE LOS DIENTES” concluyeron que La aplicación de plasma frío en la esterilización del conducto radicular de un diente ha atraído recientemente una gran atención. El plasma se puede tocar con las manos desnudas y se puede dirigir manualmente mediante un que el usuario lo coloque en el conducto radicular para su desinfección sin causar ninguna sensación dolorosa Cuando se utiliza He / O₂ (20%) como gas de trabajo, las temperaturas de rotación y vibración del plasma son aproximadamente 300 K y 2700 K, respectivamente. La corriente de descarga máxima es aproximadamente 10 mA. Los resultados del experimento de inactivación preliminar muestran que puede matar eficazmente *Enterococcus faecalis*, uno de los principales tipos de bacterias que causan el fracaso del tratamiento del conducto radicular en varios minutos.

Jie Pan, Ke Sun, et al. en su estudio “TERAPIA CON PLASMA FRIO DE UN CONDUCTO DENTAL INFECTADO CON BIOPELICULAS IN VITRO DE *Enterococcus faecalis*” obtuvieron que Se observó una disminución significativa en el número de UFC después de tratamiento prolongado con plasma frío (basado en el análisis estadístico de los dientes en los grupos 2-6). Comparado con el grupo de control positivo, tratamiento con plasma frío de 8 o 10 minutos (grupos 5 y 6) tuvieron una mayor eficacia antimicrobiana ($p < 0.05$). El escaneo El análisis microscópico electrónico mostró que las bacterias la membrana se rompió, y la estructura de la biopelícula fue completamente destruido por el plasma. Escaneo con focal Los estudios microscópicos con láser indicaron que el tratamiento con plasma indujo la muerte de *E. faecalis* y la destrucción de la biopelícula. Conclusiones: El plasma frío tuvo una alta eficiencia en la desinfección de las biopelículas de *E. faecalis* en el tratamiento de conducto radicular in vitro.

3. Conclusiones

PRIMERA: Después de realizar pruebas estadísticas, se pudo comprobar la hipótesis alternativa, ya que se demostró que el plasma frío inhibe el crecimiento bacteriano de *Enterococcus faecalis*. Esto respalda la eficacia del plasma frío como agente antimicrobiano contra esta bacteria.

SEGUNDA: Se puede observar que hay una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las UFC, siendo de 24.20 para el grupo de control y 19.23, 16.27 y 13.10 UFC para los grupos experimentales a los 5, 10 y 15 segundos respectivamente. Según los resultados de la prueba estadística, se encontró una diferencia estadísticamente significativa, lo que indica que la aplicación del plasma frío fue efectiva.

TERCERA: Se logra deducir que hay una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las UFC, siendo de 24.20 para el grupo de control y 6.60, 2.27 y 0.13 UFC para los grupos experimentales a los 20, 25 y 30 segundos respectivamente. Según los resultados de la prueba estadística, se encontró una diferencia estadísticamente significativa, lo que indica que la aplicación del plasma frío fue efectiva. El grupo experimental sometido a 30 segundos de plasma frío fue el más efectivo en la reducción de las UFC.

4. Recomendaciones

PRIMERO: Recomiendo a los investigadores que trabajan con *Enterococcus faecalis* que estandaricen la cepa para maximizar la eficacia del plasma frío como agente antimicrobiano. Esto permitirá obtener resultados más precisos y consistentes en futuros estudios.

SEGUNDO: Se sugiere a los laboratorios que se dedican a la investigación de agentes antimicrobianos que se certifiquen para garantizar la calidad y precisión de los resultados obtenidos. Esto también asegura que se sigan los protocolos y medidas de seguridad adecuados durante el proceso de investigación.

TERCERO: Recomiendo a los investigadores que manejen con precisión los tiempos de aplicación del plasma frío para obtener resultados óptimos y consistentes en sus investigaciones. El seguimiento riguroso de los tiempos de tratamiento recomendados es fundamental para garantizar la eficacia del plasma frío como agente antimicrobiano.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

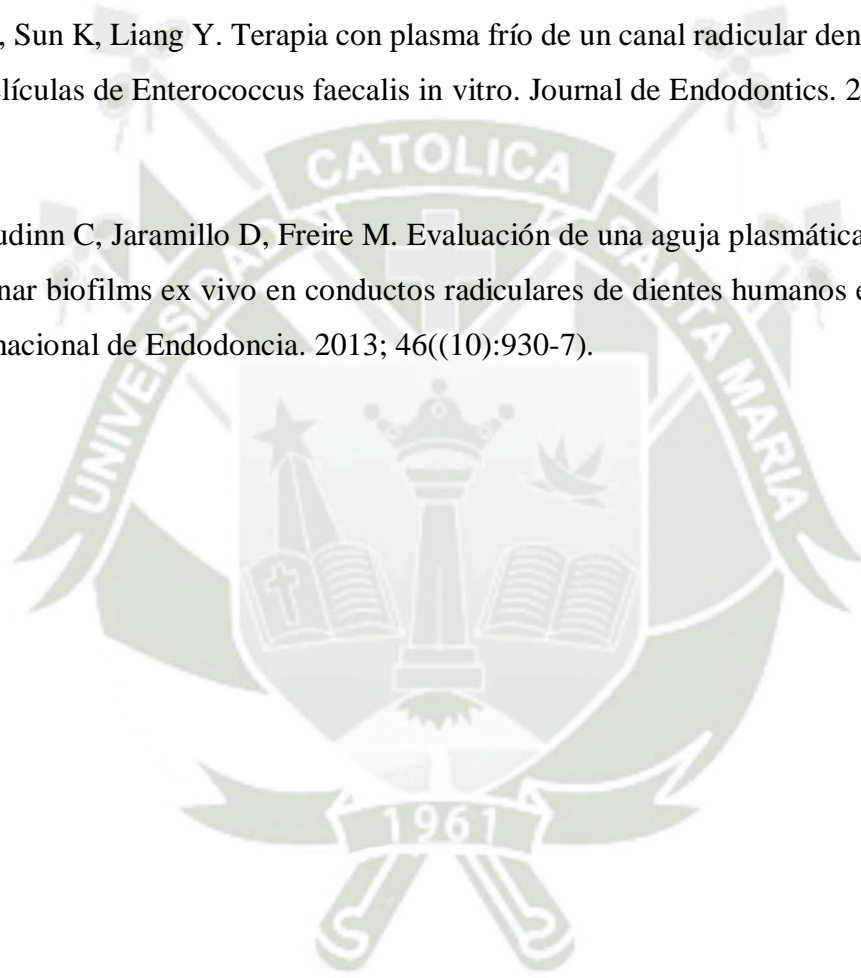
1. Maquera K, Pedraza I. Medicación intraconducto frente al *Enterococcus faecalis*. Revista Odontológica Basadrina. 2019; 3(3(2): p, 49-55).
2. Boyd T, Sanderson J. The Physics of Plasmas. Cambridge: Cambridge University Press. 2013.
3. Almeida C, Taddei A, Amedei A. The controversial role of *Enterococcus faecalis* in colorectal cancer. Therap Adv Gastroenterol [Internet] Available from: <http://dx.doi.org/10.1177/1756284818783606>. 2018; 11(17).
4. Baeza O. Estudio de la actividad del plasma frío a presión atmosférica sobre el biofilm y células planctónicas de *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Candida albicans*. Informe..
5. Jabbari S, Shiadeh S, Pormohammad A. Global prevalence of antibiotic resistance in blood-isolated *Enterococcus faecalis* and *Enterococcus faecium*: a systematic review and meta-analysis. Infect Drug Resist [internet]. 2019; 12(2713–2725).
6. Alghamdi F, Shakir M. The influence of *Enterococcus faecalis* as a dental root canal pathogen on endodontic treatment: A systematic review. Cureus [internet] Available from: https://assets.cureus.com/uploads/review_article/pdf/28829/1612429896-161242. 2020; 16(2).
7. Ferlay J, Shin H, Bray F. Cancer incidence and mortality worldwide. Lyon, France: GLOBOCAN, International Agency for Research on Cancer.
8. Johansson M, Phillipson M, Petersson J. The inner of the two Muc2 mucin-dependent mucus layers in colon is devoid of bacteria. Proc Natl Acad. Sci. Doi:10.1073/pnas.0803124105188062. 2008; 105((39):15064–15069).
9. Ruiz P, de Regt M, Garbajosa P. High-density fecal *Enterococcus faecium* colonization in hospitalized patients is associated with the presence of the polyclonal subcluster CC17. Eur J Clin Microbiol Infect Dis. 2012; 31((4):519–522).

10. McBride S, Upton A, Roberts S. Clinical characteristics and outcomes of patients with vancomycin-susceptible *Enterococcus faecalis* and *Enterococcus faecium* bacteraemia—a five-year retrospective review. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis*. 2010; 29((1):107–114).
11. Ulrich N, Vonberg R, Gastmeier P. Outbreaks caused by vancomycin-resistant *Enterococcus faecium* in hematology and oncology departments: a systematic review . *Heliyon*. Doi:10.1016/j.heliyon.2017.e0047329322099. 2017; 3((12):e00473.).
12. Arias C, Murray B. The rise of the *Enterococcus*: beyond vancomycin resistance. *Nat Rev Microbiol*. Doi:10.1038/nrmicro276122421879. 2012; 10((4):266).
13. Billington E, Phang S, Gregson D. Incidence, risk factors, and outcomes for *Enterococcus* spp. blood stream infections: a population-based study. *Int J Infect Dis*. Doi:10.1016/j.ijid.2014.02.01224813873. 2014; 26(26:76–82).
14. Edmond M, Ober J, Weinbaum D. Vancomycin-resistant *Enterococcus faecium* bacteremia: risk factors for infection. *Clin Infect Dis*. Doi:10.1093/clinids/20.5.11267619987. 1995; 20((5):1126– 1133).
15. Han L, Patil S, Boehm D. Mechanisms of Inactivation by High-Voltage Atmospheric Cold Plasma Differ for *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Appl Environ Microbiol*. 2015; 82((2): p, 450- 458,).
16. Freebairn D, Linton D, Harkin-Jones E. Electrical methods of controlling bacterial adhesion and biofilm on device surfaces. *Expert Review of Medical Devices*. 2013; 10((1): p, 85-103).
17. Joshi R, Schoenbach K. Bioelectric effects of intense ultrashort pulses. *Critical Reviews™ in Biomedical Engineering*. 2010; 38(3).
18. Noskin G, Peterson L, Warren J. *Enterococcus faecium* and *Enterococcus faecalis* bacteremia: acquisition and outcome. *Clin Infect Dis*. Doi:10.1093/clinids/20.2.2967742433. 2015; 20((2):296– 301).

19. Jia W, Li G, Wang W. Prevalence and antimicrobial resistance of *Enterococcus* species: a hospital-based study in China. *Int J Environ Res Public Health*. Doi:10.3390/ijerph11030342424662964. 2014; 11((3):3424–3442).
20. Sysolyatina E, Mukhachev A, Yurova M. Role of the Charged Particles in Bacteria Inactivation by Plasma of a Positive and Negative Corona in Ambient Air. *Plasma Process Polym*. 2014; 11((4): p, 315- 334.).
21. Weltmann K, von Woedtke T. Plasma medicine current state of research and medical application. *Plasma Phys Controlled Fusion*. 2016; 59((1)).
22. Kaushik N, Ghimire B, Adhikari M. Biological and medical applications of plasma-activated media, water and solutions. *Biol Chem*. 2018; 400((1): p, 39-62.).
23. Vatansever F, de Melo W, Avci P. Antimicrobial strategies centered around reactive oxygen species - bactericidal antibiotics, photodynamic therapy, and beyond. *Fems Microbiology Reviews*. 2013; 37((6): p, 955-989.).
24. Lozano C. Detection of vancomycin-resistant *Enterococcus faecalis* ST6- vanB2 and *E. faecium* ST915-vanA in faecal samples of wild *Rattus rattus* in Spain. *Vet. Microbiol*. 2015; 177(168–174).
25. Sureshkumar A, Sankar R, Mandal M. Effective bacterial inactivation using low temperature radio frequency plasma. *Int J Pharm*. 2010; 396((1-2): p, 17-22.).
26. Duggan J, Sedgley C. Biofilm formation of oral and endodontic *enterococcus faecalis*. *J Endod*. URL:<https://doi.org/10.1016/j.joen.2007.02.016>. 2017; 33((7): 815-818).
27. Stoffels Y, Sakiyama D. Cold Atmospheric Plasma: Charged Species and Their Interactions With Cells and Tissues. *Transactions on Plasma Science*. 2018; 36((4): p, 1441-1457).
28. Ermolaeva S, Varfolomeev A, Chernukha M. Bactericidal effects of non-thermal argon plasma in vitro, in biofilms and in the animal model of infected wounds. *J Med Microbiol*. 2011; 60(p, 75- 83).

29. Peciuliene V, Balciuniene I, Eriksen H. Isolation of enterococcus faecalis in previously Root-Filled Canals in a Lithuanian Population. *J Endod* URL:[https://doi.org/10.1097/00004770-](https://doi.org/10.1097/00004770-2010-26(10):593-595). 2010; 26((10): 593-595.).
30. Fernandes T, Silva S, Henriques M. Candida tropicalis biofilm's matrix- involvement on its resistance to amphotericin B.. *Diagn Microbiol Infect Dis*. URL: <https://doi.org/10.1016/j.diagmicrobio.2015.06.015>. 2015 ; 83((2):165-169).
31. Stuart C, Schwartz S, Beeson T. Enterococcus faecalis: Its role in root canal treatment failure and current concepts in retreatment. *Journal of endodontics*. 2016; 32((2); 93-98).
32. Quiñones D. Enterococcus aislados en Cuba: Resistencia antimicrobiana, virulencia y diversidad genética. *Instituto de Medicina tropical Pedro Kourí*. 2016; 70(31).
33. Jaouani M, Abbassi S, Ribeiro C. Safety and technological properties of bacteriocinogenic enterococci isolates from Tunisia. *Journal of Applied Microbiology*. 2015; 119(4 pp. 1089–1100, 2015).
34. Kortright K, Chan B, Koff J. Phage Therapy: A Renewed Approach to Combat Antibiotic-Resistant Bacteria. *Cell Host Microbe*. 2019; 25(219–232).
35. Murray P, Rosenthal K, Pfaller M. *Microbiología Médica, Enterococcus y otros cocos gran positivos*. sexta ed. Madrid, España: Elsevier Mosby; 2015.
36. Kao P, Kline K. Dr. Jekyll and Mr. Hide: How Enterococcus faecalis subverts the host immune response to cause infection. *J Mol Biol* [internet] Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022283619303122>. 2019; 431((16):2932–2945).
37. Golondrino L. Clasificación taxonómica de bacterias usando machine learning..
38. Whittaker A, Graham E, Baxter R. Escisión plasmática de instrumentos dentales. *Journal of Hospital Infection*. 2014; 56((1):37-41).

39. Üreyen K, Kaya B, Kececi A. Eficacia de las aplicaciones odontológicas de ozono y plasma de presión atmosférica a baja temperatura en conductos radiculares infectados con *Enterococcus faecalis*. *Cartas en Applied Microbiología*. 2014; 58((1): 8-15).
40. Du T, Ma J, Yang P. Evaluación de los efectos antibacterianos mediante plasmas de no equilibrio a presión atmosférica frente a biofilms de *Enterococcus faecalis* in vitro. *Revista de Endodoncia*. 2012; 38((4):545-9).
41. Pan J, Sun K, Liang Y. Terapia con plasma frío de un canal radicular dental infectado con biopelículas de *Enterococcus faecalis* in vitro. *Journal de Endodontics*. 2013; 39((1):105-10).
42. Schaudinn C, Jaramillo D, Freire M. Evaluación de una aguja plasmática no térmica para eliminar biofilms ex vivo en conductos radiculares de dientes humanos extraídos. *Journal Internacional de Endodoncia*. 2013; 46((10):930-7).





ANEXOS

ANEXO 1: INSTRUMENTO

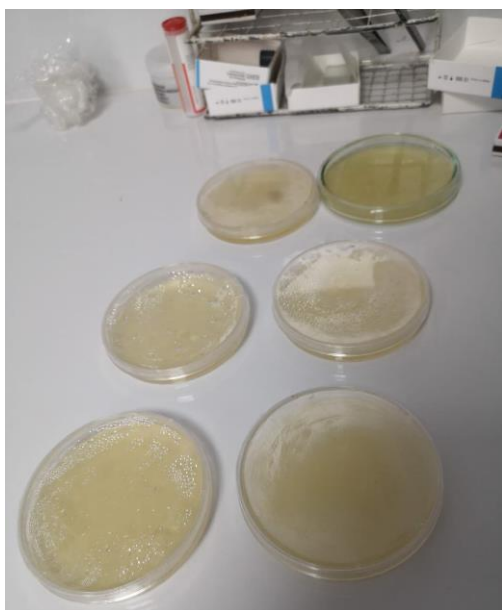
FICHA DE OBSERVACIÓN MICROBIOLÓGICA SENSIBILIDAD MICROBIANA:

ESPÉCIMEN: *ENTEROCOCCUS FAECALIS*

MUESTRA	PLACAS	VIABILIDAD						OBSERVACIONES
		TIEMPOS						
		5 seg	10 seg	15 seg	20 seg	25 seg	30 seg	
Grupo control PROMEDIO		24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	
Grupo De resultados exposición	1er grupo	19.7	16.8	12.9	6.4	2.2	0.3	
	2do grupo	19.3	16.1	13.3	7.3	2.5	0.0	
	3er grupo	18.7	15.9	13.1	6.1	2.1	0.1	

ANEXO 2: EVIDENCIA FOTOGRÁFICA

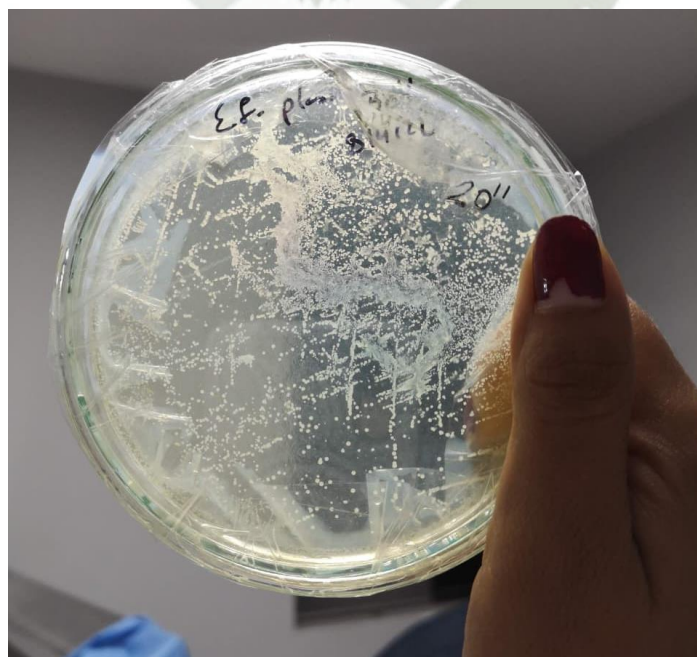
Placas Petri (6)



Colonias de Enterococcus Faecalis



Exposición del Plasma Frio a los 20 segundos



Exposición del Plasma Frio a los 25 segundos



Exposición del Plasma Frio a los 30 segundos

