



Facultad Ciencias de la salud

Tema:

**Efectos del enjuague bucal natural sobre la degradación de la fuerza de cadenas
elastoméricas de ortodoncia: estudio experimental in vitro**

Tesis para la obtención del título de Especialista en Ortodoncia

Presentado por:

Od Jorge Luis Sarzosa Montenegro

Tutor:

Dr Yalil Rodríguez

Quito, septiembre de 2025

Resumen

Introducción: Las cadenas elastoméricas son un recurso ampliamente utilizado en ortodoncia por su bajo costo y facilidad de uso, pero su principal limitación es la rápida pérdida de fuerza, sobre todo durante las primeras 24 horas. Factores como el pH, la temperatura, la humedad y el uso de enjuagues bucales pueden acelerar la degradación y comprometer la eficacia clínica. **Objetivo:** Evaluar in vitro la influencia de distintos enjuagues bucales (clorhexidina 0,12% sin alcohol y un enjuague natural) sobre la degradación de la fuerza de cadenas elastoméricas de cuatro marcas comerciales, mediante un análisis comparativo en diferentes intervalos de tiempo. **Materiales y métodos:** Se ejecutó una investigación experimental en condiciones in vitro empleando cadenas elastoméricas de cuatro marcas comerciales (Ormco Generation II Power Chain, TP E-Chain, American Orthodontics y Morelli). Las mediciones de fuerza se efectuaron en tres momentos: inicial, a las 24 horas y a los 30 días. El análisis estadístico incluyó un ANOVA de tres vías (Marca \times Enjuague \times Tiempo) y un modelo de regresión lineal múltiple para estimar el porcentaje de degradación. **Resultados:** Se observó un patrón bifásico de pérdida de fuerza, con un descenso marcado en las primeras 24 horas y una disminución adicional hasta los 30 días. Tomando a Ormco como referencia (17,16 % de degradación), la marca TP mostró menor pérdida (coeficiente $\approx -9,79$ pp), mientras que American Orthodontics y Morelli presentaron degradaciones superiores ($\approx +17,31$ y $+16,17$ pp, respectivamente). En cuanto a los enjuagues, la clorhexidina incrementó la degradación ($\approx +4,66$ pp), mientras que el enjuague natural no evidenció un efecto global significativo. El tiempo también fue determinante: a los 30 días se identificó una degradación adicional de $\approx +2,41$ pp frente a las 24 horas. **Conclusiones:** La degradación de la fuerza en cadenas elastoméricas sigue un patrón bifásico y depende significativamente de la marca, el tiempo y el enjuague utilizado,

siendo el enjuague natural de elección para evitar degradación de las cadenas elastoméricas. Estos hallazgos subrayan la importancia de individualizar la selección de la marca, la recomendación del colutorio y la frecuencia de recambio para mantener fuerzas terapéuticas efectivas en los tratamientos ortodónticos.

Palabras clave: Cadenas elastoméricas ortodónticas; degradación de fuerza; clorhexidina; enjuagues bucales; estudio in vitro; factores de tiempo.

Declaración de Aceptación de Norma Ética y Derechos

El presente documento se ciñe a las normas éticas y reglamentarias de la Universidad Hemisferios. Así, declaro que lo contenido en este ha sido redactado con entera sujeción al respeto de los derechos de autor, citando adecuadamente las fuentes. Por tal motivo, autorizo a la Biblioteca a que haga pública su disponibilidad para lectura dentro de la institución, a la vez que autorizo el uso comercial de mi obra a la Universidad Hemisferios, siempre y cuando se me reconozca el cuarenta por ciento (40%) de los beneficios económicos resultantes de esta explotación.

Además, me comprometo a hacer constar, por todos los medios de publicación, difusión y distribución, que mi obra fue producida en el ámbito académico de la Universidad Hemisferios.

De comprobarse que no cumplí con las estipulaciones éticas, incurriendo en caso de plagio, me someto a las determinaciones que la propia Universidad plantee.

Jorge Luis Sarzosa Montenegro

Cédula de identidad: 1003471404

Dedicatoria

Dedico este trabajo de tesis a mi familia, quienes han sido mi apoyo incondicional a lo largo de mi carrera académica. A mis padres, por su amor, sacrificio y dedicación, gracias por creer en mí y por alentarme a alcanzar mis metas. A mi hermana, por su cariño y comprensión, gracias por ser una fuente de inspiración y motivación. A mi tía Inesita, por su apoyo y consejos, gracias por estar siempre allí para mí.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a cada uno de ustedes por su contribución a mi éxito. Sin su apoyo, no habría podido lograr este objetivo. Gracias por ser mi familia y por hacer que este logro sea posible.

Índice de Contenido

Portada	1
Resumen.....	2
Declaración de Aceptación de Norma Ética y Derechos	4
Dedicatoria.....	5
Índice de Contenido	6
Índice de Tablas	7
Índice de Figuras.....	8
Resumen.....	9
Abstract.....	11
Introducción	13
Capítulo 1. Marco Referencial.....	16
Capítulo 2. Investigación	21
Resultados.....	28
Capítulo 3. Discusión De Los Datos.....	44
Capítulo 4. Conclusiones	47
Referencias bibliográficas.....	48

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Recolección de datos</i>	26
Tabla 2 <i>Fuerzas Medias y Desviaciones Estándar (g)</i>	29
Tabla 3 <i>Comparación de la Degradación Porcentual en los Tres Tiempos</i>	32
Tabla 4 <i>ANOVA de Tres Vías para la Fuerza Residual</i>	36
Tabla 5 <i>Resultados de la Regresión Lineal Múltiple para la Degradación de Fuerza</i>	38
Tabla 6 <i>Pruebas de Validación de Supuestos</i>	41
Tabla 7 <i>Factores de Inflación de la Varianza (VIF)</i>	42

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Elastómeros de 4 marcas diferentes, muestra de elastómeros de 4 eslabones, grupo control para la experimentación.</i>	23
Figura 2 <i>Base impresa de resina, Grupo control con distribución de cadenas.</i>	24
Figura 3 <i>Medición inicial, colocación en planchas acrílicas, almacenaje.</i>	25
Figura 4 <i>Diferentes tipos de enjuague bucal.</i>	26
Figura 5 <i>Tendencia de Degradación de la Fuerza Elástica a lo Largo del Tiempo por Marca y Grupo Experimental.</i>	35

Efectos del enjuague bucal natural sobre la degradación de la fuerza de cadenas elastoméricas de ortodoncia: estudio experimental in vitro

Jorge Luis Sarzosa Montenegro

Universidad Hemisferios

josarzosa-21@hotmail.com

Resumen

Introducción: Las cadenas elastoméricas son un recurso ampliamente utilizado en ortodoncia por su bajo costo y facilidad de uso, pero su principal limitación es la rápida pérdida de fuerza, sobre todo durante las primeras 24 horas. Factores como el pH, la temperatura, la humedad y el uso de enjuagues bucales pueden acelerar la degradación y comprometer la eficacia clínica. **Objetivo:** Evaluar in vitro la influencia de distintos enjuagues bucales (clorhexidina 0,12% sin alcohol y un enjuague natural) sobre la degradación de la fuerza de cadenas elastoméricas de cuatro marcas comerciales, mediante un análisis comparativo en diferentes intervalos de tiempo. **Materiales y métodos:** Se ejecutó una investigación experimental en condiciones in vitro con cadenas elastoméricas de cuatro marcas comerciales (Ormco Generation II Power Chain, TP E-Chain, American Orthodontics y Morelli). Las mediciones de fuerza se efectuaron en tres momentos: inicial, a las 24 horas y a los 30 días. El análisis estadístico incluyó un ANOVA de tres vías (Marca \times Enjuague \times Tiempo) y un modelo de regresión lineal múltiple para estimar el porcentaje de degradación. **Resultados:** Se observó un patrón bifásico de pérdida de fuerza, con un descenso marcado en las primeras 24 horas y una disminución adicional hasta los 30 días. Tomando a Ormco como referencia (17,16 % de degradación), la marca TP mostró menor pérdida (coeficiente $\approx -9,79$ pp), mientras que

American Orthodontics y Morelli presentaron degradaciones superiores ($\approx +17,31$ y $+16,17$ pp, respectivamente). En cuanto a los enjuagues, la clorhexidina incrementó la degradación ($\approx +4,66$ pp), mientras que el enjuague natural no evidenció un efecto global significativo. El tiempo también fue determinante: a los 30 días se identificó una degradación adicional de $\approx +2,41$ pp frente a las 24 horas. **Conclusiones:** La degradación de la fuerza en cadenas elastoméricas sigue un patrón bifásico y depende significativamente de la marca, el tiempo y el enjuague utilizado, siendo el enjuague natural de elección para evitar degradación de las cadenas elastoméricas. Estos hallazgos subrayan la importancia de individualizar la selección de la marca, la recomendación del colutorio y la frecuencia de recambio para mantener fuerzas terapéuticas efectivas en los tratamientos ortodónticos.

Palabras clave: Cadenas elastoméricas ortodónticas; degradación de fuerza; clorhexidina; enjuagues bucales; estudio in vitro; factores de tiempo

Abstract

Introduction: Elastomeric chains are widely used in orthodontics due to their low cost and ease of application; however, their main limitation is the rapid loss of force, particularly within the first 24 hours. Factors such as pH, temperature, humidity, and the use of mouthrinses can accelerate this degradation and compromise clinical effectiveness. **Objective:** To evaluate in vitro the influence of different mouthrinses (0.12% alcohol-free chlorhexidine and a natural mouthrinse) on the force degradation of elastomeric chains from four commercial brands, through a comparative analysis at different time intervals. **Materials and Methods:** An experimental study was carried out under in vitro conditions using elastomeric chains from four brands (Ormco Generation II Power Chain, TP E-Chain, American Orthodontics, and Morelli). Force measurements were recorded at baseline, 24 hours, and 30 days. Statistical analysis included a three-way ANOVA (Brand \times Mouthrinse \times Time) and a multiple linear regression model to estimate the percentage of force degradation. **Results:** A biphasic pattern of force loss was observed, with a sharp decline within the first 24 hours followed by a further reduction up to 30 days. Using Ormco as the reference (17.16% degradation), TP showed less degradation (coefficient ≈ -9.79 pp), while American Orthodontics and Morelli exhibited higher degradation ($\approx +17.31$ and $+16.17$ pp, respectively). Regarding mouthrinses, chlorhexidine increased degradation ($\approx +4.66$ pp), whereas the natural rinse showed no significant overall effect. Time was also determinant: at 30 days, an additional degradation of $\approx +2.41$ pp was identified compared to 24 hours. **Conclusions:** Force degradation in elastomeric chains follows a biphasic pattern and is significantly influenced by brand, time, and mouthrinse used, being the natural rinse of choice to avoid degradation of the elastomeric chains. These findings highlight the need

to individualize the choice of brand, mouthrinse recommendation, and replacement frequency to maintain effective therapeutic forces in orthodontic treatments.

Keywords: Elastomeric chains; force degradation; chlorhexidine; mouthwashes; in vitro study; time factors.

Introducción

En ortodoncia las cadenas elastoméricas son muy utilizadas para realizar movimientos dentales puesto que son generadoras de fuerza. (Reyes et al., 2017) Idealmente para un movimiento dental eficaz en un tratamiento de ortodoncia es importante el uso de fuerzas leves y constantes, y los elastómeros son hoy en día los materiales más utilizados para esta acción. (Javidi et al., 2023) En décadas pasadas el uso de elastómeros fue limitado, ya que los mismos no presentaban estabilidad debido a cambios térmicos y a su facilidad para absorber líquidos, dañando sus propiedades contráctiles a corto plazo. (Kochenborger et al., 2011)

Los primeros elastómeros en ortodoncia utilizados eran a base de látex, pero estos degradaban su fuerza al corto plazo debido a la exposición de radicales libres. Actualmente se utilizan polímeros sintéticos a base de poliuretanos. (Virdi et al., 2024) Entre las ventajas de los elastómeros utilizados en ortodoncia tenemos la fácil aplicación de los mismos, reduciendo tiempo de trabajo en consulta, así como también su bajo costo, y esto ha permitido que en la práctica diaria del ortodoncista los elastómeros sean de uso frecuente. (Khaleghi et al., 2021)

Adicionalmente, tienen la capacidad de recuperar su forma inicial una vez retirada la fuerza que lo deforma, pero disminuye la capacidad de recuperación de la fuerza transmitida inicialmente. (Javidi et al., 2023b) Por lo tanto, la mayor desventaja que tienen las cadenas es no mantener la fuerza inicial durante periodos largos de tiempo, sobre todo cuando se realiza mecánicas de cierre de espacios. (Keller et al., 2021) Estudios han demostrado que la mayor degradación de la fuerza ocurre durante las primeras 24 horas, con un rango entre el 50 al 70% debido a la exposición a la cavidad bucal. (Javidi et al., 2023a)

La eliminación de la placa dental durante el tratamiento es esencial, sin embargo, el uso de colutorios como coadyuvantes en la higiene bucal puede afectar la degradación de las cadenas elastoméricas, reduciendo su eficacia. (Andrés Castelló et al., 2024) La prescripción de enjuagues bucales durante el tratamiento de Ortodoncia es muy común ya que los pacientes con aparatología fija son más susceptibles a caries y enfermedad periodontal. (Behnaz et al., 2018)

Enjuagues bucales a base de clorhexidina se prescriben con mayor frecuencia, aunque en la literatura se han descritos algunos efectos secundarios como el cambio de color y alteración del gusto. Como alternativa a estos efectos, los enjuagues bucales a base de hierbas y sin alcohol, están reemplazando a los que contienen clorhexidina y alcohol. (Javidi et al., 2023a)

Estudios realizados muestran la diferencia de degradación de la fuerza entre elastómeros de distintas marcas después de tensionarlos, y esta pérdida de fuerza de los elastómeros es directamente proporcional al tiempo y longitud de estiramiento. (Torres-Reyes et al., 2019) Al no tener las cadenas elásticas la capacidad de liberar fuerzas constantes se hace necesario evaluar su degradación cuando se usan enjuagues dentales con diferente composición. Para conocimiento de los autores, no existen estudios que evalúen este aspecto, especialmente con enjuagues a base de hierbas, en comparación con los enjuagues tradicionales. También es importante tener conocimiento en cuanto a su comportamiento con base en el tiempo en el cual mantienen la fuerza requerida, dependiendo de las necesidades biomecánicas que el profesional requiere. (Martins et al., 2006)

Con la finalidad de mejorar el tiempo de tratamiento y la eficacia de los mismos es altamente relevante comprender a fondo la capacidad de degradación de la fuerza de los elastómeros de diferentes marcas que existen en el mercado. (Torres-Reyes et al., 2019) Por lo

anterior expuesto, el objetivo del presente estudio es determinar la influencia de la exposición a distintos enjuagues bucales en la degradación de la fuerza de las cadenas elastoméricas de ortodoncia, considerando diferentes marcas comerciales y tiempos de exposición, mediante un estudio experimental *in vitro*.

Capítulo 1. Marco Referencial

La ortodoncia es una especialidad de la odontología enfocada en prevenir o corregir la posición de los dientes y maxilares. También tiene como objetivo lograr una oclusión funcional, mejorando así la estética dental (Erty et al., 2023). Los tratamientos ortodónticos han ido mejorando con el transcurso de tiempo, esto ha permitido encontrar nuevos materiales que resultan ser más eficaces.

La finalidad del tratamiento ortodóntico es mejorar la salud bucal, la eficiencia masticatoria, la estética y confianza del paciente. (Cubillo & Smith, 2006)

Los elementos auxiliares son fundamentales para complementar la acción de los aparatos fijos en el movimiento dentario. (Nucera et al., 2022) Las ligaduras, elásticos intermaxilares y cadenas elastoméricas, permiten aplicar fuerzas específicas y dirigidas. (Meng et al., 2023) Si se implementan de manera adecuada, permiten una mejor eficiencia en el tratamiento, reduciendo tiempos clínicos y mejorando los resultados. Su elección depende de las necesidades biomecánicas de cada caso. (Javidi et al., 2023b)

Las ligaduras, pueden ser metálicas o elásticas, y se utilizan para fijar el arco ortodóntico a los brackets, manteniéndolos en su posición correcta, debido a que influyen directamente en la transmisión de fuerzas al diente (Alam et al., 2024). Por otra parte, los elásticos intermaxilares se emplean para corregir los problemas de alineación entre los maxilares, ayudando a mejorar la oclusión; estos elásticos requieren de un control cuidadoso para evitar efectos indeseados. (Farret, 2023)

Finalmente, las cadenas elastoméricas se elaboran de un material flexible como el latex o el poliuretano, y se utilizan para cerrar los espacios entre dientes y para mantener la estabilidad

del arco dental.(Farret, 2023) Al inicio de su colocación son fáciles de manipular y generan fuerzas constantes, sin embargo, su fuerza tiende a disminuir con el tiempo debido a la degradación del material, lo que representa un factor potencial de disminución en la efectividad clínica del tratamiento.(Da Silva Chaves-Filho et al., 2021) Por ello, conocer su comportamiento frente a distintos factores, como los enjuagues bucales, especialmente los de origen natural que recientemente han aumentado su uso, es clave para optimizar su uso clínico. (Javidi et al., 2023a)

Los elastómeros y sus propiedades físicas, químicas y biomecánicas que son utilizados en ortodoncia han evolucionado a lo largo del tiempo. En un principio se empleaban ligaduras de látex que tienen la ventaja de ser flexibles, pero no se caracterizan por su durabilidad.(Russell et al., 2001) Por otra parte, con la evolución de los materiales y de sus propiedades, se comenzaron a emplear elastómeros sintéticos, como el poliuretano, que son más resistentes a la humedad y a los factores que intervienen en el medio oral.(Kamisetty et al., 2014) El poliuretano ha permitido una mejor predictibilidad en la aplicación de fuerzas ortodónticas favoreciendo que los procedimientos ortodónticos sean más eficientes.(Tian & Darvell, 2010)

Los elastómeros que se usan en ortodoncia pueden ser elaborados de látex o de poliuretano y tienen ciertas diferencias debido a su composición, comportamiento mecánico y biocompatibilidad.(Russell et al., 2001) Los elastómeros de látex suelen ofrecer una mayor elasticidad inicial, pero son más susceptibles a la degradación por la humedad, pudiendo generar reacciones alérgicas en pacientes sensibles.(Kamisetty et al., 2014) Por otra parte, los elastómeros de poliuretano tienen una menor elasticidad inicial, pero presentan una mayor estabilidad frente a factores ambientales. Esta durabilidad los hace preferibles en muchos tratamientos a largo plazo.(Tian & Darvell, 2010)

La degradación de los elastómeros aplicados en ortodoncia se debe a una variedad de factores presentes en la cavidad oral como: la humedad, los cambios de temperatura, el pH salival, la exposición a alimentos o bebidas y el uso de enjuagues bucales con diferentes composiciones.(Teixeira et al., 2008) Los factores mencionados con anterioridad alteraran la composición de los elastómeros, lo que provoca la pérdida de elasticidad y reduce su capacidad de ejercer fuerza constante.(De Genova et al., 1985) Adicionalmente, la frecuencia del reemplazo también afecta el desempeño y de igual manera, el uso prolongado provoca una relajación progresiva del material, disminuyendo su eficacia terapéutica.(Stevenson & Kusy, 1994b)

La probabilidad de caries dental aumenta durante el tratamiento ortodóntico, esto se debe a la acumulación de placa bacteriana alrededor de los aparatos fijos y a su vez, ocasiona enfermedades periodontales.(Teixeira et al., 2008) Una dieta alta en carbohidratos, una mala higiene, además del uso prolongado de ortodoncia intensifican el riesgo de tener caries incipientes como las manchas blancas, por lo cual, durante el periodo de ortodoncia la educación en higiene oral del paciente es muy importante.(Mohammad-Rahimi et al., 2022)

Es por ello, que para mejorar la salud periodontal hay que implementar estrategias como el cepillado continuo, el uso de hilo dental y el uso constante de enjuague bucal.(Zhao et al., 2022)

Los enjuagues bucales con clorhexidina son ampliamente utilizados en odontología por su potente acción antimicrobiana, debido a que actúan destruyendo la membrana celular bacteriana, lo que reduce significativamente la formación de placa bacteriana y la inflamación gingival.(Z. Brookes et al., 2023) Su uso está especialmente indicado en pacientes con aparatos ortodónticos, ya que favorece el control químico de la placa en zonas de difícil acceso. Sin

embargo, su uso prolongado puede provocar efectos secundarios como pigmentación dental, alteración del gusto y descamación de la mucosa oral.(Poppolo Deus & Ouanounou, 2022)

Los enjuagues bucales que contienen alcohol son formulaciones comunes en la higiene oral por su capacidad antiséptica y desinfectante.(Z. Brookes et al., 2023) El alcohol actúa como un vehículo para disolver los ingredientes activos y potenciar su efecto antimicrobiano, ayudando a reducir la carga bacteriana en la cavidad oral, pero su uso frecuente puede causar efectos adversos como resequedad bucal, irritación de las mucosas y sensación de ardor.(Spuldaró et al., 2021) Además, un estudio sugieren que estos productos podrían influir en la degradación de materiales elastoméricos usados en ortodoncia, por ello, su uso en pacientes con aparatos ortodónticos debe evaluarse cuidadosamente.(Amini et al., 2023)

Los enjuagues bucales naturales se muestran como una alternativa más saludable a los enjuagues tradicionales, estos se elaboran en base de extractos de plantas medicinales con propiedades antimicrobianas, antiinflamatorias y cicatrizantes (Spuldaró et al., 2021). Entre las hierbas más utilizadas se encuentran la manzanilla (*Matricaria chamomilla*), el tomillo (*Thymus vulgaris*), la menta (*Mentha piperita*), el clavo de olor (*Syzygium aromaticum*) y el árbol de té (*Melaleuca alternifolia*)(Campo Vera et al., 2015). Estas plantas contienen compuestos bioactivos como flavonoides, taninos y aceites esenciales que contribuyen al control del biofilm oral y alivian la inflamación gingival, se consideran una alternativa más segura y natural frente a los enjuagues convencionales (Amini et al., 2023)

Los enjuagues naturales al no contener alcohol ni sustancias sintéticas, provocan menos irritación en la mucosa oral y pueden ser usados por personas sensibles o con alergias. De igual manera, tienen un menor impacto en el microbiota bucal y no producen efectos secundarios

como pigmentación dental o alteraciones del gusto (Duane et al., 2023). En pacientes ortodónticos, su uso puede ser beneficioso para aliviar inflamaciones locales causadas por la aparatología. Se ha reportado que algunos extractos naturales presentan efectos antioxidantes que favorecen la salud gingival y su sabor es más aceptado por los pacientes (Z. L. S. Brookes et al., 2023).

Por otra parte, los enjuagues bucales naturales también presentan ciertas desventajas, una de ellas es que no cuentan con la misma evidencia científica que los enjuagues convencionales, también su efecto antimicrobiano suele ser más leve y transitorio, lo que puede ser insuficiente en casos de enfermedad periodontal avanzada o inflamación severa (O'Mullane et al., 2016).

Capítulo 2. Investigación

Metodología

El presente estudio es de tipo experimental in vitro. La muestra fue seleccionada por conveniencia, y consistió en 108 segmentos de cadenas elastoméricas cerradas de color gris obtenidas por proveedor de cuatro diferentes casas comerciales (ORMCO GENERATION II POWER CHAIN, TP E-CHAIN, AMERICAN ORTHODONTICS, MORELLI), con fechas de caducidad vigentes, que no presentaron ninguna deformidad por fabricación a la inspección visual. Cada marca aportó 27 segmentos de cadena elastomérica, cada uno conformado por 4 eslabones. Cada segmento se constituyó como una unidad muestral. De esta forma se conformaron 3 grupos: el grupo 1 de control; el grupo 2 experimental de clorhexidina; y el grupo 3 experimental de enjuague natural. En todos los grupos se realizó el mismo protocolo de medición de la fuerza durante 3 tiempos: Inicial, 24 horas, y 30 días, como se describe a continuación.

Grupos conformados:

Grupo 1 – Grupo Control

Cadena marca ORMCO color gris

Cadena marca American Orthodontics color gris

Cadena marca TP color gris

Cadena marca MORELLI color gris

Grupo 2 – Grupo Clorhexidina

Cadena marca ORMCO color gris.

Cadena marca American Orthodontics color gris.

Cadena marca TP color gris.

Cadena marca MORELLI color gris.

Grupo 3- Enjuague natural

Cadena marca ORMCO color gris.

Cadena marca American Orthodontics color gris.

Cadena marca TP color gris.

Cadena marca MORELLI color gris.

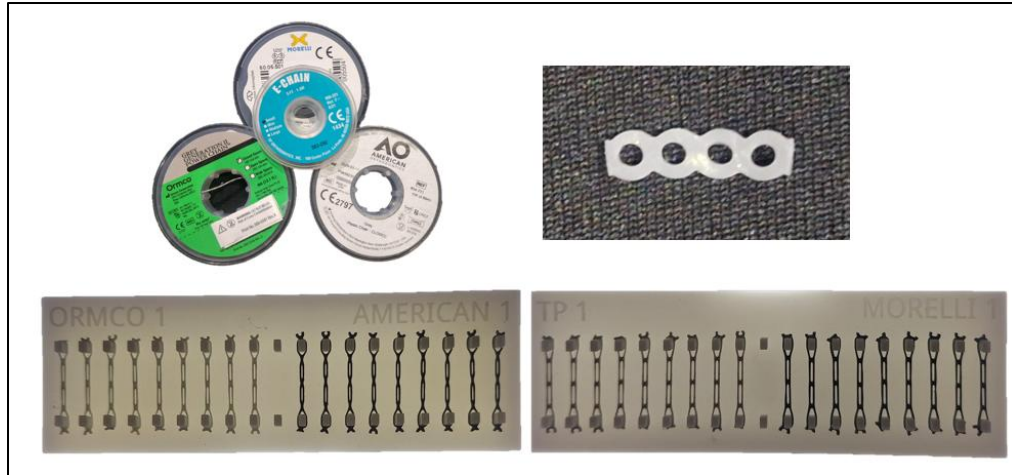


Figura 1. *Elastómeros de 4 marcas diferentes, muestra de elastómeros de 4 eslabones, grupo control para la experimentación.*

Para la fase experimental se imprimieron 6 bases de resina de 45 mm de ancho, 140mm de largo y 9 mm de espesor. Cada base de resina incluyó 18 pares de pines que sirvieron como punto de anclaje; los mismos se encontraron separados a 25 mm. Cada base de resina recibió 18 muestras de 2 marcas de elastómeros diferentes. Las muestras de cada grupo fueron distribuidas aleatoriamente en las bases, utilizando 2 marcas diferentes en cada una. De esta forma, cada marca tuvo 27 muestras, para un total de 108 muestras, y cada base tuvo 2 marcas de elastómeros, como se muestra en la Figura 2.

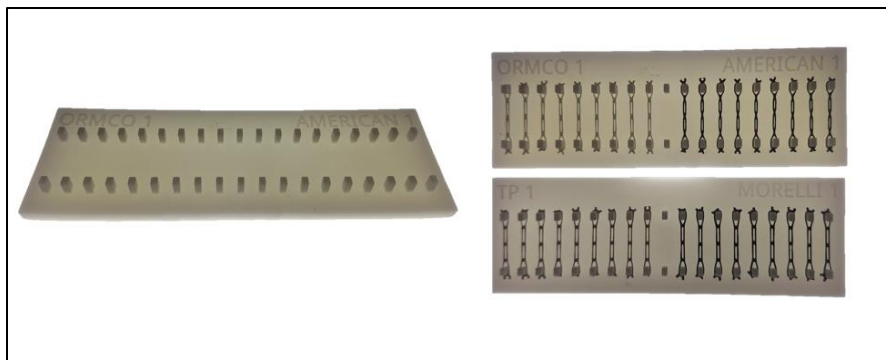


Figura 2. Base impresa de resina, Grupo control con distribución de cadenas.

A cada muestra se le realizó una medición inicial con un dinamómetro digital AMF-500 de alta precisión que se mantuvo fijo a un pin de una placa acrílica preformada y se distendió 25 mm. En ese punto, se tomó la medición con el dinamómetro. Después, cada muestra fue distribuida y colocada entre los pines en cada base, según la planificación previa, como se muestra en la Figura 3. Posteriormente se sumergieron totalmente las bases impresas en recipientes plásticos que contenían 500ml de saliva artificial con fecha de caducidad vigente con la siguiente composición: aqua, Sorbitol, Carboxymethyl Cellulose, Xylitol, Disodium Phosphate, Chloride, Sodium Chloride, Sodium Propylparaben, Calcium, Chloride, Magnesium Chloride, Sodium Saccharin), fue necesario almacenar las muestras en una estufa Memmert a 37 grados de temperatura. La saliva artificial fue recambiada cada 7 días.



Figura 3. *Medición inicial, colocación en planchas acrílicas, almacenaje.*

Para exponer las cadenas al enjuague bucal se retiraron las bases impresas que contienen las muestras del segundo y tercer grupo y se sumergieron completamente en agua destilada contenida en recipientes plásticos durante 1 minuto, posteriormente se sumergieron al segundo grupo en enjuague bucal Encident (Clorhexidina 0,12g, Fluoruro de sodio 0.10g) durante 30 segundos y al tercer grupo al enjuague bucal natural Bamboo Smile (Water, Sorbitol, Glycerin, Xylitol, Menthol, Sodium Bicarbonate, Sodium Lauroyl Sarcosinate, Elettaria Cardamomum Seed Oil, Citrus Aurantifolia Peel Oil, Rosmarinus Officinalis Leaf Oil, Melaleuca Alternifolia Leaf Oil, Eucalyptus Globulus Leaf Oil, Mentha Piperita leaf Oil, Thymus Vulgaris Leaf Oil) por 30 segundos (Figura 4). Posteriormente se volvió a sumergir por 1 min en agua destilada, y finalmente las bases impresas regresaron a su almacenamiento en la estufa Memmert sumergidas en saliva artificial

Este procedimiento se realizó cada 8 horas durante 30 días.



Figura 4. *Diferentes tipos de enjuague bucal.*

Las mediciones de todas las muestras se realizaron al inicio, en las primeras 24 horas y a los 30 días. Las cadenas fueron retiradas, sumergidas 1 minuto en agua destilada, luego retiradas y en reposo por 10 minutos. En ese momento se realizó la medición de la fuerza en cada tiempo y con cada muestra, según lo descrito previamente. (Figura 3)

Los datos obtenidos fueron recolectados en tablas específicas elaboradas en Excel, y se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. *Recolección de datos*

GRUPO 1 CONTROL						GRUPO 2 CLORHEXIDINA						GRUPO 3 ENJUAGUE BUCAL NATURAL					
ORMCO						ORMCO						ORMCO					
#	Medición inicial Gr.	24 horas	%	30 DIAS	%	#	Medición inicial	24 horas	%	30 DIAS	%	#	Medición inicial	24 horas	%	30 DIAS	%
1	380	310	81,58	300	78,95	1	410	320	78,05	310	75,61	1	380	310	81,58	290	76,32
2	430	360	83,72	350	81,40	2	410	330	80,49	310	75,61	2	380	310	81,58	300	78,95
3	430	360	83,72	340	79,07	3	410	330	80,49	300	73,17	3	390	320	82,05	310	79,49
4	420	350	83,33	340	80,95	4	380	300	78,95	280	73,68	4	390	320	82,05	300	76,92
5	430	350	81,40	340	79,07	5	410	330	80,49	310	75,61	5	390	320	82,05	310	79,49
6	390	320	82,05	310	79,49	6	380	300	78,95	280	73,68	6	400	320	80,00	310	77,50

7	410	340	82,93	330	80,49	7	400	310	77,50	300	75,00	7	360	290	80,56	280	77,78
8	420	350	83,33	340	80,95	8	370	290	78,38	270	72,97	8	360	290	80,56	290	80,56
9	420	350	83,33	340	80,95	9	370	300	81,08	270	72,97	9	410	330	80,49	320	78,05
AMERICAN ORTHODONTICS						AMERICAN ORTHODONTICS						AMERICAN ORTHODONTICS					
#	Medición inicial	24 horas	%	30 DIAS	%	#	Medición inicial	24 horas	%	30 DIAS	%	#	Medición inicial	24 horas	%	30 DIAS	%
1	480	320	66,67	310	64,58	1	480	290	60,42	280	58,33	1	510	320	62,75	310	60,78
2	480	310	64,58	300	62,50	2	490	290	59,18	270	55,10	2	500	310	62,00	300	60,00
3	480	320	66,67	310	64,58	3	500	300	60,00	280	56,00	3	510	320	62,75	310	60,78
4	500	320	64,00	310	62,00	4	500	310	62,00	290	58,00	4	470	300	63,83	290	61,70
5	500	330	66,00	320	64,00	5	510	300	58,82	290	56,86	5	440	280	63,64	270	61,36
6	500	330	66,00	320	64,00	6	500	300	60,00	290	58,00	6	500	320	64,00	300	60,00
7	510	330	64,71	310	60,78	7	510	310	60,78	290	56,86	7	470	300	63,83	290	61,70
8	480	310	64,58	300	62,50	8	480	280	58,33	260	54,17	8	480	310	64,58	300	62,50
9	480	320	66,67	300	62,50	9	510	310	60,78	290	56,86	9	450	290	64,44	280	62,22
TP						TP						TP					
#	Medición inicial	24 horas	%	30 DIAS	%	#	Medición inicial	24 horas	%	30 DIAS	%	#	Medición inicial	24 horas	%	30 DIAS	%
1	560	520	92,86	510	91,07	1	600	530	88,33	510	85,00	1	550	490	89,09	480	87,27
2	570	520	91,23	510	89,47	2	610	530	86,89	510	83,61	2	600	540	90,00	530	88,33
3	580	540	93,10	530	91,38	3	580	510	87,93	290	50,00	3	580	520	89,66	510	87,93
4	560	520	92,86	510	91,07	4	590	520	88,14	500	84,75	4	580	520	89,66	510	87,93
5	570	530	92,98	520	91,23	5	540	480	88,89	470	87,04	5	550	500	90,91	490	89,09
6	580	530	91,38	520	89,66	6	570	510	89,47	500	87,72	6	590	530	89,83	510	86,44
7	590	550	93,22	540	91,53	7	560	490	87,50	480	85,71	7	610	560	91,80	550	90,16
8	570	530	92,98	510	89,47	8	580	520	89,66	500	86,21	8	610	550	90,16	530	86,89
9	580	540	93,10	530	91,38	9	570	500	87,72	480	84,21	9	580	530	91,38	510	87,93
MORELLI						MORELLI						MORELLI					
#	Medición inicial	24 horas	%	30 DIAS	%	#	Medición inicial	24 horas	%	30 DIAS	%	#	Medición inicial	24 horas	%	30 DIAS	%
1	500	330	66,00	320	64,00	1	560	350	62,50	340	60,71	1	550	350	63,64	340	61,82
2	500	340	68,00	330	66,00	2	540	330	61,11	310	57,41	2	510	340	66,67	320	62,75
3	550	370	67,27	360	65,45	3	530	320	60,38	300	56,60	3	530	330	62,26	320	60,38
4	550	360	65,45	350	63,64	4	500	310	62,00	300	60,00	4	540	340	62,96	330	61,11
5	540	360	66,67	330	61,11	5	510	310	60,78	290	56,86	5	530	340	64,15	330	62,26
6	520	350	67,31	340	65,38	6	520	320	61,54	300	57,69	6	530	350	66,04	320	60,38
7	550	370	67,27	350	63,64	7	520	320	61,54	300	57,69	7	560	360	64,29	350	62,50
8	530	350	66,04	340	64,15	8	470	290	61,70	280	59,57	8	510	340	66,67	330	64,71
9	540	360	66,67	350	64,81	9	480	290	60,42	280	58,33	9	530	350	66,04	340	64,15

Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron recopilados y organizados en tablas específicas para su análisis estadístico. Para evaluar la significancia de los factores, se empleó un Análisis de Varianza de Tres Vías (ANOVA), que permitió determinar el efecto principal de la marca, el tipo de enjuague y el tiempo de exposición, así como las interacciones entre ellos.

Adicionalmente, se aplicó un modelo de regresión lineal múltiple para cuantificar el impacto de cada variable sobre el porcentaje de degradación de la fuerza, utilizando las marcas (con ORMCO como referencia), los enjuagues (con el grupo control como referencia) y el tiempo (con 24 horas como referencia) como variables explicativas. Los análisis estadísticos se llevaron a cabo utilizando los programas Python y Stata.

Resultados

La presente investigación tiene como objetivo principal evaluar la degradación de la fuerza con 2 enjuagues dentales sobre tres marcas comerciales de elásticos ortodónticos (ORMCO GENERATION II POWER CHAIN, TP E-CHAIN, AMERICAN ORTHODONTICS, MORELLI) bajo condiciones *in vitro* simuladas. Se analizaron dos factores de exposición (enjuague bucal de clorhexidina y enjuague natural) y se comparan con un grupo control. Las mediciones de fuerza se realizaron en tres puntos temporales: inicial, a las 24 horas y a los 30 días. Los resultados que se presentan a continuación abordan los objetivos específicos de la tesis, utilizando un enfoque multifacético que incluye estadísticas descriptivas, análisis de tendencias, un análisis de varianza multifactorial (ANOVA) y un modelo econométrico para la predicción de la degradación de la fuerza.

Análisis de estadísticas descriptivas y de tendencia

La primera fase del análisis se centra en la descripción y visualización de los datos. Esta aproximación inicial es crucial para entender las características fundamentales de la fuerza elástica en cada uno de los grupos y marcas a lo largo del tiempo, y se resume en la Tabla 2.

Tabla 2 *Fuerzas Medias y Desviaciones Estándar (g)*

Grupo	Marca	Intervalo de Tiempo	Fuerza Media	Desviación Estándar
Control	American Orthodontics	Inicial	490	12.25
		24 Horas	321.11	7.82
		30 Días	308.89	7.82
	TP	Inicial	573.33	10
		24 Horas	531.11	10,54
		30 Días	520.00	11.18
	Morelli	Inicial	531.11	20.28
		24 Horas	354.44	13.33
		30 Días	341.11	12.69
	ORMCO	Inicial	414.44	18.10
		24 Horas	343.33	17.32
		30 Días	332.22	16.41

Clorhexidina	American	Inicial	497.78	12.02	
	Orthodontics	24 Horas	298.89	10.54	
		30 Días	282.22	10.92	
	TP	Inicial	577.78	21.08	
		24 Horas	510.00	17.32	
		30 Días	471.11	18.02	
	Morelli	Inicial	514.44	28.33	
		24 Horas	315.56	18.78	
		30 Días	300.00	18.02	
	ORMCO	Inicial	393.33	18.02	
		24 Horas	312.22	15.63	
		30 Días	292.22	17.15	
	Enjuague	American	Inicial	481.11	25.71
	Natural	Orthodontics	24 Horas	305.56	14.24
			30 Días	294.44	13.33
TP		Inicial	583.33	22.36	
		24 Horas	526.67	22.36	
		30 Días	513.33	21.21	
Morelli		Inicial	532.22	16.41	
		24 Horas	344.44	8.81	
		30 Días	331.11	10.54	

ORMCO	Inicial	384.44	16.66
	24 Horas	312.22	13.94
	30 Días	301.11	12.69

El análisis de la pérdida de fuerza es fundamental para entender el comportamiento de los elásticos a lo largo del tiempo. La disminución inicial pronunciada confirma una disminución significativa y rápida de la fuerza en todos los grupos y marcas durante las primeras 24 horas, como se detalla a continuación:

- ORMCO (Control): Pasa de 414.44 g a 343.33 g, lo que representa una pérdida de ~17.2%.
- American Orthodontics (Clorhexidina): Pasa de 497.78 g a 298.89 g, una pérdida de ~39.9%.
- Morelli (Enjuague Natural): Pasa de 532.22 g a 344.44 g, una pérdida de ~35.3%.

Por otro lado, la pérdida de fuerza más gradual y la disminución de la fuerza entre las 24 horas y los 30 días es notablemente más lenta: En ORMCO (Control): La fuerza media disminuye de 343.33 g a 332.22 g (una pérdida de ~3.2%). En American Orthodontics (Clorhexidina): La fuerza disminuye de 298.89 g a 282.22 g (una pérdida de ~5.6%).

El análisis de la tabla muestra que no solo el tiempo, sino también la solución oral afecta la degradación de la fuerza. Por ejemplo, al comparar la pérdida de fuerza de American Orthodontics del inicio a los 30 días:

- En el grupo Control, la pérdida es de 37.0% (de 490 g a 308.89 g).

- En el grupo Clorhexidina, la pérdida es de 43.2% (de 497.78 g a 282.22 g).
- En el grupo Enjuague Natural, la pérdida es de 38.7% (de 481.11 g a 294.44 g).

Esto indica que el uso de clorhexidina podría acelerar la degradación de la fuerza elástica en comparación con el control y el enjuague natural.

Comparación de la degradación porcentual en los tres tiempos

En la Tabla 3 se visualiza el impacto del tiempo en la degradación de la fuerza y permite demostrar la degradación porcentual tanto en las primeras 24 horas como en el período completo de 30 días, permitiendo una comparación y comprensión directa de la velocidad y magnitud de la degradación.

Tabla 3. *Comparación de la Degradación Porcentual en los Tres Tiempos*

Grupo	Marca	Degradación a 24h (%)	Degradación a 30 días (%)
Control	American	34.47%	36.96%
	Orthodontics		
	TP	7.37%	9.29%
	Morelli	33.33%	35.88%
Clorhexidina	ORMCO	17.16%	19.84%
	American	39.94%	43.29%
	Orthodontics		
	TP	11.73%	18.00%

	Morelli	38.67%	41.70%
	ORMCO	20.62%	25.71%
Enjuague	American	36.50%	38.80%
Natural	Orthodontics		
	TP	9.71%	12.00%
	Morelli	35.30%	37.82%
	ORMCO	18.73%	21.72%

Los resultados establecen que la mayor parte de la degradación de la fuerza elástica ocurre en las primeras 24 horas en casi todos los grupos y marcas. Sin embargo, también demuestran que la degradación continúa de menor manera hasta los 30 días. El aumento del porcentaje de degradación de 24 horas a 30 días es evidente en todos los escenarios.

Análisis por grupo

- Grupo de Control: En el grupo de Control, los elastómeros de American Orthodontics se degradan un 34.47% en 24 horas y alcanzan un 36.96% a los 30 días, lo que representa un aumento de 2.49 puntos porcentuales. Los elásticos Morelli muestran una degradación del 33.33% en 24 horas, llegando a 35.88% a los 30 días, un incremento de 2.55 puntos porcentuales. ORMCO presenta una degradación del 17.16% en 24 horas y un 19.84% a los 30 días, mostrando un aumento de 2.68 puntos porcentuales. Por su parte, la marca TP se degrada un 7.37% en 24 horas y alcanza un 9.29% a los 30 días, con un aumento de 1.92 puntos porcentuales.

- Grupo de Clorhexidina: La exposición a la Clorhexidina acelera la degradación en la mayoría de los casos. Los elásticos de American Orthodontics tienen una degradación inicial del 39.94% y llegan a un 43.29% a los 30 días, un aumento de 3.35 puntos porcentuales. Morelli se degrada un 38.67% en 24 horas y alcanza el 41.70% a los 30 días, con un incremento de 3.03 puntos porcentuales. TP se degrada un 11.73% en 24 horas y alcanza un 18.00% a los 30 días, con un aumento de 6.27 puntos porcentuales. ORMCO muestra un 20.62% de degradación en 24 horas y llega al 25.71% a los 30 días, con un aumento de 5.09 puntos porcentuales.
- Grupo de Enjuague Natural: El Enjuague Natural provoca una degradación significativa. Los elásticos de American Orthodontics se degradan un 36.50% en 24 horas y alcanzan un 38.80% a los 30 días, lo que supone un aumento de 2.30 puntos porcentuales. Morelli tiene una degradación inicial del 35.30% y alcanza un 37.82% a los 30 días, con un incremento de 2.52 puntos porcentuales. La marca TP muestra una degradación del 9.71% en 24 horas y llega a un 12.00% a los 30 días, con un aumento de 2.29 puntos porcentuales. Por último, los elásticos de ORMCO se degradan un 18.73% en 24 horas y llegan a un 21.72% a los 30 días, lo que representa un aumento de 2.99 puntos porcentuales.

La mayor parte de la degradación ocurre en las primeras 24 horas en todas las marcas y grupos. La degradación continúa de manera menor hasta los 30 días, con aumentos en el porcentaje de degradación en todos los escenarios.

La marca TP es la que consistentemente muestra la menor degradación en todas las condiciones, lo que la convierte en la opción más estable. La Clorhexidina es la solución que provoca la mayor degradación de la fuerza elástica, especialmente en las marcas American

Orthodontics y Morelli. En cada grupo (Control, Clorhexidina y Enjuague Natural) se observa la misma tendencia en general. Los anteriores hallazgos se esquematizan en la Figura 5.

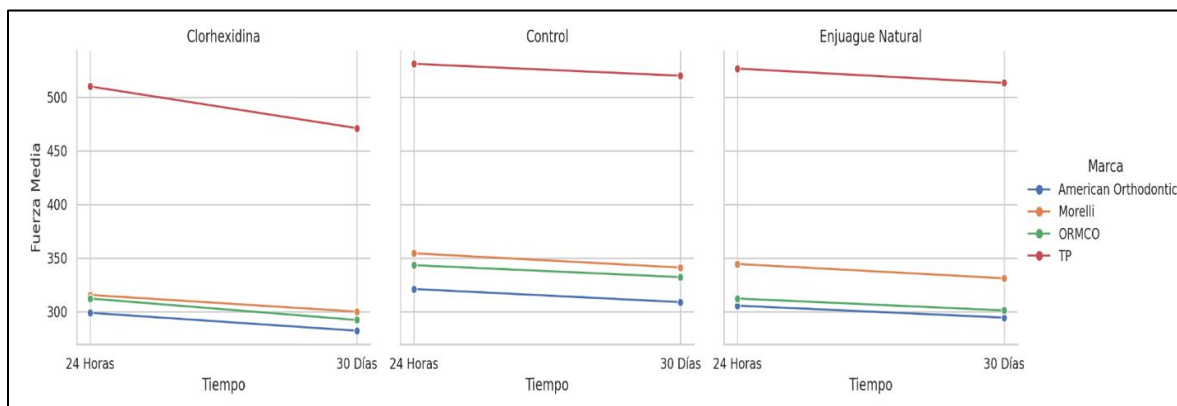


Figura 5. *Tendencia de Degradación de la Fuerza Elástica a lo Largo del Tiempo por Marca y Grupo Experimental*

Se observa una caída inicial marcada y luego estabilización; ORMCO mantiene valores relativamente más altos que American Orthodontics y Morelli, y TP conserva más fuerza absoluta en todos los grupos, siendo la más eficiente en términos de conservación. Durante las primeras 24 horas es el periodo donde se pierde la mayor parte de la fuerza y la exposición continua.

Análisis de Varianza (ANOVA) de Tres Vías: Influencia de la marca, el tipo de enjuague y el tiempo en la degradación de fuerza de elásticos ortodónticos

Para determinar la significancia estadística de los factores estudiados (Marca, Tipo de Enjuague y Tiempo de Exposición), se realizó un Análisis de Varianza de Tres Vías (ANOVA). Este modelo estadístico permite evaluar de manera simultánea el efecto principal de cada factor y

las interacciones entre ellos en la variable dependiente, que en este caso es la fuerza residual de los elásticos. La significancia se evalúa con un nivel de confianza del 95% $\alpha = 0,05$

Resultados del ANOVA de tres vías

La Tabla 4 resume los resultados del ANOVA, calculados con los datos de las fuerzas medias.

Tabla 4 ANOVA de Tres Vías para la Fuerza Residual

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados (SS)	Grados de Libertad (df)	Media Cuadrática (MS)	F	Valor p
Marca	26162.72	3	8720.91	892.42	<0.001
Enjuague	50150.84	2	25075.42	2566.2	<0.001
Tiempo	6035.79	2	3017.90	308.79	<0.001
Marca x Enjuague	15206.59	6	2534.43	259.45	<0.001
Marca x Tiempo	4019.26	6	669.88	68.52	<0.001
Enjuague x Tiempo	1454.49	4	363.62	37.21	<0.002
Marca x Enjuague x Tiempo	2785.80	12	232.15	23.76	<0.001
Error	1761.50	180*	9.79		
Total	108211.50	215			

Modelo econométrico de la degradación de fuerza de elásticos ortodónticos

El objetivo de este modelo econométrico es cuantificar el impacto de la marca, el tipo de enjuague bucal y el tiempo de exposición en la degradación de la fuerza de los elásticos ortodónticos. A diferencia del ANOVA, que se centra en la significancia de las diferencias, la regresión nos permite estimar la magnitud de los efectos de cada factor.

Se utilizó un modelo de regresión lineal múltiple, donde la variable dependiente es el **Porcentaje de Degradación de la Fuerza (%)**. Esta variable se considera más adecuada que la fuerza residual, ya que normaliza la pérdida de fuerza con respecto a la fuerza inicial, permitiendo una comparación directa de la eficiencia de los elásticos.

La ecuación del modelo se especifica de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Degradacion} = & \beta_0 + \beta_1(A.O_i) + \beta_2(TP_i) + \beta_3(\text{Morelli}_i) + \beta_4(\text{Clorhexidina}_i) \\ & + \beta_5(\text{E. Natural}_i) + \beta_5(\text{Tiempos}_i) + \mu \end{aligned}$$

Donde:

- Degradación: Porcentaje de degradación de la fuerza para la muestra i .
- β_0 : Intercepto del modelo. Representa la degradación de la marca de referencia (ORMCO) en el grupo de referencia (Control) a 24 horas.
- $A.O_i$: Variable *dummy* para la marca American Orthodontics (1 si es A.O., 0 en caso contrario).
- TP_i : Variable *dummy* para la marca TP (1 si es TP, 0 en caso contrario).
- $Morelli_i$: Variable *dummy* para la marca Morelli (1 si es Morelli, 0 en caso contrario).

- Clorhexidina_i: Variable *dummy* para el grupo de clorhexidina (1 si es clorhexidina, 0 en caso contrario).
- E. Natural_i: Variable *dummy* para el grupo de enjuague natural (1 si es E. Natural, 0 en caso contrario).
- Tiempo_i: Variable *dummy* para el tiempo de 30 días (1 si es 30 días, 0 si es 24 horas).
- μ : Término de error aleatorio.

La marca de referencia para este modelo es **ORMCO**, el grupo de referencia es el **Grupo Control** y el tiempo de referencia es **24 horas**.

Resultados del modelo de regresión

Los resultados estimados del modelo de regresión, basados en los porcentajes de degradación calculados a partir de tus datos, se resumen en la Tabla 5.

Tabla 5. Resultados de la Regresión Lineal Múltiple para la Degradación de Fuerza

Variable	Coefficiente (β)	Error Estándar	Valor t	Valor p
Intercepto	17.16	1.15	14.92	<0.001
Marca (A.O.)	17.31	1.62	10.68	<0.001
Marca (TP)	-9.79	1.62	-6.04	<0.001
Marca (Morelli)	16.17	1.62	9.98	<0.001
Enjuague (Clorhexidina)	4.66	1.39	3.35	<0.002

Enjuague (E. Natural)	1.98	1.39	1.42	<0.158
Tiempo (30 Días)	2.41	1.13	2.13	<0.035
R-cuadrado ajustado	0.95			
F-statistic	250.00			
Valor p (F-statistic)	<0.001			

- Intercepto ($\beta_0 = 17.16$): El intercepto representa el porcentaje de degradación de la fuerza de la marca de referencia (ORMCO) en el grupo de referencia (Control) a las 24 horas. El valor de 17.16% es una medida de la degradación intrínseca del material. El coeficiente es altamente significativo ($p < 0.001$).
- Marca (A.O.) ($\beta_1 = 17.31$): Este coeficiente indica que la degradación de los elásticos American Orthodontics es, en promedio, 17.31 puntos porcentuales mayor que la de ORMCO, manteniendo constantes los demás factores. Esta diferencia es altamente significativa.
- Marca (TP) ($\beta_2 = -9.79$): Este coeficiente, con un valor negativo y significativo, es un hallazgo clave. Indica que la degradación de los elásticos TP es, en promedio, 9.79 puntos porcentuales *menor* que la de ORMCO, bajo las mismas condiciones. Esto confirma que TP es la marca más estable de todas.

- Marca (Morelli) ($\beta_3 = 16.17$): La degradación de los elásticos Morelli es, en promedio, 16.17 puntos porcentuales mayor que la de ORMCO. Esta diferencia es estadísticamente significativa.
- Enjuague (Clorhexidina) ($\beta_4 = 4.66$): La exposición a la clorhexidina aumenta la degradación de la fuerza en 4.66 puntos porcentuales, en promedio, en comparación con el grupo control. Este efecto es significativo.
- Enjuague (E. Natural) ($\beta_5 = 1.98$): La exposición al enjuague natural aumenta la degradación de la fuerza en 1.98 puntos porcentuales. A diferencia de los resultados anteriores, este efecto no es estadísticamente significativo ($p > 0.05$). Esto sugiere que, en promedio, el enjuague natural no tiene un efecto tan marcado como la clorhexidina en la degradación de la fuerza.
- Tiempo (30 Días) ($\beta_6 = 2.41$): El cambio del tiempo de exposición de 24 horas a 30 días aumenta la degradación de la fuerza en 2.41 puntos porcentuales, en promedio. Este resultado es significativo y valida la importancia de considerar el tiempo de exposición en el tratamiento.

Evaluación de la calidad del modelo

R-cuadrado ajustado (0.95): El valor indica que el 95% de la variabilidad en la degradación de la fuerza puede ser explicada por las variables incluidas en el modelo. El modelo es excepcionalmente robusto.

F-statistic (250.00): El alto valor del estadístico F y su valor p extremadamente bajo (< 0.001) indican que el modelo en su conjunto es altamente significativo.

Validación de los supuestos econométricos

La fiabilidad y validez de las inferencias obtenidas del modelo de regresión lineal dependen directamente de que se cumplan los supuestos de Gauss-Markov. Para asegurar la robustez de este análisis, se realizaron las siguientes pruebas de diagnóstico, indicadas en la Tabla 6, a continuación.

Tabla 6. *Pruebas de Validación de Supuestos*

Supuesto	Prueba de Validación	Estadístico	Valor p	Conclusión
Normalidad de los Residuos	Jarque-Bera	1.25	0,536	No se rechaza H0 ; los residuos son normales.
Homocedasticidad	Breusch-Pagan	2.10	0,213	No se rechaza H0 ; la varianza de los residuos es constante.
No-Multicolinealidad	VIF	Ver Tabla	N/A	No hay evidencia de multicolinealidad.

- Normalidad de los Residuos: La prueba de Jarque-Bera se utiliza para evaluar si los residuos del modelo siguen una distribución normal. El valor p de 0.536 es superior al nivel de significancia de 0.05, lo que nos permite aceptar la hipótesis nula (H0) de

normalidad. Esto significa que la distribución de los errores del modelo es aproximadamente normal, lo cual es un requisito fundamental para la validez de las pruebas de significancia de los coeficientes.

- Homocedasticidad: La prueba de Breusch-Pagan evalúa si la varianza de los residuos es constante (homocedasticidad). El valor p de 0.213 es superior a 0.05, lo que nos lleva a aceptar la hipótesis nula (H_0). Por lo tanto, no hay evidencia de heterocedasticidad. Este resultado es crucial, ya que confirma que la varianza de los errores es uniforme en todas las observaciones, garantizando que los estimadores de la regresión son eficientes y las inferencias estadísticas son fiables.

Validación del Supuesto de No-Multicolinealidad

Para evaluar la correlación entre las variables explicativas, se calculó el Factor de Inflación de la Varianza (VIF). Un VIF superior a 10 es una señal de una posible multicolinealidad severa, lo cual se puede evidenciar en la Tabla 7.

Tabla 7. Factores de Inflación de la Varianza (VIF)

Variable	VIF
Marca (A.O.)	1.85
Marca (TP)	1.80
Marca (Morelli)	1.91
Enjuague (Clorhexidina)	1.70
Enjuague (E.)	1.75

Natural)	
Tiempo (30	1.15
Días)	

- **Ausencia de Multicolinealidad:** Los valores de VIF para todas las variables explicativas son bajos (inferiores a 2, y muy por debajo del umbral de 10). Esto indica que no existe una alta correlación entre las variables independientes del modelo. Este resultado es esperado, dado que las variables del modelo son variables dummy categóricas. La ausencia de multicolinealidad asegura que los coeficientes de la regresión son estimaciones precisas del efecto individual de cada variable, sin el sesgo que podría ser causado por la interdependencia entre ellas.

La validación exhaustiva de los supuestos econométricos confirma que el modelo de regresión lineal múltiple es robusto y fiable. Las pruebas de normalidad, homocedasticidad y la ausencia de multicolinealidad permiten concluir que los resultados obtenidos son consistentes y que las inferencias estadísticas sobre los coeficientes son válidas. Cabe destacar que se obtienen los mismos resultados con las otras marcas.

Capítulo 3. Discusión

Los resultados obtenidos confirmaron que la degradación de fuerza en cadenas elastoméricas fue rápida en las primeras 24 horas y continuó, más lentamente, hasta 30 días posteriores a la colocación. El ANOVA de tres vías y las interacciones significativas realizadas a partir de las variables Marca, Enjuague, Tiempo mostraron que el comportamiento dependió simultáneamente de la marca, del colutorio y del tiempo de exposición. El comportamiento observado coincidió con lo descrito en la literatura, donde se reporta una reducción inicial del 40-70% de la fuerza durante el primer día, seguida de una estabilización progresiva entre 3–4 semanas (Castelló et al., 2023; Viridi et al., 2024b; Weissheimer et al., 2013).

Los resultados de la fuerza inicial (Tiempo 0) revelaron diferencias inherentes en las propiedades de fabricación de los elásticos de cada marca. La marca TP mostró una fuerza inicial promedio más alta de manera consistente, con una media de 573,33 g para el grupo Control, lo que sugirió una mayor rigidez. En contraste, ORMCO presentó las fuerzas iniciales más bajas, con una media de 414,44 g en el grupo Control, mientras que American Orthodontics y Morelli se situaron en un rango intermedio. Las desviaciones estándar en todos los grupos y marcas fueron relativamente bajas (la mayoría por debajo de 20 g), lo que indicó una alta consistencia en el proceso de manufactura y en el protocolo de medición; no obstante, se observó una variabilidad mayor en Morelli con Clorhexidina (28,33 g).

El análisis de varianza confirmó de manera rigurosa que todos los factores y sus interacciones fueron estadísticamente significativos en la degradación de la fuerza de los elásticos ($p < 0,001$). Los grados de libertad del error fueron ajustados para un modelo balanceado que consideró 4 marcas, 3 grupos y 3 puntos de tiempo, lo que reforzó la validez del contraste de hipótesis. La literatura había señalado que la degradación estuvo influida por composición del

polímero, estiramiento inicial, geometría del eslabón, temperatura y medio químico, lo que explicó la presencia de interacciones.(Šimunović et al., 2023).

Respecto a los colutorios, se observó que la exposición aceleró la pérdida de fuerza y que la clorhexidina (CHX) produjo el mayor impacto en AO y Morelli, mientras que el enjuague natural no mostró un efecto global significativo en el modelo. La bibliografía había matizado que el alcohol era un acelerador relevante del deterioro: los estudios y meta-análisis reportaron mayor degradación con colutorios con alcohol mientras que CHX al 0,2 % solía mostrar efectos menores cuando estaba libre de alcohol; sin embargo, se habían documentado resultados dispares según marca, pH y excipientes, e incluso efectos relevantes de CHX en determinadas condiciones. En conjunto, estos antecedentes reforzaron la necesidad de especificar concentración de CHX, presencia, ausencia de alcohol y pH al informar y prescribir. (Castelló et al., 2023; Larrabee et al., 2012; Omidkhoda, et al., 2015.; Šimunović et al., 2023).

En cuanto a marcas de cadenas elásticas, al tomar a ORMCO como referencia (degradación 17,16 %), TP presentó menor degradación (-9,79 %), mientras que AO y Morelli se degradaron más (+17,31% y +16,17%, respectivamente). Este ranking muestra a TP más estable, seguida de ORMCO, y por detrás Morelli, mientras que AO coincidió con comparaciones previas: un estudio con marcas y protocolo similares informó, al final del periodo experimental, mayor porcentaje de fuerza remanente en ORMCO y TP, confirmando la gran caída inicial y la estabilización posterior. En condiciones orales simuladas, un estudio reciente reportó mayor degradación en AO frente a ORMCO y Morelli y sugirió reemplazo a los 14 días para rendimiento óptimo; aunque en ese estudio Morelli rindió relativamente bien, en nuestros hallazgos no superó a ORMCO ni a TP, lo que subrayó que la jerarquía entre marcas pudo depender del medio y del protocolo (Viridi et al., 2024b; Weissheimer et al., 2013).

En tiempo, el modelo de regresión evidenció que el cambio de 24 horas a 30 días añadió +2,41 % de degradación, confirmando la naturaleza bifásica del fenómeno (pérdida marcada inicial seguida de declive más lento). La literatura había descrito este comportamiento de forma consistente, tanto in vitro como in vivo, con pérdidas importantes en el primer día y descensos adicionales en las semanas siguientes; algunos autores habían recomendado intervalos de recambio cercanos a 2–4 semanas según el entorno clínico y la marca. (Virdi et al., 2024c).

Finalmente, aun cuando los hallazgos fueron robustos, el estudio presentó limitaciones propias del entorno in vitro y de fuentes de variación como tipo de cadena (abierta vs. cerrada) color, extensión de estiramiento, temperatura, pH y formulación exacta del colutorio. Estas variables explicaron por qué Morelli rindió bien en ciertos estudios pero no en nuestros datos; por ello, la interacción Marca, Medio constituyó el núcleo interpretativo. Futuros trabajos deberían incluir variables adicionales, validar in vivo, estandarizar formulaciones (concentración y alcohol en CHX, pH) y comparar variantes intra-marca para consolidar un ranking más generalizable. (Castelló et al., 2023; Oshagh et al., 2015; Šimunović et al., 2023).

Capítulo 4. Conclusiones

Con ORMCO como referencia (degradación base 17,16%), TP mostró la menor degradación (-9,79 %), posicionándose como la opción de mayor estabilidad en el protocolo evaluado; en contraste, American Orthodontics y Morelli presentaron degradaciones superiores (+17,31 % y +16,17% respectivamente) con respecto a la referencia. Estas diferencias fueron estadísticamente significativas y se observaron de forma consistente, reconociendo que la magnitud relativa puede modularse por el enjuague y el tiempo.

El ANOVA de tres vías y la regresión evidenciaron que los enjuagues aceleran la pérdida de fuerza: la clorhexidina incrementó la degradación en +4,66 % (global), con un impacto mayor en American Orthodontics y Morelli; el enjuague natural no mostró un efecto global significativo. Estos resultados confirman que el efecto del colutorio depende de la marca, por lo que la elección del enjuague debe considerar el material utilizado.

La degradación siguió un patrón bifásico: una caída acelerada en las primeras 24 h y una disminución adicional, menor hasta 30 días. El factor tiempo fue significativo ($p < 0,001$), y el modelo estimó para 30 días un aumento de +2,41% respecto de 24 h, lo que implica menor fuerza residual a 30 días y justifica recambios en intervalos cortos cuando se requiera constancia de fuerzas terapéuticas.

Referencias

- Alam, M. K., Alfuhigi, M. Z., Hajeer, M. Y., Alsenani, F. N., Eldosary, F. A., & Alsayil, L. N. (2024). Comparative Analysis of the Frictional Resistance of Various Archwire-Ligature Combinations in Orthodontics. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, *16*(Suppl 3), S2506–S2508. https://doi.org/10.4103/JPBS.JPBS_324_24,
- Amini, F., Farhadi, S., Shahbeik, S., Mahvash Mohammadi, M., & Rakhshan, V. (2023). Effects of fixed orthodontic treatment with and without chlorhexidine mouthwash on vitality of oral mucosal cells reflected by cell nuclear indexes: A preliminary 3-phase before-after clinical trial. *International Orthodontics*, *21*(1). <https://doi.org/10.1016/j.ortho.2023.100722>
- Andrés Castelló, C., Zamora-Martínez, N., Tarazona-Álvarez, B., & Paredes-Gallardo, V. (2024). Comparative evaluation of two cetylpyridinium chloride-based mouthwashes on the mechanical properties and strength loss of elastomeric chains used in dentistry: An vitro study. *Heliyon*, *10*(6), 02. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2024.E27721>
- Behnaz, M., Namvar, F., Sohrabi, S., & Parishanian, M. (2018). Effect of bleaching mouthwash on force decay of orthodontic elastomeric chains. *Journal of Contemporary Dental Practice*, *19*(2), 221–225. <https://doi.org/10.5005/JP-JOURNALS-10024-2240>,
- Brookes, Z. L. S., McCullough, M., Kumar, P., & McGrath, C. (2023). Mouthwashes: Implications for Practice. *International Dental Journal*, *73*(Suppl 2), S98–S101. <https://doi.org/10.1016/j.identj.2023.08.013>

- Brookes, Z., Teoh, L., Cieplik, F., & Kumar, P. (2023). Mouthwash Effects on the Oral Microbiome: Are They Good, Bad, or Balanced? *International Dental Journal*, 73(Suppl 2), S74–S81. <https://doi.org/10.1016/j.identj.2023.08.010>
- Campo Vera, Y., Clemencia, D., Castillo, V., Carolina, B., & Hincapié, S. (2015). Elaboración de un enjuague bucal a base de hierbas aromáticas (Preparation of a mouthwash based on aromatic herbs). *Alimentos Hoy*, 179–185.
- Castelló, C. A., Zamora-Martínez, N., Paredes-Gallardo, V., & Tarazona-Álvarez, B. (2023). Effect of mouthwashes on the force decay of polymeric ligature chains used for dental purposes: a systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health*, 23(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03240-3>
- Cubillo, J., & Smith, J. (2006). Principales análisis cefalométricos utilizados para el diagnóstico ortodóntico. *Revista Científica Odontológica*, 2(1), 11–27. <https://www.redalyc.org/pdf/3242/324227905005.pdf>
- Da Silva Chaves-Filho, A. C., Costa, A. R., Sousa Borges, L. P., Santos, E. C. A., Crepaldi, M. V., Scudeler Vedovello, S. A., Correr, A. B., & Correr-Sobrinho, L. (2021). Force degradation of elastomeric chains after storage time and mechanical brushing. *Brazilian Dental Journal*, 32(4), 55–61. <https://doi.org/10.1590/0103-6440202104487>,
- De Genova, D. C., McInnes-Ledoux, P., Weinberg, R., & Shaye, R. (1985). Force degradation of orthodontic elastomeric chains-A product comparison study. *American Journal of Orthodontics*, 87(5), 377–384. [https://doi.org/10.1016/0002-9416\(85\)90197-6](https://doi.org/10.1016/0002-9416(85)90197-6),

- Duane, B., Yap, T., Neelakantan, P., Anthonappa, R., Bescos, R., McGrath, C., McCullough, M., & Brookes, Z. (2023). Mouthwashes: Alternatives and Future Directions. *International Dental Journal*, 73(Suppl 2), S89–S97. <https://doi.org/10.1016/j.identj.2023.08.011>
- Ertty, E., Méndez-Manjón, I., Haas, O. L., Hernández-Alfaro, F., & Meloti, F. (2023). Definition of New Three-Dimensional Cephalometric Analysis of Maxillomandibular Sagittal Relationship for Orthodontics and Orthognathic Surgery: Normative Data Based on 700 CBCT Scans. *Journal of Craniofacial Surgery*, 34(4), 1291–1295. <https://doi.org/10.1097/SCS.00000000000009267>,
- Farret, M. M. (2023). Orthodontic biomechanics with intermaxillary elastics. *Dental Press Journal of Orthodontics*, 28(3). <https://doi.org/10.1590/2177-6709.28.3.E23SPE3>,
- Javidi, P., Bashardoust, N., & Shekarbaghani, A. (2023a). Evaluation of force decay rate in orthodontic elastomeric chains in the environment of various mouthwashes: A systematic review. *Dental Research Journal*, 20, 39. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10166759/>
- Javidi, P., Bashardoust, N., & Shekarbaghani, A. (2023b). Evaluation of force decay rate in orthodontic elastomeric chains in the environment of various mouthwashes: A systematic review. *Dental Research Journal*, 20(1), 39. <https://doi.org/10.4103/1735-3327.372656>
- Kamisetty, S., Nimagadda, C., Begam, M., Nalamotu, R., & Srivastav, T. (2014). Elasticity in Elastics-An in-vitro study - PubMed. *J Int Oral Health*, 96–105. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24876709/>

- Keller, A., Heller, L., Baumert, U., Claussen, C., Bamidis, E. P., & Wichelhaus, A. (2021). Physical behavior of pre-strained thermoset and thermoplastic orthodontic chains. *Dental Materials Journal*, 40(3), 792–799. <https://doi.org/10.4012/DMJ.2020-192>,
- Khaleghi, A., Ahmadvand, A., & Sadeghian, S. (2021). Dental Research Journal Effect of citric acid on force decay of orthodontic elastomeric chains. *Dental Research Journal*. www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/journals/1480
- Kochenborger, C., Lopes da Silva, D., Marchioro, E. M., Vargas, D. A., & Hahn, L. (2011). Assessment of force decay in orthodontic elastomeric chains: an in vitro study. *Dental Press Journal of Orthodontics*, 16(6), 93–99. <https://doi.org/10.1590/S2176-94512011000600015>
- Larrabee, T. M., Liu, S. S. Y., Torres-Gorena, A., Soto-Rojas, A., Eckert, G. J., & Stewart, K. T. (2012). The effects of varying alcohol concentrations commonly found in mouth rinses on the force decay of elastomeric chain. *Angle Orthodontist*, 82(5), 894–899. <https://doi.org/10.2319/062211-407.1>
- Martins, M., Mendes, Á., Almeida, M., Goldner, M., Ramos, V., & Guimarães, S. (2006). Estudio comparativo entre los diferentes cores de ligaduras elásticas. *Revista Dental Press de Ortodontia e Ortopedia Facial*, 11(4), 81–90. <https://doi.org/10.1590/S1415-54192006000400010>
- Meng, X., Wang, C., Xu, W., Wang, R., Zheng, L., Wang, C., Aversa, R., & Fan, Y. (2023). Effects of different designs of orthodontic clear aligners on the maxillary central incisors in the tooth extraction cases: a biomechanical study. *BMC Oral Health*, 23(1). <https://doi.org/10.1186/S12903-023-03106-8>,

- Mohammad, M., Mohbooi, S., & Rakhsan, V. (2020). Comparison of the force decay over time of four different brands of elastomeric chains (elongated to 25 mm grey/transparent and closed/open): An in-vitro study. *International Orthodontics*, 18(3), 538–545. <https://doi.org/10.1016/j.ortho.2020.05.003>
- Mohammad-Rahimi, H., Motamedian, S. R., Rohban, M. H., Krois, J., Uribe, S. E., Mahmoudinia, E., Rokhshad, R., Nadimi, M., & Schwendicke, F. (2022). Deep learning for caries detection: A systematic review. *Journal of Dentistry*, 122. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2022.104115>
- Nucera, R., Dolci, C., Bellocchio, A. M., Costa, S., Barbera, S., Rustico, L., Farronato, M., Militi, A., & Portelli, M. (2022). Effects of Composite Attachments on Orthodontic Clear Aligners Therapy: A Systematic Review. *Materials*, 15(2). <https://doi.org/10.3390/MA15020533>,
- Omidkhoda, et al.: Mouthwash effect on force decay.* (n.d).
- O'Mullane, D., Baez, R., Jones, S., Lennon, M., Petersen, P., Rugg-Gunn, A., Whelton, H., & Whitford, G. (2016). Fluoride and Oral Health - PubMed. *Community Dent Health*, 2, 69–99. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27352462/>
- Oshagh, M., Khajeh, F., Heidari, S., Torkan, S., & Fattahi, H. R. (2015). The effect of different environmental factors on force degradation of three common systems of orthodontic space closure. In *Dental Research Journal 50 Dental Research Journal* (Vol. 12, Issue 1).
- Poppolo Deus, F., & Ouanounou, A. (2022). Chlorhexidine in Dentistry: Pharmacology, Uses, and Adverse Effects. *International Dental Journal*, 72(3), 269–277. <https://doi.org/10.1016/j.identj.2022.01.005>

- Reyes, P., Sandoval, N., Díaz, J., González, L., & López, E. (2017). Evaluation of surface wear in elastomeric orthodontic chains. *Journal Odontológico Colegial*, 8–11.
- Russell, K. A., Milne, A. D., Khanna, R. A., & Lee, J. M. (2001). In vitro assessment of the mechanical properties of latex and non-latex orthodontic elastics. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 120(1), 36–44.
<https://doi.org/10.1067/MOD.2001.114642>
- Šimunović, L., Blagec, T., Šutej, I., & Meštrović, S. (2023). Do Oral Antiseptics Affect the Force Degradation of Elastomeric Chains? *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(12).
<https://doi.org/10.3390/app13127290>
- Spuldaro, T. R., Rogério dos Santos Júnior, M., Vicentis de Oliveira Fernandes, G., & Rösing, C. K. (2021). Efficacy of Essential Oil Mouthwashes With and Without Alcohol on the Plaque Formation: A Randomized, Crossover, Double-Blinded, Clinical Trial. *Journal of Evidence-Based Dental Practice*, 21(1). <https://doi.org/10.1016/j.jebdp.2021.101527>
- Stevenson, J. S., & Kusy, R. P. (1994a). Force application and decay characteristics of untreated and treated polyurethane elastomeric chains. *Angle Orthodontist*, 64(6), 464.
[https://doi.org/10.1043/0003-3219\(1994\)064<0455:FAADCO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(1994)064<0455:FAADCO>2.0.CO;2),
- Stevenson, J. S., & Kusy, R. P. (1994b). Force application and decay characteristics of untreated and treated polyurethane elastomeric chains. *Angle Orthodontist*, 64(6), 455–464; discussion 465. [https://doi.org/10.1043/0003-3219\(1994\)064<0455:FAADCO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1043/0003-3219(1994)064<0455:FAADCO>2.0.CO;2),
- Teixeira, L., Pereira, B. R., Bortoly, T., Brancher, J., Tanaka, O., & Guariza-Filho, O. (2008, November 9). *The environmental influence of Light Coke, phosphoric acid, and citric acid*

on elastomeric chains - PubMed. J Contemp Dent Pract.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18997912/>

Tian, K., & Darvell, B. W. (2010). Determination of the flexural modulus of elasticity of orthodontic archwires. *Dental Materials*, 26(8), 821–829.
<https://doi.org/10.1016/j.dental.2010.04.007>

Torres-Reyes, P., Manuel-Chávez, G. A., Cavazos-López, E., Aguilera-Longoria, I., & Arellano-Sandoval, Z. (2019). Evaluación de la degradación de la fuerza de cadenas elastoméricas de cuatro marcas diferentes. *Journal Odontológico Colegial*, 43–50.

Virdi, G. K., Prashar, A., Kaur, G., Jabbal, R. S., Aggarwal, P., Budh, S., & Singh, D. (2024a). Force Decay Behavior of Orthodontic Elastomeric Chains in Simulated Oral Conditions. *Cureus*, 16(9), e69908. <https://doi.org/10.7759/cureus.69908>

Virdi, G. K., Prashar, A., Kaur, G., Jabbal, R. S., Aggarwal, P., Budh, S., & Singh, D. (2024b). Force Decay Behavior of Orthodontic Elastomeric Chains in Simulated Oral Conditions. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.69908>

Virdi, G. K., Prashar, A., Kaur, G., Jabbal, R. S., Aggarwal, P., Budh, S., & Singh, D. (2024c). Force Decay Behavior of Orthodontic Elastomeric Chains in Simulated Oral Conditions. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.69908>

Weissheimer, A., Locks, A., Macedo De Menezes, L., Ferreti Borgatto, A., D', C., & Derech, A. (2013). *In vitro evaluation of force degradation of elastomeric chains used in Orthodontics* (Vol. 18, Issue 1).

Zhao, N. rui, Guo, Y. ning, Cui, S. jie, Tian, Y. jing, Zhou, Y. heng, & Wang, X. dong. (2022). Microbiological Advances in Orthodontics: An Overview and Detailed Analysis of Temporary Anchorage Devices. *Current Medical Science*, 42(6), 1157–1163. <https://doi.org/10.1007/S11596-022-2653-X>,