



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTAD DE ESTOMATOLOGÍA

MAESTRÍA EN ENDODONCIA

“EVALUACIÓN DE LA EFICACIA EN EL DIAGNÓSTICO
PULPAR DE UN DISPOSITIVO DE OXÍMETRO DE PULSO”

AUTOR:

C.D. JESÚS ANDRÉS CARRERA VARGAS

Tesis presentada para obtener el grado de:

MAESTRÍA EN ENDODONCIA

DIRECTOR:Dra. Claudia Edith Dávila Pérez

CO-DIRECTOR: Dr. Fernando Torres Méndez

ASESOR.....Dr. Azahel de Jesús Rangel López

San Luis Potosí, S.L.P., 25 de octubre del 2024



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTAD DE ESTOMATOLOGÍA

MAESTRÍA EN ENDODONCIA

“EVALUACIÓN DE LA EFICACIA EN EL DIAGNÓSTICO PULPAR DE UN DISPOSITIVO DE
OXÍMETRO DE PULSO”

AUTOR:

C.D. JESÚS ANDRÉS CARRERA VARGAS

Tesis presentada para obtener el grado de:

MAESTRÍA EN ENDODONCIA

DIRECTORPhD. Claudia Edith Dávila Pérez

Profesor Investigador Maestría en Endodoncia

UASLP San Luis Potosí, S.L.P.

CO-DIRECTOR: PhD. Fernando Torres Méndez

Profesor Investigador Maestría en Endodoncia

UASLP San Luis Potosí, S.L.P.

ASESOR..... PhD. Azahel de Jesús Rangel López

Profesor Investigador Coordinación Académica Región Altiplano

UASLP Matehuala, S.L.P.

San Luis Potosí, S.L.P., 25 de octubre del 2024



“EVALUACIÓN DE LA EFICACIA EN EL DIAGNÓSTICO PULPAR DE UN DISPOSITIVO DE OXÍMETRO DE PULSO”

AUTOR: C.D. JESÚS ANDRÉS CARRERA VARGAS

Trabajo de grado aprobado para su presentación en el nombre de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Estomatología, Maestría en Endodoncia por las siguientes autoridades:

Dr. Alan Martínez Zumarán

Director de la Facultad de Estomatología

Dra. Yolanda Hernández Molinar

Jefa de la División de Posgrados de la Facultad de Estomatología

MsC. María Verónica Méndez González

Coordinadora de la Maestría en Endodoncia



“EVALUACIÓN DE LA EFICACIA EN EL DIAGNÓSTICO PULPAR DE UN DISPOSITIVO DE OXÍMETRO DE PULSO”

AUTOR: C.D. JESÚS ANDRÉS CARRERA VARGAS

Trabajo de grado aprobado para su presentación en el nombre de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Estomatología, Maestría en Endodoncia por los siguientes asesores:

Dra. Claudia Edith Dávila Pérez

Director de Tesis

Dr. Fernando Torres Méndez

Codirector de Tesis

Dr. Azahel de Jesús Rangel López

Asesor



“EVALUACIÓN DE LA EFICACIA EN EL DIAGNÓSTICO PULPAR DE UN DISPOSITIVO DE OXÍMETRO DE PULSO””

AUTOR: C.D. JESÚS ANDRÉS CARRERA VARGAS

Trabajo de grado aprobado para su presentación en el nombre de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Estomatología, Maestría en Endodoncia por las siguientes sinodales:

MsC. Francisco Javier Ducoing Hernández
Presidente

PhD. Karla Patricia Navarrete Olvera
Secretaria

PhD Jairo Mariel Cárdenas
Vocal



Evaluación de la eficacia en el diagnóstico pulpar de un dispositivo de oxímetro de pulso by Jesús Andrés Carrera Vargas is licensed under [CC BY-NC-ND 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)



AGRADECIMIENTOS

Se agradece la participación de todas las personas que contribuyeron a la realización de este trabajo de investigación.

Dra. Claudia y Dr. Fernando, por su apoyo constante durante el desarrollo del proyecto, mostrando un interés sin comparación por las ideas que podía aportar, permitiendo una gran discusión de ideas para dejar la investigación lo mejor posible. Gracias por los desayunos que sin pensarlo compartían conmigo en esos momentos de hambruna foránea, y por siempre ser un oído para desahogar estrés y compartir risas.

Dr. Azahel, sin usted, no hubiera sido posible el desarrollo del proyecto, agradezco su aporte constante a la adaptación del dispositivo de oximetría que presentó su propia serie de problemas. Gracias por permitirme conocer su plantel y ciudad de forma tan personal, especialmente después de un viaje mas que tumultuoso y estresante.

Dra. Lucy, por dejarme ser parte de su alumnado durante ese mes y medio, molestándola constantemente con dudas, preguntas y pláticas sin sentido. Su paciencia es algo digno de reconocer, que aunque su laboratorio se encuentre repleto de personas, siempre podía contar con su apoyo en forma de palabras de afirmación, o de forma moral cuando el proceso no sucedía de la forma que yo esperaba.

Dra. Karla, insisto que fue mi primer acercamiento a la maestría durante el propedéutico, y afirmo que con usted, fue posible entrar a esta institución. Y solo era mas que adecuado, que usted fuera parte del panel que concluyera mi experiencia en la maestría, la UASLP y San Luis Potosí. Nunca faltó una buena conversación en esos momentos donde el tiempo lo permitía, y agradezco que me permitiera ser parte su avance profesional.

Dr. Ducoing, que nos acompañó durante todo el proceso de nuestra formación, rompiendo limas en preclínica, hasta romper limas en clínica, siempre disponible para ofrecer su ayuda durante los casos más complicados y estresantes, con una sonrisa y siempre, cuidándonos.

DEDICATORIA

Hubo grandes personas que fueron parte de este camino lleno de crecimiento profesional, y personal. Estoy profundamente agradecido por el tiempo que me brindaron mis compañeros, maestros y personal.

A **mis papás**, por el apoyo de todas las formas posibles durante estos últimos años, dejándome explorar la locura de la individualidad a mi paso. Regreso con una mentalidad plena, confiando que aproveché lo máximo mi experiencia, con anécdotas, amistades y aprendizajes que jamás hubiera podido adquirir de haberme quedado allá. Cuando hubo dudas, me dejaron crecer, cuando hubo oportunidad, me empujaron a tomarla.

A **Kari**, que superaste toda expectativa sobre lo que creía que era ser un amigo. Siempre podía contar contigo para cualquier cosa, cualquier plan y cualquier plática. Te he visto crecer en estos últimos años de todas las formas imaginables, y no dudo en que obtendrás todo lo que esperas de esta vida, y estaré feliz de ser parte de todo lo que construyas, aunque sea a la distancia. Para siempre tendrás un amigo, que aunque no presente donde estés; contigo cuando pases por las calles que recorrimos, las comidas que comimos, y especialmente cuando veas ese podólogo.

A **Aida y Llilenis**, compartiendo nuestros momentos mas foráneos, entre fiestas, reuniones y algunos viajes. Gracias por abrirme las puertas de su hogar fuera de casa donde podía relajarme, estresarme, pero por encima de todo, pasar unos excelentes momentos.

A **mis compañeros**, todos reímos, todos peleamos. Pero no tengo dudas que son la mejor generación con quien pude haber pasado este tiempo, todos tan radicalmente diferentes en veces, y tan excepcionales siendo ustedes. Me permitieron verlos crecer, y me permitieron crecer con ustedes. Por todo, les agradezco.

A **mis pasantes**,

Y a **Majo**, la pequeña persona que me sorprendió en todos los sentidos. En esos momentos donde la vida se sentía tan pesada, siempre podía contar contigo para aligerar la carga, y de paso, enseñarme como deshacerme de ese peso.

**PROGRAMA APOYADO POR EL PROGRAMA NACIONAL DE
POSGRADOS DE CALIDAD-CONACYT
2022-2023**

RESUMEN

Introducción. El diagnóstico en endodoncia es uno de los pasos más importantes para el correcto tratamiento de una afección pulpar y periapical. El repertorio del odontólogo para poder realizar estos diagnósticos consiste en pruebas de sensibilidad, las cuales replican un estímulo doloroso, interpretando esta sensación como una respuesta sana o patológica, donde una limitación importante de este tipo de pruebas es la respuesta subjetiva del paciente. A diferencia de la prueba de frío, las pruebas de vitalidad muestran datos cuantificables y replicables, además de ser no invasivas. Entre ellas, la oximetría de pulso; que ha mostrado mayor certeza al diagnosticar pulpa sana o enferma en comparación a otras pruebas. Sin embargo, a pesar de sus múltiples bondades, no existe una adaptación hecha exclusivamente para su aplicación en el área dental.

Objetivo. Evaluar la precisión en el diagnóstico del estado pulpar de un dispositivo de oximetría en comparación con la prueba térmica de frío.

Metodología. Se realizó una adaptación de un oxímetro de pulso digital marca Xignal mediante la impresión de una pinza en ácido poliláctico. Una vez firmado el consentimiento informado, se realizó una prueba de frío a la pieza dental incluida en el estudio cronometrando tiempo de respuesta, seguido de eso, la medición de la saturación de oxígeno del diente incluido por medio del oxímetro adaptado esperando máximo 1 min 30 s para obtener una respuesta, recolectando información de la pieza dental en un documento de Excel. Se procedió a anestésiar localmente al paciente, aislamiento absoluto, realizando una comunicación a cámara pulpar, induciendo un sangrado por medio de un instrumento y permitiendo la acumulación de sangre pulpar en la cavidad de acceso, la cual se recolectó por medio de una micropipeta y almacenada en un microtubo de 1.5 µL conteniendo PBS en refrigeración. Una vez obtenidas las muestras, se realizó la extracción de DNA por medio del método de proteinasa K modificada, seguido de PCR para valorar la presencia de IL-8.

Resultados. Se obtuvo una sensibilidad de 88% y especificidad del 86% con el oxímetro de pulso. Con la prueba térmica del frío se obtuvo una sensibilidad del 85% y una especificidad del 75%. Se encontró una diferencia estadísticamente significativa en la saturación de oxígeno en pulpas vitales reversibles e irreversibles ($p < 0.05$). Con la

prueba térmica del frío también se obtuvo una diferencia estadísticamente significativa en cuanto al tiempo de duración del dolor ($p<0.05$). Se observó la presencia de IL-8 en muestras analizadas por electroforésis en diagnósticos de pulpa vital irreversible.

Conclusiones. Se demuestra la eficacia en el diagnóstico del estado pulpar de un dispositivo de oxímetro de pulso, obteniendo una mayor sensibilidad y especificidad en comparación con la prueba térmica del frío.

Palabras clave. Oximetría de pulso, adaptación, saturación de oxígeno, medición de IL, comparación.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Esquema de monitoreo sanguíneo por oximetría.....	21
Figura 2 Curva de disociación de oxihemoglobina	22
Figura 3 Adaptación realizada por Gopikrishna.....	31
Figura 4 Adaptación realizada por Sharma	31
Figura 5 Adaptación realizada por Grabliauskienė	31
Figura 6 Primer prototipo de sensor de oximetría	38
Figura 7 Segundo prototipo de sensor de oxímetro	38
Figura 8 Tercer prototipo de sensor de oximetría	39
Figura 9. A. Fosfato de sodio monobásico B. Fosfato monobásico de potasio y C. Cloruro de sodio.....	39
Figura 10 Balanza analítica A&D Mod. HR-150AZ	40
Figura 11 A). Termociclador C1000 Touch Thermal Cyclor de Bio-Rad, con los tubos para PCR. B) Programación del termociclador C1000 Touch Thermal Cyclor de Bio-Rad....	44
Figura 12. Análisis en cámara UV de gel de agarosa por proceso de electroforesis	50
 Tabla 1 Componentes de la mezcla maestra que se utilizó para PCR	43
Tabla 2 Condiciones de ciclado para PCR utilizado para la detección de IL-8 con un total de 35 ciclos	44
Tabla 3 Medidas de la saturación de oxígeno	48
Tabla 4. Promedio, desviación estándar (SD) y rango máximo y mínimo obtenido en los diferentes grupos	48
Tabla 5. Tabla de contingencia que muestra los valores VP, FP, FN, VN para la oximetría de pulso.....	49
Tabla 6. Tabla de contingencia mostrando los valores de VP, FP, FN, VN para la prueba térmica de sensibilidad pulpar.....	49
Tabla 7. Sensibilidad, Especificidad, Valor Predictivo Positivo (VPP), Valor Predictivo Negativo (VPN) para las pruebas diagnósticas de oximetría de pulso y de sensibilidad pulpar con frío	50
 Gráfico 1 El género femenino fue el más frecuente en un 80% de los pacientes incluidos en el estudio.....	47
Gráfico 2. Valor promedio de saturación de oxígeno en los diferentes grupos de estudio.	48
Gráfico 3. Promedio del tiempo que permanece el dolor por el estímulo térmico en los diferentes grupos.	49
Gráfico 4. Sensibilidad (SN), Especificidad (SP), Valor Predictivo Positivo (VPP), Valor Predictivo Negativo (VPN) de las pruebas evaluadas	50

1. Índice

1	Introducción	11
2	Marco teórico	12
2.1	Pruebas Generales de Diagnóstico Endodóntico	12
2.2	Pruebas Específicas de Diagnóstico Endodóntico	14
2.2.1	Prueba de frío	15
2.2.2	Prueba de calor	17
2.2.3	Prueba de pulpa eléctrica.	17
2.2.4	Pruebas de Vitalidad	18
2.2.5	Oximetría	19
2.2.5.1	Principios de la Oximetría de Pulso	20
2.2.6	Flujo Sanguíneo	21
2.2.7	Historia de la Oximetría	22
2.2.8	Funcionamiento del Oxímetro Moderno	23
2.2.9	Neurofisiología de la Pulpa Dental	23
2.2.9.1	Fibras A	24
2.2.9.2	Fibras C	24
2.2.10	Neurofisiología del dolor pulpar	26
2.2.11	Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR)	28
2.2.12	Adaptaciones de Oximetría de Pulso	30
2.2.8	Precisión Diagnóstica	31
3	Justificación	33
4	Pregunta de investigación	34

5	Objetivo general.....	34
6	Objetivos específicos.....	34
7	Hipótesis.....	34
8	Metodología.....	34
8.1	Lugar de realización.....	34
8.2	Diseño de estudio.	35
8.3	Tipo de estudio	35
8.4	Muestreo.....	35
8.5	Tamaño de muestra.....	35
8.6	Número de grupos	35
8.7	Criterios de selección.....	36
8.7.1	Criterios de Inclusión	36
8.7.2	Criterios de Exclusión	36
8.7.3	Criterios de Eliminación	36
9	Variables.....	37
9.1	Variables Independientes	37
9.2	Variables Dependientes.....	37
10	Plan de Trabajo	38
10.1	Elaboración de prototipos de sensor de oximetría.....	38
10.2	Adaptación de oxímetro de pulso.....	39
10.3	Preparación de buffer salino de fosfatos (PBS)	39
10.4	Prueba de frío	40
10.5	Medición de saturación de oxígeno	40
10.6	Toma de muestra de sangre pulpar para identificación de IL-8	41
10.7	Extracción de DNA de muestras de sangre pulpar	42

11	Consideraciones Éticas	45
12	Análisis estadístico	46
13	Resultados.....	47
13.1	Evaluación de la saturación de oxígeno pulpar.....	47
13.1.1	Medición de la SaO ₂ pulpar.	47
13.2	Evaluación de la prueba de sensibilidad pulpar con frío.	48
13.3	Validación de pruebas diagnósticas.....	49
13.4	PCR y Electroforésis.....	50
14	Discusión	51
15	Conclusión.....	59
16	Perspectivas	59
17	Bibliografía.....	60
18	Anexos.....	67

1 Introducción

El diagnóstico en endodoncia es uno de los pasos más importantes para el correcto tratamiento de una afección pulpar y periapical. El repertorio del odontólogo para poder realizar estos diagnósticos consiste sobre todo, en pruebas de sensibilidad. Las cuales consisten en repetir los síntomas presentados por el paciente, sea doloroso o totalmente ausente, estas herramientas se utilizan para provocar un potencial de acción en la pieza dentaria sospechosa y de esta manera interpretar la sensación del paciente al recibir el estímulo sobre un diente como una respuesta de pulpa sana, o en su defecto, una pulpa en estado patológico o un dolor de origen no odontogénico. Una limitación de este tipo de pruebas es la respuesta subjetiva por parte del paciente, donde el odontólogo debe interpretar en cuestión de tiempo e intensidad, el dolor del paciente y de esa forma realizar un diagnóstico de pulpa sana, pulpitis irreversible o una necrosis pulpar.

Para contrarrestar estas limitaciones, se han ideado otro tipo de herramientas diagnósticas, las verdaderas pruebas de vitalidad, como flujometría laser Doppler y la oximetría de pulso. Estudios previos han comparado la sensibilidad, especificidad, valor predictivo positivo y negativo entre estas pruebas de vitalidad contra pruebas de sensibilidad convencionales como la prueba en frío, calor y eléctrica; mostrando mayor certeza al diagnosticar pulpa sana o enferma.

Tanto láser Doppler como el oxímetro de pulso han sido estudiados extensivamente para evaluar su efectividad en cavidad bucal, encontrándose con problemas similares entre ellos; no existe una adaptación hecha exclusivamente para su aplicación en el área dental. Se han realizado adaptaciones rudimentarias en el pasado con resultados mixtos en un inicio, con mejoras en el aspecto técnico en estudios más recientes, pero sin consenso en el diseño para lograr una lectura correcta.

Por lo que el objetivo del presente trabajo de investigación es evaluar la eficacia en el diagnóstico pulpar de un dispositivo de oxímetro de pulso.

2 Marco teórico

El diagnóstico es la capacidad de diferenciar entre una condición de salud y otra de enfermedad. (1) Siendo el propósito principal de un proceso diagnóstico, identificar el problema del paciente y la razón de este, pudiendo tener relación con el tratamiento, si es que existe. Por esta razón, la importancia de que este proceso sea una estrategia metódica, planificada y sistemática. (2)

2.1 Pruebas Generales de Diagnóstico Endodóntico

El primer paso del diagnóstico metódico consiste en las pruebas generales; donde incluimos a la exploración extra e intraoral; así como la palpación y la percusión. En la exploración extraoral, es posible apreciar signos de alteraciones físicas, así como signos de asimetría facial. Para verificar que existe una tumefacción, se justifica efectuar una exploración visual y la palpación de la cara y el cuello. En la exploración intraoral, aparte de observar la condición de las piezas dentales, hay que evaluar los tejidos blandos de la cavidad oral, apartando la lengua, y los carrillos buscando la presencia de anomalías de color y textura de todos los tejidos. Entre las posibles anomalías que se pueden encontrar, se incluyen:

- Tumefacción intraoral. Estas deben ser visualizadas y palpadas para determinar si son difusas o localizadas, firmes o fluctuantes. Encontrándose en las encías, la mucosa alveolar, el surco mucovestibular, el paladar o en la región sublingual. También habrá que determinar si la etiología es endodóntica, periodontal, endoperiodontal, o de origen no odontogénico. (2)
- Tractos sinusales intraorales. Durante un absceso apical crónico, una infección de causa endodóntica puede drenar hacia la superficie gingival a través de un tracto sinusal, siendo una vía de comunicación entre la zona apical y la cavidad oral. Esta vía, a veces revestida de epitelio, se extiende desde el origen de la infección hasta un orificio superficial o estoma, en la encía adherida a través de la furca o el surco gingival (3). Este tipo de tracto sinusal puede diferenciarse de una lesión periodontal primaria, ya que esta última se presenta normalmente como una cavidad con un orificio coronal muy ancho y una pérdida de hueso alveolar generalizada alrededor de la raíz. (2)

En la palpación, se busca detectar la existencia de tumefacciones de tejidos blandos o aumentos de volumen óseos, y sobre todo para comparar la relación de los tejidos adyacentes y contralaterales, mientras se busca si existe o no la presencia de dolor a la presión. (2)

La percusión resulta útil cuando el paciente está experimentando una sensibilidad o un dolor agudo al masticar, normalmente se puede reproducir percutiendo individualmente los dientes por medio del mango del espejo en piezas testigo seguido del diente sospechoso, de esta manera, se suelen aislar los síntomas a un diente en particular. El dolor a la percusión no indica que el diente esté necrótico o vital, sino más bien es un signo de inflamación en el ligamento periodontal. (2)

En la prueba de movilidad, no es posible determinar la vitalidad del tejido pulpar, es más bien una indicación de que el aparato de inserción se encuentra comprometida. Esta afectación puede ser consecuencia de un traumatismo físico agudo o crónico, un trauma oclusal, hábitos parafuncionales, enfermedad periodontal, fracturas radiculares, un movimiento ortodóntico rápido, o bien deberse a la extensión de una patología pulpar hacia el espacio del ligamento periodontal. La determinación de la movilidad mediante una presión digital suele ser subjetiva visualmente, por lo que se recomienda utilizar los extremos de dos mangos de espejos, colocando uno en la cara vestibular del diente y el otro en la cara lingual o palatina. Cualquier movilidad superior a grado 1 debe considerarse anormal. (2)

La exploración periodontal es una parte importante de cualquier diagnóstico oral. La medición de la profundidad de una bolsa periodontal indica la profundidad del surco gingival, que corresponde con la distancia entre el margen gingival libre y el aparato de inserción. Una pérdida ósea extensa en un área localizada, medida mediante sondajes periodontales, se considera habitualmente de etiología periodontal y se observa de forma generalizada en otras zonas de la boca. Por otro lado, áreas pequeñas y localizadas de pérdida ósea vertical se deben a una etiología endodóntica, muy probablemente por un diente necrótico cuya infección se extiende desde la zona apical hasta el surco gingival. Es necesario realizar pruebas pulpares, no sólo para llegar al diagnóstico, sino también para elaborar un pronóstico adecuado. (2)

2.2 Pruebas Específicas de Diagnóstico Endodóntico

Un diagnóstico pulpar preciso es un requisito previo para el éxito del tratamiento endodóntico. El método más utilizado para el diagnóstico de afecciones de la pulpa recae en las pruebas de sensibilidad; como la prueba de frío, la prueba de calor y la prueba eléctrica. (4) Las pruebas pulpares sirven para intentar determinar la respuesta de las neuronas sensitivas pulpares. (2) Aunque la mayoría de los médicos han considerado que las pruebas de sensibilidad pulpar son confiables, tienen limitaciones inherentes, como su dependencia de las respuestas subjetivas de los pacientes, las interpretaciones de los dentistas y su incapacidad para detectar el flujo sanguíneo pulpar. (2,4) Por lo que, se han desarrollado diversos materiales y métodos para comprobar la respuesta de la pulpa frente a los estímulos térmicos. La respuesta normal o de referencia al frío o al calor, es aquella sensación que percibe el paciente y que desaparece inmediatamente cuando se retira el estímulo térmico. (2)

Los tres tipos de respuestas pueden resumirse de la siguiente manera.

- (iii) Pulpa normal. Cuando hay una respuesta al estímulo por parte de la prueba de sensibilidad, y esta respuesta no es pronunciada ni exagerada, además no persiste. (2,5)
- (iii) Pulpitis. Una reacción donde se observa una respuesta exagerada que produce dolor. La inflamación puede ser reversible o irreversible, dependiendo de la intensidad del dolor y si el dolor persiste durante un periodo prolongado. Normalmente, se considera que un dolor leve de corta duración es indicativo de una pulpitis reversible, mientras que un dolor severo persistente indica pulpitis irreversible. (2,5)
- (iii) Ausencia de respuesta. Generalmente se asocia con la presencia de necrosis pulpar, donde el diente ya no tiene pulpa o ha tenido un tratamiento de conductos previo. (2,5)

Como se ha mencionado, las pruebas de sensibilidad pulpar evalúan la respuesta sensorial de la pulpa y la sensibilidad, que se define como la capacidad de responder a un estímulo, y por lo tanto este es un término preciso y apropiado para las pruebas clínicas de pulpa típicas y comunes, como las

pruebas térmicas y eléctricas, dado que no detectan ni miden el suministro de sangre a la pulpa dental. Con base a ello, los clínicos que realizan pruebas de sensibilidad pulpar utilizan estos resultados, que son manifestaciones sensoriales cualitativas, para interpretar y estimar la vitalidad y por lo tanto, el estado de salud pulpar. (6) Si la pulpa responde a un estímulo (indicando inervación), entonces los clínicos generalmente asumen que la pulpa tiene un suministro de sangre viable y está sana o inflamada, dependiendo de la naturaleza de la respuesta (dolor, la duración), la historia o algún otro hallazgo. (3)

Las pruebas de sensibilidad más utilizadas en el diagnóstico endodóntico son las térmicas. Se hace la aplicación de agentes a los dientes para aumentar o disminuir la temperatura y estimular las respuestas sensoriales de la pulpa a través de la conducción térmica, si bien algunas de las técnicas se han descrito como anticuadas de muchas maneras, no se puede negar su utilidad como ayuda diagnóstica. (5)

2.2.1 Prueba de frío.

Algunos agentes utilizados para la realización de la prueba de frío incluyen al cloruro de etilo o el hielo, siendo populares y efectivas en décadas anteriores, pero el dióxido de carbono (CO₂) y otras sustancias como el diclorodifluorometano (DDM) se han reportado como efectivos y superiores al hielo y al cloruro de etilo. (5) Un estudio *In vitro* informó que los refrigerantes como tetrafluoretano (TFE) disminuyen la temperatura en 1-2°C más que el CO₂ en un plazo de 10 s. (7) En el mismo estudio, se encontró que los dientes restaurados con coronas metálicas (sean de oro completo o metal-porcelana) tuvieron tasas más rápidas de disminución de la temperatura cuando se probaron con aerosoles refrigerantes o CO₂ en comparación con los dientes restaurados con coronas cerámicas completas. También se ha demostrado que los aerosoles refrigerantes provocan respuestas más rápidas de la pulpa de 1 a 3 s *In vivo* sin ninguna diferencia en la precisión. Esto podría atribuirse a que las áreas de superficie más grandes del refrigerante están en contacto con el diente debido al tamaño del portador de pellets de algodón utilizado. Si la mayor tasa de cambio en la temperatura de 1-2°C en 1-3 s es clínicamente relevante es dudoso. (8,9)

A pesar de estas características, estudio previos se han planteado preocupaciones sobre los posibles efectos dañinos de los agentes de prueba en frío. (6) La porción *In vitro* de un estudio mostró que el CO₂ solo disminuyó la temperatura de la pulpa menos de 2°C después de 5 s de aplicación, un cambio que no es suficiente para dañar la pulpa, calculándose que el tejido pulpar solo se daña de forma irreversible después de enfriarse a aproximadamente -9°C. (10) También se ha realizado la medición *In vitro* de la conducción térmica interproximal entre dientes naturales demostrándose que menos de 0.25°C se transfiere de esta manera, concluyendo que no es un problema. (7) Incluso con la eficacia probada de los aerosoles de CO₂ y refrigerantes, se reportan otras problemáticas, como las respuestas falsas, se han informado falsos positivos con pruebas de frío aplicadas en dientes tratados endodónticamente, atribuyéndose a que estos dientes en particular han sido restaurados con coronas de metal, por lo que la transferencia del frío intenso podría estimular la encía, los dientes adyacentes, o ambos. Otros estudios informan casos en los que no se ha observado respuesta en dientes con pulpa sana en pacientes de edad avanzada, en dientes muy restaurados, particularmente en la población de la tercera edad, y en dientes con antecedentes de traumatismo, esperándose que los dientes en todas estas situaciones tengan un tamaño reducido de sus cámaras pulpares debido a la deposición adicional de dentina que se produce, ya sea de naturaleza fisiológica, reactiva o reparadora. Esto da como resultado que los elementos sensoriales de la pulpa estén bien aislados contra los cambios de temperatura y, por lo tanto, existe una mayor probabilidad de resultados falsos de la prueba, sin embargo, esto no es exclusivo únicamente a las pruebas realizadas con frío. (11,12)

Se han realizado comparaciones entre las pruebas de sensibilidad de la pulpa al calor y al frío con cloruro de etilo y gutapercha caliente en dientes anteriores y premolares con diagnóstico de pulpa sana tanto en adultos como en niños y se encontró que el cloruro de etilo y gutapercha calentada, que en la mayoría de los dientes premolares no hubo respuesta, especialmente en adultos. (11)

2.2.2 Prueba de calor.

Los métodos típicos utilizados, incluyen gutapercha o algún material calentado a la temperatura de fusión y aplicado directamente al diente que se está probando con ayuda de un lubricante para facilitar la eliminación del material. Los instrumentos metálicos calentados colocados cerca del diente (pero sin tocar superficie), los instrumentos de calentamiento controlado alimentados por batería como el Touch n' Heat o el baño de agua caliente con el diente aislado por un dique de goma son otros métodos alternativos. (5)

La temperatura de fusión de la gutapercha utilizada en las pruebas pulpares se ha reportado de aproximadamente 78°C (13), pero se ha informado que incluso puede llegar a ser de hasta 150°C. (14) Zach y cols. señalaron que un aumento de 11°C que ocurre durante los procedimientos restaurativos sin un enfriamiento adecuado puede dañar la pulpa. Por lo tanto, el contacto prolongado con el calor es una preocupación de seguridad, (15) tal como un aumento de temperatura de la dentina en tan solo 10°C puede causar daños a nivel del ligamento periodontal. (16)

2.2.3 Prueba de pulpa eléctrica.

La prueba de pulpa eléctrica (EPT) funciona bajo la premisa de que los estímulos eléctricos causan un cambio iónico a través de la membrana neural, induciendo así un potencial de acción con un salto rápido en los nódulos de Ranvier de los nervios mielinizados. (5) Y al igual que otras pruebas de sensibilidad, se sabe que las pruebas de pulpa eléctrica no son confiables en muchos casos, produciendo resultados falsos en dientes sanos inmaduros con raíces incompletamente formadas que pueden estar en erupción, ya que estos dientes pueden tardar hasta cinco años antes de que el número máximo de fibras mielinizadas alcance el borde pulpar-dentina en el plexo de Rashkow. Esto es también cuando se produce la maduración de la raíz apical. Los dientes con calcificación del conducto radicular y los pacientes que sufren de hipertiroidismo primario con frecuencia tienen un umbral de respuesta sensorial aumentado a EPT. En el caso de las calcificaciones del conducto radicular, la respuesta sensorial puede estar completamente bloqueada, mientras que la hipercalcemia por hipertiroidismo puede requerir el doble de corriente que la que normalmente

se necesita para obtener una respuesta de una pulpa clínicamente normal. Los resultados falsos también son posibles en dientes con pulpas sanas sometidas a tratamiento de ortodoncia porque los elementos sensoriales de la pulpa pueden ser alterados hasta por nueve meses. Del mismo modo, los dientes recientemente traumatizados que se someten a reparación pulpar también pueden tener resultados falsos y, por lo tanto, pueden no responder a EPT. (5)

2.2.4 Pruebas de Vitalidad

Otras pruebas específicas, son las pruebas de vitalidad, las cuales evalúan el suministro de sangre de la pulpa. El tejido pulpar puede tener un suministro vascular adecuado, pero no está necesariamente innervado, por lo tanto, la mayoría de las modalidades actuales de pruebas de pulpa no evalúan directamente la vascularidad pulpar y esto se ejemplifica mediante observaciones clínicas de que los dientes traumatizados no pueden tener respuesta a un estímulo (como el frío) durante un período de tiempo después de la lesión. (5)

Las pruebas de vitalidad más estudiadas incluyen la flujometría de laser Doppler (LDF) y la oximetría de pulso (PO). La investigación sobre la aplicación del LDF a dientes traumatizados ha sido extensa. Se han reportado otras aplicaciones en odontología pediátrica, como una ayuda en el diagnóstico diferencial de la patología periapical no odontogénica y para evaluar el flujo sanguíneo pulpar. El objetivo de esta técnica es medir objetivamente la vitalidad verdadera de la pulpa (es decir, el flujo sanguíneo de la pulpa en lugar de su función sensorial) sin procedimientos invasivos como la microscopía intravital y la desaturación de gases. (5)

Desafortunadamente, el ruido de contaminación debido a la luz retrodispersada de los tejidos periodontales es actualmente imposible de eliminar completamente en LDF, incluso si se aplica una cubierta como una férula PVS. Se ha observado que cuanto más cerca esté la sonda del margen gingival, mayor será la salida de señal (debido al mayor volumen de tejido pulpar) pero la posible contaminación gingival también es mayor. Los estudios sugieren que 2-3 mm del margen gingival es la posición ideal para la punta de la sonda, ya que esto crea un equilibrio entre minimizar el ruido y tener un volumen de señal reconocible. (17)

Ha habido diferentes puntos de vista con respecto a la precisión de las pruebas de pulpa utilizando LDF, dado que los resultados falsos que sugieren que no hay flujo sanguíneo son posibles cuando la vía láser se interfiere u obstruye. Del mismo modo, la cantidad de contaminación de señales de fuentes no pulpares, principalmente el periodonto, puede conducir a lecturas falsas que sugieren la presencia de flujo sanguíneo pulpar. Otra opción que se sugiere para reducir esta contaminación es la oximetría. (5)

2.2.5 Oximetría

El término oximetría se define como la determinación del porcentaje de saturación de oxígeno de la sangre arterial circulante. La hemoglobina oxigenada y la hemoglobina desoxigenada son de diferente color y, por lo tanto, absorben diferentes cantidades de luz roja e infrarroja. El oxímetro de pulso utiliza sondas que emiten una luz roja y una infrarroja para transiluminar el área vascular objetivo, lo que permite al fotodetector identificar picos de absorbancia debido a la circulación sanguínea pulsátil y de esta forma, calcular la frecuencia del pulso y el nivel de saturación de oxígeno, por lo tanto, determinar si la pulpa es vital o no vital. (5) La oximetría no se limita a un solo tipo, sino que se describen distintos tipos de oximetría para uso clínico; entre ellas, la oximetría venosa (18), la polarográfica o electrodo de oxígeno tipo Clark, descrita como el estándar de oro para la medición de oxigenación, con utilización más que nada en investigaciones clínicas, trauma, resucitación y otros tipos de terapias. Sin embargo, este es un método invasivo, con limitaciones en el área de medición, consumiendo oxígeno en el tejido medido y calibraciones constantes. (19) Existen otros métodos menos utilizados; el monitoreo de tejido transcutáneo, que es un método no invasivo que además de contar con un electrodo para oxígeno, consta de otro electrodo para dióxido de carbono y, que con ayuda de un gel de contacto y un poco de calor, permite la difusión del oxígeno al estrato córneo de la piel; pero presenta las mismas limitaciones que la oximetría polarográfica. La resonancia paramagnética de electrones utiliza un material paramagnético para lograr un intercambio de electrones entre el material y el oxígeno, obteniendo una medición de la velocidad de intercambio entre ellos. El tipo de oximetría más conocido actualmente es la de pulso; que es un método basado en la técnica de medición de oxígeno llamada espectroscopía cercano al infrarrojo o

espectroscopía óptica difusa (20), con la diferencia de que esta última no involucra la detección de un tejido pulsátil, sino que depende enteramente de la Ley de Beer-Lambert, por lo que no es posible discriminar entre niveles de hemoglobina reducida, hemoglobina oxigenada, o mioglobina, requiriendo una calibración dependiendo del tejido a medir. (19)

En el caso de la PO, mediante la detección del pulso del tejido y una calibración al tipo de tejido a medir, es posible discriminar el tipo de hemoglobina que se desea medir.

2.2.5.1 Principios de la Oximetría de Pulso

La espectroscopia óptica tradicional mide la atenuación de la luz que viaja a través de una muestra en función de la longitud de onda. En los casos en que la dispersión es insignificante, es decir, en los que el coeficiente de dispersión reducido es cero, la atenuación de la luz está dominada por la absorción, y la intensidad transmitida en el tiempo está relacionada con el coeficiente de absorción de la muestra a través de la ley de Beer-Lambert. (21) Sin embargo, cuando la dispersión dentro de la muestra es significativa, la atenuación de la luz se ve afectada tanto por la absorción como por la dispersión. En estas situaciones, los efectos de la dispersión se enredan con los de la absorción. Típicamente, las trayectorias de los fotones a través de muestras de tejido con dispersión significativa se aproximan bien como caminatas aleatorias, y la longitud promedio de la trayectoria de un fotón a través del tejido es mucho mayor que la distancia en línea recta entre la fuente y el detector. (20)

En este principio se basa la PO, que en términos sencillos, establece que una concentración desconocida de un soluto (en este caso, la hemoglobina) disuelto en un solvente conocido (sangre) puede evaluarse mediante la absorción de luz del soluto, la cual es directamente proporcional a la concentración. La PO se mide mediante un aparato en el cual la luz pasa de un diodo fotoeléctrico a través de una parte del cuerpo (como el esmalte, dentina y pulpa) hacia un receptor (Figura 1). La diferencia entre la luz emitida y la luz recibida se calcula en un microprocesador para proporcionar lecturas de latidos por minuto (bpm) y saturación arterial de oxígeno (SaO_2). El diodo emite dos longitudes de onda de luz para detectar la hemoglobina oxigenada (sangre arterial) y la hemoglobina desoxigenada (sangre venosa). Este resultado es la relación de la absorbancia

de las longitudes de onda que proporciona el porcentaje de oxigenación de la sangre. Este signo indica que por la vascularización que existe en esta área anatómica y mediante el transporte de hemoglobina se pueden obtener datos de la oxigenación del tejido más precisos, y no únicamente basados en los datos referidos por el paciente. (22)

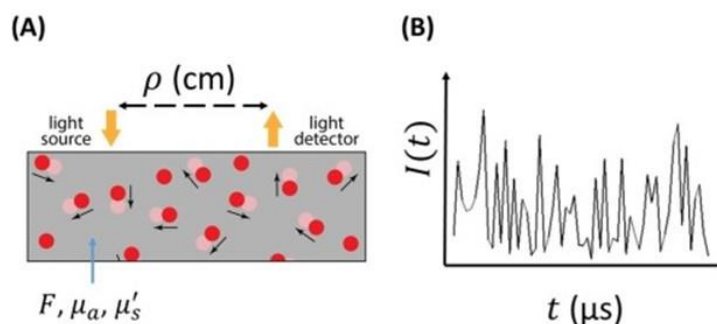


Figura 1 Esquema de monitoreo sanguíneo por oximetría

2.2.6 Flujo Sanguíneo

Cerca del 97% del oxígeno es transportado con hemoglobina en los eritrocitos. Cada eritrocito contiene hemoglobina, donde cada molécula de hemoglobina contiene 4 cadenas de hemoglobina unidas débilmente, y cada hemoglobina está compuesta por una cadena polipeptídica en combinación con una molécula hemo. Dentro de la molécula hemo, una molécula de oxígeno se une débilmente a uno de los átomos hierro. Esto, ahora oxihemoglobina, es una unión reversible, que cuando alcanza los tejidos, es liberado a los fluidos tisulares. (21)

Se puede definir la SaO_2 , como la relación entre la concentración de oxihemoglobina y la concentración total de hemoglobina arterial disponible para la unión reversible de oxígeno. Esta SaO_2 se ve afectada por la presión parcial de oxígeno arterial; a presiones parciales bajas, como la presión capilar tisular de 40mmHg, se libera oxígeno de la hemoglobina, lo que lleva a una SaO_2 baja de aproximadamente el 75%. A presiones parciales altas, como la presión capilar pulmonar de 95mmHg, el oxígeno se une a la hemoglobina, lo que lleva a una SaO_2 alta de aproximadamente el 95%. Otros factores que hacen que la curva de disociación de oxígeno son el aumento de la concentración de dióxido de carbono, el aumento de la temperatura de la sangre y el aumento de la concentración de 2,3-bifosfoglicerato (BPG). (21) En el caso de la presión intrapulpar, se ha estudiado factores como; edad, sexo, tipo de diente, siendo el

único factor significativo la presión sistémica capaz de afectar la presión intrapulpar. (23) Con el aumento de CO_2 en la sangre, se forman más iones de hidrógeno, lo que disminuye el pH de la sangre y desplaza la curva de disociación hacia la derecha. Cuando la temperatura de la sangre aumenta, aumenta el suministro de oxígeno a los tejidos. Esto hace que haya más oxígeno disponible para unirse a la hemoglobina, lo que desplaza la curva de disociación hacia la derecha. El BPG es un compuesto de fosfato metabólicamente importante que ayuda a mantener la curva de disociación ligeramente desplazada hacia la derecha en todo momento. Durante condiciones hipóxicas de más de unas pocas horas, la concentración de BPG aumenta considerablemente, lo que desplaza la curva de disociación más hacia la derecha. (Figura 2) (21)

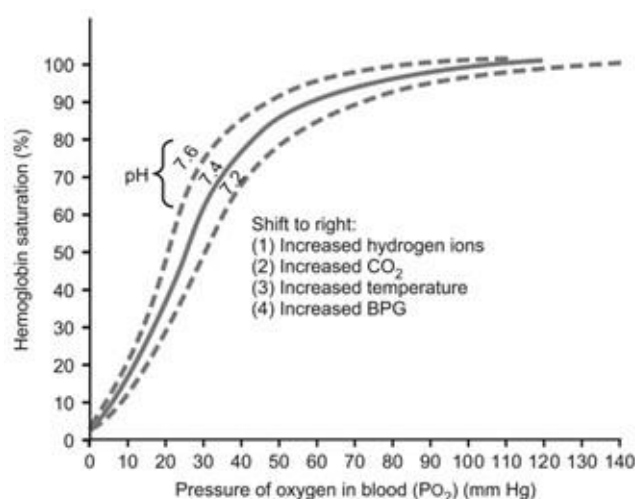


Figura 2 Curva de disociación de oxihemoglobina

2.2.7 Historia de la Oximetría

La investigación en oximetría comenzó a realizarse en la década de 1930, siendo en 1931 el año donde el Dr. Ludwig Nicolai comenzó a investigar cómo se transmite la luz a través de la piel humana, y su socio, Kurt Kramer, confirmó que la ley de Beer Lambert podría usarse para estimar la concentración de hemoglobina en la sangre arterial. En 1941, el fisiólogo Glenn Millikan desarrolló un medidor de oxígeno para pilotos militares, al que llamó "oxímetro". El oxímetro transmitía longitudes de onda verdes e infrarrojas a través del lóbulo de la oreja. Sin embargo, este oxímetro y modelos posteriores no pudieron estimar con precisión las concentraciones de hemoglobina. A quien se le atribuye la invención

del oxímetro de pulso, es al ingeniero biomédico Takuo Aoyagi, que llevó a cabo investigaciones en Nihon Kohden, teniendo en cuenta los términos de absorbancia. Aoyagi reconoció que solo los cambios pulsátiles en la transmisión de luz a través de los tejidos vivos eran necesarios para estimar las concentraciones de hemoglobina. En la implementación real, se utilizan como fuentes de luz un diodo emisor de luz roja (LED) cercano a 660 nm y un LED de infrarrojo cercano en el rango de 890-950 nm. (21)

2.2.8 Funcionamiento del Oxímetro Moderno

Los oxímetros modernos funcionan en base a las investigaciones y aproximaciones hechas por Aoyagi. El usuario enciende la unidad, que puede funcionar con baterías o estar conectada a la alimentación eléctrica. Un controlador LED enciende y activa unas longitudes de onda rojas e infrarrojas, típicamente utilizadas a 660 y 940 nm, respectivamente. Durante cada ciclo de modulación, el LED rojo se enciende, ambos LED se apagan, el LED infrarrojo se enciende y ambos LED se apagan en secuencia. La luz transmitida desde un LED y a través del dedo es recibida por un fotodiodo. La corriente del fotodiodo se amplifica y se somete a la adquisición de datos con ayuda de una tabla de búsqueda que determina el valor de SaO_2 asociado a esta proporción. La cancelación de ruido adaptativa también se puede implementar en el módulo del procesador para minimizar el movimiento del paciente y los efectos de baja perfusión. El valor final de SaO_2 se transmite a una pantalla LCD para su visualización. La frecuencia de cada latido se calcula y se muestra como la frecuencia del pulso. (21)

2.2.9 Neurofisiología de la Pulpa Dental

El alivio del dolor dental es una parte esencial de la práctica odontológica, ni decir de la práctica endodóntica. Por eso mismo, es necesario entender la neurofisiología de la pulpa al ser estimulada. (24)

El componente neuronal del tejido pulpar consiste en axones aferentes del trigémino sensorial, y siendo las fibras eferentes simpáticas que regulan el flujo sanguíneo. Las fibras nerviosas sensoriales de la pulpa dental son terminaciones aferentes del nervio trigémino. Estas fibras llegan al conducto radicular a través

del foramen apical, yendo a la pulpa de la raíz en cúmulos. Estos cúmulos a menudo se asocian con vasos sanguíneos en una vaina de colágeno, formando el haz neurovascular. Estas fibras sensitivas actúan como nociceptores y pertenecen a dos grupos según su diámetro, velocidad de conducción y función: A δ (mielinizada) y C (no mielinizada), pero alrededor del 7% de las fibras mielinizadas ingresando por el foramen apical de premolares son del tipo A β , según un estudio. (25,26)

Gunji de 1982 a 1988, demostró que muchas de las fibras nerviosas terminan en el espacio extracelular de la zona rica en células o en la capa odontoblástica, mientras que otras se extienden hacia la predentina o los túbulos dentinarios, penetrando hasta 150 μ m. (24)

2.2.9.1 Fibras A

Las fibras mielinizadas tienen una velocidad de conducción rápida con un umbral de estimulación bajo, son superficiales (ubicados en la unión pulpar y dentina), transmiten el dolor directamente al tálamo y generan un dolor agudo y punzante que se localiza fácilmente. (24–26)

Las principales características de las fibras A δ son que se activan mediante estímulos hidrodinámicos, como por medio del tacto, alimentos dulces, aire frío y soluciones hipertónicas, que conducen a un rápido movimiento de fluidos dentro de los túbulos. Y aunque el movimiento del líquido dentinario hacia afuera, normalmente lento, no estimula las terminaciones nerviosas ni causa dolor, es probable que un flujo de líquido más intenso y rápido, como cuando se deseca la dentina, active los nociceptores pulpares. (24–26)

Entre la población de fibras A δ , los umbrales de estimulación varían. Las fibras de bajo umbral responden a estímulos como el enfriamiento y la vibración, estímulos que raramente se asocian con una respuesta nociceptiva. Las fibras A de umbral más alto responden a estímulos mucho más fuertes, como la instrumentación mecánica, actuando como nociceptores. (24,25)

2.2.9.2 Fibras C

Las fibras C no son mielinizadas y con una velocidad de conducción baja, un diámetro más pequeño y un umbral de estimulación más alto. Si la intensidad del estímulo del dolor aumenta, las fibras C sensitivas se activan y el dolor se

convierte en una sensación de ardor. Al haber una reacción de las fibras C indica que el daño de la pulpa es irreversible. La ubicación de las fibras C dentro de los haces nerviosos en el núcleo o la región central de la pulpa puede explicar el dolor difuso, también llamado dolor referido. Las fibras C también tienen mayor resistencia a la hipoxia que las fibras A; esto porque el consumo de oxígeno de las gruesas fibras A es mayor a las delgadas fibras C. Entonces cuando se presenta una lesión que daña la microcirculación, las fibras C continúan funcionando más tiempo en comparación a las fibras A porque estas últimas se han inactivado o dañado. La descripción clínica típica de este tipo de dolor es que es un dolor sordo, vagamente localizado y doloroso que aumenta varios segundos después de una bebida caliente. (24,25,27)

Para evitar el dolor durante el tratamiento de conductos, es recomendable administrar un anestésico local en los casos en que un paciente indica dolor como respuesta a bebidas calientes (lo que indica fibras C viables) pero el diente responde negativamente al frío o a las pruebas de sensibilidad eléctrica. (24,25)

Basado en los datos de las fibras y sus respuestas, se pueden relacionar a las distintas pruebas pulpares:

- Las pruebas térmicas dependen del movimiento intrínseco y extrínseco del fluido dentinario, mientras que las pruebas eléctricas dependen del movimiento iónico.
- Únicamente las fibras A δ son las estimuladas en las pruebas eléctricas.
- Basado en el efecto hidrodinámico, el movimiento hacia fuera del fluido dentinario causado por la aplicación del frío produce una respuesta más intensa en las fibras A δ en comparación al movimiento interno causado por la aplicación del calor.
- La aplicación repetida del frío produce un efecto refractario, reduciendo el desplazamiento del fluido dentinario, causando una respuesta menos dolorosa en un periodo de tiempo corto. (24,25,27)

2.2.10 Neurofisiología del dolor pulpar

Las fibras nerviosas aferentes dentales, cuyos cuerpos celulares residen dentro del ganglio trigémino, ingresan al diente a través de los forámenes apicales. Sus señales son transportadas desde la pulpa a través de las divisiones mandibular y maxilar del nervio trigémino hasta el tronco encefálico, donde hacen sinapsis con neuronas de segundo orden en los núcleos del trigémino. (27)

Se cree que el movimiento de líquido dentro de los túbulos dentinarios causado por la desecación, los cambios en la presión osmótica y el cambio de temperatura produce potenciales de acción en las fibras A que inervan la parte más interna de la dentina a través de la activación de canales iónicos mecanosensibles. Sin embargo, ahora se sabe que otra familia de canales iónicos, los canales de potencial receptor transitorio termosensibles (termo-TRP), que están presentes en las fibras aferentes dentales primarias y en los odontoblastos, contribuyen a la sensación y a la transducción en dolor de estímulos calientes y fríos. (27)

La homeostasis de la pulpa dental puede ser irrupida por diferentes patologías, toxinas bacterianas o daños térmicos o eléctricos. Al progresar la destrucción dentinaria y antes de que bacterias alcancen la pulpa dental, existe difusión de toxinas bacterianas a través de los túbulos dentinarios, activando eventos inmunológicos e inflamatorios. En la pulpitis reversible, puede haber invasión microbiana, hay concentración de toxinas con inflamación moderada. Es un hecho que el complejo dentinopulpar responde a daños de forma proporcional, y que, cuando existe un daño rápido, severo o crónico, hay estimulación de fibras aferentes que a su vez liberan neuropéptidos como; el péptido relacionado al gen de la calcitonina (CGRP), sustancia P (SP) y la neurocinina A; aunque se ha encontrado una menor concentración de CGRP y SP al estimular directamente la pulpa. (28) Estas sustancias provocan vasodilatación dentro de la pulpa y la liberación de mediadores inflamatorios de los fibroblastos pulpaes, atrayendo a las células inmunitarias en un proceso llamado inflamación neurogénica. A medida que avanza la inflamación, se liberan mediadores inflamatorios como la histamina, la bradicinina, las prostaglandinas y los leucotrienos, que reducen los umbrales necesarios para que los nociceptores generen potenciales de acción;

como resultado, hay una respuesta exagerada y prolongada a los estímulos dolorosos. (27)

El término pulpitis describe la inflamación de la pulpa, y aunque la inflamación puede estar presente sin dolor, la pulpitis suele ser dolorosa. A pesar de la suposición habitual de que los dientes con pulpitis irreversible requieren un tratamiento endodóntico convencional, el consenso se está inclinando a favor de la endodoncia mínimamente invasiva y de las terapias pulpares vitales, como la pulpotomía para dientes con síntomas sugerentes de inflamación de la pulpa coronal, o con caries profunda, con el objetivo de preservar la integridad pulpar. Aunque el grado de inflamación de la pulpa no se correlaciona de forma fiable con la gravedad de los síntomas dolorosos, es más probable que la aplicación de un estímulo causante como el frío o el calor a un diente específico dé lugar a síntomas transitorios en los que la pulpa está ligeramente inflamada, y los síntomas espontáneos o persistentes son menos probables. En la pulpitis irreversible, es más probable que haya dolor en reposo, y la hiperalgesia con alodinia pueden ocurrir como resultado de una sensibilización inicialmente periférica, y luego central, produciendo una respuesta dolorosa prolongada y más pronunciada a la aplicación de estímulos provocadores durante la prueba de sensibilidad (frío, calor, eléctrico, mordida) y a los estímulos dolorosos que normalmente serían inocuos. En caso de que en un diagnóstico de pulpitis irreversible y se coloca alguna restauración profunda manteniendo la cámara pulpar cerrada, y por lo tanto aumentando la presión intrapulpar, que, en suficiente magnitud llevan a causar estasis venosa e isquemia en un volumen limitado de tejido. (27,29)

También se ha informado de que varios marcadores inflamatorios, como el factor de necrosis tumoral- α (FNT- α), la prostaglandina-E2 (PG-E2), la interleucina-2 (IL-2), interleucina-8 (IL-8) y la MMP-9, son reproduciblemente mayores en la pulpitis grave que en la pulpitis leve; esto podría resultar clínicamente útil si los niveles de estos marcadores pueden medirse *In vivo* para determinar la necesidad o no de terapia endodóntica en el dolor pulpar resultante de la pulpitis. Varios autores han descrito técnicas para medir estos biomarcadores pulpares, incluida la extracción de líquido dentinario durante la preparación de la cavidad, o sangre pulpar después de la exposición pulpar o durante la pulpotomía. (27)

Tanto en la inflamación pulpar y periapical, un amplio rango de citocinas y neuropéptidos son liberados localmente, tales como la interleucina-1 beta e interleucina-6 (IL-6) y 8 (IL-8) son liberados en la pulpa dental inflamada y están involucrados en la progresión de la patología endodóntica. Se ha comprobado que algunos otros neurotransmisores y proteínas son liberados durante la progresión de una enfermedad dental; la proteína C reactiva, IL-6, IL-8, IgA, IgG e IgM, y PGE-2 han sido reportados. (30,31) Y, de acuerdo con el estudio realizado por Nakanishi, se observó de la presencia de interleucinas de forma consistente en pulpas inflamadas y su ausencia en pulpas sanas, mostrando que la medición de estos biomarcadores es un método adecuado para determinar el grado de inflamación del tejido pulpar. (31) De forma más específica, un estudio sistemático mostró niveles aumentados de IL-6 e IL-8 de forma significativa en casos de pulpitis reversible e irreversible, con cantidades distintas entre cada uno de los diagnósticos, demostrando que es posible distinguir entre las patologías pulpares de acuerdo con la cantidad de IL-6 e IL-8 en el tejido pulpar. (32–34) El método para la determinación tanto de IL-6 como IL-8, es posible tanto por quimioluminiscencia como por PCR o inmunoensayos, tal como la prueba ELISA. (34,35)

2.2.11 Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR)

La prueba de reacción en cadena de la polimerasa fue implementada en 1985, llamada PCR por sus siglas en inglés “Polimerase Chain Reaction”, y es una técnica que permite duplicar exponencialmente una secuencia de ADN obteniéndose dos copias en cada ciclo de trabajo a partir de una cadena primaria de ADN. Desde su introducción, se han generado algunas variantes de la PCR, entre ellas, la PCR cuantitativa en tiempo real (qPCR) que, mediante un termociclador y con ayuda de un agente cuya fluorescencia aumenta proporcionalmente con el aumento en la cantidad de ADN, permite cuantificar en tiempo real el número de copias que se están generando en cada ciclo de amplificación. (36,37) Los elementos primordiales en este tipo de pruebas incluyen; la base (DNA o cDNA), la enzima termoestable, el oligonucleótido (también conocido como primer), los desoxirribonucleótidos (dNTP), iones magnesio, una solución buffer y agua. Estos componentes actúan en los tres pasos del proceso de PCR; desnaturalización, hibridación y extensión. Esto se

realiza en equipos especializados llamados termocicladores, equipos que permiten cambios de temperatura específicos a los tiempos necesarios de cada paso de la prueba, finalizando con el análisis en geles de agarosa para confirmar una reacción exitosa. (37)

Una gran ventaja del método de PCR es que el ADN objetivo no necesita ser particularmente puro o abundante. Incluso puede ser una especie menor en una mezcla compleja de otro ADN y otras sustancias. Dos cebadores (primers) de ADN cortos reconocen secuencias complementarias en cadenas opuestas del ADN diana. Los cebadores (primers) se seleccionan para abarcar el material genético deseado, definiendo los dos extremos del tramo amplificado de ADN. (38,39)

En secuencia, se sintetiza una segunda hebra complementaria de nuevo ADN a través de la extensión de cada cebador reconocido por la Taq polimerasa en presencia de un exceso de dNTPs. (38,39) Todos los productos sintetizados previamente actúan como plantillas para nuevas reacciones de extensión de cebadores en cada ciclo subsiguiente. El resultado es la amplificación exponencial de nuevos productos de ADN, que confiere una sensibilidad extraordinaria para detectar el ADN objetivo. Una reacción de PCR típica comprende 25 a 40 ciclos de amplificación. El procedimiento de PCR convencional es también conocido como PCR punto final. (38,39)

El proceso de la prueba consiste en:

a) Unión anticuerpo-antígeno: Los anticuerpos se unen a dos epítomos separados en el antígeno (durante una incubación de 1 hora), lo que hace que los dos oligonucleótidos conjugados estén muy cerca.

b) Ligadura y amplificación de la señal: se añaden ADN ligasa y un tercer conector de oligonucleótidos de férula para ligar los dos extremos de los oligonucleótidos conjugados, creando una plantilla de ADN de 100 bases. Una vez que la ligasa se inactiva a 95 °C, la muestra se amplifica a través de 40 ciclos de recocido y extensión. La cantidad de ADN producido se mide después de cada ciclo de amplificación a través de colorantes fluorescentes, que exhiben una fluorescencia que es directamente proporcional al número de moléculas de producto de PCR (o amplicones) generadas. (37,40)

2.2.12 Adaptaciones de Oximetría de Pulso

En comparación con los medidores de láser Doppler, los oxímetros de pulso son relativamente baratos y se usan comúnmente en procedimientos de anestesia general, además de contar con tecnología de filtración adaptativa para minimizar el efecto de los movimientos del paciente. (21,41,42) Ha habido varias adaptaciones para la utilización del oxímetro de pulso para la cavidad oral; Gopi Krishna y cols. (Figura 3) midieron la SaO₂ media de la pulpa de los incisivos maxilares y caninos, así como la del dedo índice y reportaron valores más bajos para la pulpa dental de los dientes en comparación con la del dedo índice. Discutieron que, considerando las limitaciones de las pruebas de pulpa térmica, la PO proporcionaría una evaluación más confiable de los cambios vasculares en dientes traumatizados. Calil y cols. evaluaron la vitalidad de la pulpa comparando SaO₂ del dedo índice de pacientes con la SaO₂ del incisivo central maxilar y canino usando PO. La SaO₂ media fue de 95% en el dedo índice, 91.29% en el incisivo central máximo y 90.69% en canino maxilar. Setzer y cols. evaluaron la SaO₂ pulpar de diferentes dientes y reportaron SaO₂ de 87.4% en dientes con pulpitis reversible, 83.1% con pulpitis irreversible, 74.6% con pulpa necrótica, 92.2% en control positivo y 0% en dientes control negativo. (43)

Otros intentos se han realizado; Khademi utilizando un oxímetro adaptado de oído obteniendo valores de oxigenación para caninos sanos en comparación a la prueba eléctrica y al frío, (43) así como Sharma (Figura 4), adaptando un portagrapas para lectura de saturación de oxígeno en dientes temporales y permanentes anteriores, (44) Setzer ajustando un medidor de saturación de oxígeno a 2.5 veces su potencia, (45) y Grabliauskienė, imprimiendo un diseño original a manera de pinza adaptándolo a todas las piezas dentales. (Figura 5) (3) Todos presentaron algún grado de limitación en su diseño, únicamente limitándolo a uso en dientes anteriores para los diseños de portagrapas, o utilizando diseños con grapas dentales, incomodando o causando dolor al paciente durante la medición.



Figura 3 Adaptación realizada por Gopikrishna



Figura 4 Adaptación realizada por Sharma



Figura 5 Adaptación realizada por Grabliauskienė

2.2.8 Precisión Diagnóstica

Comprender la precisión diagnóstica de los métodos de prueba de pulpa ayudaría a los médicos a llegar a un diagnóstico correcto y elegir el tratamiento más efectivo. La precisión diagnóstica incluye sensibilidad, especificidad, precisión, valor predictivo positivo (VPP) y valor predictivo negativo (VPN).

La sensibilidad y la especificidad describen la capacidad intrínseca de una prueba diagnóstica para identificar correctamente la pulpa necrótica y la pulpa vital, respectivamente. Definiendo sensibilidad como; capacidad de una prueba diagnóstica para detectar una enfermedad cuando está presente y especificidad como; capacidad de una prueba diagnóstica para detectar la ausencia de una enfermedad cuando no está presente. (1)

Luego se deben tomar en cuenta los valores predictivos positivos y negativos; definidos como:

- VPP. Proporción de individuos enfermos donde la prueba diagnóstica resulta positiva, es decir, la probabilidad que tiene un paciente con una prueba positiva de presentar la enfermedad bajo estudio. (1)
- VPN. Proporción de individuos no enfermos, que presentan una prueba diagnóstica con resultado negativo, es decir, la probabilidad que tiene un paciente con prueba negativa de estar libre de la enfermedad bajo estudio. (1)

Estas características son independientes de la prevalencia de la enfermedad, que se refiere a la probabilidad de enfermedad en una población específica en un momento dado. (4,5,46)

Para un diagnóstico preciso de la pulpa, los médicos deben adquirir un conocimiento profundo sobre los valores de diagnóstico de cada prueba de pulpa antes de su uso. Cabe destacar que existe una gran variación con respecto a la exactitud diagnóstica de diferentes métodos de prueba de pulpa entre los estudios individuales. (5)

3 Justificación

Las pruebas de sensibilidad utilizadas actualmente, como la prueba de frío y calor, presentan tales desventajas, que es necesario comenzar a considerar opciones más objetivas; la inhabilidad de indicar la vascularidad del tejido pulpar, la incomodidad y dolor causado al paciente, su subjetividad por la necesidad de interpretación de la respuesta del paciente, valores predictivos menores a lo ideal, y su inutilidad en casos de ápice inmaduro o traumatismo dental por el rompimiento del paquete vasculonervioso. Los avances en las distintas áreas de la endodoncia, no es indicativo de que el diagnóstico deba quedarse atrás, las limitaciones de las pruebas actuales son suficientes para requerir la investigación de opciones cuantitativas, que puedan utilizarse de forma rutinaria en casos donde las pruebas térmicas no sean indicadas. La oximetría de pulso ha mostrado valores predictivos mayores a 0.90, que además de cuantitativa, es reproducible e indolora, eliminando la necesidad de causar molestia o dolor al paciente, especialmente útil en pacientes infantiles. Lamentablemente, no existe un diseño o adaptación de un oxímetro de pulso aplicable a todas las piezas dentales disponible en el mercado para su utilización en la práctica odontológica diaria, razón por la que surge el interés de evaluar la eficacia en el diagnóstico pulpar de un dispositivo de oxímetro de pulso.

4 Pregunta de investigación

¿Cuál es la precisión diagnóstica del estado pulpar del dispositivo de oximetría en comparación con la prueba térmica de frío?

5 Objetivo general

Evaluar la precisión en el diagnóstico del estado pulpar de un dispositivo de oximetría en comparación con la prueba térmica de frío.

6 Objetivos específicos

- Adaptar un sensor de oximetría para medir la saturación de oxígeno pulpar.
- Medir la saturación de oxígeno y aplicar la prueba térmica del frío en dientes con sintomatología de pulpa vital reversible.
- Medir la saturación de oxígeno y aplicar la prueba térmica del frío en dientes con sintomatología de pulpa vital irreversible.
- Evaluar la presencia de IL-8 de muestras obtenidas de tejido pulpar en dientes a los que se les midió la saturación de oxígeno y se les aplicó la prueba térmica del frío.

7 Hipótesis

Hi. Se presenta una mayor precisión diagnóstica del estado pulpar con el dispositivo de oximetría en comparación con la prueba térmica del frío.

H0. Se presenta una menor precisión diagnóstica del estado pulpar con el dispositivo de oximetría en comparación con la prueba térmica del frío.

8 Metodología

8.1 Lugar de realización

El siguiente trabajo de tesis se realizó en las instalaciones de la clínica de la Maestría de Endodoncia de la Facultad de Estomatología de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Laboratorio de Biología Molecular de la Maestría

de Endodoncia de la Facultad de Estomatología y el Laboratorio de Biotecnología Molecular de Células Vegetales de la Facultad de Ciencias Químicas de la misma universidad, en conjunto con la Unidad Académica Multidisciplinaria, Región Altiplano de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

8.2 Diseño de estudio.

- Transversal, analítico, prospectivo.

8.3 Tipo de estudio

- Observacional *In vivo*.

8.4 Muestreo

Se realizó un muestreo no probabilístico consecutivo por cuotas.

8.5 Tamaño de muestra

Se utilizó la siguiente fórmula para establecer el número de muestras:

$$n = \frac{[Z_{\alpha}\sqrt{2p(1-p)} + Z_{\beta}\sqrt{p_1(1-p_1) + p_2(1-p_2)}]^2}{(p_1 - p_2)^2}$$

$$n = \frac{[1.96\sqrt{2(0.88)(1-0.88)} + 1.282\sqrt{1.00(1-1.00) + 0.76(1-0.76)}]^2}{(1.00 - 0.76)^2}$$

$$n = \frac{1.41}{0.05} = 28.2 = 28$$

$$Z_{\alpha} = 1.96$$

$$Z_{\beta} = 1.282$$

Por lo tanto, el tamaño de muestra se determina en 28

$$p_1 = 1.00 \text{ (31)}$$

$$p_2 = 0.76 \text{ (31)}$$

8.6 Número de grupos

Se establecieron 2 grupos de estudio para la medición de saturación de oxígeno y toma de muestra de sangre pulpar.

- Dientes con diagnóstico de pulpa vital reversible.
- Dientes con diagnóstico de pulpa vital irreversible.

8.7 Criterios de selección

8.7.1 Criterios de Inclusión

Pacientes con dientes:

- Indicados para tratamiento de conductos.
- Con diagnóstico de pulpa vital irreversible.
- Indicados para tratamiento de conductos por motivos protésicos.
- Con paredes vestibular y palatina intacta.

8.7.2 Criterios de Exclusión

Pacientes con dientes:

- Con cambios de coloración excesivas en la corona clínica.
- Sin paredes vestibular y/o palatina.
- Terceros molares.
- Malposición excesiva de la pieza dental a evaluar.
- Agrandamientos gingivales.
- Alteraciones sanguíneas sistémicas.
- Pacientes con ingesta de antiinflamatorios de forma crónica.

8.7.3 Criterios de Eliminación

- Incapacidad de determinar saturación de oxígeno de pieza dental.
- Ausencia de sangrado en cámara pulpar.
- Acceso previo.
- Contaminación de la muestra.
- Ausencia de DNA en muestra.

9 Variables

9.1 Variables Independientes

Variable	Clasificación	Definición conceptual	Definición operacional	Escala
Oxímetro pulpar	Categórica	Es una herramienta no invasiva que tiene la capacidad de medir la saturación de oxígeno en la sangre y la frecuencia cardíaca.	Dispositivo adaptado para medir la saturación de oxígeno de piezas dentales.	Nominal
Prueba al frío	Categórica	Es una prueba de sensibilidad en donde se estimulan fibras nerviosas pulpaes.	Es por medio de un aerosol con TFE que alcanza una temperatura de -26° C suficiente para provocar una respuesta pulpar.	Nominal

9.2 Variables Dependientes

Variables	Clasificación	Definición conceptual	Definición operacional	Escala
Saturación de oxígeno	Continua	Presión parcial de oxígeno	Obtenida por medio del oxímetro de	Continua de razón

		disuelto en la sangre arterial	pulso adaptado a cavidad oral.	
Cantidad de IL-8	Categórica	Es una citocina cuya función principal es la quimiotaxis.	Mediante una muestra sanguínea obtenida de la cámara pulpar, se someterá a un ensayo de quimioluminiscencia	Nominal
Tiempo de respuesta por el estímulo de la prueba al frío	Continua	Respuesta pulpar por la vasoconstricción provocada por el frío	Se mide con un cronómetro la respuesta dolorosa manifestada por el paciente al aplicar el frío	Continua de razón

10 Plan de Trabajo

10.1 Elaboración de prototipos de sensor de oximetría

En coordinación con la Unidad Académica Multidisciplinaria Región Altiplano de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, se elaboraron 3 prototipos de sensores de oximetría de pulso.



Figura 6 Primer prototipo de sensor de oximetría



Figura 7 Segundo prototipo de sensor de oxímetro

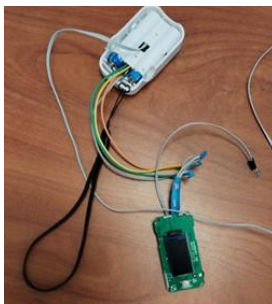


Figura 8 Tercer prototipo de sensor de oximetría

10.2 Adaptación de oxímetro de pulso

Se utilizó el oxímetro Xignal Modelo MD300C2 (Beijing Choice Electronic Technology Co., Ltd) (referido de ahora en adelante como “oxímetro adaptado”), y se adaptó para su utilización en cavidad oral, por medio de la impresión 3D de un diseño de pinza en ácido poliláctico (PLA). Se realizó la calibración del equipo asegurando su correcto funcionamiento.

10.3 Preparación de buffer salino de fosfatos (PBS)

Se realizó una preparación de PBS en el laboratorio de Biotecnología Molecular de Células Vegetales de la Unidad de Biotecnología de Plantas de la UASLP; pesando 1.42g de fosfato de sodio (Sigma Aldrich® Lot. SLBQ0133V), 408mg de fosfato monobásico de potasio (Sigma Aldrich® Lot. SLBN1039V) y 5.85g de cloruro de sodio en una balanza analítica (A&D Mod. HR-150AZ), y disolviéndolos en agua destilada estéril de forma manual a una concentración de 10x, realizando su dilución a 1x en agua destilada al momento de utilizarse.



Figura 9. A. Fosfato de sodio monobásico B. Fosfato monobásico de potasio y C. Cloruro de sodio



*Figura 10 Balanza analítica
A&D Mod. HR-150AZ*

El PBS es una solución amortiguadora de pH comúnmente empleada para procedimientos bioquímicos. Esta solución se prepara a partir de cloruro de sodio, fosfato de sodio y, en algunas formulaciones, con fosfato de potasio. Esta solución es isotónica y no tóxica para las células de los mamíferos. El PBS se emplea como vehículo neutro para células, ya que no modifica el perfil de expresión y funcionamiento celular normal. El PBS puede ser empleado como diluyente para métodos de desecación de biomoléculas, ya que las moléculas de agua presentes en el PBS se adhieren alrededor de la biomolécula permitiendo inmovilizarla a una superficie sólida. (48)

10.4 Prueba de frío

Posterior a la firma de consentimiento informado (Anexo A), se colocó al paciente en posición supina, realizando aislamiento relativo con rollos de algodón, se aplicó spray de Endolce® en torunda de algodón #2 hasta observar un goteo, seguido de contactar torunda sobre pieza dental a evaluar cronometrando tiempo de respuesta con ayuda del paciente.

10.5 Medición de saturación de oxígeno

Una vez revisados y aprobados los requisitos de los criterios de selección, se mantuvo al paciente en posición supina, aislando de forma relativa con rollos de algodón y se secó la superficie vestibular y palatina/lingual del diente. Se apagó

la luz de la unidad dental, se colocó el oxímetro adaptado en la pieza dental a medir, se aseguró su sujeción, inmovilidad y paralelismo del sensor con el emisor de forma que el fotodetector quedó lo más unido posible a la superficie dental y se esperó como máximo, 1 min 30 s para obtener una lectura estable de al menos 15 s.

Se registró el valor de saturación de oxígeno en una hoja de cálculo, junto con los datos de la pieza dental evaluada, y el diagnóstico pulpar.

10.6 Toma de muestra de sangre pulpar para identificación de IL-8

A las piezas dentales incluidas en el estudio, se le realizó el acceso a cámara pulpar para realizar la extracción de la muestra sanguínea según el protocolo establecido por Nakanishi de forma modificada. (31)

1. Anestesia local con mepivacaína 2% con epinefrina 1:100 000 (Scandonest).
2. Aislamiento absoluto con dique de hule 5x5.
3. Eliminación de tejido cariado con fresa de bola de carburo.
4. Exposición de cámara pulpar.
5. Provocación de sangrado por medio de un instrumento DG-16 permitiendo acumulación de sangre durante al menos 10 s.
6. Recolección de 10 µL de sangre pulpar mediante una micropipeta con punta de 10 µL. La muestra se colocó en microtubos de 1.5 mL en una solución de PBS preparada anteriormente y se transportó al laboratorio de forma inmediata para su refrigeración hasta el momento de realizar extracción de DNA y prueba PCR.
7. Extracción de DNA y realización de PCR.
8. Se realizó electroforesis para valorar presencia de IL-8 para su registro y posterior comparación.

10.7 Extracción de DNA de muestras de sangre pulpar

Una vez que se obtuvieron todas las muestras de sangre pulpar, se procedió a realizar la extracción de DNA para su posterior valoración por medio de PCR. Se probaron tres métodos de extracción de DNA; el primero por medio de la utilización de β -mercaptoetanol, segundo por medio del método de Proteinasa K modificada y tercero un método de alcohol-cloroformo modificado por Moradi y cols. confirmando calidad de DNA por medio de Nanodrop y un gel de calidad, dando mejores resultados el método de Proteinasa K modificada, conteniendo 102.4 ng/mL de DNA, a una relación 260/280 de 1.43. (49–51)

El método se realizó de acuerdo con los siguientes lineamientos:

- La realización de los buffers se ajustó a 1 L., preparándose;
 - Buffer de lisis I. Conteniendo 10 mM de Tris y 1 mM de EDTA aforado en agua destilada estéril. (50)
 - Buffer de lisis II. Conteniendo 50 mM de Tris HCl, 50 mM de KCl (CTR, Lot. 210320), 2.5 mM de $MgCl_2$ (Karal, Lot. B1867), 0.45% de Tween 20 (Sigma Aldrich, Lot. SLCL7671) y 0.45% de nonidet-P aforado en agua destilada estéril. (50)
 - Proteinasa K y SDS 20%.

Los pasos a seguidos se describen a continuación:

1. Los microtubos que contenían la muestra en PBS a 1x, se centrifugaron durante 7 min a 6000 revoluciones por minuto (rpm). (Centrífuga Aosheng Super Mini Centrifuge Mod. Mini-14k)
2. Se colocó el sobrenadante en un segundo microtubo estéril y se almacenó a $-20^{\circ}C$.
3. Al microtubo conteniendo el pellet, se le agregó 1 mL de agua destilada estéril y se centrifugó durante 7 min a entre 5000 y 6000 rpm.
4. Se repitió el paso 3, de 2 a 3 veces más, descartando sobrenadante y agregando agua destilada, resuspendiendo pellet en vórtex (Velp Scientifica Vortex Mixer Zx Classic) hasta observarse líquido de forma clara.
5. Se agregó 1 mL de Buffer de lisis I, resuspendiendo pellet en vórtex, y se centrifugaron durante 5 min a 7000 rpm.

6. Se descartó sobrenadante y se agregó 800 μ L de Buffer de lisis II, 50 μ L de SDS 20% y 10 mg/mL de Proteinasa K, dejándose incubar a 56°C durante 2 h en baño seco (Dry Bath Mod. K30).
7. Una vez pasado el tiempo de incubación, se agregaron 400 μ L de fenol/cloroformo (1:1), agitándolo para mezclar contenido y se centrifugaron durante 5 min a 4000 rpm.
8. Las fases superiores se transfirieron a un nuevo microtubo estéril, agregando 400 μ L de cloroformo, 50 μ L de acetato de sodio (3M), realizando un agitado y centrifugado durante 5 min a 4000 rpm.
9. Se agregaron 3 volúmenes de etanol absoluto previamente enfriado, agitando la solución resultante y centrifugando durante 3 min a 3000 rpm.
10. Se almacenaron a -20°C durante una noche para permitir la precipitación de la muestra.
11. El sobrenadante se descartó y se agregó 1 mL de etanol 70% previamente enfriado, agitado y centrifugado durante 3 min a 13000 rpm.
12. El sobrenadante se descartó, y se dejó secando el pellet a temperatura ambiental, agregando 20 μ L de agua destilada estéril.
13. Almacenado a -20 °C hasta su utilización en la prueba PCR. (52)

Para la prueba PCR, las muestras se prepararon con la mezcla maestra, cuyos componentes y concentración utilizados, fueron los siguientes:

	Concentración	Cantidad
2x Taq Polimerasa Máster Mix	1x	12.5 μ l
Oligonucleótido sentido	400 n M	1 μ l
Oligonucleótido antisentido	400 n M	1 μ l
DNA molde	Variable	1 μ l
Agua destilada	1 x	9.5 μ l
TOTAL	25 μ l	

Tabla 1 Componentes de la mezcla maestra que se utilizó para PCR

Durante el proceso de PCR, las condiciones de ciclado fueron las siguientes:

Fase	Temperatura	Tiempo
<i>Desnaturalización inicial</i>	95°C	5 min
<i>Hibridación</i>	52°C	1 min
<i>Elongación</i>	72°C	1 min
<i>Extensión final</i>	72°C	5 min

Tabla 2 Condiciones de ciclado para PCR utilizado para la detección de IL-8 con un total de 35 ciclos

Posteriormente se realizó la electroforesis, para después en el fotodocumentador observar los resultados.



Figura 11 A). Termociclador C1000 Touch Thermal Cycler de Bio-Rad, con los tubos para PCR. B) Programación del termociclador C1000 Touch Thermal Cycler de Bio-Rad

11 Consideraciones Éticas

- a. El presente trabajo de investigación se sometió a revisión al Comité de Ética en Investigación de la Facultad de Estomatología de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, y se aprobó por unanimidad con la clave CEI-FE-063-023 (Anexo B)
- b. La presente investigación de acuerdo con la clasificación de los riesgos en investigación corresponde a “Investigación con riesgo mínimo”.
- c. Cada participante del presente estudio acordó firmar una carta de consentimiento informado autorizando la medición de saturación de oxígeno con oxímetro adaptado, aplicación de la prueba térmica del frío y toma de muestra sanguínea de cámara pulpar.
- d. Los datos personales obtenidos se registraron y custodiaron de acuerdo con la Ley General de Protección de Datos Personales.
- e. Los residuos séricos se dispusieron de acuerdo con la norma oficial mexicana NOM-087-ECOL-SSA1-2002 para el manejo de residuos peligrosos biológico-infecciosos, y se tomaron los cuidados establecidos en la norma oficial mexicana NOM-013-SSA2-2015 para la prevención y control de enfermedades bucales.
- f. Se utilizaron equipos del laboratorio de Biología Molecular de la Facultad de Ciencias Químicas, y el Laboratorio de Biología Molecular de la Maestría en Endodoncia de la Facultad de Estomatología y los recursos utilizados fueron autofinanciados.
- g. Se pretende que la difusión de resultados sea por medio de un trabajo de tesis, para su divulgación en congresos y su publicación.
- h. No existe ningún conflicto de interés en el siguiente trabajo de investigación.

12 Análisis estadístico

Los resultados se analizaron con el programa SPSS, con un nivel de significancia establecida de $p < 0.05$, realizando la prueba de Shapiro Wilk para determinar la normalidad de los datos. Todos los valores son representados mediante estadística descriptiva, utilizando gráficas y tablas, que muestran las medidas de tendencia central y de variabilidad. Se utilizaron tablas de contingencia para la determinación de la sensibilidad, especificidad, valor predictivo positivo, y valor predictivo negativo.

Una vez que se obtuvieron los valores correspondientes a saturación de oxígeno y tiempo, se determinó la sensibilidad, especificidad, valor predictivo positivo y valor predictivo negativo de cada prueba evaluada.

Para comparar:

- ✓ La **sensibilidad** que es la capacidad de una prueba para identificar los dientes que están realmente enfermos se calculó de acuerdo con la fórmula $VP / (VP + FN)$.
- ✓ La **especificidad** que indica la capacidad de una prueba para identificar dientes sin enfermedad se calculó de acuerdo con la fórmula $VN / (VN + FP)$.
- ✓ El valor **predictivo positivo** que hace referencia a la probabilidad de que un resultado positivo de la prueba realmente represente un diente enfermo, se calculó usando la fórmula $VP / (VP + FP)$.
- ✓ El valor **predictivo negativo** que señala la probabilidad de que un diente con un resultado de prueba negativo esté libre de enfermedad, se calculó utilizando la fórmula $VN / (VN + FN)$.

Los valores de la saturación de oxígeno y el tiempo de duración del dolor por el estímulo térmico en los diferentes grupos se analizaron con Prueba U de Mann Whitney.

13 Resultados

Se evaluaron un total de 40 piezas dentarias los cuales representan nuestra unidad de estudio, divididos en dos grupos; 20 para el grupo de dientes con pulpa vital reversible (VR) y 20 para el grupo de dientes con pulpa vital irreversible (VI). La edad promedio de los pacientes a los que se les realizaron las pruebas fue de 41.44, el género femenino fue el más frecuente en un 80%. (Gráfico 1)

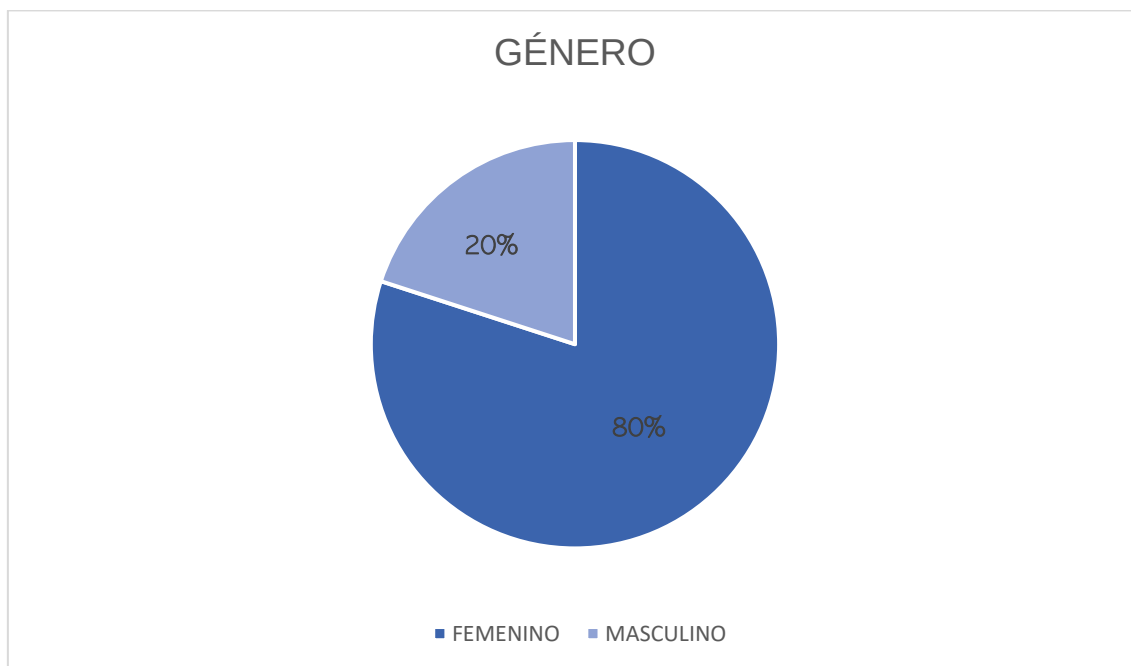


Gráfico 1 El género femenino fue el más frecuente en un 80% de los pacientes incluidos en el estudio.

13.1 Evaluación de la saturación de oxígeno pulpar

13.1.1 Medición de la SaO₂ pulpar.

En el grupo 1 representado por dientes con pulpa vital reversible (VR), se obtuvo una media de 89.9% con una desviación estándar (SD) de ± 2.37 , en el valor correspondiente a la SaO₂. En el grupo 2 correspondiente a dientes con pulpa vital irreversible (VI) se obtuvo un promedio de 94.6% con una desviación estándar de ± 1.92 . (Tabla 3)

Estadística descriptiva de la SpO₂ en los diferentes grupos de estudio.

	Media	SD	Rangos Máx-min
Grupo 1 (VR)	89.9%	±2.37%	97-87
Grupo 2 (VI)	94.6%	±1.92%	99-86

Tabla 3 Medidas de la saturación de oxígeno

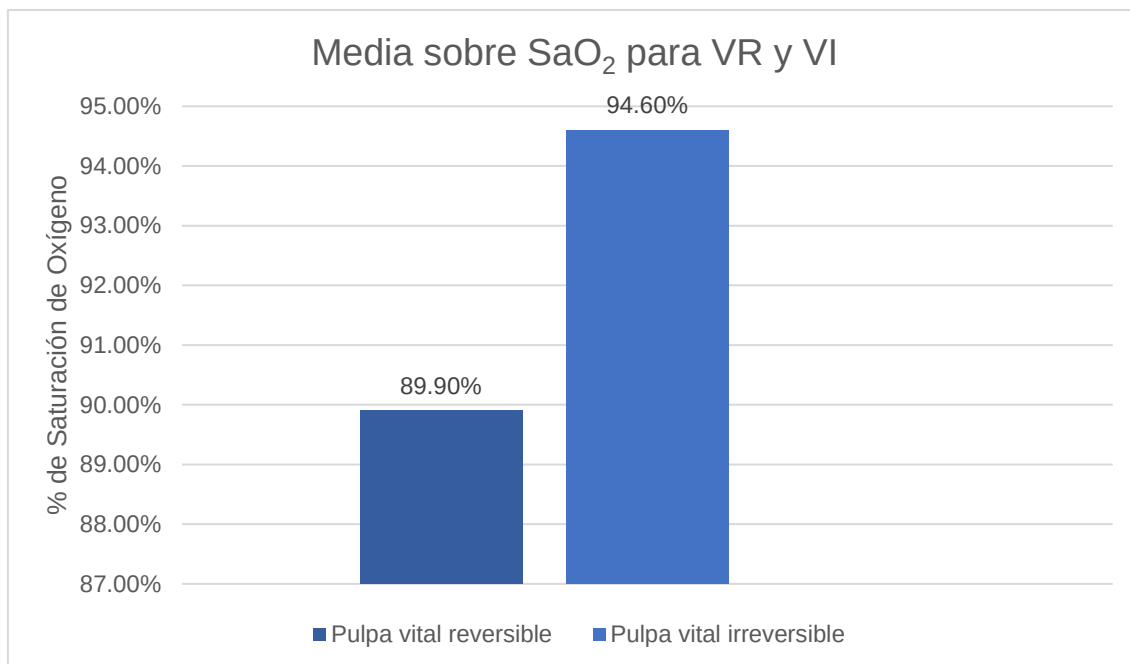


Gráfico 2. Valor promedio de saturación de oxígeno en los diferentes grupos de estudio.

13.2 Evaluación de la prueba de sensibilidad pulpar con frío.

Al evaluar el tiempo que perdura la sensibilidad pulpar una vez que el estímulo se eliminó se obtuvo un valor promedio de 3.09 s para el grupo de pulpitis reversible y para los órganos dentarios con pulpa vital irreversible el promedio fue de 9.13 s (Tabla 4)

Estadística descriptiva de duración de dolor al aplicar el estímulo térmico

	Media (s)	SD	Rangos Máx-min
Grupo 1(VR)	3.09	±3.07	5.84- 0.24
Grupo 2 (VI)	9.13	±4.96	15.4- 4.56

Tabla 4. Promedio, desviación estándar (SD) y rango máximo y mínimo obtenido en los diferentes grupos

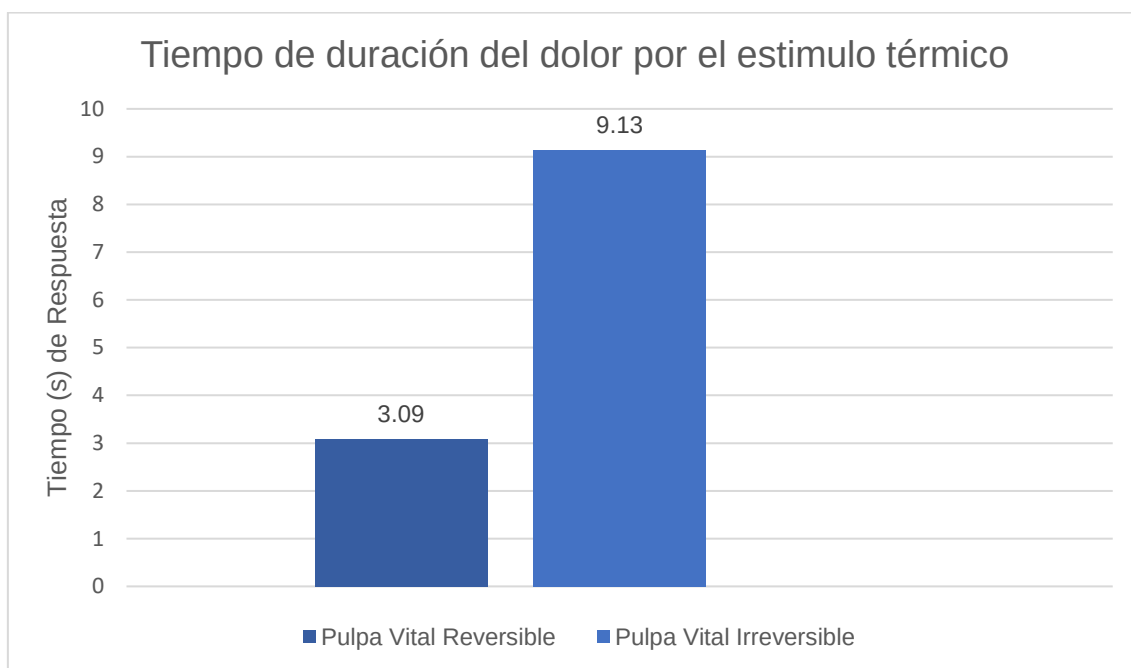


Gráfico 3. Promedio del tiempo que permanece el dolor por el estímulo térmico en los diferentes grupos.

13.3 Validación de pruebas diagnósticas

Para la Oximetría de pulso se obtuvieron los siguientes valores:

Oximetría de Pulso		
	Enfermo	Sano
Positivo	22	2
Negativo	3	13

Tabla 5. Tabla de contingencia que muestra los valores VP, FP, FN, VN para la oximetría de pulso

Para la Prueba térmica de sensibilidad pulpar se obtuvieron los siguientes valores:

Prueba térmica de sensibilidad pulpar		
	Enfermo	Sano
Positivo	17	5
Negativo	3	15

Tabla 6. Tabla de contingencia mostrando los valores de VP, FP, FN, VN para la prueba térmica de sensibilidad pulpar

Los valores obtenidos indican una mayor sensibilidad y especificidad con la oximetría de pulso como prueba diagnóstica, determinando una mejor capacidad diagnóstica en comparación con la prueba de sensibilidad al frío. (Tabla 7)

VALIDACIÓN DE PRUEBAS DIAGNÓSTICAS.

PRUEBAS	Sensibilidad	Especificidad	VPP	VPN
OXIMETRÍA	0.88	0.86	0.91	0.81
PRUEBA TÉRMICA	0.85	0.75	0.77	0.83

Tabla 7. Sensibilidad, Especificidad, Valor Predictivo Positivo (VPP), Valor Predictivo Negativo (VPN) para las pruebas diagnósticas de oximetría de pulso y de sensibilidad pulpar con frío

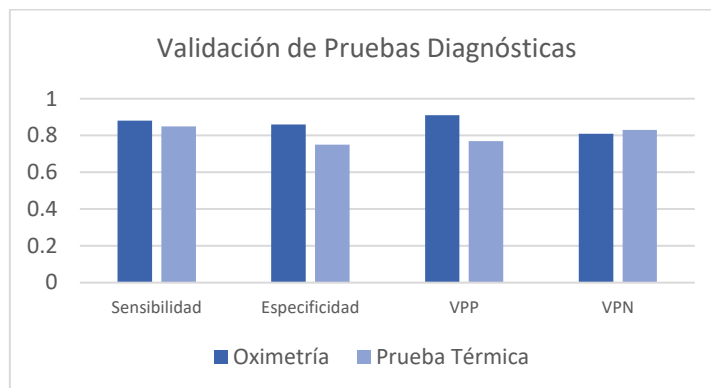


Gráfico 4. Sensibilidad (SN), Especificidad (SP), Valor Predictivo Positivo (VPP), Valor Predictivo Negativo (VPN) de las pruebas evaluadas

Al realizar la prueba de Shapiro Wilk en los diferentes grupos, tanto con la oximetría como en la prueba térmica del frío, se obtuvo un valor de $p < 0.05$, por lo que los datos no siguen una distribución normal, realizando prueba post-hoc de U de Mann Whitney, obteniendo una diferencia estadísticamente significativa entre el grupo de pulpa vital reversible e irreversible en los valores de oximetría ($p = 0.043$). En cuanto a la prueba de sensibilidad al frío se detectó una diferencia estadísticamente significativa en el tiempo de respuesta al estímulo entre el grupo de pulpa vital reversible e irreversible ($p = 0.001$).

13.4 PCR y Electroforésis

Al analizarse, se observó la presencia de IL-8 en forma de una barra definida en gel de electroforésis para aquellas muestras correspondientes al grupo 2 (PVI), y de forma menos definida para aquellas pertenecientes al grupo 1 (PVR).

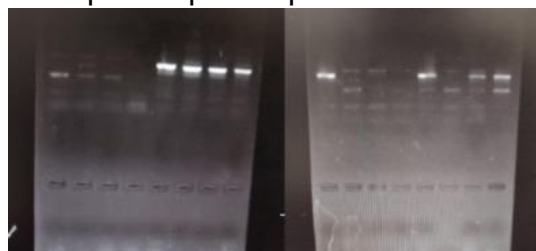


Figura 12. Análisis en cámara UV de gel de agarosa por proceso de electroforésis

14 Discusión

El objetivo de este estudio fue evaluar la eficacia de un dispositivo de oximetría en el diagnóstico pulpar detectando una mayor sensibilidad y especificidad en comparación con la prueba térmica del frío.

Las pruebas de sensibilidad pulpar proporcionan información valiosa sobre el diagnóstico para una correcta planificación del tratamiento clínico. Si existe una patología, las pruebas diagnósticas pulpares en combinación con la información obtenida de la historia clínica, la exploración y las radiografías, conducen al correcto diagnóstico de la enfermedad. Sin embargo, además de la recopilación de datos, es necesario su correcta interpretación para determinar la causa y el problema del paciente. Al sospechar de una patología pulpar, habrá que establecer un diagnóstico endodóntico definitivo para asegurar la preservación de la pieza dental, utilizando pruebas de sensibilidad o vitalidad como la prueba de frío, calor, eléctrica o la oximetría. (2,5,53)

La oximetría de pulso es una tecnología presentada inicialmente en 1974 por Takuo Aoyagi, luego de basarse en estudios de oximetría previos realizados por Vierordt en 1876 y Nicolai en 1931, avanzando durante la Segunda Guerra Mundial por Millikan en 1942. (54) Desde entonces, diversos investigadores han realizado sus propias adaptaciones para su utilización en el área odontológica, específicamente; para el diagnóstico de patologías pulpares. El primer investigador en proponer el uso de la oximetría para el diagnóstico endodóntico fue Schmitt en 1991 por medio de pletismografía; la base de la oximetría. Discutiendo la necesidad de un detector de mayor tamaño para capturar suficiente luz y atenuar lo más posible el ruido ocasionado por las estructuras circundantes y el movimiento del paciente, además de mencionar la idea del uso de oximetría para el diagnóstico de la vitalidad pulpar mencionando que posiblemente se vería afectada ésta al inducir un estado inflamatorio. (55) El mismo año, Schnettler describe el potencial de la oximetría de pulso para detectar la vascularidad de la pulpa dental, adaptando un oxímetro y utilizándolo en incisivos centrales superiores, reportando las limitaciones de la tecnología en ese momento y apoyando su aplicación para el diagnóstico del estado pulpar, especialmente en casos de trauma. (56) Kahan y Noblett continuaron con las

adaptaciones por medio de una grapa dental, presentando las ventajas de la objetividad de la prueba con mínimo de incomodidad para el paciente, sin embargo, se remarcan las desventajas inherentes de la prueba reportando variaciones grandes en los valores de oxigenación, la afectación por presencia de la luz ambiental, la amplificación del ruido por baja señalización, el movimiento del sensor y la señal de tejidos adyacentes. (41,42) A pesar de sus limitaciones, los estudios para su aplicación en el área endodóntica continuaron hasta confirmar la fiabilidad de la prueba para el diagnóstico, probando con distintas adaptaciones, principalmente para el uso en piezas anteriores o hasta premolares. (43,57,58) Los resultados obtenidos de la oximetría aplicada a dientes con pulpa sana, ha llevado a que también se pueda medir la saturación de oxígeno en dientes sobre los cuales los resultados de las pruebas de sensibilidad convencionales no serían confiables como los son cuando hay ápice abierto o recientemente traumatizados. Gopi Krishna et al. evaluaron un oxímetro adaptado, en dientes con historial de trauma, durante 6 meses, y reportaron vitalidad pulpar, lo cual demuestra las ventajas de esta prueba sobre la del frío, tras sufrir un trauma dental. (59) A pesar de sus numerosas ventajas, diversas revisiones literarias sobre la oximetría de pulso aplicada al diagnóstico endodóntico han reportado sus limitaciones y la posibilidad de valores de saturación alteradas en ciertas condiciones, como son; perfusión baja, afectaciones sanguíneas, vasoconstricción, hipotensión o movimientos del paciente y/o sensor. (5,60) Tomando en consideración estos factores y limitantes, en el presente estudio, se incluyeron pacientes que tuvieran una estructura dental completa, con diagnóstico de pulpa sana o pulpa vital irreversible, de acuerdo a la sintomatología y se excluyeron pacientes con algún tipo de alteración sanguínea diagnosticada, o que estuvieran tomando medicamentos que pudieran afectar la perfusión sanguínea y por lo tanto, comprometer los resultados del experimento.

Aún cuando se ha demostrado en diversos estudios la efectividad de la oximetría no existe un adaptador estándar para su utilización en todas las piezas dentales de infantes y adultos, hasta el momento se incluyen la utilización de grapas, pinzas para el lóbulo de la oreja, portagrapas, pinzas de ropa e incluso impresiones 3D de ácido poliacrílico. (41,42,61,62) Sin embargo, cada una de

estas ha presentado sus propias limitaciones en cuestión de diseño y uso; ya sea necesitando una adaptación para cada tipo de diente, necesidad de equipo especial, inutilidad en piezas posteriores o causando incomodidad o dolor en el paciente, siendo una consecuencia contraproducente a lo que se quiere evitar con la prueba de frío, que provoca un estímulo doloroso, para evaluar el estado pulpar. (24,26)

En el presente trabajo se muestra una comparación entre resultados obtenidos de la prueba con frío con tetrafluoretano en oposición a la medición de SaO_2 , lo cual se ha realizado en diversas investigaciones haciendo comparaciones en distintas situaciones clínicas entre las pruebas de diagnóstico disponibles, Gopi Krishna discute la posibilidad de determinar la vitalidad de una pieza dental traumatizada con oximetría desde el primer día mostrando cuantificación constante en un período de 6 meses contra resultados variables de las pruebas de frío y eléctricas, mostrando vitalidad hasta los 3 meses. (63) De forma similar, Khademi reporta la falta de fiabilidad de las pruebas térmicas y eléctrica en casos de dientes en zona de labio y paladar hendido, recomendando la oximetría por encima de estas pruebas para comprobar la vitalidad en estos casos. (43) Karayilmaz mostró que la oximetría tenía valores de sensibilidad y especificidad mayores a la prueba eléctrica, pero menores a los valores predictivos presentados por Gopi Krishna, indicando la posibilidad de mostrar evidencia de vitalidad en piezas con tratamiento endodóntico previo, sin embargo, dado la exclusión de piezas con tratamiento previo en la investigación presentada, no fue un factor determinante. (64) Dastmalchi realizó una comparación más amplia, reportando que tanto la prueba de frío, como la de calor y la eléctrica no eran confiables para valorar el estado pulpar (sensibilidad ≤ 0.60 , especificidad ≤ 0.66) a diferencia de su oxímetro adaptado mostrando valores predictivos significativamente mayores, similares a los resultados reportados en este estudio. (65) Algaithy más adelante presenta una revisión más crítica respecto a los valores predictivos presentados en estos artículos y otros más, indicando que los resultados pueden no ser tan fiables debido a la posibilidad de sesgo debido a sus criterios de inclusión, contradictorio a los resultados de la revisión realizada por Mainkar, informando valores predictivos para laser Doppler y la oximetría de pulso por encima de 0.90, pero sin mostrar diferencias estadísticamente

significativas contra la prueba de frío. (4,66) Otros autores confirman la utilidad de la oximetría de pulso para el diagnóstico del estado pulpar por encima de las pruebas térmicas y eléctricas, con la necesidad de establecer parámetros de referencia para la SaO₂ en casos de pulpa sana y pulpa enferma. (44,67)

Las ventajas reportadas de la oximetría de pulso para el diagnóstico de piezas dentales, han sido descritas en numerosas publicaciones, siendo de sus principales características el ser no invasiva, atraumática, cuantificable, reproducible, facilidad de uso en pacientes pediátricos, y por supuesto su objetividad frente al resto de tipo de pruebas; que además de subjetivas, presentan sus propias limitaciones, principalmente los falsos positivos/negativos o una falta de entendimiento de la participación del paciente en la interpretación de la prueba. (5,26,43,44,59,60,67) La oximetría de pulso, presenta resultados numéricos estables, sin involucrar la participación del paciente, eliminando el sesgo del entendimiento del paciente al realizar la prueba, y por encima de todo, sin causar dolor o incomodidad al paciente en cuestión.

A pesar de contar con numerosas ventajas, se ha discutido si realmente puede ser utilizado en todos los casos, donde el grosor del esmalte y la dentina varían y pudieran interferir en la interpretación y funcionamiento del oxímetro adaptado, estudios previos han reportado una menor SaO₂ en piezas dentales a comparación a dedos utilizados en controles, atribuido a la presencia de esmalte y dentina, la cual a su vez, da resultados de porcentaje distintos entre cada grupo dental, sin embargo, al comparar estructuras dentales de 2.1mm a 6.8mm mostraron únicamente una disminución de 3% en condiciones *In vitro*. Otro estudio por Silva et al. refuerzan ese argumento informando una disminución de 4% en la saturación de oxígeno comparando estructuras de 2 y 4mm, confirmando que efectivamente; al aumentar el grosor de la dentina y en menor medida el esmalte, la absorbancia aumenta. Además de que la luz ambiental no parece afectar de forma significativa la interpretación y lectura de la saturación de oxígeno. Por otro lado, Fried et al. mediante modelos *In vitro*, determinaron que las longitudes de onda bajo las que se trabajan normalmente en un oxímetro de pulso, es decir, las cercanas al infrarrojo, no se absorben en mayor medida en el esmalte y la dentina. (68–70) Debido a los resultados presentados en estos estudios, en el presente trabajo, se optó por realizar las mediciones con luz

ambiental encendida, y luz de la unidad apagada, sin distinción en el tipo de diente a medir.

Estudios más recientes se han enfocado principalmente en intentar determinar el porcentaje de oximetría de cada estado pulpar en distintas situaciones clínicas; por ejemplo, cambios en SaO_2 entre dientes maduros e inmaduros, Bargrizan y Dindaroglu determinaron que existía una correlación negativa significativa entre el porcentaje de saturación de oxígeno y el nivel de desarrollo apical, encontrando una disminución de un máximo de 2.5% de saturación de oxígeno en dientes con ápice cerrado en comparación a ápice abierto. Estrela y Fragomeni, realizando la comparación de SaO_2 en dientes de diferentes grupos de edad, reportaron una disminución gradual de los promedios de saturación a mayor edad, coincidiendo con los resultados del presente estudio donde se observaron valores mayores en pacientes jóvenes a diferencia de pacientes de más de 40 años. (71–74) Otras investigaciones se han enfocado en intentar determinar diferencias entre la SaO_2 de pacientes jóvenes con lesiones cariosas profundas y piezas dentales sanas, encontrando una reducción significativa en dientes con lesiones cariosas profundas (media: 64.36%). Este hallazgo se adjudica a una difracción de la luz a través de los prismas del esmalte o dentina contaminada, o también por una lectura de tejidos blandos de la encía, en el presente trabajo se detectó un caso de valor de oxigenación bajo para una pulpa vital irreversible (86%), el cual presentaba caries profunda, coincidiendo con lo que reportaron Kanumuru et al. (75) Kosturkov et al. detectaron una máxima de SaO_2 en pulpa dental sana de 99% y una mínima de 48%. (76) Anusha et al. detectan un 84.45% para pulpitis reversible, 81.6% para pulpitis irreversible, y 70.7% para necrosis pulpar. (77) Estos hallazgos varían con lo detectado en el presente trabajo, en donde se determinó un 89.9% para pulpitis reversible coincidiendo con el estudio de Sharma et al. que reporta valores de oxigenación en dientes sanos en promedio de 88.78%, con una máxima de 91.33% y un mínimo de 85% (78) Grabliauskiene presenta sus datos en los distintos tipos de grupos dentales; con medias de 93.75% y 93.69% para incisivos maxilares y mandibulares respectivamente, 91.63% y 93.56% para caninos maxilares y mandibulares respectivamente, 93.38% y 93.94% para premolares maxilares y mandibulares respectivamente, 92.31% y 93.13% para molares maxilares y

mandibulares respectivamente. (62) Además se han presentado diversos estudios de análisis sistemáticas y metaanálisis comparando los distintos estudios de oximetría para el diagnóstico pulpar, discutiendo que el plan de tratamiento puede complicarse debido a un diagnóstico erróneo, y que este método es confiable para la medición y determinación del estado pulpar en sus diferentes etapas y detectar las diferentes anomalías que se pueden presentar en distintas situaciones clínicas, obteniendo altos valores de sensibilidad y especificidad, recalcando la necesidad de implementar estas herramientas para el diagnóstico pulpar, inclinándose hacia la medición del tejido vascular a diferencia de la respuesta de ramas nerviosas. (79–82)

En cuanto a los valores obtenidos en pulpa vital irreversible que fue de un 93.94%, difieren con los informados anteriormente, excepto con el estudio presentado por Mishra (83), el cual muestra valores mayores de saturación de oxígeno en estos casos. Esta diferencia sobre otros estudios se atribuye a varios factores, como es que los pacientes incluidos presentaron sintomatología sin sobrepasar 7 días más allá de su aparición, lo cual se relaciona con una alteración del flujo sanguíneo.

Algunos estudios que pueden explicar este fenómeno incluyen a Heyeraas, quien sometió a estimulación eléctrica a dos tiempos distintos; desde 5 s hasta 120 s. Con la hipótesis de que la presión pulpar aumentaría al estimular el menor dato de vasodilatación o filtración capilar y que en consecuencia reduciría la presión intramural, comprimiendo los vasos pulpaes, contrarrestando la vasodilatación. Al medir la presión del líquido intersticial y el flujo sanguíneo por medio de un sistema de contrapresión con micropipetas, se observó un promedio de presión de 6.3 mmHg en condiciones normales, que al ser sometido a un estímulo eléctrico constante, se observó un aumento simultáneo tanto en presión intrapulpar y flujo sanguíneo. Los datos de la presión pulpar observados mostraron que al existir un daño del tejido pulpar, la presión pulpar se mostró a 20 mmHg al aumentar el flujo sanguíneo. (84) Estudios más recientes sobre presión pulpar, lo ubican entre aproximadamente 30 a 43 mmHg, mostrando un presión arterial baja en contraste de su flujo sanguíneo alto y los efectos de la inflamación en la pulpa pueden mantenerse localizadas por periodos mayores a 8 horas. (85,86) En el caso de la pulpitis, dado que la inflamación ocurre dentro

de una cavidad cerrada, cualquier incremento de volumen de sangre o extravasación causará un aumento de la presión pulpar, el cual puede comprimir los vasos sanguíneos y contrarrestar el flujo sanguíneo. Este aumento de volumen de sangre es transitorio siempre y cuando se pueda mantener la permeabilidad vascular. (86) En caso de no poderse mantener la permeabilidad vascular, se observará un aumento de presión durante los primeros tres días, aumentando alrededor de 15 mmHg, donde al ingresar al octavo o noveno día de inflamación, este valor regresará a su normalidad, reduciéndose paulatinamente por debajo de su valor normal en caso de no resolverse la causa de la inflamación; observándose un colapso venoso, isquemia y eventualmente una necrosis local. (87) Por otro lado, los datos presentados acerca de la presión pulpar normal de alrededor de 40 mmHg, y de acuerdo con la literatura disponible sobre el funcionamiento de los oxímetros de pulso, no concuerdan con la SaO_2 que se ha reportado. Los valores esperados para esta presión pulpar baja se pudieran esperar de forma normal en alrededor de 70 a 75% de SaO_2 , ya que, aunque el flujo sanguíneo encontrado en la pulpa es alto, la presión que se maneja es más baja, por lo tanto, su oxigenación también debería serlo.

Otro aspecto importante es el ajuste en los distintos oxímetros, en donde los más recientes presentan una filtración adaptativa, esta función permite una calibración automática y ajuste de sus parámetros en caso de movimientos por parte del paciente, o por perfusión sanguínea baja. El diodo; encargado de recibir la luz transmitida por LED, es amplificada para poder recibir información, dentro del módulo procesador, la información se analiza para aislar la forma de onda de la fotopletismografía a cada longitud de onda, donde en caso de movimiento del paciente o perfusión sanguínea baja, se implementa una filtración adaptativa para finalmente indicar el valor de SaO_2 . (88) Resulta importante recalcar esta información ya que en diversos estudios donde se compararon algunos oxímetros de pulso en casos de perfusión alta y baja, tuvieron dificultades para obtener lecturas por debajo de 80%, donde posiblemente, la filtración adaptativa ajustó los parámetros de lectura a valores más plausibles para el tejido que supone, estaría analizando. (82,88)

La SaO_2 y el funcionamiento de oxímetros de pulso actúan en base a una curva de disociación de oxihemoglobina, donde diversas situaciones clínicas pueden

desplazarla hacia la derecha, es decir hay un aumento de la concentración de oxígeno en sangre. Primeramente, al disminuir el pH en sangre, desplaza la curva en un 15% hacia la derecha, aumentando la oxigenación, como se puede observar en infecciones odontogénicas. Otros factores que pueden influir sobre esto, es el aumento de la concentración de dióxido de carbono (CO_2), aumento de la temperatura y, de forma importante el aumento de 2,3-bifosfoglicerato (BPG). En el caso de la vasodilatación local de la pulpa durante eventos inflamatorios, existe un aumento de temperatura. La BPG es un fosfato metabólico importante que mantiene la curva de disociación hacia la derecha, este metabolito aumenta su concentración considerablemente, en condiciones hipóxicas mayores a un par de horas, condiciones que se observan durante la inflamación neurogénica de la pulpa. (88) Con los datos presentados anteriormente, permite discutir en la posibilidad de que durante los primeros días de la aparición de sintomatología de la pulpitis irreversible, hay un aumento de la presión pulpar en la primer semana de estimulación del tejido pulpar, con su posterior vasoconstricción y aumento de las condiciones hipóxicas que llevan eventualmente a la necrosis pulpar, por lo que sería relevante considerar el tiempo desde la aparición de sintomatología y su relación con la saturación de oxígeno.

Al presentar resultados distintos sobre los valores de oxigenación reportados en pulpitis vital irreversible, se adjudica al tiempo en el que se midió la saturación de oxígeno, es decir en los primeros 7 a 9 días de la aparición de sintomatología.

Se sugiere mayor investigación sobre el tema de saturación de oxígeno del tejido pulpar, y la necesidad de realizar un dispositivo especialmente diseñado para piezas dentales que permita la lectura de saturación de oxígeno en valores desde 50 a 100%.

15 Conclusión

Se demuestra la eficacia en el diagnóstico del estado pulpar de un dispositivo de oxímetro de pulso, obteniendo una mayor sensibilidad y especificidad en comparación con la prueba térmica del frío, comprobando la hipótesis de investigación.

16 Perspectivas

- Realizar comparaciones saturación de oxígeno en piezas dentales entre distintas adaptaciones de aditamentos con oxímetros de pulso.
- Comparar valores de saturación de oxígeno en dispositivos con opción a lectura en condiciones de perfusión alta y baja.
- Cuantificar IL-8 de muestras de sangre pulpar en diagnósticos de pulpa vital reversible e irreversible.

17 Bibliografía

1. de Jesús Pozos Guillén A RJ. Odontología Basada en Evidencia: De la evidencia científica a la práctica clínica. Primera. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, editor. San Luis Potosí: Universidad Autónoma de San Luis Potosí; 2021.
2. Hargreaves KM, Berman LH, Rotstein I. Cohen's Pathways of The Pulp 11th Ed. J Chem Inf Model. 2017;
3. Grabliauskienė Ž, Zamaliauskienė R, Lodienė G. Pulp vitality testing with a developed universal pulse oximeter probe holder. Medicina (Lithuania). 2021;57(2).
4. Mainkar A, Kim SG. Diagnostic Accuracy of 5 Dental Pulp Tests: A Systematic Review and Meta-analysis. Vol. 44, Journal of Endodontics. Elsevier Inc.; 2018. p. 694–702.
5. Chen E, Abbott P V. Dental Pulp Testing: A Review. Int J Dent. 2009;2009:1–12.
6. ROWE AHR, FORD TRP. The assessment of pulpal vitality. Int Endod J. 1990;23(2).
7. Augsburger RA, Peters DD. In vitro effects of ice, skin refrigerant, and CO2 snow on intrapulpal temperature. J Endod. 1981;7(3).
8. Miller SO, Johnson JD, Allemang JD, Strother JM. Cold testing through full-coverage restorations. J Endod. 2004;30(10).
9. Jones VR, Rivera EM, Walton RE. Comparison of carbon dioxide versus refrigerant spray to determine pulpal responsiveness. J Endod. 2002;28(7).
10. Frank U, Freundlich J, Tansy MF, Chaffee RB, Weiss RC, Kendall FM. Vascular and cellular responses of teeth after localized controlled cooling. Cryobiology. 1972;9(6).
11. Mumford J. Evaluation of gutta-percha and ethyl chloride in pulp testing. Br Dent J. 1964;116:338–42.
12. Peters DD, Baumgartner JC, Lorton L. Adult pulpal diagnosis. I. Evaluation of the positive and negative responses to cold and electrical pulp tests. J Endod. 1994;20(10).
13. Rickoff B, Trowbridge H, Baker J, Fuss Z, Bender IB. Effects of thermal vitality tests on human dental pulp. J Endod. 1988;14(10).
14. ROWE AHR, FORD TRP. The assessment of pulpal vitality. Int Endod J. 1990;23(2).
15. Zach L. Pulp lability and repair; effect of restorative procedures. Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology. 1972;33(1).

16. Eriksson AR, Albrektsson T. Temperature threshold levels for heat-induced bone tissue injury: A vital-microscopic study in the rabbit. *J Prosthet Dent*. 1983;50(1).
17. Akpinar KE, Er K, Polat S, Polat NT. Effect of gingiva on laser doppler pulpal blood flow measurements. *J Endod*. 2004;30(3).
18. Reinhart K, Bloos F. The value of venous oximetry. Vol. 11, *Current Opinion in Critical Care*. 2005.
19. Bickler P, Feiner J, Rollins M, Meng L. Tissue Oximetry and Clinical Outcomes. Vol. 124, *Anesthesia and Analgesia*. 2017.
20. Baker WB, Parthasarathy AB, Busch DR, Mesquita RC, Greenberg JH, Yodh AG. Modified Beer-Lambert law for blood flow. *Biomed Opt Express*. 2014;5(11).
21. Baura GD. Medical Device Technologies: A Systems Based Overview Using Engineering Standards. *Medical Device Technologies: A Systems Based Overview Using Engineering Standards*. 2020.
22. Bermúdez-Jiménez C, Gaitán-Fonseca C, Cepeda-Argüelles Ó, Araujo-Espino R, Aguilera-Galaviz LA, de la Rosa-Reyes M. Oximetría de pulso y su eficacia para diagnosticar vitalidad pulpar. *Revista de la Asociación Dental Mexicana*. 2021;78(2):84–9.
23. Kim D, Park SH. Effects of age, sex, and blood pressure on the blood flow velocity in dental pulp measured by Doppler ultrasound technique. *Microcirculation*. 2016;23(7).
24. Jain N, Gupta A, Meena N. An insight into neurophysiology of pulpal pain: Facts and hypotheses. Vol. 26, *Korean Journal of Pain*. 2013. p. 347–55.
25. Abd-Elmeguid A, Yu DC. Auteur-ressource Dental Pulp Neurophysiology: Part 1. Clinical and Diagnostic Implications [Internet]. Vol. 75. 2009. Available from: www.cda-adc.ca/jadc
26. Abd-Elmeguid A, Yu DC. Dental Pulp Neurophysiology: Part 2. Current Diagnostic Tests to Assess Pulp Vitality [Internet]. Vol. 75. 2009. Available from: www.cda-adc.ca/jadc
27. Allison JR, Stone SJ, Pigg M. The painful tooth: mechanisms, presentation and differential diagnosis of odontogenic pain. Vol. 13, *Oral Surgery*. 2020.
28. Heyeraas KJ, Kvinnsland I. Tissue pressure and blood flow in pulpal inflammation. Vol. 88 Suppl 1, *Proceedings of the Finnish Dental Society. Suomen Hammaslääkäriseuran toimituksia*. 1992.
29. Van Hassel HJ. Physiology of the human dental pulp. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*. 1971;32(1).

30. Haug S, Marthinussen M. Acute Dental Pain and Salivary Biomarkers for Stress and Inflammation in Patients with Pulpal or Periapical Inflammation. *J Oral Facial Pain Headache*. 2019;33(2).
31. Nakanishi T, Matsuo T, Ebisu S. Quantitative analysis of immunoglobulins and inflammatory factors in human pulpal blood from exposed pulps. *J Endod*. 1995;21(3).
32. Abd-Elmeguid A, Abdeldayem M, Kline LW, Moqbel R, Vliagoftis H, Yu DC. Osteocalcin expression in pulp inflammation. *J Endod*. 2013;39(7).
33. G. Akbal Dincer, A. Erdemir, U. Kisa. Comparison of NKA, SP, IL-8, MMP-8 Changes in Pulp tissue and GCF Samples of Healthy and Acute Irreversible Pulpitis Teeth. *J Endod*. 2020;
34. Kritikou K, Greabu M, Imre M, Miricescu D, Totan AR, Burcea M, et al. ILs and MMPs levels in inflamed human dental pulp: A systematic review. Vol. 26, *Molecules*. 2021.
35. Maher IE, Griffith JE, Lau Q, Reeves T, Higgins DP. Expression profiles of the immune genes CD4, CD8 β IFN γ , IL-4, IL-6 and IL-10 in mitogen-stimulated koala lymphocytes (*Phascolarctos cinereus*) by qRT-PCR. *PeerJ*. 2014;2014(1).
36. De Alba Aguayo DR, Rueda A. Problema bioquímico: Determinación del ciclo umbral y la eficiencia para la PCR cuantitativa en tiempo real. *REB Revista de educación bioquímica*. 2013;32(1).
37. Tamay de Dios L, Ibarra C, Velasquillo C. Fundamentos de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) y de la PCR en tiempo real. *Enferm Infecc Microbiol Clin*. 2013;2(5).
38. Shahi S, Zununi Vahed S, Fathi N, Sharifi S. Polymerase chain reaction (PCR)-based methods: Promising molecular tools in dentistry. Vol. 117, *International Journal of Biological Macromolecules*. 2018.
39. Siqueira JF, Rôças IN. PCR methodology as a valuable tool for identification of endodontic pathogens. *J Dent*. 2003;31(5).
40. Fisher Scientific T. Human IL-8 Immunoassay Kit (Pub.No. MAN0017138 F.0) [Internet]. Available from: www.thermofisher.com/us/en/home/global/
41. Noblett WC, Wilcox LR, Scamman F, Johnson WT, Diaz-Arnold A. Detection of Pulpal Circulation In Vitro by Pulse Oximetry. Vol. 22. 1996.
42. Kahan RS. Evaluation of a Pulse Oximeter and Customized Probe for Pulp Vitality Testing. Vol. 22. 1996.
43. Khademi AA, Shahtouri MM, Attar BM, Rikhtegaran N. Pulp Vitality of Maxillary Canines After Alveolar Cleft Bone Grafting: Pulse Oximetry Versus Electric Pulp Test Versus Cold Test. *Journal of Craniofacial Surgery*. 2021 May 1;32(3):E314–7.

44. Sharma DS, Mishra S, Banda NR, Vaswani S. In vivo evaluation of customized pulse oximeter and sensitivity pulp tests for assessment of pulp vitality. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry*. 2019;43(1):11–5.
45. Setzer FC, Kataoka SHH, Natrielli F, Gondim-Junior E, Caldeira CL. Clinical diagnosis of pulp inflammation based on pulp oxygenation rates measured by pulse oximetry. *J Endod*. 2012 Jul;38(7):880–3.
46. Balevi B. Cold pulp testing is the simplest and most accurate of all dental pulp sensibility tests. Vol. 20, *Evidence-Based Dentistry*. 2019.
47. Hernández CE, Carpio N. Introducción a los tipos de muestreo. *ALERTA Revista Científica del Instituto Nacional de Salud*. 2019;2(1).
48. Laboratorio de Genómica Viral y Humana Facultad de Medicina UASLP. Standard Operating Procedures (SOPs) Preparación de Phosphate Buffered Saline (PBS) [Internet]. 2008. Available from: <http://www.thelabrat.com/protocols/3.shtml>
49. Guha P, Das A, Dutta S, Chaudhuri TK. A rapid and efficient DNA extraction protocol from fresh and frozen human blood samples. *J Clin Lab Anal*. 2018;32(1).
50. Tejasvi MLA, CK AA, Reddy ER, Kulkarni P, Bhayya H, Kugaji MS. Individuals Age Determination from Human Dental Pulp Through DNA Analysis by PCR. *Glob Med Genet*. 2021;08(02).
51. Moradi MT, Yari K, Khodarahmi R. A novel, efficient, fast and inexpensive DNA extraction protocol from whole blood applicable for studying drug-DNA interaction. *Journal of Reports in Pharmaceutical Sciences*. 2014;3(1).
52. Ghaheri M, Kahrizi D, Yari K, Babaie A, Suthar RS, Kazemi E. A comparative evaluation of four DNA extraction protocols from whole blood sample. *Cell Mol Biol*. 2016;62(3).
53. Steffel CL. Clinical diagnosis in endodontics. *J Indiana Dent Assoc*. 1986 Jan;65(1):22–4.
54. Severinghaus JW. Takuo aoyagi: Discovery of pulse oximetry. *Anesth Analg*. 2007;105(SUPPL. 6):S1.
55. Schmitt JM. Optical Determination of Dental Pulp Vitality. Vol. 38, *IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING*. 1991.
56. Schnettler JM, Wallace JA. Pulse Oximetry as a Diagnostic Tool of Pulpal Vitality. Vol. 17. 1991.
57. Calil E, Caldeira CL, Gavini G, Lemos EM. Determination of pulp vitality in vivo with pulse oximetry. *Int Endod J*. 2008 Sep;41(9):741–6.
58. Caldeira CL, Barletta FB, Ilha MC, Abrão CV, Gavini G. Pulse oximetry: a useful test for evaluating pulp vitality in traumatized teeth. *Dental Traumatology*. 2016 Oct 1;32(5):385–9.

59. Dentistry C, Krishna G V, Gupta T, student P. Assessment of the efficacy of an indigenously developed pulse oximeter dental sensor holder for pulp vitality testing. *Ind J Dent Res* [Internet]. 2006;17(3):111–3. Available from: <http://journals.lww.com/ijdr>
60. Jafarzadeh H, Rosenberg PA. Pulse Oximetry: Review of a Potential Aid in Endodontic Diagnosis. Vol. 35, *Journal of Endodontics*. 2009. p. 329–33.
61. Goho C. Pulse oximetry evaluation of vitality in primary and immature permanent teeth. *PediatricDentistry*. 1999;21(2):125–7.
62. Grabliauskienė Ž, Zamaliauskienė R, Lodienė G. Pulp vitality testing with a developed universal pulse oximeter probe holder. *Medicina (Lithuania)*. 2021 Jan 1;57(2):1–8.
63. Gopikrishna V, Tinagupta K, Kandaswamy D. Comparison of Electrical, Thermal, and Pulse Oximetry Methods for Assessing Pulp Vitality in Recently Traumatized Teeth. *J Endod*. 2007 May;33(5):531–5.
64. Karayilmaz H, Kirzioğlu Z. Comparison of the reliability of laser Doppler flowmetry, pulse oximetry and electric pulp tester in assessing the pulp vitality of human teeth. *J Oral Rehabil*. 2011 May;38(5):340–7.
65. Dastmalchi N, Jafarzadeh H, Moradi S. Comparison of the efficacy of a custom-made pulse oximeter probe with digital electric pulp tester, cold spray, and rubber cup for assessing pulp vitality. *J Endod*. 2012 Sep;38(9):1182–6.
66. Alghaithy RA, Qualtrough AJE. Pulp sensibility and vitality tests for diagnosing pulpal health in permanent teeth: a critical review. Vol. 50, *International Endodontic Journal*. 2017.
67. Brignardello-Petersen R. Laser Doppler flowmetry and pulse oximetry seem to have high accuracy in detecting vital and nonvital teeth and perform better than cold, heat, and electric pulp testing. Vol. 149, *Journal of the American Dental Association*. 2018.
68. Neves Henriques DH, Hecke Alves AM, Kuntze MM, Roberti Garcia L da F, Antunes Bortoluzzi E, Silveira Teixeira C da. Effect of dental tissue thickness on the measurement of oxygen saturation by two different pulse oximeters. *Braz Dent J*. 2022;33(5):26–34.
69. Silva JA, de Alencar AHG, Sestari LE, Barbosa HA, de Siqueira PC, Decurcio DA, et al. Interference of coronal enamel and dentin thickness and ambient light on pulse oximetry interpretation. *Braz Oral Res*. 2020;34.
70. Fried D, Glena RE, Featherstone JDB, Seka W. Nature of light scattering in dental enamel and dentin at visible and near-infrared wavelengths. *Appl Opt*. 1995;34(7):1278–85.

71. Bargrizan M, Ashari MA, Ahmadi M, Ramezani J. The use of pulse oximetry in evaluation of pulp vitality in immature permanent teeth. *Dental Traumatology*. 2016 Feb 1;32(1):43–7.
72. Çağırır Dindaroğlu F, Özay Güngör N. Comparison of the vitality test with sensitivity tests in mature and immature teeth: clinical trial. *BMC Oral Health*. 2024 Dec 1;24(1).
73. Stella JPF, Barletta FB, Giovanella LB, Grazziotin-Soares R, Tovo MF, Felipe WT, et al. Oxygen Saturation in Dental Pulp of Permanent Teeth: Difference between Children/Adolescents and Adults. *J Endod*. 2015 Sep 1;41(9):1445–9.
74. Estrela C, Serpa GC, Alencar AHG, Bruno KF, Barletta FB, Felipe WT, et al. Oxygen saturation in the dental pulp of maxillary premolars in different age groups - Part 1. *Braz Dent J*. 2017 Sep 1;28(5):573–7.
75. Kanumuru KR, Solomon N, Ramkumar H, Paulindraraj S, Jayakaran TG, Dakshinamoorthy S. Assessment of Pulpal Oxygen Saturation in Caries-free and Carious Maxillary Primary Central Incisors Using a Customized Dental Pulse Oximeter. *Int J Clin Pediatr Dent*. 2023 Jul 1;16(4):560–4.
76. Kosturkov D, Uzunov T, Grozdanova R, Ivancheva V. EVALUATION OF CONDITION OF THE PULP BY PULSE OXIMETRY. *Journal of IMAB - Annual Proceeding (Scientific Papers)*. 2015 Dec 21;21(4):1003–7.
77. Anusha B, Madhusudhana K, Chinni SK, Paramesh Y. Assessment of pulp oxygen saturation levels by pulse oximetry for pulpal diseases -a diagnostic study. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*. 2017 Sep 1;11(9):ZC36–9.
78. Sharma DS, Mishra S, Banda NR, Vaswani S. In vivo evaluation of customized pulse oximeter and sensitivity pulp tests for assessment of pulp vitality. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry*. 2019;43(1):11–5.
79. Saikiran K, Gurunathan D, Elicherla S, Mallineni S, Nuvvula S. Pulp oxygen saturation measurement as a diagnostic tool for assessing pulp status in primary teeth: A systematic review and meta-analysis. Vol. 40, *Journal of Indian Society of Pedodontics and Preventive Dentistry*. Wolters Kluwer Medknow Publications; 2022. p. 349–55.
80. Lambert P, Miguens SAQ, Solda C, Sganzerla JT, Reichert LA, Estrela C, et al. Reference values for pulp oxygen saturation as a diagnostic tool in endodontics: a systematic review and meta-analysis. *Restor Dent Endod*. 2020;45(4).
81. Almudever-Garcia A, Forner L, Sanz JL, Llena C, Rodríguez-Lozano FJ, Guerrero-Gironés J, et al. Pulse oximetry as a diagnostic tool to determine pulp vitality: A systematic review. Vol. 11, *Applied Sciences (Switzerland)*. MDPI AG; 2021.

82. Hartmann Kasper R, Coelho R, Augusto S, Miguens-Jr Q, Grazziotin-Soares R, Branco Barletta F. Pulse oximetry as a dental pulp test: A scoping review to identify barriers hindering the use of oximeters in clinical practice. *Saudi Dent J* [Internet]. 2024;36:262–9. Available from: <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/3GQCE>
83. Mishra S, Sharma DS, Bhusari C. Assessing inflammatory status of pulp in irreversible pulpitis cases with pulse oximeter and dental hemogram. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry*. 2019;43(5):314–9.
84. Heyeraas KJ, Kim S, Raab W, Byers MR, Liu M. Effect of Electrical Tooth Stimulation on Blood Flow, Interstitial Fluid Pressure and Substance P and CGRP-Immunoreactive Nerve Fibers in the Low Compliant Cat Dental Pulp. *Microvasc Res*. 1994;47:329–43.
85. Berggreen E, Wiig H, Virtej A. Fluid transport from the dental pulp revisited. *Eur J Oral Sci*. 2020 Oct 1;128(5):365–8.
86. Berggreen E, Bletsa A, Heyeraas KJ. Circulation in normal and inflamed dental pulp. *Endod Topics*. 2010;17:2–11.
87. Iluscl HJV. Physiology of the human dental pulp. *Oral Surg*. 1971;32(1):126–34.
88. Baura GD. *Medical Device Technologies: A Systems Based Overview Using Engineering Standards*. Academic Press, an imprint of Elsevier; 2021.

18 Anexos

A) *Carta de Consentimiento Informado*

CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ
FACULTAD DE ESTOMATOLOGÍA

Con fundamento en el reglamento de la Ley General de Salud en materia de Investigación para la salud, título segundo. Capítulo I. De los aspectos Éticos de la Investigación en Seres Humanos. Artículo 17, fracción II. Artículo 20 y 22. Título Quinto, Capítulo único. Investigación para la salud. Artículo 100, fracción IV, Artículo 102 y 103. NOM 012- SSA3-2012. Que establece los criterios para la ejecución de proyectos de investigación para la salud en seres humanos en su numeral 10.6, 10.7 y 10.8. NOM 004- SSA3-2012 del expediente clínico en su numeral 4.2.

CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

SAN LUIS POTOSÍ, S.L.P. A ____ DE _____ DEL 2024.

Por medio de la presente, yo _____ y/o como representante legal de _____ acepto libre y voluntariamente participar en el proyecto de investigación que se realiza en el Posgrado de la maestría de endodoncia de la Facultad de Estomatología de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí titulado: "Evaluación de la eficacia en el diagnóstico pulpar de un dispositivo de oxímetro de pulso". El objetivo principal de esta investigación es adaptar y evaluar un oxímetro de pulso para el diagnóstico pulpar.

Declaro que se me ha informado en forma verbal y sin presión alguna, de manera amable, sencilla, clara y completa sobre los posibles inconvenientes y beneficios derivados de mi participación en este proyecto, el cual consiste en:

- 1.- La toma de sangre de cámara pulpar por medio de un acceso endodóntico.
- 2.- Extracción de premolares sanos indicados para extracción por motivos ortodónticos sin costo y con sus respectivos riesgos en caso de aplicar.

Se que la participación de este estudio no representará un riesgo y conservo el derecho de retirarme del Estudio en el momento que considere conveniente, sin que ello afecte la atención que reciba.

Se me ha dado toda la seguridad de que no me identificaré en las publicaciones que deriven del estudio y que los datos relacionados con mi privacidad serán manejados en forma CONFIDENCIAL. Tengo el conocimiento que la información y los datos recopilados serán utilizados con fines científicos y se respetará la identidad de los pacientes.

Por lo anterior firmo al margen y alcance para constancia y efectos que haya a lugar.

Nombre y firma de participante en el estudio: _____

Teléfono: _____

Nombre y firma de Testigo 1: _____

Teléfono: _____

Nombre y firma de testigo 2 : _____

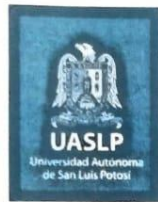
Teléfono: _____

C. D. Carrera Vargas Jesús Andrés

Facultad de Estomatología, UASLP

Evaluación de la eficacia en el diagnóstico pulpar de un dispositivo de oxímetro de pulso

B) Aprobado por comité de ética en investigación



San Luis Potosí, S.L.P. 7 DE SEPTIEMBRE DE 2023

M.E. Jesús Andrés Carrera Vargas
Maestría en Endodoncia
Facultad de Estomatología, UASLP
P R E S E N T E

Por este conducto me dirijo a Usted en referencia a su trabajo de investigación titulado *"Evaluación de la eficacia en el diagnóstico pulpar de un dispositivo de oxímetro de pulso"* Asignado con la clave: **CEI-FE-063-023**.

Dicho trabajo fue evaluado en los **aspectos del marco ético-legal y bioseguridad** por los miembros del H. Comité de Ética en Investigación: M. en C. Ana María Guadalupe González Amaro, Dra. Yolanda Hernández Molinar, Dra. Norma Verónica Zavala Alonso, Dra. Claudia Edith Dávila Pérez, Dra. Rita Elizabeth Martínez Martínez, Dr. José Arturo Garrocho Rangel, M en C. Alan Martínez Zumarán y CMF Víctor Mario Fierro Serna. De dicha evaluación y de forma colegiada, el Comité ha dictaminado que su protocolo de investigación ha sido **APROBADO POR UNANIMIDAD** pudiendo llevarlo a cabo en los tiempos que Usted ha considerado necesarios para su ejecución.

El Comité de Ética en Investigación de la Facultad de Estomatología se rige con la clave **CONBIOÉTICA-24-CEI-001-20190213** de acuerdo con las directrices nacionales para la integración y funcionamiento de los Comités de Ética e Investigación emitidas por la Comisión Nacional de Bioética (CONBIOÉTICA).

Le solicitamos nos haga llegar los informes correspondientes del **AVANCE** de su proyecto de investigación, así como un **INFORME FINAL** para nuestro archivo, recordándole además que este proyecto podrá ser monitoreado en cualquier momento por este Comité.

ATENTAMENTE


DRA. RITA ELIZABETH MARTÍNEZ MARTÍNEZ
PRESIDENTE DEL H. COMITÉ DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE ESTOMATOLOGÍA, UASLP

www.uaslp.mx

Av. Dr. Manuel Nava 2
Zona Universitaria • L.P. 78290
San Luis Potosí, S.L.P., México
tel. +52 (444) 826 2 800
ext. 5116 a 5120
(444) 813 9743, 834 2522, 23 y 25
www.estomatologia.uaslp.mx
estomatologia@uaslp