

Liberación de níquel y cromo de *brackets* metálicos utilizados para tratamiento de ortodoncia: estudio *in vitro*

Edelmira Diana Durand-Zea¹  Tania Carola Padilla-Cáceres¹  Juan Carlos Tuesta Hidalgo²  Nadia Rodríguez Hamamura³ 
Roy Alexander Arévalo Pérez²  Gaelord Vladimir Huacasi-Supo¹ 

¹Universidad Nacional del Altiplano Puno – UNAP. Puno, Peru.

²Universidad Nacional Autónoma de Alto Amazonas – UNAAA. Yurimaguas, Peru.

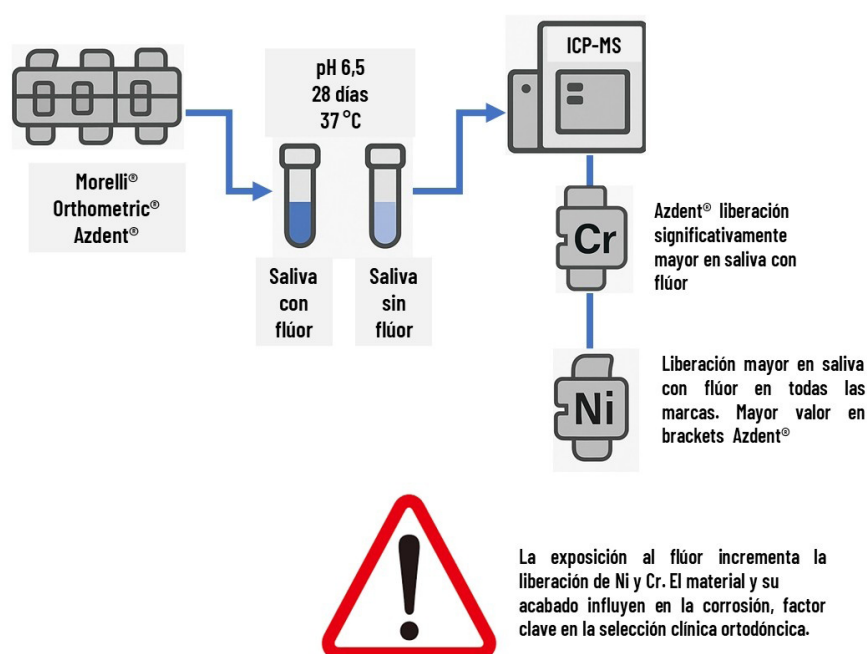
³Universidad Nacional de Ingeniería – UNI. Lima, Peru.

E-mail: tpadilla@unap.edu.pe

Resumen Grafico

Highlights

- Hay gran demanda del uso de *brackets* metálicos por la alta prevalencia de maloclusiones dentales.
- Los *brackets* de acero inoxidable están constituidos por Ni y Cr y otros elementos que pueden liberarse en la cavidad bucal.
- La liberación de iones de Ni y Cr es mayor en presencia de flúor.
- El níquel puede producir hipersensibilidad tipo IV, caracterizada principalmente por hipertrofia gingival, queilitis angular y descamación.



Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar la liberación de iones níquel (Ni) y cromo (Cr) de *brackets* metálicos convencionales de diferentes marcas comerciales sometidos a saliva artificial con y sin flúor. Se utilizaron 600 *brackets* metálicos (Morelli®, Orthometric® y Azdent®), distribuidos aleatoriamente en un grupo experimental (saliva artificial con flúor) y un grupo control (saliva artificial sin flúor), ambos mantenidos a pH de 6.5 y a 37 °C durante 28 días. La liberación iónica de Ni y Cr se determinó mediante espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS). Los datos fueron analizados con las pruebas U de Mann-Whitney y Kruskal-Wallis. Los resultados mostraron que la liberación de iones Ni fue mayor en presencia de flúor en todas las marcas evaluadas, mostrando una tendencia de valores más altos en *brackets* Azdent® (383,36 µg/L). En cuanto a los iones Cr, *brackets* Azdent® mostraron una liberación significativamente mayor en saliva con flúor (1,52 µg/L), mientras que en los grupos Morelli® y Orthometric® no se evidenciaron diferencias significativas. Al comparar las tres marcas en saliva artificial con flúor, todas mostraron una mayor liberación iónica, siendo significativa en los *brackets* Azdent® ($p < 0,05$). La exposición al flúor incrementa la liberación de Ni y Cr, especialmente en los *brackets* Azdent®. El material y su acabado influyen en la corrosión, factor clave en la selección clínica ortodóncica.

Palabras-clave: Brackets Metálicos. Ion Níquel. Ion Cromo. Flúor. pH Salival.

Editor de área: Edison Barbieri
Mundo Saúde. 2025;49:e17532025
O Mundo da Saúde, São Paulo, SP, Brasil.
<https://revistamundodasaude.emnuvens.com.br>

Presentado: 05 mayo 2025.
Aprobado: 18 noviembre 2025.
Publicado: 09 diciembre 2025.

INTRODUCCIÓN

La alta demanda de *brackets* metálicos es una consecuencia de la alta prevalencia de maloclusiones en América Latina 53%^{1,2}. Según la Organización Mundial de la Salud OMS, éstas constituyen la tercera mayor prevalencia (70%) entre las enfermedades bucales en el Perú³.

Los *brackets* de acero inoxidable están constituidos principalmente por una aleación de Ni y Cr, además de otros elementos como hierro, molibdeno, y carbono que le confieren propiedades como brillo, maleabilidad, resistencia a la corrosión y dureza^{4,5,6}. Sin embargo, la exposición continua al medio bucal, caracterizado por fluctuaciones de pH, temperatura, oxígeno y presencia de flúor, puede alterar la pasivación superficial del acero inoxidable y favorecer la liberación de iones metálicos^{4,5}.

Se ha reportado que el Ni puede desencadenar una hipersensibilidad tipo IV manifestada con reacciones alérgicas tardías mediadas por linfocitos T en pacientes con aparatos metálicos ortodóncicos⁷, caracterizada principalmente por hipertrofia gingival, queilitis angular, descamación de los labios, enrojecimiento de la cara, irritación, picazón eccema, dolor. Altas cantidades de Ni pueden producir problemas respiratorios como el asma, causar náuseas, diarrea, vómitos o calambres y afectar hígado y el riñón por lo que la liberación iónica tiene implicaciones tanto locales como toxicológicas^{8,9}.

La liberación de iones de Ni y Cr se da a partir de *brackets* metálicos, siendo aun mayor en presencia de flúor¹⁰. Se ha demostrado que concentraciones no tóxicas pueden ser suficientes para producir cambios biológicos en la mucosa oral¹¹.

La prevalencia de hipersensibilidad al níquel en pacientes con aparatos ortodóncicos es hasta un 30 %, con mayor frecuencia en mujeres jóvenes^{7,12}.

La efectividad del tratamiento ortodóntico también puede verse comprometida por alteraciones de la resistencia al desgaste y fatiga del mate-

rial^{13,14}. La corrosión del material dada por la reacción química o electroquímica de este con su entorno produce alteraciones en sus propiedades y características¹⁵.

Por otro lado, las propiedades mecánicas de los *brackets* y arcos ortodóncicos también se ven afectadas por la exposición tópica a agentes fluorados, produciendo una mayor liberación de iones el flúor acidulado¹⁰. Estas modificaciones no solo reducen la durabilidad del dispositivo, sino que incrementan la fricción en el deslizamiento entre el arco y el slot del bracket, afectando la eficiencia biomecánica del tratamiento ortodóncico^{15,16,17}.

Asimismo, los enjuagues y dentífricos fluorados de bajo pH disponibles en el mercado pueden disminuir la resistencia a la corrosión de las aleaciones de acero inoxidable y titanio, aumentando la liberación de Ni y Cr, sobre todo cuando se combinan con la fricción mecánica del aparato^{9,18,19,20}. Se ha observado en estudios que los *brackets* sometidos a enjuagues bucales con flúor mostraron mayor liberación de iones sobre todo de Ni y Cr, recomendando tener precaución al usarlos²¹. Por tanto, se recomienda evaluar la biocompatibilidad y comportamiento corrosivo de las distintas marcas comerciales de *brackets*, particularmente bajo condiciones simuladas de la cavidad oral⁴.

A pesar de la literatura existente sobre corrosión en materiales ortodóncicos, son escasos los estudios comparativos entre diferentes marcas comerciales de *brackets* metálicos expuestos a condiciones experimentales controladas que simulen el ambiente oral. Por ello, el objetivo de este estudio fue evaluar la liberación de iones de Ni y Cr de *brackets* metálicos convencionales de tres marcas comerciales bajo condiciones de saliva artificial con y sin flúor, contribuyendo así a una mejor comprensión del comportamiento iónico y su impacto en la práctica clínica.

METODOLOGÍA

Se realizó un estudio de tipo experimental descriptivo in vitro, para evaluar la liberación de iones Ni y Cr a partir de *brackets* metálicos convencionales sometidos a condiciones controladas de exposición a saliva artificial Fusayama-Meyer con y sin flúor.

Se utilizaron 600 *brackets* metálicos de prescripción Roth, slot 0.022, pertenecientes a tres marcas comerciales Morelli® (Brasil), Orthometric® (Brasil) y Azdent® (China). Cada lote estuvo compuesto por

200 *brackets*, distribuidos equitativamente en dos grupos:

- Grupo 1 (control): saliva artificial sin flúor.
- Grupo 2 (experimental): saliva artificial con flúor 1000ppm.

Se colocaron 20 *brackets* correspondientes a un kit ortodóntico completo (desde segundo premolar derecho hasta segundo pre molar izquierdo, en ambas arcadas) en tubos de centrífuga estériles de polipropileno de 15 ml (Samplix®).

Cada tubo contenía 10 ml de saliva artificial Fusayama-Meyer, a un pH de 6.5, con o sin flúor (1000 ppm), según el grupo asignado.

En total, se prepararon 15 tubos para el grupo experimental (saliva con flúor) y 15 tubos para el grupo control (saliva sin flúor).

Las muestras se mantuvieron a 37 °C durante 28 días en cámara incubadora, bajo condiciones controladas de temperatura y sin exposición a la luz. Cada grupo incluyó 15 réplicas por marca.

Al finalizar el periodo de inmersión, se determinó la liberación de iones Ni y Cr mediante espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS). Antes del análisis, cada tubo fue homogeneizado y su contenido pesado en una balanza microanalítica para asegurar la consistencia de las mediciones.

La concentración de 1000 ppm de flúor se seleccionó porque la mayoría de los dentífricos comerciales y productos de higiene oral de uso diario contienen esta concentración de flúor, lo que reproduce condiciones clínicas de exposición sostenida al flúor, similares a las que ocurren durante la higiene oral cotidiana de pacientes en tratamiento ortodóntico²².

Procedimiento para evaluar la concentración de liberación de iones de níquel y cromo

Antes de su evaluación los *brackets* fueron observados que no presenten signos visibles de alteración o deterioro, todos fueron visualizados de una misma manera y por el mismo individuo con una visión cromáticamente normal con un reflector e intensidad de luz de por lo menos de 1000 lx a una distancia inferior de 25 cm.

Las superficies de los *brackets* fueron limpiadas ultrasónicamente por 2 minutos en etanol seguidamente lavadas con agua y secadas con aire comprimido libre de oleo o de agua.

Para el control de contaminación se implementaron controles negativos (solución sin *brackets*) y se emplearon pipetas automáticas con puntas filtradas. Todo el procedimiento se realizó bajo campana extractora para minimizar la contaminación ambiental.

RESULTADOS

El análisis de liberación de iones Ni mediante espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) mostró, para Azdent®, una liberación media de Ni de 10,62 µg/L en saliva sin flúor y de 383,36 µg/L en saliva con flúor; la diferencia fue estadísticamente significativa ($p =$

Prueba de inmersión estática de los brackets ortodónticos

Este proceso se realizó en las soluciones preparadas de saliva Fusayama-Meyer sin flúor para el grupo control y con saliva Fusayama-Meyer con Flúor 1000 ppm para el grupo experimental, se utilizó tubos de polipropileno descartables de 15ml estériles con tapa, en el cual se colocó 10ml de solución de saliva artificial con o sin flúor y luego los *brackets* correspondientes. Todas estas muestras estuvieron a una temperatura de 37 °C, con un pH de 6.5 por 28 días, en condiciones de movilidad relativamente mínimas. Una vez concluido el tiempo indicado se realizó la observación y medición de la liberación de iones Ni y Cr de cada una de las muestras preparadas.

Evaluación con el equipo espectrómetro de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS), marca termo fisher scientific modelo ICAP-RP

Esta técnica es altamente sensible y precisa para cuantificar trazas de estos metales en soluciones acuosas. En este estudio in vitro, los *brackets* se sumergen en un medio que simula el ambiente oral, como saliva artificial, a una temperatura y pH controlados. Se tomaron alícuotas del medio para analizar la concentración de Ni y Cr liberados. El ICP-MS permite detectar concentraciones extremadamente bajas de estos metales, incluso en el rango de partes por billón (ppb), gracias a su capacidad de ionizar los elementos en un plasma de argón a alta temperatura y separarlos según su relación masa/carga (m/z). La calibración del equipo se realizó con estándares de concentración conocida de Ni y Cr, y se empleó un patrón interno, como el indio (In), para corregir posibles variaciones instrumentales²³.

Los datos fueron registrados en una matriz electrónica y analizados mediante el programa IBM SPSS Statistics v.27. La normalidad de los datos se evaluó mediante las pruebas de Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov. Dado que las distribuciones no fueron normales, se aplicaron pruebas no paramétricas U de Mann-Whitney (comparaciones intragrupos) y Kruskal-Wallis (comparaciones intergrupos). Se reportaron los valores de p para estimar la magnitud práctica de las diferencias observadas. El nivel de significancia se estableció en $p < 0,05$.

0,009). En Morelli®, la media de Ni fue 0,14 µg/L (sin flúor) frente a 1,26 µg/L (con flúor), sin diferencias significativas ($p = 0,841$). En Orthometric®, las medias fueron 0,34 µg/L (sin flúor) y 2,20 µg/L (con flúor), sin diferencias significativas ($p = 0,310$). (Tabla 1), (Figura 1).

La comparación entre marcas mediante Kruskal-Wallis evidenció diferencias globales para saliva sin flúor ($p = 0,006$) y para saliva con flúor ($p = 0,005$), con Azdent® mostrando los valores más altos en ambos casos. (Tabla 1), (Figura 1).

Tabla 1 - Comparación de la liberación de iones Ni de *brackets* metálicos en saliva artificial con y sin flúor. Puno, Perú; abril-mayo de 2024.

BRACKETS	SIN FLÚOR	CON FLÚOR	p valor
	µg/L	µg/L	
MORELLI®	0,14 [0,00 -0,50]	1,26 [0,00 – 5,90]	0,814
ORTHOMETRIC®	0,34 [0,00 – 0,50]	2,20 [0,00 – 7,40]	0,246
AZDENT®	10,62 [6,40 – 13,30]	383,36 [177,30 – 625,80]	0,009
	p=0,006	p=0,005	

Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones ICP-MS realizadas en [Laboratorio de Biotecnología, Universidad Nacional Autónoma de Alto Amazonas. Yurimaguas, Perú.
Nota: Pruebas no paramétricas: intergrupos Kruskal-Wallis; intragrupo U de Mann-Whitney $\alpha = 0,05$. Las cifras se reportan en µg/L.

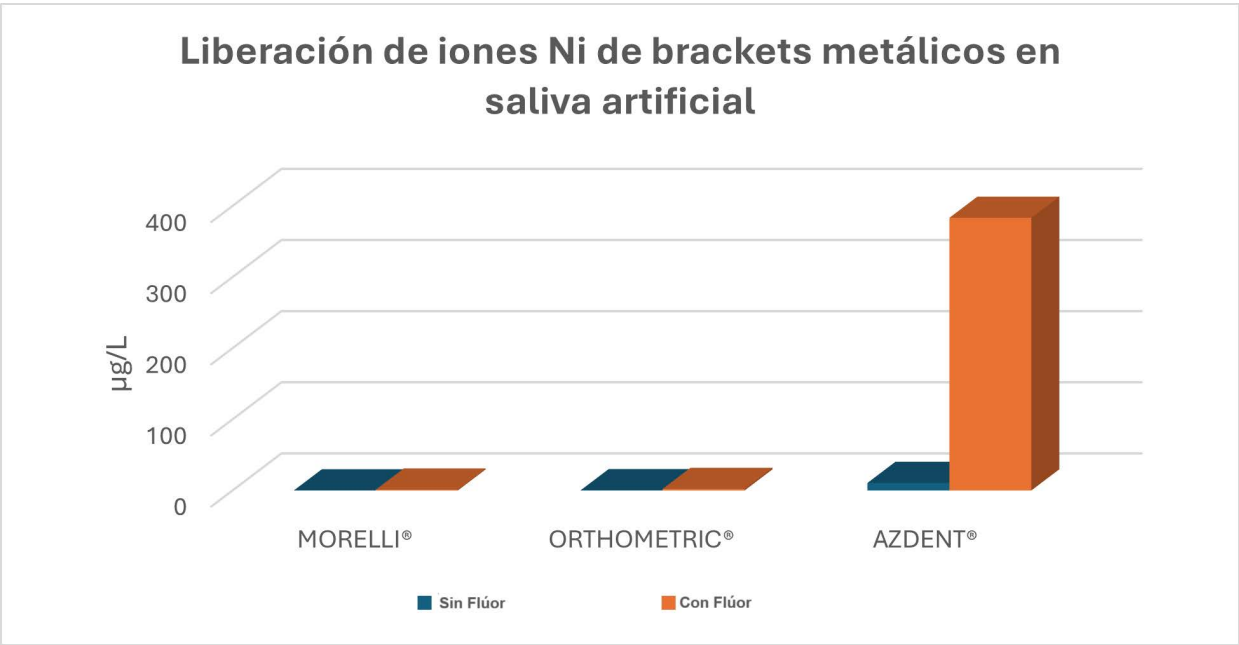


Figura 1 - Liberación de níquel (Ni) por marca (Morelli®, Orthometric®, Azdent®) en saliva artificial sin y con flúor (pH 6,5; 37 °C; 28 días). Se muestran diagramas de barras. En presencia de flúor, los tres grupos tienden a mayores valores de Ni; sin embargo, el incremento fue significativo intragrupo sólo para Azdent® ($p = 0,0095$); Morelli®: $p = 0,814$; Orthometric®: $p = 0,246$. En el análisis intergrupos con flúor, Azdent® presentó las concentraciones más elevadas (Kruskal-Wallis $p = 0,005$), destacando su mayor liberación relativa.

En la Tabla 2 y Figura 2, se observan los resultados de liberación de iones Cr en saliva artificial con y sin flúor. En caso de los *brackets* Morelli® en saliva artificial sin flúor se observó una media de 0,22 µg/L y para el grupo de *brackets* en saliva artificial con flúor se observó una media de 0,14 µg/L, existen diferencias estadísticamente significativas ($p = 0,042$). En Orthometric®, en ambos grupos se halló una

media de 0,22 µg/L ($p = 0,905$). En Azdent® en saliva artificial sin flúor tuvo una media de 0,30 µg/L y para el grupo de saliva artificial con flúor de 1,52 µg/L, existen diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos ($p = 0,005$). La comparación entre marcas en saliva sin flúor mediante Kruskal-Wallis evidenció diferencias globales significativas en ambas condiciones.

Tabla 2 - Comparación de la liberación de iones Cr de *brackets* metálicos en saliva artificial con y sin flúor. Puno, Perú; abril-mayo de 2024.

BRACKETS	SIN FLÚOR	CON FLÚOR	p valor
	µg/L	µg/L	
MORELLI®	0,22 [0,20-0,30]	0,14 [0,10-0,20]	0,042
ORTHOMETRIC®	0,22 [0,20-0,30]	0,22 [0,10-0,30]	0,905
AZDENT®	0,30 [0,30-0,30]	1,52 [0,60-2,70]	0,005
	p=0,006	p=0,005	

Fuente: Elaboración propia a partir de mediciones ICP-MS realizadas en [Laboratorio de Biotecnología, Universidad Nacional Autónoma de Alto Amazonas, Yurimaguas, Perú.

Nota: Pruebas no paramétricas: intergrupos Kruskal-Wallis; intragrupo U de Mann-Whitney $\alpha = 0,05$. Las cifras se reportan en µg/L.

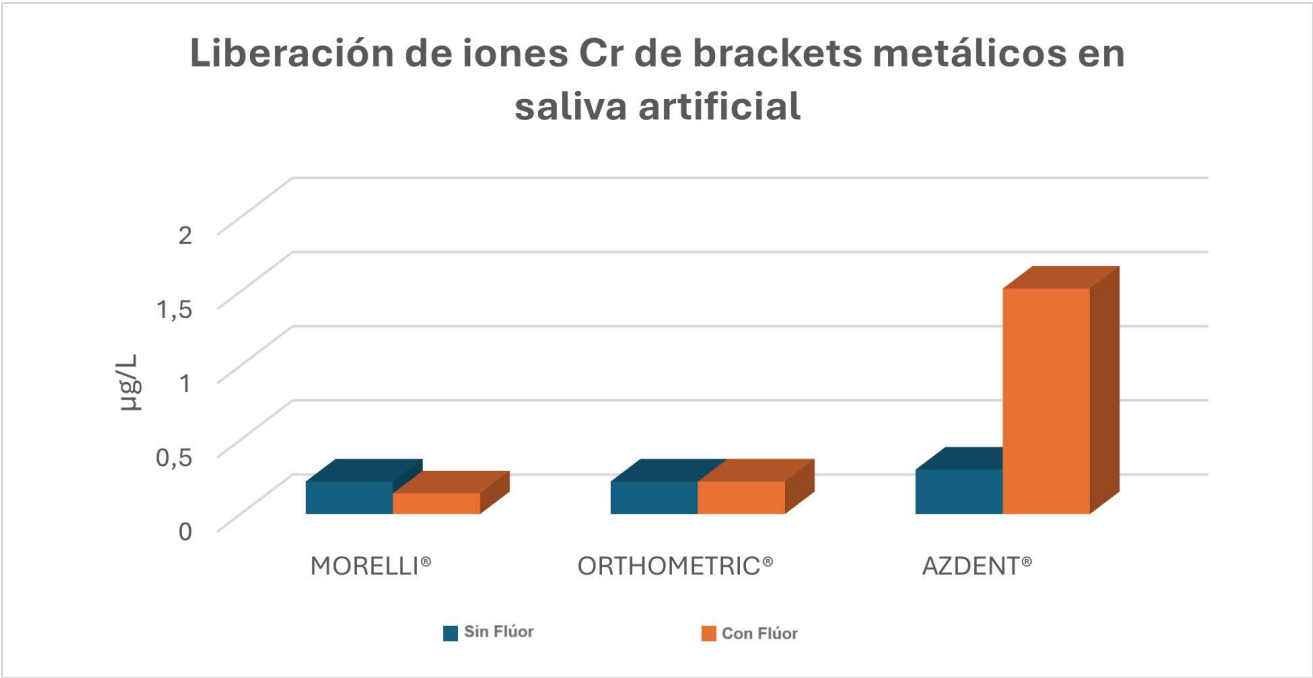


Figura 2 - Liberación de cromo (Cr) por marca (Morelli®, Orthometric®, Azdent®) en saliva artificial sin y con flúor (pH 6,5; 37 °C; 28 días). Se muestran diagramas de barras. En presencia de flúor, el grupo Azdent presenta mayores valores de liberación de Cr ($p = 0,005$); sin embargo, para Orthodontic® no hubo diferencias en ambas condiciones ($p = 0,905$) y para Morelli®: $p = 0,042$; En el análisis intergrupos con flúor, Azdent® presentó las concentraciones más elevadas (Kruskal-Wallis $p = 0,005$), destacando su mayor liberación relativa.

DISCUSIÓN

El factor más importante en la determinación de la seguridad biológica de una aleación es la corrosión, pudiendo verse afectada la estética, la resistencia y la biocompatibilidad²⁴. La corrosión es una reacción electroquímica entre materiales metálicos y entornos circundantes. En la cavidad bucal esta corrosión de tipo húmeda se da por la liberación de iones metálicos positivos de aleaciones ortodóncicas. Los principales productos de corrosión de los *brackets* de acero inoxidable son el hierro, el cromo (Cr) y el níquel (Ni)²². La liberación de iones de (Ni) y (Cr) se da por la pre-

sencia de iones de flúor que puedan estar presentes en pastas dentales y colutorios; éste puede provocar la degradación de las superficies de acero inoxidable dañando la capa de óxido y produciendo la liberación de iones como el (Ni) y (Cr)²⁵. La resistencia a la corrosión de los metales se da por la serie galvánica de metales y aleaciones. Cuanto más electronegativo es un material, más propenso es a la corrosión^{19,26}. La toxicidad sistémica, local y la carcinogenicidad de una aleación resultan de elementos liberados de la

aleación en la boca durante la corrosión, razón por la que para la práctica clínica deben ser utilizadas aleaciones con alta resistencia a la corrosión²⁷.

Matusiewicz²⁸ enfatiza que diversos materiales dentales constituidos por aleaciones metálicas como son los *brackets* de acero inoxidable son capaces de liberar una variedad de iones en presencia de la saliva, siendo el Ni, Cr, hierro, magnesio y el cobre los más importantes. En este estudio, la marca Azdent® mostró los valores más altos de liberación iónica de Ni y Cr, este hallazgo podría atribuirse a diferencias en la composición metalográfica de la aleación, al menor control de pureza del acero inoxidable o a un acabado superficial menos homogéneo, factores que aumentan la susceptibilidad a la corrosión. Estudios previos respaldan esta interpretación, observándose mayor liberación de iones en marcas de menor costo o con procesos de manufactura menos controlados^{21,25}. Asimismo, Wu et al.²⁹ destacan que la rugosidad superficial influye directamente en la liberación de iones metálicos por aumento del área expuesta al medio corrosivo.

Con relación a la liberación de iones Ni, se observó que los *brackets* Morelli®, Ortometric® y Azdent® presentaron mayor liberación en saliva con flúor siendo significativa en los *brackets* Azdent. ($p>0,005$). En el caso del ion Cr se determinó que para los *brackets* Azdent® existen diferencias significativas entre los grupos control y experimental, por el contrario, para la marca Orthometric® no se hallaron diferencias estadísticamente significativas. Estos hallazgos coinciden con los encontrados por Yanisarapan²⁵ que en el 2018 encontró que *brackets* y alambres de acero inoxidable en presencia de saliva artificial liberaban hasta 265,6mg/l (+/- 27,9mg/l) de Ni y para el Cr halló que en presencia de saliva artificial liberaban hasta 112,0mg/l (+/- 10,9mg/l). En ese mismo sentido Tahmasbi comparó los productos de corrosión galvánica en *brackets* y alambres de 4 marcas (*Dentaurum*, *American Orthodontic*, ORJ y *Shinye*) los expuso a un enjuague bucal con contenido de fluoruro de sodio al 0,05% por 28 días, encontrando que los iones de Ni liberados fueron significativamente mayores en la marca *Shinye* y ORJ en comparación a las otras marcas²¹.

Los resultados de este estudio concuerdan con lo reportado por Hajjar³⁰ quien evaluó la liberación de iones metálicos de *brackets* estándares y de bajo costo, en pH de 4,9 y 7,8 en saliva artificial Fusayama Meyer, las muestras fueron analizadas a los 1, 14 y 28 días mediante espectrómetro de masas acoplado inductivamente, encontrando que los *brackets* sumergidos en pH 7,8 liberaron mayor cantidad de iones, para cromo al día 28 encontraron 2496,0 ug/L en *brackets* estándar y en económicos 3293,3ug/L. Para el ion Ni 1746,7ug/L y 3240,0 ug/L respectivamente. Kriswandini y Bagus²², encontraron en un estudio de revisión

que mediciones post-inmersión en saliva artificial durante 30 días con un pH de 6,8 y una temperatura de 37°C mostraron que la liberación de Cr fue menor que la del Ni. Esto puede deberse a que la composición de la muestra del *bracket* de acero inoxidable contiene menos Cr que Ni.

La liberación excesiva de metales de cromo y níquel puede causar cambios en las dimensiones de la forma del *bracket*, lo que resulta en la fragilidad del *bracket* y puede afectar la salud del cuerpo porque es un grupo de metales pesados que puede causar reacciones de hipersensibilidad tipo IV³¹.

Amini, encontró en un estudio de casos y controles que las concentraciones de iones Ni en sujetos con ortodoncia fija fue de 18,5+/-13,5ng/ml, existiendo diferencias estadísticamente significativas en relación a los controles, en el caso del ion Cr se registró 2,6+/-1,6ng/ml en el grupo de estudio y 2,2+/-1,6ng/ml en el grupo control con $p<0,00532$. Jurela, evaluó la liberación de iones en *brackets* metálicos y no metálicos antes y después del tratamiento ortodóncico, encontró que los niveles de liberación del ión Ni no tienen diferencias significativas antes y después del tratamiento en *brackets* metálicos y para el ion Cr encontró diferencias significativas $p=0,004$ ³³.

Schiff³⁴ determinó la influencia del flúor de los enjuagues bucales sobre el riesgo de corrosión por el acoplamiento galvánico de arcos y *brackets* usados en ortodoncia, utilizó 02 enjuagues bucales uno con flúor estañoso y otro con fluoruro de sodio, encontrando que desde el acoplamiento *bracket*/alambre el ion Ni mostró mayor liberación 109ug/l en *brackets* que contienen aleaciones de CoCr, seguidos por *brackets* con contenido de Fe CrNi 52ug/l a 4.2ug/l. Nahidh³⁵ concluye que existe corrosividad de parte del enjuague bucal dependiendo de la estructura química del compuesto y; el proceso de fabricación de los *brackets* considera como principales responsables de la liberación de iones metálicos. Los perfiles variables de liberación de iones metálicos observados se deben probablemente en gran medida a los diferentes grados de pasivación superficial de los componentes estudiados, ya que la formación de una capa de pasivación hermética impediría una mayor liberación de iones metálicos.

Tanto el Cr como el Ni pueden tener efectos tóxicos en la salud humana, dependiendo de su forma química y la vía de exposición. La inhalación del cromo hexavalente Cr (VI) se ha vinculado con cáncer de pulmón, nasal y de senos paranasales, y su ingesta en el agua potable también genera preocupación por el riesgo de cáncer de estómago². Así mismo la exposición al Cr (VI) puede causar irritación del tracto respiratorio, ulceración nasal, asma, daño ocular y problemas cutáneos como dermatitis alérgica y úlceras; a

nivel celular, es hemotóxico y genotóxico, dañando las células sanguíneas y el ADN²⁰. En contraste, el Cr trivalente (Cr (III)) es considerado un oligoelemento esencial con baja toxicidad, aunque en altas dosis puede causar problemas gastrointestinales y, en casos raros daño renal y hepático¹⁹.

El Ni también presenta riesgos para la salud. La dermatitis de contacto es una reacción común causada por el contacto con objetos que contienen este metal. Su inhalación especialmente en entornos laborales, se ha asociado con irritación respiratoria, asma ocupacional, fibrosis pulmonar y un mayor riesgo de cáncer de pulmón y nasal³².

La exposición combinada a Cr y Ni, frecuente en ciertas industrias, puede tener efectos sinérgicos, aumentando el riesgo de genotoxicidad y carcinogenicidad. Por lo tanto, es crucial minimizar la exposición a ambas sustancias para proteger la salud humana³⁶.

De acuerdo con la IARC (*International Agency for*

Research on Cancer)³⁷, ciertos compuestos de níquel y las formas hexavalentes del Cr presentan evidencia de carcinogenicidad en humanos. En el ámbito normativo dental, la ISO 10271 define los métodos de ensayo para evaluar la corrosión de materiales metálicos, mientras que la ISO 22674 exige que, en el ensayo de inmersión estática, la liberación total de iones no supere 200 µg/cm² en 7 días³⁸, criterio utilizado para demostrar resistencia a la corrosión. Nuestros resultados se mantienen muy por debajo de ese umbral por área, si se expresan en unidades comparables.

Por lo tanto, aunque la exposición al flúor incrementó la liberación de iones metálicos, los valores obtenidos no representan un riesgo biológico significativo, siempre que los productos fluorados se utilicen en concentraciones clínicas habituales (1000 ppm). Sin embargo, se recomienda precaución en pacientes con alergia conocida a metales, seleccionando *brackets* de materiales alternativos como titanio o cerámica.

Tabla 3 - Estudios comparativos sobre la liberación de iones metálicos (Ni y Cr) en *brackets* ortodóncicos de acero inoxidable.

Estudio (Autor, año)	Diseño / Modelo	Materiales/Marcas	Medio / Condiciones	Iones evaluados	Resultado (unidades)	Hallazgo principal
Yanisarapan <i>et al.</i> , 2018 ²⁵ (<i>Orthodontic Waves</i>)	<i>In vitro</i>	<i>Brackets</i> y alambres de acero inoxidable	Saliva artificial; productos con flúor	Ni, Cr	Ni hasta 265.6 mg/L (±27.9); Cr hasta 112.0 mg/L (±10.9)	Flúor incrementa la liberación de Ni y Cr; niveles altos en condiciones con productos fluorados
Tahmasbi <i>et al.</i> , 2015 ²¹ (<i>J Dent Res Dent Clin Dent Prospects</i>)	<i>In vitro</i> ; 28 días	<i>Brackets</i> y alambres (Dentaurum, American Orthodontics, ORJ, Shinye)	Enjuague con NaF 0.05% por 28 días	Ni (principal)	Ni significativamente mayor en Shinye y ORJ (vs. otras)	Diferencias por marca; el NaF potencia la corrosión galvánica y la liberación de Ni
Hajjar <i>et al.</i> , 2021 ³⁰ (IMJM)	<i>In vitro</i> ; 1, 14 y 28 días; ICP-MS	<i>Brackets</i> estándar vs. de bajo costo	Saliva artificial Fussyama-Meyer; pH 4.9 vs 7.8	Ni, Cr	Día 28: Cr 2496.0 µg/L (estándar) vs 3293.3 µg/L (económico); Ni 1746.7 µg/L vs 3240.0 µg/L	Mayor liberación a pH 7.8; marcas económicas liberan más iones
Kriswandini & Bagus, 2024 ²² (<i>Indonesian J Dent Med</i>)	Exposición prolongada (30 días)	<i>Brackets</i> de acero inoxidable	Saliva artificial; pH 6.8; 37°C; exposición a pasta dental de uso común	Ni, Cr	Cr < Ni (sin valores exactos reportados en el texto provisto)	La liberación de Cr fue menor que la de Ni; posible relación con composición de la aleación
Schiff <i>et al.</i> , 2006 ³⁴ (<i>Eur J Orthod</i>)	<i>In vitro</i> ; acoplamiento galvánico	<i>Brackets</i> y alambres (distintas aleaciones: CoCr, FeCrNi)	Enjuagues con fluoruro estañoso y NaF	Ni (principal)	Ni hasta 109 µg/L (CoCr); 52–4.2 µg/L (FeCrNi)	El tipo de aleación y el enjuague influyen en la liberación; mayor con aleaciones CoCr
Amini <i>et al.</i> , 2012 ³² (<i>Eur J Orthod</i>)	<i>In vivo</i> ; casos y controles	Aparatología fija	Pacientes vs. controles	Ni, Cr (en fluidos biológicos)	Ni: 18.5 ± 13.5 ng/mL (pacientes); Cr: 2.6 ± 1.6 ng/mL (pacientes) vs 2.2 ± 1.6 ng/mL (controles); p < 0.005	Mayor Ni en portadores de aparatología fija; diferencia significativa
Jurela <i>et al.</i> , 2018 ³³ (<i>Acta Stomatol Croat</i>)	<i>In vivo</i> ; pre vs. post tratamiento	<i>Brackets</i> metálicos y cerámicos	Pacientes antes y después del tratamiento	Ni, Cr	Ni: sin diferencias significativas; Cr: diferencia significativa (p = 0.004)	El Cr aumenta tras tratamiento en ciertas condiciones; Ni no muestra cambio significativo

continúa...

Estudio (Autor, año)	Diseño / Modelo	Materiales/Marcas	Medio / Condiciones	Iones evaluados	Resultado (unidades)	Hallazgo principal
Nahidh <i>et al.</i> , 2018 ³⁵ (<i>J Contemp Dent Pract</i>)	<i>In vitro</i>	Tres tipos de <i>brackets</i>	Diferentes enjuagues bucales	Ni, Cr	Liberación variable según el enjuague (sin valores exactos en el texto)	La corrosividad depende de la estructura química del enjuague y del proceso de fabricación; pasivación superficial clave
Matusiewicz, 2023 ²⁸ (<i>World J Adv Res Rev</i>)	Revisión (<i>in vitro</i> e <i>in vivo</i>)	Aparatología y aleaciones metálicas	Presencia de saliva	Ni, Cr, Fe, Mg, Cu (entre otros)	—	Diversos dispositivos liberan múltiples iones en saliva; Ni y Cr entre los más relevantes
Wu <i>et al.</i> , 2024 ²⁹ (<i>Technology and Health Care</i>)	Experimental (enfoque en fricción)	Bracket estético (PEEK) vs acero inoxidable (referencia)	—	— (del texto: relación indirecta)	—	La mayor rugosidad superficial se asocia a mayor liberación iónica por incremento del área expuesta (según cita del texto)

CONCLUSIONES

Al comparar las tres marcas de *brackets* metálicos (Morelli®, Orthometric® y Azdent®), se observó una mayor liberación de iones Ni en saliva artificial con flúor en todas ellas; sin embargo, esta diferencia solo fue estadísticamente significativa en los *brackets* Azdent®.

En el caso del Cr, los *brackets* Azdent® también presentaron una liberación significativamente superior, mientras que Orthometric® mostró un incremento no significativo. De manera contraria a lo esperado, los *brackets* Morelli® exhibieron menor liberación de Cr en presencia de flúor, lo cual podría atribuirse a variaciones en la composición de la aleación, en el proceso de pasivación o en el acabado superficial durante la manufactura.

En términos generales, todos los valores obtenidos se mantuvieron por debajo de los límites considerados biológicamente seguros, esto sugiere que el uso rutinario de productos fluorados con concentraciones aproximadas de 1000 ppm no represen-

ta un riesgo clínicamente relevante respecto a la liberación de metales, sin embargo es fundamental mantener una vigilancia continua y promover una selección cuidadosa de materiales ortodóncicos, priorizando aquellos con mayor resistencia a la corrosión y menor potencial alergénico, especialmente en pacientes con antecedentes de hipersensibilidad a metales.

Este estudio presenta limitaciones inherentes a su diseño *in vitro*, pues se utilizaron kits completos de 20 *brackets* con distinta morfología y masa metálica. Además, no se incluyeron factores biológicos como microbiota, flujo salival ni fuerzas masticatorias, que podrían alterar la liberación iónica observada.

Futuras líneas de investigación deberían evaluar la influencia de variaciones de pH, la presencia de enzimas salivales y la comparación con *f* de cerámica, titanio u otras aleaciones biocompatibles, bajo condiciones controladas que se aproximen más al ambiente clínico real.

Declaración del autor de CRediT

Conceptualización: Duran-Zea, E; Padilla-Cáceres, T. Metodología: Duran-Zea, E; Padilla-Cáceres, T; Huacasi-Supo, G. Validación: Padilla-Cáceres, T; Huacasi-Supo, G. Análisis estadístico: Duran-Zea, E; Huacasi-Supo, G. Análisis formal: Duran-Zea, E; Padilla-Cáceres, T; Huacasi-Supo, G; Tuesta, J; Rodríguez, N; Arévalo, R. Investigación: Duran-Zea, E; Tuesta, J; Rodríguez, N; Arévalo, R. Recursos: Duran-Zea, E. Redacción – preparación del borrador original: Duran-Zea, E; Padilla-Cáceres, T. Redacción – revisión y edición: Duran-Zea, E; Padilla-Cáceres, T; Huacasi-Supo, G; Tuesta, J; Rodríguez, N; Arévalo, R. Visualización: Duran-Zea, E; Padilla-Cáceres, T; Huacasi-Supo, G. Supervisión: Duran-Zea, E; Padilla-Cáceres, T; Huacasi-Supo, G; Tuesta, J; Rodríguez, N; Arévalo, R. Administración del proyecto: Duran-Zea, E; Tuesta, J; Rodríguez, N; Arévalo, R.

Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Declaración de conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen intereses financieros en competencia o relaciones personales conocidas que puedan haber influido en el trabajo reportado.



REFERENCIAS

1. Cheng YH, Liao Y, Chen DY, Wang Y, Wu Y (2019) Prevalence of dental caries and its association with body mass index among school-age children in Shenzhen, China. *BMC Oral Health*. <https://doi.org/10.1186/s12903-019-0950-y>
2. Lombardo G, Vena F, Negri P, Pagano S, Barilotti C, Paglia L, Colombo S, Orso M, Cianetti S (2020) Worldwide prevalence of malocclusion in the different stages of dentition: A systematic review and meta-analysis. *Eur J Paediatr Dent* 21:115–122. <https://doi.org/10.23804/ejpd.2020.21.02.05>.
3. Castillo AA Del, Mattos-Vela MA, Castillo RA Del, Castillo-Mendoza C Del (2011) Malocclusions in children and adolescents from villages and native communities in the ucajali amazon region in peru. *Rev Peru Med Exp Salud Publica* 28:87–91. <https://doi.org/10.1590/S1726-46342011000100014>.
4. Mundhada V V, Jadhav V V, Reche A (2023) A Review on Orthodontic Brackets and Their Application in Clinical Orthodontics. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.46615>
5. Triwardhani A, Amanda YA, Hamid T, Nugraha AP, Steventhie L, Hariati IVD (2023) Biocompatibility Stainless Steel Brackets with Nickel and Chromium Ions: A Scoping Review. *Res J Pharm Technol* 16:3251–3256. , <https://doi.org/10.52711/0974-360X.2023.00534>.
6. Rasool N, Veena K, Parson P, Anjali N (2023) Comparative evaluation of Nickel and Chromium release from three different metal brackets in artificial saliva. *International Journal of Current Research* . <https://doi.org/10.24941/ijcr.44894.03.2023>
7. Amato A, Martina S, De Benedetto G, Michelotti A, Amato M, Di Spirito F (2025) Hypersensitivity in Orthodontics: A Systematic Review of Oral and Extra-Oral Reactions. *J Clin Med* 14:4766. <https://doi.org/10.3390/jcm14134766>.
8. Kolokitha OE, Chatzistavrou E (2009) A severe reaction to Ni-containing orthodontic appliances. *Angle Orthodontist* 79:186–192. , <https://doi.org/10.2319/111507-531.1>.
9. Houb-Dine A, Bahije L, Zaoui F (2018) Fluoride induced corrosion affecting Titanium brackets: A systematic review. <https://doi.org/10.1016/j.ortho.2018.09.003>.
10. Khanloghi M, Sheikhzadeh S, Khafri S, Mirzaie M (2023) Frontiers in Dentistry Effect of Different Forms of Fluoride Application on Surface Roughness of Rhodium-Coated NiTi Orthodontic Wires: A Clinical Trial. *Front Dent* . <https://doi.org/doi: 10.18502/fid.v20i13.12660>
11. Durgo K, Orešić S, Rinčić Mlinarić M, Fiket Ž, Jurešić GČ (2023) Toxicity of Metal Ions Released from a Fixed Orthodontic Appliance to Gastrointestinal Tract Cell Lines. *Int J Mol Sci*. <https://doi.org/10.3390/ijms24129940>
12. Di Spirito F, Amato A, Di Palo MP, Ferraro R, Cannatà D, Galdi M, Sacco E, Amato M (2024) Oral and Extra-Oral Manifestations of Hypersensitivity Reactions in Orthodontics: A Comprehensive Review. *J Funct Biomater*. <https://doi.org/10.3390/jfb15070175>
13. Velazco G, Ortiz R, Yopez J (2008) Corrosión por picadura en aleaciones de níquel-cromo (Ni-Cr) utilizadas en odontología. *Revista Odontologica de los Andes* 4:23–30
14. Karadede B (2025) Metals Used in Orthodontics and Their Side Effects. *Journal of Oral Medicine and Dental Research* 6:6–1. [https://doi.org/10.52793/JOMDR.2025.6\(1\)-84](https://doi.org/10.52793/JOMDR.2025.6(1)-84)
15. Mejía-Carrillo CR, Gutiérrez-Rojo JF (2020) Corrosión de los metales en ortodoncia. *Rev Tamé* 9:1037-1039.
16. Xu Y, Li Y, Chen T, Dong C, Zhang K, Bao X (2024) A short review of medical-grade stainless steel: Corrosion resistance and novel techniques. *Journal of Materials Research and Technology* 29:2788–2798. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2024.01.240>.
17. Alvarado-Gámez A, Blanco-Sáenz R, Mora-Morales E (2002) El cromo como elemento esencial en los humanos. *Rev Costarric Cienc Med* 23:55–68
18. Huang GY, Jiang HB, Cha JY, Kim KM, Hwang CJ (2017) The effect of fluoride-containing oral rinses on the corrosion resistance of titanium alloy (Ti-6Al-4V). *Korean J Orthod* 47:306–312
19. Nayak RS, Shafiuddin B, Pasha A, Vinay K, Narayan A, Shetty S V (2015) Comparison of Galvanic Currents Generated Between Different Combinations of Orthodontic Brackets and Archwires Using Potentiostat: An In Vitro Study. *Journal of International Oral Health* 7:29–35. PMID: PMC4513772 PMID: 26229367.
20. Gözl L, Knickenberg AC, Keilig L, Reimann S, Papageorgiou SN, Jäger A, Bourauel C (2016) Nickelionenkonzentration im Speichel von Patienten mit selbstligierenden festsitzenden Apparaturen: Eine prospektive Kohortenstudie. *Journal of Orofacial Orthopedics* 77:85–93. <https://doi.org/10.1007/s00056-016-0012-x>
21. Tahmasbi S, Ghorbani M, Masudrad M (2015) Galvanic Corrosion of and Ion Release from Various Orthodontic Brackets and Wires in a Fluoride-containing Mouthwash. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects* 9:159–165. <https://doi.org/10.15171/joddd.2015.030>.
22. Kriswandini IL, Bagus API (2024) Release of nickel and chromium ions from stainless steel brackets as a result of long-term exposure to commonly used toothpaste. *Indonesian Journal of Dental Medicine* 7:35–39. <https://doi.org/10.20473/ijdm.v7i1.2024.35-39>
23. Mikulewicz M, Chojnacka K, Woźniak B, Downarowicz P (2012) Release of metal ions from orthodontic appliances: An in vitro study. *Biol Trace Elem Res* 146:272–280. <https://doi.org/10.1007/s12011-011-9233-4>
24. Wataha J (2000) Biocompatibility of dental casting alloys: a review. *Review J Prosthet Dent* 83:223–34. [https://doi.org/10.1016/s0022-3913\(00\)80016-5](https://doi.org/10.1016/s0022-3913(00)80016-5)
25. Yanisarapan T, Thunyakitpisal P, Chantarawatit P (2018) Corrosion of metal orthodontic brackets and archwires caused by fluoride-containing products: Cytotoxicity, metal ion release and surface roughness. *Orthodontic Waves* 77:78–89. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2020.03.035>
26. Salazar-Jiménez J (2015) Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales. *Tecnología en Marcha* 28:128–136. <https://doi.org/10.18845/tm.v28i3.2417>
27. Giraldo O (2004) Metales y aleaciones en odontología. *Revista Facultad de Odontología Universidad de Antioquia* 15:53–62. ISSN 0121-246X, ISSN-e 2145-7670.
28. Matusiewicz H (2023) Potential release of trace metal ions from metallic orthodontic appliances and dental metal implants: A Review of in vitro and in vivo experimental studies. *World Journal of Advanced Research and Reviews* 19:032–090. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2023.19.2.1404>
29. Wu J, Wang X, Jiang J, Bai Y (2024) Fabrication of a novel aesthetic orthodontic bracket and evaluation of friction properties between PEEK and stainless steel wires. *Technology and Health Care* 32:269–278. <https://doi.org/10.3233/THC-230001>
30. Hajjar SN, Syahmi MM, Muaz MA, Hajjar Nasir S, Sultan Ahmad Shah J (2021) Metal Release of Standard and Fake Orthodontic Braces: An In Vitro Study. *IMJM* 20:75–80. <https://doi.org/10.31436/imjm.v20i2.1707>
31. Bagus Narmada I, Jaddiyya Farha N, Dwi Virgianti I, Pramita Larasati P, Patera Nugraha A, Natasha Eleena binti Tengku Ahmad Noor T (2023) Liberación de iones de níquel y cromo de brackets de ortodoncia de acero inoxidable: una revisión. *Investigación J Pharm y Tech* 16:4935-4942. <https://doi.org/10.52711/0974-360X.2023.00800>
32. Amini F, Jafari A, Amini P, Sepasi S (2012) Metal ion release from fixed orthodontic appliances - An in vivo study. *Eur J Orthod* 34:126–130. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjq181>
33. Jurela A, Verzak Ž, Brailo V, Škrinjar I, Sudarević K, Janković B (2018) Elektroliti u slini pacijenata s metalnim i keramičkim ortodontskim bravicama. *Acta Stomatol Croat* 52:32–36. <https://doi.org/10.15644/asc52/1/5>

Estudio (Autor, año)	Diseño / Modelo	Materiales/Marcas	Medio / Condiciones	Iones evaluados	Resultado (unidades)	Hallazgo principal
Nahidh <i>et al.</i> , 2018 ³⁵ (J Contemp Dent Pract)	<i>In vitro</i>	Tres tipos de <i>brackets</i>	Diferentes enjuagues bucales	Ni, Cr	Liberación variable según el enjuague (sin valores exactos en el texto)	La corrosividad depende de la estructura química del enjuague y del proceso de fabricación; pasivación superficial clave
Matusiewicz, 2023 ²⁸ (World J Adv Res Rev)	Revisión (<i>in vitro</i> e <i>in vivo</i>)	Aparatología y aleaciones metálicas	Presencia de saliva	Ni, Cr, Fe, Mg, Cu (entre otros)	—	Diversos dispositivos liberan múltiples iones en saliva; Ni y Cr entre los más relevantes
Wu <i>et al.</i> , 2024 ²⁹ (Technology and Health Care)	Experimental (enfoque en fricción)	Bracket estético (PEEK) vs acero inoxidable (referencia)	—	— (del texto: relación indirecta)	—	La mayor rugosidad superficial se asocia a mayor liberación iónica por incremento del área expuesta (según cita del texto)

CONCLUSIONES

Al comparar las tres marcas de *brackets* metálicos (Morelli®, Orthometric® y Azdent®), se observó una mayor liberación de iones Ni en saliva artificial con flúor en todas ellas; sin embargo, esta diferencia solo fue estadísticamente significativa en los *brackets* Azdent®.

En el caso del Cr, los *brackets* Azdent® también presentaron una liberación significativamente superior, mientras que Orthometric® mostró un incremento no significativo. De manera contraria a lo esperado, los *brackets* Morelli® exhibieron menor liberación de Cr en presencia de flúor, lo cual podría atribuirse a variaciones en la composición de la aleación, en el proceso de pasivación o en el acabado superficial durante la manufactura.

En términos generales, todos los valores obtenidos se mantuvieron por debajo de los límites considerados biológicamente seguros, esto sugiere que el uso rutinario de productos fluorados con concentraciones aproximadas de 1000 ppm no represen-

ta un riesgo clínicamente relevante respecto a la liberación de metales, sin embargo es fundamental mantener una vigilancia continua y promover una selección cuidadosa de materiales ortodóncicos, priorizando aquellos con mayor resistencia a la corrosión y menor potencial alergénico, especialmente en pacientes con antecedentes de hipersensibilidad a metales.

Este estudio presenta limitaciones inherentes a su diseño *in vitro*, pues se utilizaron kits completos de 20 *brackets* con distinta morfología y masa metálica. Además, no se incluyeron factores biológicos como microbiota, flujo salival ni fuerzas masticatorias, que podrían alterar la liberación iónica observada.

Futuras líneas de investigación deberían evaluar la influencia de variaciones de pH, la presencia de enzimas salivales y la comparación con *f* de cerámica, titanio u otras aleaciones biocompatibles, bajo condiciones controladas que se aproximen más al ambiente clínico real.

Declaración del autor de CRediT

Conceptualización: Duran-Zea, E; Padilla-Cáceres, T. Metodología: Duran-Zea, E; Padilla-Cáceres, T; Huacasi-Supo, G. Validación: Padilla-Cáceres, T; Huacasi-Supo, G. Análisis estadístico: Duran-Zea, E; Huacasi-Supo, G. Análisis formal: Duran-Zea, E; Padilla-Cáceres, T; Huacasi-Supo, G; Tuesta, J; Rodríguez, N; Arévalo, R. Investigación: Duran-Zea, E; Tuesta, J; Rodríguez, N; Arévalo, R. Recursos: Duran-Zea, E. Redacción – preparación del borrador original: Duran-Zea, E; Padilla-Cáceres, T. Redacción – revisión y edición: Duran-Zea, E; Padilla-Cáceres, T; Huacasi-Supo, G; Tuesta, J; Rodríguez, N; Arévalo, R. Visualización: Duran-Zea, E; Padilla-Cáceres, T; Huacasi-Supo, G. Supervisión: Duran-Zea, E; Padilla-Cáceres, T; Huacasi-Supo, G; Tuesta, J; Rodríguez, N; Arévalo, R. Administración del proyecto: Duran-Zea, E; Tuesta, J; Rodríguez, N; Arévalo, R.

Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Declaración de conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen intereses financieros en competencia o relaciones personales conocidas que puedan haber influido en el trabajo reportado.



REFERENCIAS

- Cheng YH, Liao Y, Chen DY, Wang Y, Wu Y (2019) Prevalence of dental caries and its association with body mass index among school-age children in Shenzhen, China. *BMC Oral Health*. <https://doi.org/10.1186/s12903-019-0950-y>
- Lombardo G, Vena F, Negri P, Pagano S, Barilotti C, Paglia L, Colombo S, Orso M, Cianetti S (2020) Worldwide prevalence of malocclusion in the different stages of dentition: A systematic review and meta-analysis. *Eur J Paediatr Dent* 21:115–122. <https://doi.org/10.23804/ejpd.2020.21.02.05>
- Castillo AA Del, Mattos-Vela MA, Castillo RA Del, Castillo-Mendoza C Del (2011) Malocclusions in children and adolescents from villages and native communities in the ucajali amazon region in peru. *Rev Peru Med Exp Salud Publica* 28:87–91. <https://doi.org/10.1590/S1726-46342011000100014>
- Mundhada V V, Jadhav V V, Reche A (2023) A Review on Orthodontic Brackets and Their Application in Clinical Orthodontics. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.46615>
- Triwardhani A, Amanda YA, Hamid T, Nugraha AP, Steventhie L, Hariati IVD (2023) Biocompatibility Stainless Steel Brackets with Nickel and Chromium Ions: A Scoping Review. *Res J Pharm Technol* 16:3251–3256. <https://doi.org/10.52711/0974-360X.2023.00534>
- Rasool N, Veena K, Parson P, Anjali N (2023) Comparative evaluation of Nickel and Chromium release from three different metal brackets in artificial saliva. *International Journal of Current Research*. <https://doi.org/10.24941/ijcr.44894.03.2023>
- Amato A, Martina S, De Benedetto G, Michelotti A, Amato M, Di Spirito F (2025) Hypersensitivity in Orthodontics: A Systematic Review of Oral and Extra-Oral Reactions. *J Clin Med* 14:4766. <https://doi.org/10.3390/jcm14134766>
- Kolokitha OE, Chatzistavrou E (2009) A severe reaction to Ni-containing orthodontic appliances. *Angle Orthodontist* 79:186–192. <https://doi.org/10.2319/111507-531.1>
- Houb-Dine A, Bahije L, Zaoui F (2018) Fluoride induced corrosion affecting Titanium brackets: A systematic review. <https://doi.org/10.1016/j.ortho.2018.09.003>
- Khanloghi M, Sheikhzadeh S, Khafri S, Mirzaie M (2023) Frontiers in Dentistry Effect of Different Forms of Fluoride Application on Surface Roughness of Rhodium-Coated NiTi Orthodontic Wires: A Clinical Trial. *Front Dent*. <https://doi.org/doi:10.18502/fid.v20i13.12660>
- Durgo K, Orešić S, Rinčić Mlinarić M, Fiket Ž, Jurešić GČ (2023) Toxicity of Metal Ions Released from a Fixed Orthodontic Appliance to Gastrointestinal Tract Cell Lines. *Int J Mol Sci*. <https://doi.org/10.3390/ijms24129940>
- Di Spirito F, Amato A, Di Palo MP, Ferraro R, Cannatà D, Galdi M, Sacco E, Amato M (2024) Oral and Extra-Oral Manifestations of Hypersensitivity Reactions in Orthodontics: A Comprehensive Review. *J Funct Biomater*. <https://doi.org/10.3390/jfb15070175>
- Velazco G, Ortiz R, Yopez J (2008) Corrosión por picadura en aleaciones de níquel-cromo (Ni-Cr) utilizadas en odontología. *Revista Odontologica de los Andes* 4:23–30
- Karadede B (2025) Metals Used in Orthodontics and Their Side Effects. *Journal of Oral Medicine and Dental Research* 6:6–1. [https://doi.org/10.52793/JOMDR.2025.6\(1\)-84](https://doi.org/10.52793/JOMDR.2025.6(1)-84)
- Mejía-Carrillo CR, Gutiérrez-Rojo JF (2020) Corrosión de los metales en ortodoncia. *Rev Tamé* 9:1037-1039.
- Xu Y, Li Y, Chen T, Dong C, Zhang K, Bao X (2024) A short review of medical-grade stainless steel: Corrosion resistance and novel techniques. *Journal of Materials Research and Technology* 29:2788–2798. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2024.01.240>
- Alvarado-Gámez A, Blanco-Sáenz R, Mora-Morales E (2002) El cromo como elemento esencial en los humanos. *Rev Costarric Cienc Med* 23:55–68
- Huang GY, Jiang HB, Cha JY, Kim KM, Hwang CJ (2017) The effect of fluoride-containing oral rinses on the corrosion resistance of titanium alloy (Ti-6Al-4V). *Korean J Orthod* 47:306–312
- Nayak RS, Shafiuddin B, Pasha A, Vinay K, Narayan A, Shetty S V (2015) Comparison of Galvanic Currents Generated Between Different Combinations of Orthodontic Brackets and Archwires Using Potentiostat: An In Vitro Study. *Journal of International Oral Health* 7:29–35. PMID: PMC4513772 PMID: 26229367.
- Gölz L, Knickenberg AC, Keilig L, Reimann S, Papageorgiou SN, Jäger A, Bourauel C (2016) Nickelionenkonzentration im Speichel von Patienten mit selbstligierenden festsitzenden Apparaturen: Eine prospektive Kohortenstudie. *Journal of Orofacial Orthopedics* 77:85–93. <https://doi.org/10.1007/s00056-016-0012-x>
- Tahmasbi S, Ghorbani M, Masudrad M (2015) Galvanic Corrosion of and Ion Release from Various Orthodontic Brackets and Wires in a Fluoride-containing Mouthwash. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects* 9:159–165. <https://doi.org/10.15171/joddd.2015.030>
- Kriswandini IL, Bagus API (2024) Release of nickel and chromium ions from stainless steel brackets as a result of long-term exposure to commonly used toothpaste. *Indonesian Journal of Dental Medicine* 7:35–39. <https://doi.org/10.20473/ijdm.v7i1.2024.35-39>
- Mikulewicz M, Chojnacka K, Woźniak B, Downarowicz P (2012) Release of metal ions from orthodontic appliances: An in vitro study. *Biol Trace Elem Res* 146:272–280. <https://doi.org/10.1007/s12011-011-9233-4>
- Wataha J (2000) Biocompatibility of dental casting alloys: a review. *Review J Prosthet Dent* 83:223–34. [https://doi.org/10.1016/s0022-3913\(00\)80016-5](https://doi.org/10.1016/s0022-3913(00)80016-5)
- Yanisarapan T, Thunyakitpisal P, Chantarawaratit P (2018) Corrosion of metal orthodontic brackets and archwires caused by fluoride-containing products: Cytotoxicity, metal ion release and surface roughness. *Orthodontic Waves* 77:78–89. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2020.03.035>
- Salazar-Jiménez J (2015) Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales. *Tecnología en Marcha* 28:128–136. <https://doi.org/10.18845/tm.v28i3.2417>
- Giraldo O (2004) Metales y aleaciones en odontología. *Revista Facultad de Odontología Universidad de Antioquia* 15:53–62. ISSN 0121-246X, ISSN-e 2145-7670.
- Matusiewicz H (2023) Potential release of trace metal ions from metallic orthodontic appliances and dental metal implants: A Review of in vitro and in vivo experimental studies. *World Journal of Advanced Research and Reviews* 19:032–090. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2023.19.2.1404>
- Wu J, Wang X, Jiang J, Bai Y (2024) Fabrication of a novel aesthetic orthodontic bracket and evaluation of friction properties between PEEK and stainless steel wires. *Technology and Health Care* 32:269–278. <https://doi.org/10.3233/THC-230001>
- Hajjar SN, Syahmi MM, Muaz MA, Hajjar Nasir S, Sultan Ahmad Shah J (2021) Metal Release of Standard and Fake Orthodontic Braces: An In Vitro Study. *IMJM* 20:75–80. <https://doi.org/10.31436/imjm.v20i2.1707>
- Bagus Narmada I, Jaddiyya Farha N, Dwi Virgianti I, Pramita Larasati P, Patera Nugraha A, Natasha Eleena binti Tengku Ahmad Noor T (2023) Liberación de iones de níquel y cromo de brackets de ortodoncia de acero inoxidable: una revisión. *Investigación J Pharm y Tech* 16:4935-4942. <https://doi.org/10.52711/0974-360X.2023.00800>
- Amini F, Jafari A, Amini P, Sepasi S (2012) Metal ion release from fixed orthodontic appliances - An in vivo study. *Eur J Orthod* 34:126–130. <https://doi.org/10.1093/ejo/cjq181>
- Jurela A, Verzak Ž, Brailo V, Škrinjar I, Sudarević K, Janković B (2018) Elektroliti u slini pacijenata s metalnim i keramičkim ortodontskim bravicama. *Acta Stomatol Croat* 52:32–36. <https://doi.org/10.15644/asc52/1/5>

-
34. Schiff N, Boinet M, Morgon L, Lissac M, Dalard F, Grosogeat B (2006) Galvanic corrosion between orthodontic wires and brackets in fluoride mouthwashes. *Eur J Orthod* 28:298–304. . <https://doi.org/10.1093/ejo/cji102>
35. Nahidh M, Garma NMH, Jasim ES (2018) Assessment of ions released from three types of orthodontic brackets immersed in different mouthwashes: An in vitro study. *Journal of Contemporary Dental Practice* 19:73–80. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10024-2214>
36. Alvarez CC, Bravo Gómez ME, Hernández Zavala A (2021) Hexavalent chromium: Regulation and health effects. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2021.126729>.
37. International Programme on Chemical Safety (IPCS) (1990) International Agency for Research on Cancer.
38. Haugli KH, Syverud M, Samuelsen JT (2020) Ion release from three different dental alloys–effect of dynamic loading and toxicity of released elements. *Biomater Investig Dent* 7:71–79. <https://doi.org/10.1080/26415275.2020.1747471>.
-

Cómo citar este artículo: Durand-Zea, E.D., Padilla-Cáceres, T.C., Hidalgo, J.C.T., Hamamura, N.R., Pérez, R.A.A., Huacasi-Supo, G.V. (2025). Liberación de níquel y cromo de *brackets* metálicos utilizados para tratamiento de ortodoncia: estudio *in vitro*. *O Mundo Da Saúde*, 49. <https://doi.org/10.15343/0104-7809.202549e17532025E>. *Mundo Saúde*. 2025,49:e17532025.