



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**
**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES,
UNIDAD LEÓN**
**PROGRAMA DE ESPECIALIZACIONES EN
ODONTOLOGÍA**

**COMPARACIÓN DE LA PÉRDIDA DE FUERZA ENTRE
CADENAS ELÁSTICAS CONTINUAS TRANSPARENTES,
GRISES Y ROJAS**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
ESPECIALISTA
EN:
ORTODONCIA

PRESENTA:
CESAR SINUHÉ MENDIVIL RANGEL

DIRECTOR DE TESIS:
RENÉ GARCÍA CONTRERAS

TUTOR DE TESIS:
JOSÉ MARTÍNEZ ZEPEDA

LEÓN GUANAJUATO MÉXICO (ENES LEÓN), 2024



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ÍNDICE

RESUMEN	3
ABSTRACT	5
1.- ANTECEDENTES	6
1.1.- Estructura molecular de los elásticos en cadena	6
1.2.- Los pigmentos en los elásticos en cadena	6
1.3.- Factores que intervienen en el decremento de la fuerza de los elásticos en cadena	7
1.3.1.- <i>Método de fabricación</i>	7
1.3.2.- <i>Humedad y temperatura</i>	7
1.3.3.- <i>El tiempo y la distancia</i>	7
1.4 Microscopía Electrónica de Barrido	8
1.5 F.T.I.R.	8
2.- JUSTIFICACIÓN	9
3.- HIPÓTESIS DE TRABAJO	10
4.- OBJETIVOS	10
4.1.- Objetivo general	10
4.2.- Objetivos específicos	10
5.- METODOLOGÍA	10
5.1.- Diseño de Investigación	10
5.2.- Tamaño de muestra y grupos de estudio	11
5.2.1.- Cálculo del tamaño de la muestra	11
5.2.2.- Tamaño de la muestra	11
5.4.- Análisis Estadístico	13
5.4.1.- Operacionalización de variables	14
6.- RESULTADOS	15
6.1.- Pruebas de tensión	15
6.2.- Microscopía electrónica de barrido	16
6.3.- F.T.I.R. (Espectroscopía Infrarroja)	18
7.- DISCUSIÓN	21
8.- CONCLUSIONES	24
9.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25
10.- ANEXO	28

RESUMEN

Los elásticos en cadena son un sistema multifuncional utilizado con mayor frecuencia en la ortodoncia, debido a su simplicidad y bajo costo. Son poliuretanos compuestos de polímeros de bajo peso estructurados de una forma compleja.

Se han realizado múltiples estudios para comparar tanto la magnitud de fuerza como la degradación de esta a través de los años, algunos autores sugieren que la adición de pigmentos puede alterar la configuración molecular causando una interferencia estérica lo cual trae como resultado una mayor pérdida de fuerza. Otros factores que pudieran intervenir en la degradación de la fuerza de estos elásticos son: el método por el cual están fabricados; la humedad y la temperatura a la que se someten durante su uso en boca; el periodo de tiempo y la distancia a la que permanecen activos durante un tratamiento. El conocer la composición de este material hasta un nivel molecular nos permite comprender su comportamiento, técnicas como la Microscopía Electrónica de Barrido y la Espectroscopía de Infrarrojos son herramientas útiles para lograr este objetivo.

Mediante pruebas de tensión realizadas a través de una máquina de ensayos universal se observa que los elásticos en cadena transparentes se comportan de una forma más estable en comparación con cadenas rojas y grises. Mediante imágenes tomadas con un microscopio electrónico se observa una menor degradación de la superficie de cadenas rojas comparándolas con las grises y las transparentes. La mayor degradación tomando en cuenta el espectro infrarrojo mediante F.T.I.R. fue por parte de las cadenas transparentes, lo cual nos establece que en estas existe una mayor pérdida de la flexibilidad.

La pérdida de fuerza en este material es de origen multifactorial, no podemos atribuir a un solo elemento como el material con el cual son pigmentadas el que su fuerza de degrade o no, sino a un grupo de elementos como la técnica con la cual fueron fabricadas; el pH oral; la saliva e incluso la dieta del paciente, que combinados producirán este efecto en los elásticos, es

importante conocer hasta un nivel molecular la composición de los materiales utilizados en la odontología con la finalidad de hacer su uso de la mejor manera posible.

ABSTRACT

Chain elastics are the most used multifunctional system in orthodontics, due to their simplicity and low cost. They are polyurethanes composed of low-weight polymers structured in a complex way.

Multiple studies have been conducted to compare both the magnitude of force and its degradation over the years, some authors suggest that the addition of pigments can alter the molecular configuration causing steric interference which results in a greater loss of force. Other factors that could intervene in the degradation of the outside of these elastics are the method by which they are manufactured; the humidity and temperature to which they are subjected during use in the mouth; the period and the distance at which they remain active during a treatment. Knowing the composition of this material down to a molecular level allows us to understand its behavior; techniques such as Scanning Electron Microscopy and Infrared Spectroscopy are useful tools to achieve this goal.

Through tension tests conducted through a universal testing machine, it is observed that transparent chain elastics behave in a more stable way compared to red and gray chains. When observing images taken with an electron microscope, we noticed less degradation of the surface of red chains compared to gray and transparent ones. The greatest degradation considering the infrared spectrum using F.T.I.R. It was on the part of the transparent chains, which establishes that there is a greater loss of flexibility in this group.

The loss of strength in this material is of multifactorial origin, we cannot attribute to a single element such as the material with which they are pigmented that their strength degrades or not, but to a group of elements such as the technique with which they were manufactured; oral pH; saliva and even the patient's diet, which combined will produce this effect on the elastics, it is important to know down to a molecular level the composition of the materials used in dentistry in order to use them in the best possible way.

1.-ANTECEDENTES

Los elásticos en cadena son un sistema multifuncional utilizado con mayor frecuencia en la ortodoncia, debido a su simplicidad y bajo costo [1]. Además de ser cómodos tanto para el paciente como para el clínico, no son adecuados para la proliferación de microorganismos y están disponibles en múltiples colores, para mayor aceptación por parte de los pacientes [2].

1.1.- Estructura molecular de los elásticos en cadena

Los elásticos en cadena son poliuretanos, compuestos de polímeros de bajo peso molecular estructurados de una forma compleja; se tratan de múltiples cadenas largas de carbono entrelazadas ligeramente a manera de espiral, con una atracción muy débil que consta de enlaces primarios y secundarios, dicha configuración les brinda elasticidad. Al extenderse las cadenas los enlaces principales se despliegan de forma lineal y ordenada a expensas de los enlaces secundarios. Los enlaces primarios se mantienen unidos dependiendo de la fuerza aplicada, si esta supera su límite elástico dichos enlaces primarios se romperán y habrá una deformación en la cadena [3].

1.2.- Los pigmentos en los elásticos en cadena

Se han realizado múltiples estudios para comparar tanto la magnitud de fuerza como la degradación de esta a través de los años [3]. Williams y Von Fraunhofer observaron que las propiedades con respecto a la magnitud de la fuerza en cadenas pigmentadas se veían significativamente afectadas por los materiales utilizados para pigmentarlas [4]. Algunos autores sugieren que la adición de pigmentos puede alterar la configuración molecular causando una interferencia estérica lo cual trae como resultado una mayor pérdida de fuerza [3].

1.3.- Factores que intervienen en el decremento de la fuerza de los elásticos en cadena

1.3.1.- Método de fabricación

El método de fabricación de las cadenas elásticas puede influenciar las propiedades mecánicas del material [3]. Existen dos tipos de manufactura, por corte de precisión o troquelado y por inyección de molde [5]. Las cadenas fabricadas mediante troquelado mantienen mayores niveles de fuerza remanente en comparación con las fabricadas mediante inyección de molde [6].

1.3.2.- Humedad y temperatura

La humedad y la temperatura juegan un papel importante en el rango de pérdida de fuerza de los elásticos en cadena. El componente húmedo lo aporta la saliva esta contiene agentes plastificantes como el agua, fluidos orales y agentes endurecedores (minerales) [7].

La temperatura por lo común no interviene en el comportamiento de este material debido a que el promedio en el medio oral es compatible para que las cadenas cumplan con su objetivo.

Sin embargo, es importante entender el comportamiento de este polímero, a temperaturas bajas los elásticos tienen un mayor riesgo de deformarse ya que se comportan como un cuerpo rígido, a temperaturas altas el riesgo es menor y se permite un mayor deslizamiento de la cadena, el material se vuelve más compatible [7].

1.3.3.- El tiempo y la distancia

El periodo de tiempo y la distancia a la cual estén activas las cadenas influye en el decremento de la fuerza [3]. La deformación elástica de las cadenas es un proceso reversible que ocurre cuando se aplica una carga que únicamente provoca que las moléculas del polímero individuales se desenrollen, se estiren y se extiendan. Pero cuando esta fuerza se mantiene, se produce un deslizamiento de la cadena del polímero que reduce irreversiblemente la fuerza ejercida en los dientes, causando una deformación plástica [8, 9].

1.4 Microscopía Electrónica de Barrido

Esta técnica es un tipo de microscopía electrónica que sustituye el haz de luz por un haz de electrones, este es disparado desde un generador y es redirigido mediante lentes condensadores hacia una superficie de la muestra que se va a estudiar (Ilustración 1) [10].

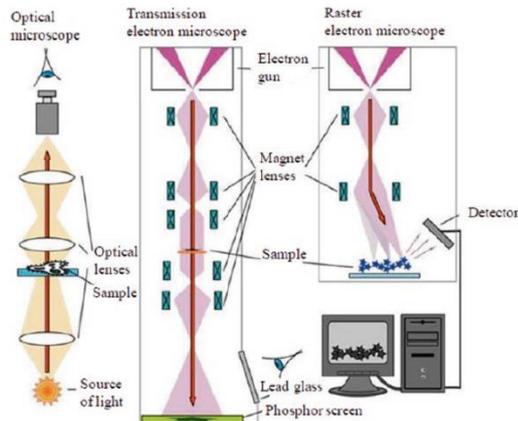


Ilustración 1. Comparación esquemática de los microscopios: Microscopio óptico a la izquierda, Microscopio Electrónico de barrido a la derecha.

La Microscopía Electrónica de Barrido es utilizada para observar la superficie de una muestra. El rayo de electrones se dispersa sobre los átomos de la superficie de la muestra, generando electrones y ondas electromagnéticas. La superficie de la muestra es escaneada con un rayo de electrones enfocado en una pequeña zona, y las señales son detectadas desde cada punto del resto de la superficie las cuales son interpretadas y agrupadas por un detector. De esta manera una se obtiene una imagen relativamente grande y tridimensional de la superficie analizada con tipos de información química y física [10].

1.5 F.T.I.R.

La Espectroscopía de Infrarrojos por Transformada de Fourier, por sus siglas en Ingles FTIR, es una herramienta potente que monitorea los niveles de energía en ondas de vibración regional de distintas moléculas. Los cambios en las propiedades químicas de algún material usualmente son detectados mediante FTIR ya que esta técnica es muy sensible y no destructiva [11].

La espectroscopía infrarroja (IR) fue la primera técnica de espectroscopía estructural utilizada y se trata de un método analítico utilizado para caracterizar las estructuras de unión entre los átomos, basándose en la interacción de la radiación IR con la materia, midiendo las frecuencias de radiación que las sustancias pueden absorber y que llevan a estas a producir vibraciones en las moléculas de las cuales están compuestas. La espectroscopía IR provee una técnica rápida de identificación y caracterización de estructuras químicas para obtener información desde materiales biológicos hasta materiales sintéticos; de materiales líquidos hasta gases simples [10].

La espectrometría FTIR combina el interferómetro con un principio matemático denominado transformada de Fourier con la finalidad de transformar el interferograma a un espectro y este pueda ser computarizado para su análisis estadístico. El espectro FTIR es una representación gráfica de la transmitancia en porcentaje (T%) o absorción, en unidades (A) contra la frecuencia IR en longitud de onda (cm^{-1}) [12].

2.- JUSTIFICACIÓN

Los elásticos en cadena fueron introducidos a la ortodoncia en los años sesenta, y hoy son utilizados en la mayoría de los consultorios. Son económicos, de fácil uso, relativamente higiénicos y requieren un poco o nada de cooperación del paciente. Sin embargo, las cadenas elásticas nos están exentas de desventajas. Cuando se exponen a un medio oral absorben agua y saliva y sufren una ruptura de sus cadenas internas que las llevan a una deformación permanente [13].

La pérdida de fuerza en las cadenas elásticas hace que al ortodoncista le sea difícil determinar la fuerza real que se está transmitiendo a la dentición [3]. Se pierde de un 50 a un 75 % de la fuerza en los elásticos después de las primeras 24 h de uso [13].

Inicialmente sólo se fabricaban elásticos en cadena transparentes [3]. Recientemente la mayoría de los fabricantes han optado por añadir pigmentos a sus cadenas elásticas con la finalidad de lograr mayor aceptación en los pacientes. La forma en la que llevan a cabo el proceso de pigmentación no está disponible ya que la información de la composición de las cadenas es propiedad del propietario [3].

Existen múltiples estudios que analizan el decremento de la fuerza en este material; en la actualidad son pocos los análisis que se han hecho para estudiar los efectos de los pigmentos en los elásticos en cadena.

3.- HIPÓTESIS DE TRABAJO

Existe diferencia en la pérdida de fuerza entre cadenas elásticas continuas transparentes grises y rojas después de 24 h y 28 días.

4.- OBJETIVOS

4.1.- Objetivo general

Comparar la pérdida de fuerza entre cadenas elásticas continuas transparentes, grises y rojas.

4.2.- Objetivos específicos

Identificar las fuerzas remanentes en cadenas elásticas continuas transparentes, grises y rojas posterior a las 24 h y 28 días.

Comparar las fuerzas remanentes entre cadenas elásticas continuas transparentes, grises y rojas en posterior a las 24 h y 28 días.

5.- METODOLOGÍA

5.1.- Diseño de Investigación

Estudio experimental puro.

5.2.- Tamaño de muestra y grupos de estudio

5.2.1.- Cálculo del tamaño de la muestra

Se realizó mediante el software público GRANMO para cálculo de tamaños muestrales, tomando en cuenta variaciones y desviaciones estándar de varios artículos [14-18].

5.2.2.- Tamaño de la muestra

Se requirieron 270 unidades totales para la realización de este experimento, 90 muestras pertenecientes al grupo de ligas transparentes, 90 muestras pertenecientes al grupo de ligas grises y 90 muestras pertenecientes al grupo de ligas rojas, en la Figura 1 se esquematiza como se distribuyeron dichas muestras (Figura 1).

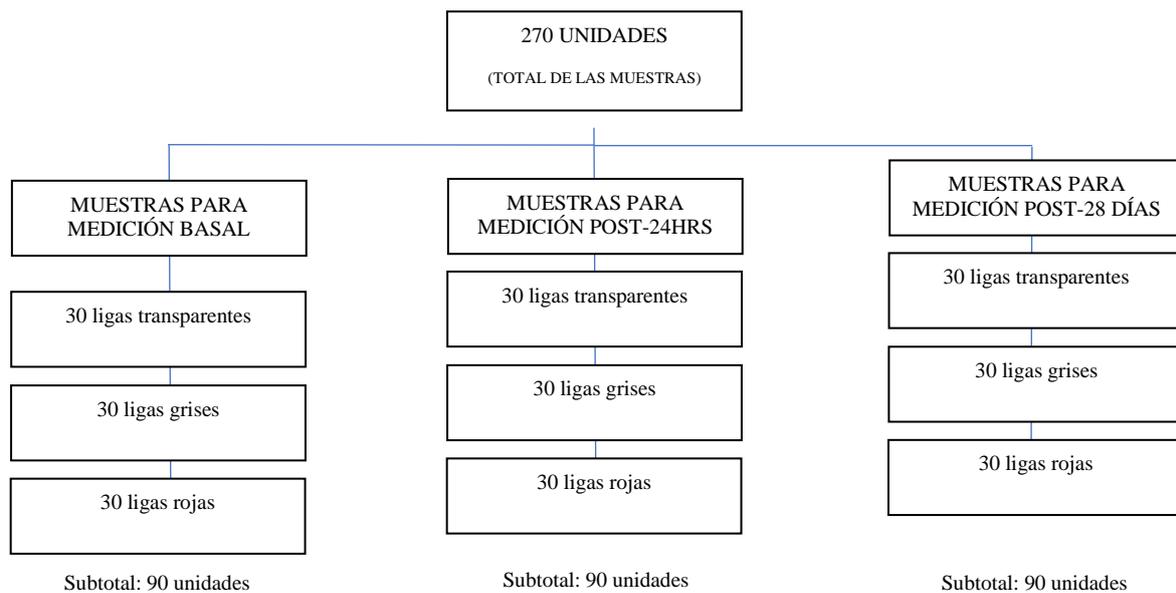


Figura 1.

5.3.- Materiales y procedimientos

Se utilizaron cadenas plásticas cerradas grises, transparentes y rojas de la marca American Orthodontics, Wisconsin EUA.

Se cortaron las cadenas con pinzas de corte medio (Falcon Orthoclever TM Orthotechnology, West Columbia, Carolina del Sur, EUA) y se obtuvieron unidades de 5 eslabones cada una.

Las unidades se sometieron a tensión a una distancia de 12 mm entre los tres eslabones centrales en grapas realizadas con alambre de acero inoxidable de calibre 0.045” con ayuda de una pinza de Mathieu (Mathieu Invecta TM Ortotechnology, West Columbia, Carolina del Sur, EUA) [19].

Las unidades fueron sumergidas en saliva artificial (Prodentmex Viarden, Mission, Texas, EUA) y se mantuvieron en un agitador térmico (Vortemp 1550 Labnet TM) a 180 RPM, 37°C durante 24 h y 28 días respectivamente.

Las unidades fueron retiradas de las grapas metálicas transcurrido el tiempo respectivo para cada grupo. Se sometieron a tensión en la máquina de ensayos universal a una distancia de 18 mm. Se registró la fuerza media en Newtons con el indicador de torque digital MECMESIN A.F.T.I. ® Slinfold, West Sussex, Reino Unido.

El grupo control para la medición basal no fue sometido a tensión en las grapas metálicas, ni a sumersión en saliva artificial, estas muestras pasaron directamente a la máquina de ensayos universal directamente del empaque y se sometieron a la prueba de tensión de 18 mm.

Microscopía Electrónica de Barrido

Se tomaron tres muestras directas del empaque (una gris, una roja y una transparente) y se sometieron a análisis de Microscopía Electrónica de Barrido (SE Hitachi S5500, Tokyo, Japón) y se obtuvieron imágenes a distancia de x50 μm , x500 μm , 1.0k μm , y 2.5k μm . Así mismo se

seleccionaron al azar tres muestras que estuvieron sometidas bajo tensión y sumergidas en saliva artificial bajo agitación térmica (una gris, una roja y una transparente) para observarlas mediante microscopio electrónico y obtener imágenes a distancia de $x50 \mu\text{m}$, $x500 \mu\text{m}$, $1.0\text{k} \mu\text{m}$, y $2.5\text{k} \mu\text{m}$.

F.T.I.R.

Se tomaron tres muestras directas del empaque (una gris, una roja y una transparente) y se sometieron a análisis de Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier, de igual manera se seleccionaron al azar tres muestras que estuvieron sometidas bajo tensión y sumergidas en saliva artificial bajo agitación térmica (una gris, una roja y una transparente) para someterlas al mismo estudio de espectroscopía, todas las muestras se midieron por duplicado en modo reflexión, en un área del orden de micras en el equipo FTIR, PerkinElmer, McPherson (St. Markham, ON, Canadá). Una vez obtenidos los espectros, fueron graficados mediante el Software OriginPro versión 2023 (Massachusetts EUA) para Windows.

5.4.-Análisis Estadístico

Se determinó el promedio y desviación estándar, se realizó análisis de normalidad de Shapiro-Wilks y pruebas estadísticas de ANOVA Post hoc de Tukey con el paquete estadístico SPSS Versión 20 (Chicago, IL, EUA).

5.4.1.- Operacionalización de variables

Tabla 1: Operacionalización de variables

	Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Unidad de medida
Variables Independientes	Color	Sensación producida por los rayos luminosos que impresionan los órganos visuales y que depende de la longitud de onda	Pigmento utilizado en el diseño de elásticos empleados en ortodoncia	Rojo Gris Transparente
	Tiempo	Magnitud física que permite ordenar la secuencia de los sucesos, estableciendo un pasado, un presente y un futuro y cuya unidad en el sistema internacional es el segundo	Periodo durante el cual los elásticos estarán sometidos bajo tensión	Horas Días
Variable dependiente	Tensión	Estado del cuerpo sometido a la acción de fuerzas opuestas que lo atraen	Cantidad de Newtons generados cuando el elástico es estirado a una longitud de 18 mm mediante una máquina de ensayos universal	Newtons (N)

Tabla 1: Descripción y definición de las variables que se utilizaron para este estudio.

6.- RESULTADOS

6.1.- Pruebas de tensión

Los resultados de la medición basal demostraron que las cadenas grises tienen una mayor fuerza inicial en comparación con los otros dos grupos, no existe una diferencia significativa en el promedio de fuerza inicial entre cadenas transparentes y rojas (Tabla 2).

Los tres grupos tuvieron una pérdida de fuerza significativa posterior a 24 h, el menor porcentaje de fuerza perdida fue obtenido por el grupo de las cadenas transparentes, mientras que el mayor porcentaje por el grupo de las cadenas grises cabe mencionar que este grupo mantenía un rango mayor de fuerza en su medición basal (Tabla 2).

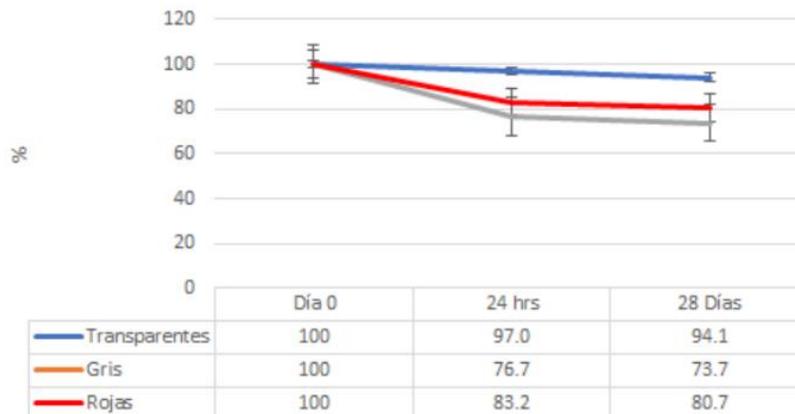
En los grupos de los 28 días se observó que las cadenas grises y rojas si mantenían una fuerza significativamente menor con respecto a los grupos de su mismo color de las 24 h. No había una diferencia estadísticamente significativa entre la fuerza remanente de las cadenas transparentes tras estar sometidas a tensión 24 h y posterior a 28 días (Gráfica 1).

Tabla 2: Pérdida de la fuerza de cadenas elásticas continuas.

	0 días	1 día	28 días
Representación de Promedio y DS.			
Transparentes	2.14 ±0.2	1.75 ±0.4 ⁺	1.71 ±0.4 ⁺⁺
Grises	2.47 ±0.3 ^{**}	1.85 ±0.4 ^{**+}	1.78 ±0.4 ^{**++}
Rojas	2.06 ±0.3	1.61 ±0.3 ⁺	1.56 ±0.4 ^{**++}
*P>0.05, **P<0.05 (Entre grupos)			
+P>0.05, ++P<0.05 (Intragrupos) ANOVA PostHoc de Tukey,			
n=30			

Tabla 2: Resultados de la prueba de tensión realizada en máquina de ensayos universal. Unidad de medida: Newtons (N).

Gráfica 1: Porcentaje de pérdida de fuerza



Gráfica 1: Porcentaje de pérdida de fuerza de las cadenas posterior a 24h y 28 días.

6.2.- Microscopía electrónica de barrido

Con la finalidad de observar cambios físicos en la superficie de las muestras analizadas, estas se sometieron a una microscopía electrónica de barrido, en las cuales se analizaron muestras de cadenas tomadas directamente del carrete, así como otras que estuvieron sometidas a tensión y sumergidas en saliva artificial posterior a 28 días. En los tres grupos control tanto de cadenas grises, transparentes y rojas no se observan irregularidades significativas, podemos observar una superficie lisa y sin presencia de porosidad o topografía irregular incluso a una distancia de $\times 2.5k \mu\text{m}$. (Imágenes 1, 3, y 5). En los grupos de muestras que fueron sometidas a tensión tanto de las cadenas grises y transparentes, si logramos observar un cambio de significancia en la superficie, donde se perciben una topografía irregular e incluso la presencia de partículas (Imágenes 2 y 6), sin embargo, la superficie del grupo de cadenas rojas se percibe una superficie lisa, incluso posterior a 28 días de tensión y sumersión en saliva artificial (Imagen 4).

Cadena gris tomada directamente del empaque:

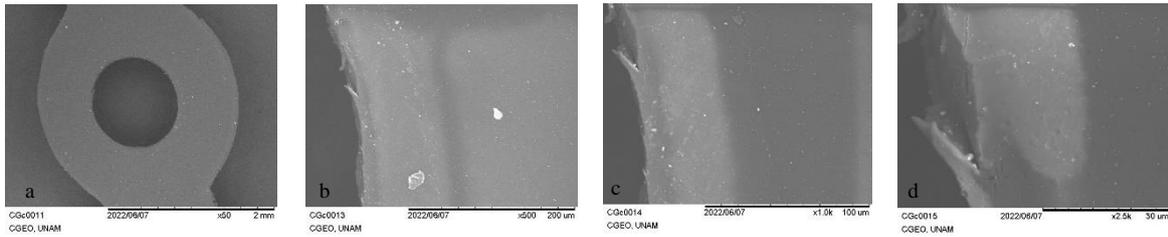


Imagen 1: Imágenes SEM. a: microfotografía obtenida a distancia de x50 μm ; b: microfotografía obtenida a distancia de x500 μm ; c: microfotografía obtenida a distancia de x1.0k μm ; d: microfotografía obtenida a distancia de x2.5k μm .

Cadena gris sometida a tensión durante 28 días:

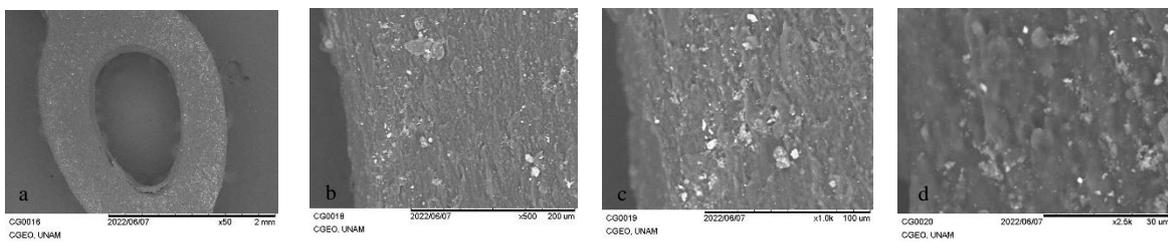


Imagen 2: Imágenes SEM. a: microfotografía obtenida a distancia de x50 μm ; b: microfotografía obtenida a distancia de x500 μm ; c: microfotografía obtenida a distancia de x1.0k μm ; d: microfotografía obtenida a distancia de x2.5k μm .

Cadena roja tomada directamente del empaque:

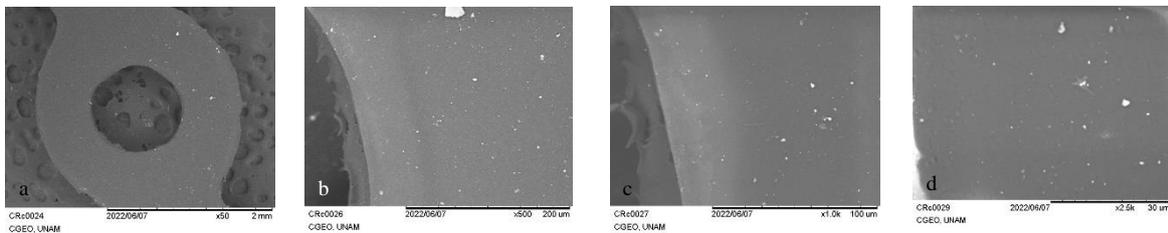


Imagen 3: Imágenes SEM. a: microfotografía obtenida a distancia de x50 μm ; b: microfotografía obtenida a distancia de x500 μm ; c: microfotografía obtenida a distancia de x1.0k μm ; d: microfotografía obtenida a distancia de x2.5k μm .

Cadena roja sometida a tensión durante 28 días:

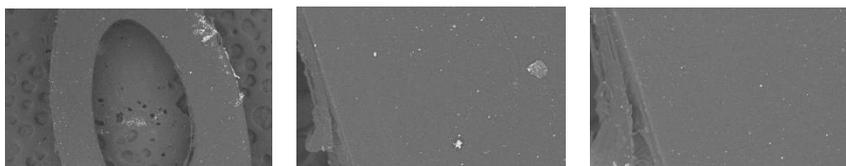


Imagen 4: Imágenes SEM. a: microfotografía obtenida a distancia de x50 μm ; b: microfotografía obtenida a distancia de x500 μm ; c: microfotografía obtenida a distancia de x1.0k μm .

Cadena transparente tomada directamente del empaque:

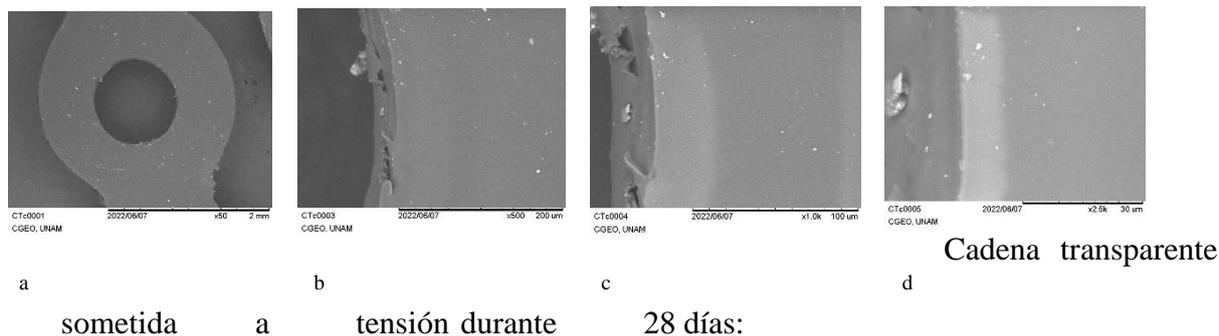


Imagen 5: Imágenes SEM. a: microfotografía obtenida a distancia de x50 μm ; b: microfotografía obtenida a distancia

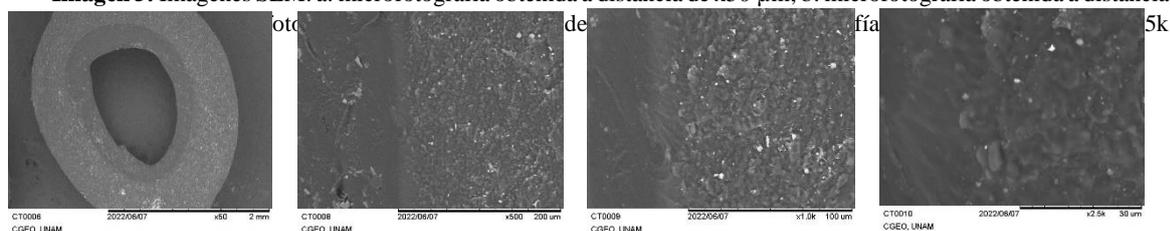


Imagen 6: Imágenes SEM. a: microfotografía obtenida a distancia de x50 μm ; b: microfotografía obtenida a distancia de x500 μm ; c: microfotografía obtenida a distancia de x1.0k μm ; d: microfotografía obtenida a distancia de x2.5k μm .

6.3.- F.T.I.R. (Espectroscopía Infrarroja)

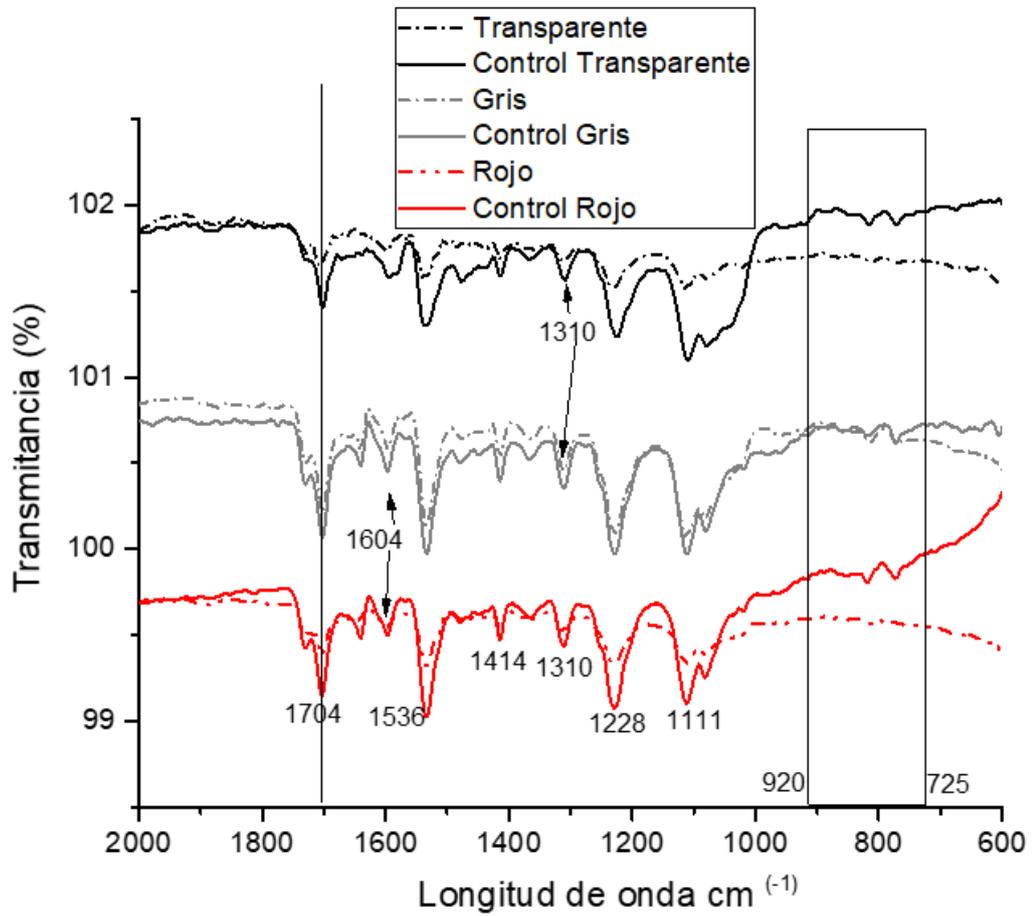
El espectro infrarrojo de las muestras analizadas (Gráfica 2) mostró las bandas vibracionales características de un poliuretano, el grupo carbonilo uretano $-\text{C}=\text{O}$, y del grupo carbamato $-\text{CN}$ y $-\text{C}-\text{O}-\text{C}$ [20], material que en su mayoría conforma los elásticos de la marca utilizada para este estudio.

La presencia de la banda 1536 cm^{-1} confirma la vibración de flexión simétrica correspondiente al grupo isocianato $\text{N}-\text{H}$; las bandas presentes a 1704 cm^{-1} y 1221 cm^{-1} , son vibraciones de estiramiento simétrico de grupos ésteres $-\text{C}=\text{O}$ pertenecientes a: $\text{N}-\text{CO}-\text{O}$, respectivamente. La banda a 1604 cm^{-1} es causada por la vibración $\text{C}=\text{C}$, debida al anillo de benceno, las pequeñas vibraciones en la región $725-920\text{ cm}^{-1}$ corresponden a vibraciones de flexión fuera del plano pertenecientes al grupo $\text{C}-\text{H}$ del anillo de benceno multisustituído (Gráfica 2).

El espectro infrarrojo de las muestras analizadas (Gráfica 2) demostró que se trata de un poliuretano debido a la presencia de los picos principales característicos de dicho polímero. De acuerdo con la literatura los grupos funcionales que esperamos encontrar en el espectro son el grupo funcional C=O en un pico de transmitancia aproximado de 1730 cm^{-1} ; C=C en un pico aproximado de 1520 cm^{-1} ; N=C=O a 2270 cm^{-1} y C-O-C aproximadamente a 1220 cm^{-1} [20].

La intensidad de las bandas vibracionales disminuyó para los tres grupos especialmente en el caso de los elásticos transparentes (Gráfica 2). Esta disminución fue mayor para las bandas a 1705 cm^{-1} y 1221 cm^{-1} correspondientes a vibraciones de estiramiento simétrico característica de los grupos ésteres -C=O, y vibraciones de estiramiento asimétrico C-O pertenecientes a: N-CO-O, la banda 1111 cm^{-1} , se debe a la vibración de estiramiento simétrico del grupo éster de uretano libre (N-CO-O).

Gráfica 2: Resultados de F.T.I.R.



Gráfica 2: Se observan los espectros de seis muestras seleccionadas, los espectros señalados con línea punteada hacen referencia a las muestras que estuvieron sometidas al experimento, mientras que los espectros señalados con línea continua hacen referencia a muestras control que fueron tomadas directamente del empaque y se sometieron a la espectroscopía.

7.- DISCUSIÓN

Esta descrito que los factores por los cuales las cadenas pierden su fuerza son múltiples. El procedimiento por el cual fueron fabricadas puede ser uno de ellos [5], existen dos métodos de manufactura: troquelado e inyección de molde, se ha descrito que los elásticos en cadena fabricados mediante troquelado mantienen niveles mayores de fuerza remanente en comparación con los fabricados mediante técnica de inyección [6]. En el presente estudio el fabricante no menciona en su ficha técnica cual es el tipo de técnica utilizada para la fabricación de las cadenas que se requirieron para el estudio.

La humedad y la temperatura son otros de los factores que pueden intervenir en las propiedades mecánicas de este material, algunos autores argumentan que los componentes existentes en la saliva pueden actuar como agentes plastificantes los cual influye en la deformación de los elásticos, ellos mismos nos hablan de como las bajas temperaturas tienen un efecto similar en este tipo de polímero [7]. Tomando en cuenta dicha información para el experimento de este estudio se decidió utilizar saliva artificial, en la cual fueron sumergidas las muestras, además de estar dentro de un agitador térmico que modulaba la temperatura a 37° C la cual corresponde con el promedio de la del medio ambiente oral.

El rango de fuerza y el periodo de tiempo por el cual permanecen activos los elásticos en cadena son otro coadyuvante a la degeneración de la fuerza, estudios argumentan que el nivel y el periodo de tiempo de duración de la carga influyen en el decremento de la fuerza [8-9, 21]. La fuerza óptima para cerrar espacios en ortodoncia es controversial se estima un rango que va de los 100 g hasta los 300 o 350 g [22]. Considerando esto, en este estudio se optó por estandarizar la fuerza en todas nuestras muestras, manteniéndolas a una distancia de 12 mm entre los tres eslabones centrales con la finalidad de que ejercieran una fuerza aproximada de 150 g.

Existe un estudio comparativo entre cadenas elásticas transparentes y grises, en el cual observó que las primeras mantenían un porcentaje mayor de fuerza remanente [23]. Al igual que los resultados obtenidos en el presente estudio las cadenas transparentes demostraron tener una mayor estabilidad.

En otro estudio se encontró que las cadenas grises mantenían su fuerza por un mayor tiempo comparadas con las transparentes [12]. Los resultados obtenidos en esta investigación demuestran que las cadenas grises mantienen una mayor cantidad de fuerza remanente posterior a 28 días de tensión, es importante mencionar que dentro de las muestras utilizadas para este experimento el grupo de las cadenas grises presentaba una fuerza significativamente mayor que las rojas y las transparentes en una medición basal, aunque los niveles de fuerza remanentes fueron mayores en el grupo de la grises posterior a los 28 días de tensión, su porcentaje de pérdida de fuerza también lo fue lo cual demuestra que las cadenas transparentes tienen un comportamiento más estable.

Las imágenes microscópicas demostraron una gran diferencia en la superficie del material entre las cadenas que fueron sometidas a tensión y las que no, siendo las grises en las que mayor deformación se observaba, lo contrario en las cadenas rojas.

Un estudio previo menciona que la degradación de poliuretanos involucra en primer lugar la degradación de los grupos éster, enseguida de los grupos éster de uretanos libres, los grupos éster de uretano unidos por hidrógeno y los grupos urea [7]. Por lo anterior podemos inferir que las cadenas de color transparente son las que después de la elongación sufren mayor degradación con respecto a los otros dos grupos de cadenas, mientras que las grises son las que menor degradación presentan, pues las intensidades de las bandas vibracionales para esta muestra presentan la menor diferencia. Sin embargo, en este estudio se demuestra que las

cadenas transparentes son las que tuvieron un menor porcentaje de pérdida de fuerza posterior al experimento teniendo en cuenta que las cadenas grises tienen una mayor fuerza inicial.

La pérdida de elasticidad en las ligas de poliuretano se debe a dos factores a los que está expuesta, por una parte, la fuerza de elongación a la que está sometida y una segunda es la interacción con la saliva a la cual fue sometida [24]. Las cadenas poliméricas de poliuretano absorben moléculas de agua presentes en la saliva, los átomos de hidrógeno entran en la molécula del polímero debido a la carga negativa de los átomos de oxígeno, cuando los iones de hidrógeno y el oxígeno se unen, el poliuretano se hincha microscópicamente, esto produce la disminución en la vibración de enlaces en los grupos funcionales. Tomando en cuenta dicha referencia con base en nuestro estudio no podemos asegurar que una pérdida de la elasticidad en las cadenas se traduzca en una pérdida de la fuerza de estas.

Uno de los limitantes de este estudio fue el no contar con una máquina de ensayos universal que permitiera llevar nuestras muestras hasta un punto de ruptura ya que el motor con el que contaba no se encontraba en condiciones y sufría de sobrecalentamiento obligándonos a interrumpir nuestras pruebas de medición de tensión, la forma en que contrarrestamos esta limitante fue estandarizar el recorrido de las dos puntas tensoras a 18 mm en todas nuestras muestras que se iban a someter al experimento.

Mediante este estudio se logró comprobar la hipótesis de que existe una diferencia en la pérdida de fuerza entre cadenas elásticas transparentes, grises y rojas, sin embargo, no podemos asegurar que el pigmento sea el único elemento que interfiera para la causa de estas variaciones.

8.- CONCLUSIONES

-El menor porcentaje de pérdida de fuerza en este estudio lo presentaron las cadenas transparentes, mientras que el mayor las cadenas grises, sin embargo, cabe mencionar que estas últimas presentaban una fuerza inicial significativamente mayor ($p < 0.05$) con respecto a los otros grupos.

-Se pudo constatar mediante pruebas de F.T.I.R. que el polímero del cual están fabricadas las cadenas utilizadas en esta investigación es un poliuretano.

-La mayor degradación tomando en cuenta el espectro infrarrojo fue por parte de las cadenas transparentes, lo cual nos establece que existe una mayor pérdida de la flexibilidad en este grupo, pero de acuerdo con nuestro experimento no se demuestra que este sea el que tenga mayor porcentaje de pérdida de fuerza.

-La pérdida de fuerza en este material es de origen multifactorial, no podemos atribuir a un solo elemento como el material con el cual son pigmentadas el que su fuerza de degrade o no, sino a un grupo de elementos como la técnica con la cual fueron fabricadas; el pH oral; la saliva e incluso la dieta del paciente, que combinados producirán este efecto en los elásticos, es importante conocer hasta un nivel molecular la composición de los materiales utilizados en la odontología con la finalidad de hacer su uso de la mejor manera posible.

9.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1.- Soares A., Tortamano A. (2007, marzo). An in vitro comparison of the force decay generated by different commercially available elastomeric chains and NiTi closed coil spring. *Brazilian Oral Research*, 21, 807. 2018, diciembre 7, De Scielo Base de datos.
- 2.- Rembowski G., Gomes J. (2007). Microbiological Evaluation of Elastomeric Chains. *Angle Orthodontist*, 77, 890-893. 2018, diciembre 7, De PubMed Base de datos.
- 3.- Antony PJ, Paulose J. An in-vitro study to compare the force degradation of pigmented and non-pigmented elastomeric chains. *Indian J Dent Res [serial online]* 2014 [cited 2022 Nov 13]; 25:208-213.
- 4.- Williams JW, von Fraunhofer JA. Degradation of the elastic properties of elastomeric chains. Louisville, Kentucky: University of Louisville; 1989.
- 5.- Bousquet JA Jr, Tuesta O, Flores-Mir C; In vivo comparison of force decay between injection molded and die-cut stamped elastomers. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2006; 129:384-9.
- 6.- Hershey HG, Reynolds Wg; The plastic module as an orthodontic tooth-mooving mechanism; *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1975; 67:554-62.
- 7.- Eliades T, Eliades G, Silikas N, Watts DC, Tensile properties of elastomeric chains. *Eur J Orthod* 2004, 26:157-62.
- 8.- Baty DL; Synthetic Elastomeric chains – A literature Review. *AM J Orthod Dentofac Orthop*; 1994; 105:536-42.
- 9.- De Genova DC, McInnes-Ledoux P, Weinberg R, Shaye R; Force degradation of orthodontic elastomeric chains-A product comparison study; *Am J Orthod Dentofac Orthop*; 1985; 87:377-84.

- 10.- Hyun Jun, B. (2021). *Nanotechnology for Bioapplications*. Springer. (Obra original publicada en 2021).
- 11.-Gunasekaran S, Natarajan R.K, Kala A, FTIR spectra a mechanical strength analysis of some selected rubber derivatives. *Spectrochimica Acta Part A* 68, 2007, 323-330.
- 12.- Chimenti C., Lecce D., Santucci L., In vitro assessment of elastomeric chain behavior., *Prog. Orthod.*, 2, 2001; 42-45.
- 13.- Baty DL, Voiz J, Fraunhofer J; Force delivery properties of colored elastomeric modules; *Am J Orthod Dentofac Orthop*, 1994; 106:40-6.
- 14.- Rembowski G., Gomes J. (2007). Microbiological Evaluation of Elastomeric Chains. *Angle Orthodontist*, 77, 890-893.
- 15.- Abdel S., Al-Katheeb S. (2017, marzo). Force degradation of orthodontics latex elásticos: An in-vivo study. *AJO-DO*, 151, 507-512.
- 16.- Sánchez L., Katagiri M. (2006, junio). Estudio in-vitro del deterioro de las propiedades elásticas de las cadenas elastoméricas. *Revista Odontológica Mexicana*, 10, 79-82.
- 17.- Andreasen G., Bishara S. (Octubre 1970). Comparison of time related force between plastic alástiks and latex elastics 328-319.
- 18.- Taloumis L.,Smith T. (1997, enero). Force decay and deformation of orthodontic elastomeric ligatures. *AJO-DO*, 111, 1-11.
- 19.- A.A. Gianelly and H.M. Goldman. *Biologic basis of orthodontics*. Lea & Feliger 1971.
- 20.- Haji K, Chee W, Raja M, Chi L, Yuhana N, Adawiyah N; FTIR Spectroscopy analysis of the prepolymerization of palm-based polyuretane; *Solid State Science and Technology*; Vol. 18, No 2 (2010)1-8.

- 21.- Stroede CL, Sadek H, Navalgund A, Kim DG, Johnston WM, et al. Viscoelastic properties of orthodontic elastomeric chains: An Investigation of pigment and manufacturing effects. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2012; 141:315-26.
- 22.- Stuart D, Josell, Jeffrey B, Rekow E. Force degradation in elastomeric chains. *Semin Orthod* 1997;3:189-197.
- 23.- Tz Chau Lu, BDS," Wei Nan Wang, BDS. (1993). Force decay of elastomeric Part H chain A serial study. . *AJO-DO*, 104, 373-377.
- 24.- Subroto MIA., Putri A., Hidayati L., Generation I and Generation II Elastomeric Chains Characteristics Comparison in Artificial Saliva Immersion., *Braz Dent Sci*; 2021, 24(1).

10.- ANEXO

La metodología y resultados de esta investigación fueron premiadas con el primer lugar por La Sociedad Nacional de Investigadores en Odontología AC y la Universidad Autónoma de Yucatán en el marco del XXIX Encuentro Nacional y XX Iberoamericano de Investigación en Odontología en noviembre de 2021.



**La Sociedad Nacional de Investigadores en Odontología A.C
y la Universidad Autónoma de Yucatán**

A través de la
Facultad de Odontología

OTORGA EL PRESENTE
RECONOCIMIENTO

Cesar Sinuhé Mendivil Rangel René García Contreras, José Martínez Zepeda

A:

Por haber obtenido el **1º** lugar en la categoría Especialidad Investigación Básica
exposición **virtual**, con su trabajo:

**"COMPARACIÓN DE LA PERDIDA DE FUERZA ENTRE CADENAS ELÁSTICAS PIGMENTADAS Y NO
PIGMENTADAS". Escuela Nacional de Estudios Superiores**

En el marco del **XXIX Encuentro Nacional y XX Iberoamericano de Investigación en Odontología.**
Celebrado los días 17, 18, y 19 de noviembre del 2021.



Dr. Fernando Javier Aguilar Ayala
Director de la Facultad de Odontología de
la Universidad Autónoma de Yucatán



Dr. Amaury de Jesús Pozos Guillen
Presidente de la Sociedad Mexicana de
Investigadores en Odontología