UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

DIRECCIÓN DE POSGRADOS

ESPECIALIZACIÓN EN ORTODONCIA

COMPARACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE FUERZA DE CADENETAS ELÁSTICAS ORTODÓNTICAS TRAS EXPOSICIÓN A COLUTORIOS CON CLORHEXIDINA O FLUORURO EN CONDICIONES SIMULADAS

ARTÍCULO CIENTÍFICO PREVIO OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN ORTODONCIA

AUTOR: OD. PAOLA ELIZABETH VIDAL CÁRDENAS

TUTOR: MGS. KATHERINE DE LOS ANGELES CUENCA LEÓN

AZOGUES - ECUADOR

2026

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

DIRECCIÓN DE POSGRADOS

ESPECIALIZACIÓN EN ORTODONCIA

COMPARACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE FUERZA DE CADENETAS ELÁSTICAS ORTODÓNTICAS TRAS EXPOSICIÓN A COLUTORIOS CON CLORHEXIDINA O FLUORURO EN CONDICIONES SIMULADAS

ARTÍCULO CIENTÍFICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN ORTODONCIA

AUTOR: OD. PAOLA ELIZABETH VIDAL CÁRDENAS

TUTOR: MGS. KATHERINE DE LOS ANGELES CUENCA LEÓN

AZOGUES- ECUADOR

2026

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

Universidad Católica de Cuenca

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

Paola Elizabeth Vidal Cárdenas portador(a) de la cédula de ciudadanía Nº **0104956545**. Declaro ser el autor de la obra: "**Comparación de la degradación de fuerza de cadenetas elásticas ortodónticas tras exposición a colutorios con clorhexidina o fluoruro en condiciones simuladas"**, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, **23 de octubre del 2026**

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
PAOLA ELIZABETH VIDAL CARDENAS

F: .....

Paola Elizabeth Vidal Cárdenas

C.I. 0104956545

Revista Científica UOD: Universidad Odontológica Dominicana
https://doi.org/10.5281/zenodo.21414892

INVESTIGACION ORIGINAL

Comparación de la degradación de fuerza de cadenetas elásticas ortodónticas tras exposición a colutorios con clorhexidina o fluoruro en condiciones simuladas

Comparison of Force Degradation of Orthodontic Elastic Chains After Exposure to Chlorhexidine or Fluoride Mouthrinses Under Simulated Conditions

Paola Elizabeth Vidal Cárdenas [1]. Katherine de los Ángeles Cuenca León [2]. Miriam Verónica Lima Illescas [3]

[1] Especialización en Ortodoncia, Universidad Católica de Cuenca, Campus Universitario Azogues. https://orcid.org/0009-0000-7466-7711

[2] Magister en Análisis Biológico y diagnóstico de Laboratorios, Docente Investigador en Universidad Católica de Cuenca. https://orcid.org/0000-0002-7816-0114

[3] Especialista en Ortodoncia, Docente Universidad Católica de Cuenca. https://orcid.org/0000-0001-6844-3826

Correspondencia:
paola.vidal.45@est.ucacue.edu.ec

Recibido: 22/06/2026
Aceptado: 22/07/2026
Publicado: 24/07/2026

RESUMEN

Introducción: Las cadenetas elastoméricas de segunda generación ofrecen mayor estabilidad gracias a su memoria elástica, pero siguen siendo susceptibles a la degradación por condiciones orales y por exposición a ciertas formulaciones orales. Dado que estos productos pueden alterar sus propiedades mecánicas, resulta fundamental evaluar su efecto para una adecuada selección clínica. Objetivo: comparar cuantitativamente los patrones de degradación de la fuerza entre tres marcas de cadenas elastoméricas expuestas a colutorios bucales a base de clorhexidina y flúor durante 28 días en condiciones bucales simuladas. Metodología: Estudio experimental in vitro con cadenetas grises de TP Orthodontics®, American Orthodontics® y Ormco®. Se analizaron 180 segmentos distribuidos en grupo control, Encident Brackets® (clorhexidina 0.04%) y Ortodent Brackets® (xilitol + fluoruro). Las muestras fueron estiradas a 30 mm, mantenidas en saliva artificial a 37 °C y expuestas diariamente a los colutorios. La fuerza se evaluó en seis tiempos (T0–T5) mediante un dinamómetro digital. Se aplicaron ANOVA y prueba de Tukey. Resultados: Todas las cadenetas perdieron fuerza progresivamente. TP Orthodontics® mostró la mayor estabilidad, American Orthodontics® la mayor degradación y Ormco® un comportamiento intermedio. El grupo control y Encident Brackets® presentaron efectos similares, mientras que Ortodent Brackets® generó la reducción más marcada. La prueba de Tukey confirmó diferencias significativas en la mayoría de comparaciones. Conclusión: La degradación de fuerza depende tanto de la marca como del colutorio. TP Orthodontics® conservó mejor sus propiedades, mientras que Ortodent Brackets® produjo la mayor pérdida. Estos resultados subrayan la importancia de seleccionar adecuadamente el colutorio y el tipo de cadeneta en la práctica ortodóntica.

Palabras clave: Ortodoncia. Elastómeros. Materiales dentales. Enjuagues bucales.

ABSTRACT

Introduction: Second-generation elastomeric chains offer greater stability due to their elastic memory; however, they remain susceptible to degradation caused by oral conditions and certain mouthwashes. Since these products can alter their mechanical properties, evaluating their effects is essential for appropriate clinical selection. Objective: To evaluate in vitro the tensile force degradation of elastomeric chains exposed to different mouthwashes and determine which formulation best preserves their mechanical properties. Methodology: An in vitro experimental study was conducted using gray elastomeric chains from TP Orthodontics®, American Orthodontics®, and Ormco®. A total of 180 segments

were assigned to a control group, Encident Brackets® (0.04% chlorhexidine), and Ortodent Brackets® (xylitol + fluoride). Samples were stretched to 30 mm, stored in artificial saliva at 37 °C, and exposed daily to the mouthwashes. Force was measured at six time points (T0–T5) using a digital dynamometer. ANOVA and Tukey's test were applied. Results: All elastomeric chains exhibited progressive force loss. TP Orthodontics® demonstrated the highest stability, American Orthodontics ® showed the greatest degradation, and Ormco ® presented an intermediate behavior. The control group and Encident Brackets® produced similar effects, whereas Ortodent Brackets® resulted in the most pronounced reduction. Tukey's test confirmed statistically significant differences in most comparisons. Conclusion: Force degradation depends on both the brand of elastomeric chain and the type of mouthwash. TP Orthodontics® best preserved its mechanical properties, while Ortodent Brackets® caused the greatest loss. These findings highlight the importance of selecting both the mouthwash and the elastomeric chain type carefully in orthodontic practice.
Keywords: Orthodontics. Elastomers. Dental materials. Mouthwashes.

INTRODUCCIÓN

Los tratamientos de ortodoncia son procedimientos clínicos realizados por odontólogos con el objetivo de corregir las malposiciones dentarias y mejorar la armonía oclusal. Para ello, es frecuente el uso de cadenetas elastoméricas de segunda generación, las cuales representan un avance significativo en la evolución de los materiales ortodónticos ([1–3]). Estas cadenetas elastoméricas, elaboradas con elastómeros de poliuretano, están diseñadas para cumplir funciones esenciales como nivelación, rotación dental, cierre de espacios, entre otras aplicaciones clínicas ([1,4–6]).

A diferencia de las cadenetas elastoméricas convencionales, las de segunda generación se fabrican mediante procesos de termofijación, lo que les confiere una denominada "memoria elástica ([7]). Esta propiedad les permite mantener su fuerza activa durante periodos prolongados y resistir la deformación permanente, optimizando la biomecánica del movimiento dentario al proporcionar una fuerza más constante, controlada y sostenida en el tiempo ([8]).

No obstante, a pesar de sus ventajas, estos materiales aún presentan limitaciones como decoloración, acumulación de placa bacteriana, pérdida de resistencia y deterioro de sus propiedades mecánicas. Dichos cambios se intensifican tras la aplicación de fuerza, provocando una disminución exponencial en su efectividad ([1,4,8–10]). Las cadenas elastoméricas de poliuretano experimentan una degradación progresiva debido a la orientación molecular inducida por el estiramiento y la oxidación de grupos metileno, lo que debilita su estructura[7]. Esta degradación reduce su capacidad de recuperación elástica y conlleva a una pérdida de fuerza con el tiempo, especialmente bajo condiciones de tensión constante o exposición a ambientes biológicos, que incluyen factores como la temperatura, la composición salival, la exposición a formulaciones orales, la presencia de enzimas, bebidas, variaciones del pH y hábitos alimentarios ([8,10]). Por tanto, cualquier modificación del medio bucal puede acelerar el proceso de degradación de la fuerza elastoméricas ([9,11,12]).

Adicionalmente, la presencia de aparatología ortodóncica favorece la acumulación de microorganismos, en particular bacterias productoras de ácidos, las cuales contribuyen a la desmineralización del esmalte, el desarrollo de caries y la aparición de procesos inflamatorios gingivales. Por esta razón, es habitual el uso de colutorios antimicrobianas con el fin de controlar su proliferación ([2,13]). Estos productos están formulados para actuar contra bacterias cariogénicas y periodonto patógenas, reduciendo el riesgo de enfermedades bucodentales ([14–16]). Sin embargo, se ha evidenciado que, además de disminuir la carga microbiana, algunas soluciones pueden alterar las características físicas y mecánicas de los materiales ortodónticos. Su uso frecuente, junto con ciertos agentes presentes en su composición, puede acelerar la degradación de la fuerza en las cadenetas elastoméricas, comprometiendo su desempeño mecánicas, en consecuencia, su efectividad clínica ([1,16,17]).

Entre los agentes antimicrobianos más utilizados en pacientes con ortodoncia fija destaca el gluconato de clorhexidina. Asimismo, soluciones a base de xilitol y fluoruro de sodio ([18–20]). Considerando la amplia disponibilidad de colutorios en el mercado y las diferencias entre sus composiciones químicas, es esencial comprender cómo estos productos pueden influir en la fuerza y durabilidad([5,12]). Analizar su impacto permite optimizar la selección e indicación, sin comprometer la biomecánica del tratamiento ortodóntico ([21]).

Por ello, el objetivo de esta investigación fue comparar cuantitativamente los patrones de degradación de la fuerza entre tres marcas de cadenas elastoméricas expuestas a colutorios bucales a base de clorhexidina y flúor durante 28 días en condiciones bucales simuladas, con el propósito de determinar cuál de ellas conserva de mejor manera sus propiedades mecánicas y, en consecuencia, su eficacia clínica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio experimental in vitro, con código de registro CEISH-UCACUE-2024-121, fue exonerado de aprobación por el Comité de Ética en Investigación en Seres Humanos de la Universidad Católica de Cuenca, debido a que se trabajó exclusivamente con materiales ortodónticos inertes, sin involucrar la participación de seres humanos, animales, ni el uso de muestras biológicas.

Muestra

Se evaluaron cadenas elastoméricas de color gris de las marcas TP Orthodontics® (TP Orthodontics, Inc, Indiana, EE.UU.; lote:DoMo526285), American Orthodontics® (American Orthodontics, Inc Wisconsin, EE. UU.; lote:P0497408) y Ormco® (Ormco Corporation, Orange, California, EE. UU; lote:102439899). De cada marca se obtuvieron sesenta segmentos de cadeneta elastomérica, obteniéndose un total de 180 segmentos los cuales se dividieron en tres grupos (20 segmentos por grupo): un grupo control y dos grupos experimentales ([9,11]). Cada muestra de cadeneta estaba compuesta por cuatro eslabones, con un eslabón adicional con el fin de prevenir daños durante la manipulación, obteniéndose un total de 180 segmentos.

Prueba Piloto

Previo al inicio del estudio principal, se realizó una prueba piloto con el objetivo de evaluar la viabilidad del protocolo experimental y ajustar los procedimientos técnicos. Para ello, se seleccionó una muestra equivalente al 10 % del total, correspondiente a 18 cadenetas, las cuales fueron sometidas a las mismas condiciones establecidas para el estudio definitivo. Los resultados permitieron identificar y corregir dificultades metodológicas, así como calibrar los instrumentos de medición, garantizando la precisión y confiabilidad de los datos.

Formulaciones orales evaluadas

Los colutorios empleados en este estudio fueron Encident Brackets (Blenastor, CA., Quito, Ecuador.; lote:25EB02008), cuya composición incluye gluconato de clorhexidina al 0,04 %, xilitol al 10 %, sorbitol y extracto de flor de manzanilla (pH: 6,5); y Ortodent Brackets® (Lamosan, S.A.S., Bogotá, Colombia.; lote:25080160), formulado con xilitol al 6 %, fluoruro de sodio y triclosán como agente activo (pH:5,5).

Estas soluciones fueron seleccionadas debido a su uso frecuente como coadyuvantes en pacientes con ortodoncia fija y a sus diferentes composiciones químicas, las cuales podrían influir de manera diferenciada en la degradación de las propiedades mecánicas de las cadenetas elastoméricas.

Montaje experimental

Se fabricaron nueve bases acrílicas de 22 cm × 6 cm, cada una con 20 pares de pines de acero inoxidable separados 30 mm entre sí, representando la distancia interdentaria entre canino y primer molar. Los 180 segmentos fueron montados de manera estandarizada sobre los pines. Durante todo el periodo experimental, todas las muestras se mantuvieron íntegras, sin presentar roturas ni fallas estructurales, por lo que ninguna fue excluida del análisis (Figura 1).

Medición de la fuerza

Las fuerzas ejercidas por las cadenetas elastoméricas se midieron en seis intervalos de tiempo: medición inicial en condición húmeda (T0), a las 24 horas (T1), a los 7 días (T2), a los 14 días (T3), a los 21 días (T4) y a los 28 días (T5) (Figura 1).

Todas las mediciones se realizaron utilizando un medidor digital de fuerza (Baoshishan, China), calibrado en gramos-fuerza (gf). El dispositivo fue validado y calibrado antes de cada sesión de medición siguiendo las especificaciones del fabricante, asegurando la precisión de las lecturas. La longitud de estiramiento de las cadenetas se estandarizó mediante una elongación controlada equivalente a 8 cm, la cual correspondió a una fuerza inicial aproximada de 300 gf, de acuerdo con la calibración previa del medidor y la curva fuerza-elongación del material ([5]). Durante la medición, un extremo de la cadeneta se mantuvo fijo mediante un pin, mientras que el otro extremo se sujetó al medidor de fuerza. Las lecturas se efectuaron manteniendo las cadenetas estiradas a una longitud constante de 30 mm entre puntos de referencia, asegurando condiciones uniformes durante todas las evaluaciones. La tensión inicial de 300 gf fue seleccionada por corresponder a valores clínicamente utilizados en ortodoncia para el cierre de espacios y por estar respaldada por estudios previos que describen este rango como biomecánicamente efectivo y biológicamente aceptable.

Con el fin de garantizar la reproducibilidad de los datos, cada medición se realizó por triplicado, registrándose el promedio de las tres lecturas como valor final. Después de cada registro, el medidor fue reiniciado a cero antes de proceder con la siguiente medición. Todas las mediciones fueron realizadas por un único operador previamente calibrado, con el objetivo de asegurar la estandarización del procedimiento.

Condiciones de almacenamiento

Durante todo el período experimental, las muestras fueron almacenadas en recipientes de vidrio cubiertos con saliva artificial (pH: 6,49), elaborada por FormaLab (Cuenca, Ecuador). Las muestras se mantuvieron en una incubadora (Memmert, Alemania) a 37 °C, con el fin de simular la temperatura bucal (Figura 1).

Protocolo de inmersión en formulaciones orales

Las muestras experimentales fueron retiradas diariamente de la saliva artificial, lavadas con agua destilada y sumergidas en el colutorio correspondiente durante 2 minutos, una vez al día, limpiadas con agua destilada y almacenadas en saliva artificial el resto del tiempo([22]). Durante todo el estudio, las cadenetas elastoméricas se mantuvieron bajo tensión continua, sin reinicialización de la fuerza aplicada, conservando la distancia interpin de 30 mm previamente establecida, con el fin de simular las condiciones clínicas de tracción constante en ortodoncia fija. Tras la inmersión, las muestras fueron reincorporadas al recipiente principal que contenía saliva artificial. Diariamente se adicionó saliva artificial al mismo recipiente, sin realizar el recambio completo del medio, con el fin de mantener un volumen adecuado y favorecer la estabilidad de las condiciones químicas durante el período experimental. Previo a cada reincorporación de las muestras, el contenido del recipiente fue sometido a una agitación suave y estandarizada, con el objetivo de homogenizar la solución sin generar tensiones mecánicas adicionales sobre las cadenetas elastoméricas ([22]).

Durante todo el estudio, las muestras permanecieron en reposo, sin agitación continua, y fueron incubadas a 37 °C.

Figura 1. Esquema del diseño experimental para la evaluación in vitro de la pérdida de fuerza de las cadenetas elastoméricas.



Análisis Estadísticos

Se llevó a cabo un análisis descriptivo de los datos, calculándose la media y la desviación estándar de la fuerza de las cadenetas elastoméricas en función del tiempo de evaluación y de las distintas soluciones de inmersión. La normalidad de la distribución de los datos fue verificada mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Para el análisis inferencial se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas con dos factores (solución de inmersión y tiempo), con el objetivo de evaluar los efectos principales y la interacción entre ambos factores. Cuando se detectaron diferencias estadísticamente significativas, se empleó la prueba post hoc de Tukey HSD para las comparaciones múltiples. El nivel de significancia estadística se estableció en $p < 0,05$.

La edición de las tablas se realizó mediante Microsoft Excel 2015, mientras que el procesamiento de los datos, la aplicación de las pruebas estadísticas y la elaboración de los gráficos se efectuaron utilizando el software SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), versión 25.0.

RESULTADOS

Durante todo el período experimental se observó una disminución progresiva de la fuerza elástica de las cadenetas en todas las marcas y soluciones evaluadas (Tabla 1).

Comportamiento de la fuerza según la marca de cadenetas elastoméricas.

Al analizar las marcas de forma global, independientemente de la solución de inmersión (Tabla 1), TP Orthodontics® presentó la mayor estabilidad de fuerza a lo largo del tiempo. Su valor medio inicial fue aproximadamente 843 gf en To, disminuyendo gradualmente hasta alrededor de 460 gf en T5, lo que representa una pérdida aproximada del 45 % al final del período experimental.

Por el contrario, Ormco® mostró una reducción más marcada, pasando de valores iniciales cercanos a 590 gf a aproximadamente 277 gf en T5, equivalente a una pérdida de fuerza cercana al 53%. Finalmente, American Orthodontics® evidenció la mayor degradación relativa, con valores iniciales alrededor de 630 gf y un descenso hasta aproximadamente 277 gf en T5, lo que corresponde a una reducción cercana al 56 % de la fuerza inicial (Tabla 1).

Comportamiento de la fuerza según la solución de inmersión

El análisis de las soluciones de inmersión a lo largo del tiempo (Tabla 1) mostró que el grupo control y el grupo

Encident Brackets® presentaron trayectorias similares. En ambos casos, los valores iniciales medios fueron de aproximadamente 689gf, con una disminución progresiva y comparable en cada tiempo de evaluación, sin diferencias estadísticamente significativas entre estas dos condiciones ($p > 0,05$). Este comportamiento sugiere que la formulación Encident Brackets® no altera de forma relevante la degradación de fuerza respecto al medio control (Tabla 1).

En contraste, el grupo Ortodent Brackets® evidenció un comportamiento significativamente distinto. Desde T1 (24 horas) se observó una caída más pronunciada de la fuerza, pasando de 694,03gf en To a 360,43gf en T1, con una disminución progresiva, hasta alcanzar los valores más bajos del estudio en T5 (285,70gf). Las diferencias entre Ortodent Brackets® y los otros grupos fueron estadísticamente significativas desde T1 hasta T5 ($p < 0,001$; ANOVA de medidas repetidas).

Tabla 1: Comparación de la pérdida de fuerza de las cadenetas elastoméricas y las soluciones de inmersión en los diferentes tiempos.

			To	T1	T2	T3	T4	T5
Marca de cadenas elastómeras	Ormco	Media	590.311	358.04	348.80	329.88	295.76	277.21
		D.E	±41.83	±111.26	±108.13	±94.79	±52.70	±54.19
	American Orthodontics	Media	632.49	385.04	394.37	350.10	300.73	277.39
		D.E	±50.57	±141.65	±116.40	±104.91	±39.99	±2.39
	TP Orthodontics	Media	843.62	638.81	585.56	551.89	503.27	460.48
		D.E	±54.88	±147.14	±123.56	±113.32	±143.13	±105.80
		P	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*
Soluciones de inmersión	Grupo Control	Media	689.85	630.33	585.09	540.83	458.02	425.03
		D.E	±122.94	±142.18	±130.01	±122.95	±165.43	±129.77
	Encident Brackets	Media	689.82	630.33	585.09	540.83	458.02	425.03
		D.E	±122.94	±142.18	±130.01	±122.95	±139.43	±129.39
	Ortodent Brackets	Media	694.03	360.43	353.46	332.04	322.2	285.70
		D.E	±124.57	±107.52	±91.26	±87.08	±84.53	±67.96
		P	0.8730	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*

gf: gramos fuerza
Nivel de significancia de 5% (p<0.05)*
ANOVA de medidas repetidas

Interacción entre marca y solución de inmersión

La comparación combinada entre marcas y soluciones de inmersión se presenta en la (Tabla 2).

En el grupo control, todas las marcas mostraron una disminución continua de la fuerza a lo largo del tiempo. Ormco® descendió de 602,7gf en To a 394,23gf en T5, American Orthodontics® de 621,25 a 326,09 gf, y TP Orthodontics® de 845,75 a 600 gf. En los tres casos, la reducción fue estadísticamente significativa ($p < 0,001$) (Tabla 2).

En las muestras expuestas a Encident Brackets®, Ormco® disminuyó de 576,80 a 244,35 gf, American Orthodontics® de 640,62 a 258,32 gf, y TP Orthodontics® de 830,19 a 304,34 gf en T5, evidenciando pérdidas significativas de fuerza en todas las marcas ($p < 0,001$).

En el grupo Ortodent Brackets®, la degradación fue más acentuada. Ormco® pasó de 591,38 gf en To a 238,27 gf en T5, American Orthodontics® de 635,61 a 247,75 gf, y TP Orthodontics® de 855,11 a 371,07 gf. Las diferencias fueron estadísticamente significativas en todos los tiempos evaluados ($p < 0,001$), confirmando el mayor efecto deletéreo de esta formulación (Tabla 2).

https://doi.org/10.5281/zenodo.21414892

Tabla 2: Comparación estadística entre marcas de cadenas elastoméricas y las formulaciones de inmersión en los diferentes tiempos.

Soluciones de inmersión	Marca de cadenas elastoméricas		To	T1	T2	T3	T4	T5
Grupo control	Ormco	Media	602.74	505.93	488.15	451.56	363.99	349.01
		D.E	±41.10	±53.73	±69.35	±59.06	±23.88	±22.10
	American Orthodontics	Media	621.25	578.99	534.14	485.93	347.62	326.09
		D.E	±68.05	±49.79	±74.62	±65.95	±30.97	±20.03
	TP Orthodontics	Media	845.57	806.07	733.00	685.01	662.46	600.01
		D.E	±45.48	±76.41	±80.37	±75.25	±29.43	±27.82
		P	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*
Encident Brackets	Ormco	Media	576.81	276.57	275.30	273.51	265.35	244.35
		D.E	±41.51	±14.40	±15.52	±18.06	±14.64	±9.60
	American Orthodontics	Media	640.62	341.58	285.54	281.42	274.19	258.32
		D.E	±42.98	±57.72	±17.58	±19.06	±15.40	±10.72
	TP Orthodontics	Media	830.19	611.28	553.67	522.06	410.36	304.34
		D.E	±59.93	±68.83	±38.31	±49.71	±29.60	±45.80
		P	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*
Ortodent Brackets	Ormco	Media	591.38	291.60	282.95	264.59	257.96	238.27
		D.E	± 39.80	±26.35	±23.83	±25.94	±21.47	±19.60
	American Orthodontics	Media	635.61	307.41	290.60	282.95	280.40	247.75
		D.E	±35.36	±45.13	±10.72	±18.08	±16.71	±9.05
	TP Orthodontics	Media	855.11	499.09	470.03	448.60	427.70	371.07
		D.E	±57.96	±68.83	±38.60	±30.33	±29.60	±45.80
		P	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*

gf: gramos fuerza
*Nivel de significancia de 5% (p<0.05 *)*
ANOVA de medidas repetidas

Comparaciones múltiples entre marcas

La prueba post hoc de Tukey HSD (Tabla 3) permitió comparar las marcas de cadenetas elastoméricas en cada tiempo y condición de inmersión. De forma consistente, TP Orthodontics® mostró valores de fuerza significativamente mayores en comparación con Ormco® y American Orthodontics® en prácticamente todos los tiempos y soluciones ($p < 0,001$).

En To, no se observaron diferencias significativas entre Ormco® y American Orthodontics® en el grupo control ($p=0,517$), mientras que sí se evidenciaron diferencias en Encident Brackets® y Ortodent Brackets® ($p < 0,01$) (Tabla 3). Desde T1 hasta T4, Ormco® y American Orthodontics® mostraron comportamientos estadísticamente similares en la mayoría de las condiciones ($p > 0,05$), mientras que TP Orthodontics® mantuvo diferencias significativas frente a ambas marcas en todas las formulaciones ($p < 0,001$).

En T5, al final del período experimental, TP Orthodontics® conservó diferencias significativas frente a las otras marcas en los tres medios de inmersión ($p < 0,001$). Ormco® y American Orthodontics® continuaron siendo estadísticamente similares en el grupo control y en Encident Brackets® ($p > 0,05$), pero presentaron diferencias significativas en Ortodent Brackets® ($p < 0,01$) (Tabla 3).

Tabla 3: Comparación múltiples en parejas

			Grupo control	Encident Brackets	Ortodent Brackets
To	Ormco	American Orthodontics	0.517	0.000*	0.009*
		TP Orthodontics	0.000*	0.000*	0.000*
	TP Orthodontics	American Orthodontics	0.000*	0.000*	0.000*
T1	Ormco	American Orthodontics	0.001*	0.812	0.997
		TP Orthodontics	0.000*	0.000*	0.000*
	TP Orthodontics	American Orthodontics	0.000*	0.000*	0.000*
T2	Ormco	American Orthodontics	0.137	0.000*	0.100
		TP Orthodontics	0.000*	0.000*	0.000*
	TP Orthodontics	American Orthodontics	0.000*	0.000*	0.000*
T3	Ormco	American Orthodontics	0.247	0.723	0.65*
		TP Orthodontics	0.000*	0.000*	0.000*
	TP Orthodontics	American Orthodontics	0.000*	0.000*	0.000*
T4	Ormco	American Orthodontics	0.791	0.665	0.155
		TP Orthodontics	0.000*	0.000*	0.000*
	TP Orthodontics	American Orthodontics	0.000*	0.000*	0.000*
T5	Ormco	American Orthodontics	0.106	0.883	0.000*
		TP Orthodontics	0.000*	0.000*	0.000*
	TP Orthodontics	American Orthodontics	0.000*	0.000*	0.000*

*Nivel de significancia de 5% (p<0.05 *)*
Prueba post hoc de Tukey.

DISCUSIÓN

Entre los agentes antimicrobianos más utilizados en pacientes con ortodoncia fija destaca el gluconato de clorhexidina. Asimismo, soluciones a base de xilitol y fluoruro de sodio ([18–20]). Considerando la amplia disponibilidad de formulaciones orales en el mercado y las diferencias entre sus composiciones químicas, es esencial comprender cómo estos productos pueden influir en la fuerza y durabilidad ([5,12]).

Diversos estudios han demostrado que las cadenetas elastoméricas de poliuretano experimentan una degradación progresiva de la fuerza tras su activación, fenómeno atribuido a la naturaleza viscoelástica del material y a su interacción con el medio oral. No obstante, la magnitud y la cinética de esta pérdida de fuerza varían de manera significativa según la marca, la formulación del poliuretano y el entorno químico al que se exponen, lo que refuerza la necesidad de analizar estos materiales desde una perspectiva clínica y biomecánica integrada. Este comportamiento ha sido descrito previamente por Weissheimer et al.[23] y Vivanco Armijos et al.[24] quienes destacan la alta sensibilidad del

poliuretano frente a agentes químicos, variaciones de pH y condiciones ambientales simuladas.

Desde un análisis comparativo, las tres marcas evaluadas presentaron curvas de degradación claramente diferenciadas, tanto en la magnitud inicial de fuerza como en la pendiente de pérdida a lo largo del tiempo (Figura 2). TP Orthodontics® mostró la mayor estabilidad mecánica, con valores iniciales cercanos a 843–850 gf y una disminución progresiva más lenta, alcanzando aproximadamente 460 gf en T5. Este comportamiento refleja una respuesta mecánica más uniforme, asociada a una menor relajación viscoelástica y a una mayor resistencia a la deformación plástica. De acuerdo con lo descrito por Kanchana P et al[25]. y Virdi et al.[26], estas características podrían explicarse por una formulación del material con un módulo elástico más elevado, una mayor densidad de enlaces uretano y un menor contenido de plastificantes, lo que contribuiría a una mayor estabilidad de la fuerza aplicada.

En concordancia al presente estudio, Kochenborger et al. [27] y AlMogbel et al.[28] demostraron que las cadenetas de TP Orthodontics® presentan una menor pérdida de fuerza en comparación con Ormco® y American Orthodontics®, tanto en saliva artificial como bajo condiciones de estiramiento continuo, especialmente durante las primeras 24–48 horas, consideradas un periodo crítico para la estabilidad clínica del material.

Por el contrario, American Orthodontics® evidenció una pendiente de degradación más pronunciada, particularmente en medios químicos, posicionándose como la marca con mayor pérdida de fuerza acumulada. Aunque sus valores iniciales superaron a los de Ormco®, la rapidez de la degradación sugiere una mayor susceptibilidad del poliuretano a procesos de plastificación superficial y ruptura de enlaces intermoleculares. Estos hallazgos coinciden con los de Virdi et al.[26], y Weissheimer et al.[23], quienes demostraron que las diferencias intermarcas se manifiestan principalmente en la fase temprana de uso clínico, más que en los valores finales de fuerza. Kanchana et al.[25] enfatizan que, aun cuando distintas marcas pueden converger hacia valores finales similares, la dinámica de degradación, la forma de la curva varía considerablemente entre fabricantes, lo que explica los resultados heterogéneos observados entre Ormco® y American Orthodontics® (Figura 2).

Desde una perspectiva clínica, estos resultados son altamente relevantes; una mayor degradación temprana, como la observada en American Orthodontics® y Ormco®, podría implicar la necesidad de intervalos de recambio más cortos para mantener fuerzas biológicamente efectivas, mientras que materiales más estables, como TP Orthodontics®, permitirían una mayor predictibilidad biomecánica y una reducción en la frecuencia de activaciones.

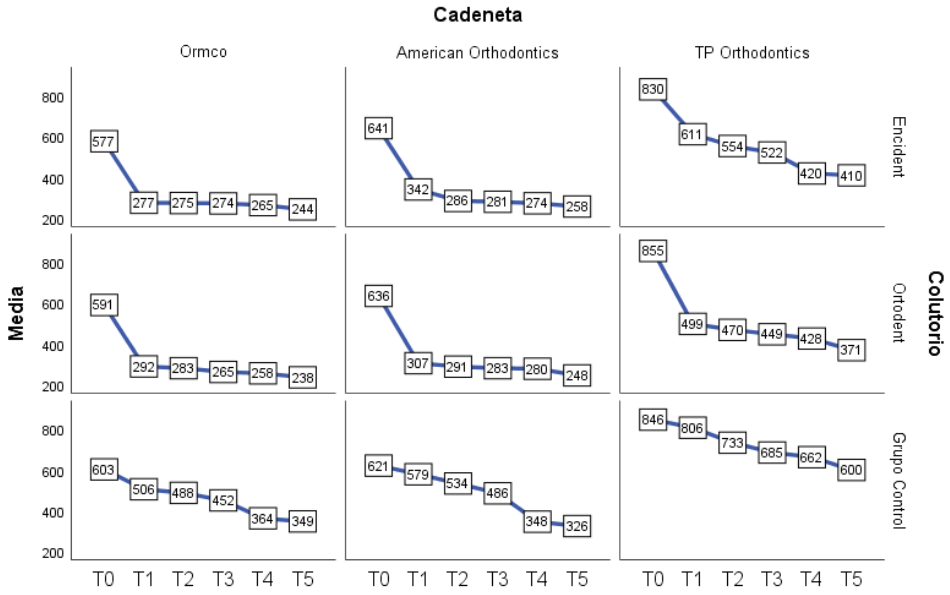
En relación con el entorno químico, Encident Brackets® mostró un comportamiento comparable al grupo control tanto
en Ormco® como en American Orthodontics®, lo que sugiere la presencia de componentes capaces de acelerar la degradación del poliuretano. Este efecto puede explicarse por mecanismos químicos bien descritos en la literatura: la hidrólisis de la matriz de poliuretano, favorecida por ambientes ácidos (pH < 5,4), conduce a la ruptura progresiva de los enlaces uretano, debilitando la estructura del polímero y disminuyendo su capacidad elástica. Además, la presencia de agentes tensioactivos en formulaciones orales puede facilitar la penetración de agua y compuestos activos en la matriz polimérica, promoviendo fenómenos de plastificación superficial y la formación de microfisuras.

Eliades et al.[29] y por Li et al.[30] han demostrado que compuestos fluorados pueden alterar la estabilidad mecánica de los elastómeros al modificar la energía superficial del material y favorecer procesos de degradación química. Asimismo, el triclosán, debido a su carácter lipofílico y a su acción emulsificante, puede interactuar con los plastificantes del poliuretano, aumentando la solubilidad de componentes del polímero y acelerando la pérdida de fuerza. Castelló et al.[1] describieron que estas interacciones químicas no solo afectan la superficie del material, sino que también

comprometen su integridad estructural a nivel microscópico, generando defectos que amplifican la relajación viscoelástica bajo carga.

En contraste, TP Orthodontics® mantuvo una mayor estabilidad incluso en presencia de estos agentes, lo que refuerza su superioridad desde el punto de vista mecánico y sugiere una formulación menos susceptible a la hidrólisis, a la plastificación y a la acción de tensioactivos.

Figura 2. Curvas de degradación de la fuerza elástica (gf) de cadenetas elastoméricas de Ormco®, American Orthodontics® y TP Orthodontics® a lo largo del tiempo (To–T5) bajo tres condiciones de inmersión: grupo control, Encident Brackets® y Ortodent Brackets®. El eje horizontal representa los tiempos de evaluación, mientras que el eje vertical indica la fuerza media registrada en gramos-fuerza (gf).



Limitaciones

Este estudio, si bien aporta información relevante sobre el comportamiento mecánico de las cadenetas elastoméricas expuestas a diferentes soluciones, presenta una serie de limitaciones, al momento de interpretar sus resultados. En primer lugar, el diseño *in vitro* constituye una restricción inherente, dado que las condiciones experimentales no reproducen de manera íntegra la complejidad del entorno oral clínico. Variables como las fluctuaciones de temperatura intraoral, las variaciones dinámicas del pH, la actividad enzimática salival, las cargas masticatorias funcionales, la interacción con alimentos o productos de higiene oral, la ausencia de simulación de fuerzas masticatorias cíclicas, la no incorporación de microbiota oral, la falta de evaluación del efecto de la pigmentación, la exclusión de bebidas ácidas de consumo frecuente y la ausencia de un modelo de saliva dinámica que reproduzca de manera más fiel las condiciones funcionales del entorno oral. podrían ejercer una influencia significativa sobre los procesos de degradación de las propiedades mecánicas del material y no fueron completamente simuladas en el presente estudio.

Asimismo, la evaluación de un número limitado de marcas comerciales, restringida a tres fabricantes de uso habitual en la práctica ortodóntica, esta selección limita la generalización de los hallazgos a la amplia diversidad de cadenetas elastoméricas disponibles en el mercado, considerando la heterogeneidad existente en sus formulaciones, métodos de fabricación y características fisicoquímicas.

La consideración de estos factores en investigaciones futuras permitiría aproximar los modelos

experimentales a la realidad clínica, fortalecer la validez externa de los resultados y proporcionar evidencia más robusta para la toma de decisiones en la práctica ortodóntica.

CONCLUSIONES

Las cadenetas elastoméricas de poliuretano experimentan una pérdida progresiva de fuerza elástica a lo largo del tiempo, cuyo patrón y magnitud dependen significativamente tanto de la marca comercial como de la solución de inmersión. TP Orthodontics® demostró una mayor estabilidad mecánica en comparación con Ormco® y American Orthodontics®, manteniendo valores de fuerza significativamente superiores en la mayoría de los tiempos evaluados, incluso bajo condiciones químicas adversas. Asimismo, se evidenció que el tipo de solución de inmersión influye de manera relevante en la degradación de la fuerza, siendo la formulación Ortodent Brackets® la que produjo la mayor pérdida desde las primeras 24 horas, mientras que la solución Encident Brackets® mostró un comportamiento comparable al grupo control. Estos hallazgos destacan la importancia de una selección cuidadosa del material elastomérico y del entorno químico al que se expone, ya que ambos factores tienen implicaciones directas en la predictibilidad biomecánica y en la necesidad de recambio clínico durante el tratamiento ortodóncico.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Castelló CA, Zamora-Martínez N, Paredes-Gallardo V, Tarazona-Álvarez B. Effect of mouthwashes on the force decay of polymeric ligature chains used for dental purposes: a systematic review and meta-analysis. BMC Oral Health. 2023;23(1).
2. Phukaoluan A, Khantachawana A, Dechkunakorn S, Anuwongnukroh N, Tunthawiroon P, Srirussamee K. Influence of mouthwash rinsing on the mechanical properties of polymeric ligature ties used for dental applications. Polymers (Basel). 2021;13(14).
3. Andhare P, Datana S, Agarwal SS, Chopra SS. Comparison of in vivo and in vitro force decay of elastomeric chain modules: a systematic review and meta-analysis. J World Fed Orthod. 2021;10:155–62.
4. Evans KS, Wood CM, Moffitt AH, Colgan JA, Holman JK, Marshall SD, et al. Sixteen-week analysis of unaltered elastomeric chain relating in-vitro force degradation with in-vivo extraction space tooth movement. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2017;151(4):727–34.
5. Halimi A, Benyahia H, Doukkali A, Azeroual MF, Zaoui F. A systematic review of force decay in orthodontic elastomeric power chains. Int Orthod. 2012;10:223–40.
6. Santana W, Thahar B, Mardiati E, Salim J. The effect of alcoholic mouthwash, non-alcoholic mouthwash and artificial saliva on power-chain force decay. Padjadjaran J Dent. 2017;29(3):195–201.
7. Mirhashemi A, Saffarshahroudi A, Sodagar A, Atai M. Force-degradation pattern of six different orthodontic elastomeric chains. J Dent (Tehran). 2012;9(4):204–10.
8. Ramazanzadeh BA, Jahanbin A, Hasanzadeh N, Eslami N. Effect of sodium fluoride mouth rinse on elastic properties of elastomeric chains. J Clin Pediatr Dent. 2009;34(2):189–92.
9. Javidi P, Bashardoust N, Shekarbaghani A. Evaluation of force decay rate in orthodontic elastomeric chains in the environment of various mouthwashes: a systematic review. Dent Res J (Isfahan). 2023;20(1).
10. Mirhashemi AH, Farahmand N, Saffar Shahroudi A, Ahmad Akhoundi MS. Effect of four different mouthwashes on force-degradation pattern of orthodontic elastomeric chains. Orthod Waves. 2017;76(2):67–72.
11. Dogan AA, Cetin ES, Hüssein E, Adiloglu AK. Microbiological evaluation of octenidine dihydrochloride mouth rinse after 5 days' use in orthodontic patients. Angle Orthod. 2009;79(4):766–72.
12. Silva A, Azevedo M, Sampaio-Maia B, Sousa-Pinto B. Effect of mouthrinses on SARS-CoV-2 viral load: a systematic review. J Am Dent Assoc. 2022;153(7):635–48.e16.
13. Pithon MM, Rodrigues AC, Sousa ÉLSM, Santos LP, Soares NDS. Do mouthwashes with and without

bleaching agents degrade the force of elastomeric chains? Angle Orthod. 2013;83(4):712–7.
14. Oltramari-Navarro PVP, Titarelli JM, Marsicano JA, Castanha Henriques JF, Janson G, Lauris JRP, et al. Effectiveness of 0.50% and 0.75% chlorhexidine dentifrices in orthodontic patients: a double-blind randomized controlled trial. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2009;136(5):651–6.
15. Pithon MM, Santana DA, Sousa KH, Farias IMAO. Does chlorhexidine in different formulations interfere with the force of orthodontic elastics? Angle Orthod. 2013;83(2):313–8.
16. Subramaniam P, Nandan N. Effect of xylitol, sodium fluoride and triclosan mouth rinse on Streptococcus mutans. Contemp Clin Dent. 2011;2:287–92.
17. Arunakul M, Thaweboon B, Thaweboon S, Asvanund Y, Charoenchaikorn K. Efficacy of xylitol and fluoride mouthrinses on salivary mutans streptococci. Asian Pac J Trop Biomed. 2011;1:488–90.
18. Baty DL, Storie DJ, von Fraunhofer JA. Synthetic elastomeric chains: a literature review. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 1994;105(6):536–42.
19. Weissheimer A, Locks A, Macedo Menezes L, Borgatto AF, Derech A. In vitro evaluation of force degradation of elastomeric chains used in orthodontics. Dental Press J Orthod. 2013;18(1):55–62.
20. Víctor G, Armijos V, Lettor P. Estudio in vitro de la pérdida de fuerza de módulos elastoméricos sumergidos en enjuagues bucales. Rev Cient Odont. 2017;17:1–7.
21. Kanchana P, Godfrey K. Calibration of force-extension and force-degradation characteristics of orthodontic latex elastics. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2000;118(3):280–7.
22. Virdi GK, Prashar A, Kaur G, Jabbal RS, Aggarwal P, Budh S, et al. Force-decay behavior of orthodontic elastomeric chains in simulated oral conditions. J Clin Orthod. 2024;58(3):152–9.
23. Behnaz M, Namvar F, Sohrabi S, Parishanian M. Effect of bleaching mouthwash on force decay of orthodontic elastomeric chains. J Contemp Dent Pract. 2018;19(2):221–5.
24. Lopes da Silva CK, Marchioro EM, Lopes da Silva D. Force degradation in orthodontic elastic chains. Rev Odonto Cienc. 2009;24:170–5.
25. AlMogbel AM. Force decay of orthodontic power chains during five weeks in artificial saliva: an in vitro study. J Orthod Sci. 2025;14(1):34.

Conflictos de intereses

Los autores señalan que no existe conflicto de intereses durante la realización del estudio, no se recibió fondos para la realización del mismo, el presente solo fue sometido a la Revista Científica "Universidad Odontológica Dominicana" para su revisión y publicación

Financiamiento

Los autores indican la utilización de fondos propios para la elaboración del trabajo de investigación.

Declaración de contribución

Paola Elizabeth Vidal Cárdenas: Concepción y diseño del estudio, recolección de datos, análisis e interpretación de resultados, redacción del borrador original del manuscrito. Katherine de los Ángeles Cuenca León: Supervisión del diseño metodológico, revisión crítica del manuscrito y aprobación final del contenido. Miriam Verónica Lima Illescas: Supervisión del diseño metodológico

Los autores han contribuido en elaboración del trabajo de investigación, en las diferentes partes del mismo

Agradecimiento

Agradecemos a la Coordinación del Laboratorio de Biotecnología del Centro de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología (CIITT) de la Universidad Católica de Cuenca por su total apertura y apoyo durante el proceso de investigación