



---

---

Universidad Autónoma del Estado de México

Facultad de Ciencias de la Conducta

**Bioacumulación de iones metálicos en boca por el  
uso de aparatología fija ortodóntica**

**TESIS**

Que para obtener el grado de:

Doctor en Ciencias de la Salud

Presenta:

Mtro. en C.O Rafael Velasco Ibáñez

Comité Tutorial:

Tutor Académico

Dra. en C.S. Edith Lara Carrillo

Tutor Interno

Dr. en C.M. Raúl Alberto Morales Luckie

Tutor Externo

Dra. en I. Elizabeth Teresita Romero Guzmán

Toluca, Estado de México Febrero de 2020



# ÍNDICE

	Pág.
<b>Acrónimos</b> .....	6
<b>Abstract</b> .....	7
<b>Introducción</b> .....	8
<b>1 Marco Teórico.</b>	
<b>1.1 Materiales en Ortodoncia</b> .....	9
<b>1.2 Corrosión de los materiales</b> .....	14
<b>1.3 Biomarcadores biológicos</b> .....	19
<b>1.4 Espectrometría de Inducción de Plasma Acoplada a Emisión Óptica</b>	26
<b>1.5 Microscopía Electrónica de Barrido</b> .....	33
<b>1.6 Investigaciones realizadas sobre la liberación de iones metálicos     utilizando aparatología ortodóntica</b> .....	39
<b>2 Planteamiento del problema</b> .....	40
<b>3 Justificación</b> .....	42
<b>4 Hipótesis</b> .....	44
<b>5 Objetivos: General y específicos</b> .....	45
<b>6 Diseño metodológico</b> .....	46
6.1 Diseño del estudio.....	46
6.2 Universo y Muestra.....	46
6.3 Procedimientos.....	46
6.4 Criterios de inclusión.....	46
6.5 Criterios de exclusión.....	46
6.6 Instrumentos.....	49
6.7 Recolección de datos.....	50
6.8 Análisis de datos.....	56
6.9 Aspecto ético .....	56
<b>7 Resultados</b>	
7.1. Carta de aceptación.....	57
7.1.1 Capítulo de libro .....	58

7.1.2	Título del capítulo de libro .....	58
7.1.3	Resumen.....	59
<b>7.2</b>	<b>Artículo</b>	
7.2.1	Artículo enviado.....	60
7.2.2	Carta de envío .....	60
7.2.3	Título del artículo .....	61
7.2.4	Resumen.....	62
<b>8</b>	<b>Resultados adicionales.....</b>	<b>63</b>
<b>9</b>	<b>Discusión.....</b>	<b>66</b>
<b>10</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>69</b>
<b>11</b>	<b>Bibliografía.....</b>	<b>70</b>
<b>12</b>	<b>Anexos.....</b>	<b>81</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Componentes principales del ICP-OES.....	<b>26</b>
<b>Figura 2.</b> Cantidad de disolventes del ICP-OES.....	<b>28</b>
<b>Figura 3.</b> Esquema del Microscopio Electrónico de Barrido.....	<b>33</b>
<b>Figura 4.</b> Esquema del Microscopio Electrónico de Barrido y EDS.....	<b>34</b>
<b>Figura 5.</b> Espectroscopia de energía dispersiva.....	<b>38</b>
<b>Tabla 1.</b> Operacionalización de variables.....	<b>47</b>
<b>Figura 6.</b> Lavado de frascos para evitar contaminación.....	<b>51</b>
<b>Figura 7.</b> Recolección de la saliva a los 3 meses.....	<b>52</b>
<b>Figura 8.</b> Recolección de la saliva a los 6 meses .....	<b>52</b>
<b>Figura 9.</b> Recolección de las muestras de orina.....	<b>53</b>
<b>Figura10.</b> Esquema del Espectroscopía de Emisión Atómica de Plasma Acoplado.....	<b>54</b>
<b>Figura11.</b> Esquema de arcos de Ni-Ti.....	<b>55</b>
<b>Figura12.</b> Análisis de SEM y EDS.....	<b>56</b>
<b>Tabla 2.</b> Caracterización de la población.....	<b>105</b>
<b>Anexo 1.</b> Consentimiento informado.....	<b>123</b>
<b>Anexo 2.</b> Historia clínica.....	<b>124</b>

## ACRÓNIMOS

<b>AAS</b>	Atomic Absorption Spectroscopy (Espectrometría de Absorción Atómica)
<b>GFAAS</b>	Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry (Espectrometría de Absorción Atómica con Horno de Grafito).
<b>ICP-OES</b>	Inductively Coupled Optical Emission Plasma Spectrometry (Espectroscopia de Emisión Atómica de Plasma Acoplado).
<b>ICP-MS</b>	Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente).
<b>SEM</b>	Scanning Electron Microscopy (Microscopio Electrónico de Barrido).
<b>EDS</b>	Energy Dispersive Spectrometry (Espectroscopia de Energía Dispersiva).
<b>UAEMex</b>	Universidad Autónoma del Estado de México
<b>Ig</b>	Inmunoglobulinas
<b>HNO<sub>3</sub></b>	Ácido nítrico.
<b>Al</b>	Aluminio
<b>β-Ti</b>	Beta Titanio
<b>Cd</b>	Cadmio
<b>Cr</b>	Cromo
<b>Cu</b>	Cobre
<b>Fe</b>	Hierro
<b>Mn</b>	Manganeso
<b>Mo</b>	Molibdeno
<b>Ni</b>	Níquel
<b>Zn</b>	Zinc
<b>Cu</b>	Cobre
<b>Ni-Ti</b>	Níquel Titanio
<b>g</b>	gramos
<b>mg</b>	miligramo(s)
<b>pH</b>	potencial de Hidrógeno
<b>mL</b>	mililitro(s)
<b>SS</b>	Acero inoxidable

## ABSTRACT

The metal alloys used in dentistry in their chemical composition are mainly made of nickel (Ni) and titanium (Ti), which can release metal ions in unstable environments such as the oral cavity due to variations in temperature, wet and pH salivary, due to the electrochemical degradation of the materials that contributes to the corrosion of the metals used in orthodontics. The attachments used in fixed orthodontic appliances such stainless Steel (SS), nickel-titanium (Ni-Ti) submit morphological and structural changes due to the release of metal concentrations. The aim of this research was to evaluate the release of metal ions by different biomarkers such as urine, saliva and hair by the use of fixed orthodontic appliances through the analysis of the technique by Inductively Coupled Optical Emission Plasma Spectrometry (ICP-OES).

In this study, 35 individuals were selected under orthodontic treatment, from whom samples of saliva, urine and hair were collected in 3 stages: a) baseline, b) at three and c) six months after the placement of fixed appliances. The presence of metal ion concentrations in saliva, urine and hair was performed using the ICP-OES instrument and technique. In addition, salivary pH was determined at different time intervals. The wires of Ni-Ti (0.016 "), Ni-Ti (0.016 x 0.022") and SS (0.016 x 0.022 ") were analyzed by SEM after one month of being in contact with the oral cavity. Statistical analyzes were performed with SPSS using the ANOVA model of repeated measures with a  $p < 0.05$ . Statistically significant differences were found in the levels of Ni in saliva between the stages of 3 and 6 months of intervention and for Ni in urine at 6 months. The average value of salivary pH at baseline was 7.12, at 3 months it decreased to 6.93 and at 6 months it increased to 7.44. Corrosion was observed in the Ni-Ti arcs (0.016 "), the control group showed an elementary chemical composition: Ni (55.79%) and Ti (44.21%) weight.

The study showed that fixed appliances have a correlation between the release of metal ions and metal corrosion, concluding that the release of Ni and Ti reached the highest concentration peaks at 3 months after placement.

## INTRODUCCIÓN

La biocompatibilidad de los materiales utilizados en la aparatología fija ortodóntica es un tema de interés en la investigación odontológica, debido a que está relacionada con la liberación de iones metálicos en el organismo e inducción potencial de efectos biológicos y toxicológicos. Un tratamiento de ortodoncia, se lleva a cabo durante un tiempo de 12 a 18 meses, la cavidad bucal está en contacto directo con la aparatología ortodóntica. La cavidad oral es un medio ideal para los procesos de corrosión, dadas sus características biológicas y microbiológicas. Se realizó una revisión de los estudios más recientes examinando tanto la liberación de iones metálicos, como las concentraciones de diferentes iones metálicos con especial interés los analizados en este estudio.

Con esta investigación, el propósito fundamental fue determinar los niveles de bioacumulación de los metales por el uso de aparatología fija ortodóntica a partir de su concentración y cuantificación en el medio bucal; mediante diferentes biomarcadores como es la orina, la saliva y el cabello, así como describir las generalidades de la aparatología fija desde el punto de vista químico, biológico y toxicológico.

Los materiales utilizados en tratamientos ortodónticos sufren alteraciones estructurales, morfológicas, sobre sus propiedades físicas, lo que puede conducir a la liberación de iones metálicos de diferentes materiales y contribuir a efectos tóxicos para la salud; sin embargo, aún hay bastante por explorar en este campo del conocimiento, ya que gran parte de la información disponible es controversial.



# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1 Materiales en ortodoncia

Generalmente, los tratamientos ortodónticos se dividen en tres fases: nivelación, cierre de espacios, corrección anterior-posterior y terminado, utilizando una variedad de aleaciones y materiales, éstos van a generar fuerzas biomecánicas asociadas con los movimientos dentarios. Una vez que el alambre se activa o se dobla se produce una descarga o desactivación de las fuerzas que producen el movimiento ortodóntico. La aparatología fija ortodóntica incluye brackets, bandas, arcos de acero inoxidable y níquel-titanio compuestos químicamente por níquel, titanio, cromo, hierro y cobre (1-4).

Las fuerzas que se ejercen en el arco ortodóntico es un procedimiento común para mover un diente, especialmente durante el cierre de los espacios, en casos de extracción y corrección, el arco recupera su forma y la fuerza disminuye hasta que cae su límite elástico. Estas fuerzas pueden disminuir o aumentar la eficiencia del tratamiento, pérdida o aumento de anclaje y realizar movimientos dentarios (5,6).

El acero inoxidable fue introducido en la Odontología durante los años 40 y 50 como material resistente a la acción de los agentes químicos. Además se encuentra presente en diferentes secciones y tamaños, presentando una variedad de durezas en función de los tratamientos. Los dos tipos de aceros inoxidables que podemos encontrar en Odontología son los martensíticos y los austeníticos:

Los martensíticos contienen poca cantidad de níquel, son básicamente aleaciones de hierro y cromo, la principal ventaja es la biocompatibilidad de los tejidos; por otra parte, los aceros inoxidables austeníticos, tienen otros elementos de aleaciones como el hierro y cromo, principalmente el níquel le aporta mayor ductilidad, tenacidad y resistencia a la corrosión.

El cromo es un material que se oxida superficialmente formando el óxido de cromo que es una capa delgada y de alta adherencia, de esta forma protege al material del medio ambiente en donde se encuentre, las ventajas de este material es el costo e inocuidad para los tejidos humanos. La importancia del níquel presenta la estabilización a temperatura ambiente, sin embargo la presencia del carbono genera que sea estable a altas temperaturas. (7-10).

Las aleaciones más utilizadas en odontología están diseñados de combinaciones de níquel, titanio, cobalto y cromo, empleados para coronas, arcos, bandas, brackets y puentes colados; la composición elemental del acero inoxidable para uso ortodóntico es de 18 % cromo y 8 % níquel. El níquel ha generado gran preocupación, debido a su toxicidad intrínseca sus propiedades dañinas debido a las concentraciones, este elemento se potencializan al estar interactuando en un medio acuoso como la cavidad oral, se exponen a interacciones iónicas que propician la corrosión, siendo la descomposición electroquímica la más común (11).

En este contexto, las aleaciones utilizadas en la aparatología fija emiten corrientes electrogalvánicas al interactuar con la saliva, lo que lleva a una liberación de iones metálicos en la mucosa bucal. El níquel está presente en las aleaciones de acero inoxidable para estabilizar la fase austenítica, mejorando la resistencia a la corrosión, interacciona con el pH salival y la temperatura del medio bucal, mientras que el cromo ayuda a la formación de la película de pasivación que condiciona a un ataque corrosivo en la superficie del metal retrasando la liberación iónica (12-15).

### **1.1.2 Composición química de los aditamentos en odontología**

En 1984 la Asociación Dental Americana propuso una clasificación simple para todas las aleaciones de Odontología. Tres categorías fueron descritas: alta noble (Au > 40 % en peso y el metal noble > 60 % en peso), noble (metal noble > 25 % en peso) y los metales base (contenido de metal noble <25 % en peso). Este último incluye las aleaciones de Co-Cr, que se componen de 75 % en peso o más de los elementos de metal base o menos de 25 % en peso de elementos de metal noble (Au + Os + Pt + Rh + Ru), aunque en la actualidad el Ni-Cr son las que se utilizan en la aparatología fija ortodóntica.

Las aleaciones de Co y Cr se utilizan para la elaboración de prótesis removible y algunos otros aditamentos en odontología, recientemente surgen como una alternativa de las aleaciones de Ni-Cr, ya que como alternativa el Co-Cr son libres de Ni, medida de protección dada su respuesta alérgica, relacionadas con la toxicidad del níquel (16).

El níquel es conocido como un factor determinante en las respuestas alérgicas y de hipersensibilidad que afecta aproximadamente al 10% de la población general, se estima que 4.5 a 28.5% de las personas presentan un sensibilidad al níquel. Además, se han reportado

los riesgos para la salud a partir de elementos tóxicos provocando síntomas clínicos, tales como dermatitis alérgica, asma, y úlceras en mucosa (17,18).

Por otra parte, se han encontrado que las aleaciones de Ni-Cr pueden producir reacciones de hipersensibilidad IV. Se ha establecido que la bioacumulación de estos elementos se lleva a cabo durante el tratamiento ortodóntico, estos son liberados en la cavidad bucal y la prevalencia de presentar una respuesta alérgica a consecuencia del níquel es de un 0.2-0.4 % posterior a un tratamiento, es decir solo el 10% de los pacientes son sensibles a presentar una respuesta a consecuencia de la colocación de la aparatología fija (19).

### **1.1.3 Toxicidad de los materiales en aparatología ortodóntica**

En los últimos años se han realizado investigaciones relacionadas con los efectos tóxicos asociados al uso de materiales metálicos en tratamientos médicos y odontológicos. Debido a la posible liberación de iones metálicos durante los tratamientos de ortodoncia, éste se ha convertido en un tema importante en la evaluación de la bioseguridad en odontología.

La liberación de los metales en la cavidad oral se presenta por diversos factores y mecanismos, uno de ellos es la corrosión que ha sido evidente en los aparatos ortodónticos después de los tratamientos. Se ha reportado que la concentración del níquel en saliva es de 4.2 mg/cm<sup>2</sup> por día, sin embargo el aumento de la concentración del níquel puede deberse a un conjunto de factores como el pH salival y la dieta, así también la liberación metálica *en* pacientes con tratamiento de ortodoncia puede ser de 40 mg/día para el níquel y 36 mg/día para el cromo y el uso de arcos de acero inoxidable pueden ocasionar la liberación del níquel de 0.26 mg/día (20).

La prevalencia a nivel mundial alérgica al níquel y cromo es de 1% en hombres y 10% en las mujeres, según la tasa de excreción de níquel es 0.90% y para el cromo es 0.25%, de la ingesta dietética de un individuo por día.

La toxicidad a los metales en específico Ni-Cr se le atribuye al fenómeno conocido como hipersensibilidad IV que es una respuesta a un cuerpo extraño que es detectado en el organismo, es importante determinar con precisión la cantidad de níquel y cromo que se secretan en la ingesta dietética para determinar si existe una bioacumulación por el uso de

aparatoología fija, sin embargo faltan datos toxicológicos y epidemiológicos sobre la liberación del Ni *in vivo*.

Aunque se reporta que para la población escandinava las cifras de prevalencia del níquel es de 8 a 28% en las mujeres y el 1 al 5% en los hombres, mientras que en China no se han reportado datos de prevalencia hasta el momento, pero se ha encontrado que el níquel es el causante de la dermatitis de contacto, basado en pruebas dermatológicas (21).

Los aparatos de ortodoncia juegan un papel importante en la concentración de iones en la cavidad oral, ya que estos iones, como el níquel (Ni), cromo (Cr), hierro (Fe), magnesio (Mg), zinc (Zn), cobre (Cu), calcio (Ca), pueden conducir a trastornos metabólicos, disminución en los procesos inmunológicos, patologías e incluso la apoptosis celular. La bioacumulación de Ni-Cr por soportes, bandas, arcos y alambres de los aparatos de ortodoncia si se presentan en concentraciones superiores a las permitidas pueden conducir a efectos biológicos adversos, tales como citotoxicidad, genotoxicidad y alergias (22-26).

#### **1.1.4 Níquel**

El níquel es un elemento traza, presente en la corteza terrestre, tiene propiedades físicas y químicas, además puede ser utilizado en su forma metálica o en aleaciones; sin embargo, el uso frecuente de este metal en diferentes disciplinas, podría causar efectos adversos como los antes mencionados que predisponen a una hipersensibilidad La exposición al níquel puede ser por diferentes vías de acceso como es la aérea, digestiva o por contacto, dependiendo de la exposición al metal.

Aunque se detectan cantidades de níquel en la dieta que actualmente se consume, como son los alimentos provenientes de mar, carnes, vegetales, derivados de grasas y chocolates, éstos provocan que los efectos de toxicidad se potencialicen y desarrollen patologías secundarias por este fenómeno (27-29).

Otro factor predisponente es el consumo de tabaco ya que las cantidades de níquel en el organismo pueden ocasionar altas probabilidades de cáncer pulmón, nariz, laringe y próstata después del factor de riesgo y la exposición al níquel. De todos los metales sensibilizadores de piel, el níquel es considerado el número uno de alergia de contacto, especialmente en las mujeres. A pesar de que existen altos porcentajes de reacciones por el níquel, estas

reacciones presentan los índices más bajos por el uso de aparatología fija ortodóntica con un 0.2% - 0.4% de pacientes (30,31).

La liberación de iones metálicos, especialmente del níquel es a través de las aleaciones dentales, existe una preocupación por sus efectos tóxicos locales y sistémicos, inmunogénicos y mutagénicos, es por ello el estudio e interés por reducir los porcentajes de níquel en las aleaciones, existen materiales que pueden sustituir al acero inoxidable y por ende al níquel (32-35).

### **1.1.5 Titanio**

Es el elemento químico de número atómico 22 y peso atómico 47.90. Mientras que su comportamiento químico tiene semejanzas con el del silicio y el zirconio, como un elemento del primer grupo de transición, especialmente de los estados de oxidación más bajos, tiene algunas semejanzas con la del cromo y el vanadio. Este metal está inmerso con la aleación con hierro, molibdeno, vanadio y cromo para estabilizar la fase en las aleaciones de titanio. Estos mismos metales incorporados en la composición de la aleación contribuyen al aumento de fuerza y dureza

La resistencia a la corrosión del titanio se da por el fenómeno de la capa de pasivación que se forma en la superficie, también existe un proceso que se conoce como ionización del metal en el cual se adhieren iones de nitrógeno y otros iones de gas que penetran en la superficie del alambre a altas energías, creando una estructura que se compone de una capa delgada de compuestos titanio-nitrógeno en la superficie y es por ello que actualmente se utiliza en diversos campos de la medicina por la capacidad de biocompatibilidad en el organismo (36-38).

### **1.1.6 Cromo**

El cromo es un metal que no se encuentra en la naturaleza, una de sus propiedades es relativamente dúctil y suave en estado puro, pero existen cuatro isótopos naturales como trivalente Cr(III) y hexavalente Cr(VI); El cromo VI es el más tóxico en el ambiente, se da principalmente por la actividad industrial que ha provocado una mayor oxidación del Cr(III), éste es esencial en la dieta, para el metabolismo de los ácidos grasos y la glucosa.

El Cr(VI) se transforma rápidamente en Cr(III) por un proceso de oxidación en el medio oral, sin embargo sigue considerándose hipotético que el Cr hexavalente no posea un riesgo genotóxico y carcinogénico, mientras que el Cr(VI) induce a un daño del DNA, con mutaciones, oxidación de las bases, entrecruzamiento de proteínas, aberraciones cromosomales, cambios en las cromátidas hermanas y cambios en el micro núcleo, el daño celular presente en este tipo de reacciones químicas y específicamente por el cromo ha sido de gran interés para las investigaciones. El Cr se entrelaza rápidamente con las células por su anillo tetraedral que imita al fósforo y sulfatos de sales que ingresan al sistema de transporte activo celular, ahí inicia su oxidación; sin embargo en este proceso ocurren algunas variaciones en el DNA, incluyendo la formación de radicales libres que alteran la formación normal del material genético celular.

El nivel de cromo que se libera con el uso de la aparatología ortodóntica según lo reportado alcanza sus picos máximos en el día 14, posterior a éste va cayendo la curva de concentración trascurrido los días; ocurre el caso contrario en el níquel, la tasa de liberación no disminuye a partir del séptimo día. Por lo tanto, es poco probable que en los materiales que presentan aleación de Ni-Cr disminuya este fenómeno en el transcurso del día 7. Por esta razón se asume que la concentración de níquel en la superficie de la aparatología está siendo disminuida a un nivel más rápido que el cromo. La cantidad total de liberación de cromo durante un período de 4 semanas fue de 0.35 mg/día. Eso quiere decir una liberación diaria de 0.7 µg. Esto es aproximadamente el 0.25% de lo reportado en la ingesta diaria de cromo que es de 280 mg (39-41).

## **1.2 La Corrosión de los materiales**

La corrosión del acero inoxidable se presenta cuando la película es susceptible a zonas localizadas tales como picaduras, grietas y estrés que están sometidas por diversos factores y condiciones que favorecen este fenómeno. El problema más importante asociado con el acero inoxidable es el efecto negativo de la liberación de los iones metálicos y la fricción ocurrida durante los tratamientos ortodónticos.

La superficie de un metal se deteriora por reacciones electroquímicas a través de la liberación de iones, a este efecto se le conoce como corrosión. Los metales en estado combinado, como por ejemplo los óxidos, sulfatos, carbonatos o silicatos; en estos estados, las energías de los

metales son más bajas, mientras que en el estado metálico las energías de los metales son más altas, que dan como resultado la pérdida de la sustancia del material y los cambios en las características estructurales. Puesto que la aparición de corrosión conduce a la destrucción electroquímica del material, cualquier tipo de corrosión electroquímica es posible en el medio ambiente bucal porque la saliva es un electrolito débil y la propiedad electrolítica de la saliva depende de la concentración de sus componentes; factores externos intervienen sobre el entorno biológico, el pH, la tensión superficial y su capacidad buffer, esta exposición del organismo humano a oligoelementos puede revelar diferentes aspectos relacionados con la aplicación de materiales metálicos en odontología (42,43).

Estos factores puede influir en la dureza de la aleación, así mismo la magnitud de la corrosión puede ser controlada por estas variables. La corrosión de los materiales dentales en un ambiente oral se debe a los constantes cambios mecánicos, químicos, enzimáticos y bacterianos. Es posible que los iones metálicos se disuelvan a partir de los materiales de ortodoncia por la acción cáustica de saliva, electrolitos en los restos de comida y los ácidos producidos por las bacterias.

La mucosa oral está constituida por un tejido epitelio estratificado compuesto de múltiples capas de células que muestran diferentes patrones de diferenciación y maduración entre la capa de células más profundas y la superficie. Sin embargo, la reacción del tejido humano en las aleaciones iónicas disueltas puede variar desde una alergia a una perturbación severa en la región adyacente a la prótesis o aditamento (44-46).

Los iones metálicos Ni, Cr y Co son comúnmente conocidos como alergénicos y citotóxicos, es por ello que las aleaciones deben poseer características anticorrosivas, lo que significa que los aparatos de ortodoncia deben ser biocompatibles con el organismo. La literatura refiere las muestras biológicas como el pelo, saliva, orina y la sangre que se han utilizado como matrices en los estudios *in vivo* para la evaluación de la liberación iónica en ortodoncia. La saliva y el cabello, son matrices no invasivas fácilmente disponibles y almacenables, pueden ser utilizadas para la evaluación de la biocompatibilidad de las aleaciones de ortodoncia en el caso de labio-paladar hendido, fisura ósea alveolar. Muy pocos estudios han investigado la biocompatibilidad de la soldadura de plata utilizada en los aparatos de ortodoncia auxiliares, presentes en la composición de bandas de ortodoncia (tales como Ni,

Cr, y Fe), las aleaciones de soldadura de plata contienen Ag, Cu, y Zn como componentes principales (47,48).

### **1.2.1 Los Tipos de Corrosión**

#### **1.2.2 Ataque Uniforme**

Es el tipo más común de corrosión. Se produce en todos los metales en diferentes proporciones. El metal pasa por una reacción redox con el medio ambiente que lo rodea y no se detecta sino hasta que la mayor parte del metal es afectado. Se considera un poro, aquel que su profundidad es igual a su anchura

#### **1.2.2 Corrosión en Picadura, Porosa “Pitting”**

Puede formarse en las superficies de arcos y brackets pues ellos no son perfectamente lisos y a la microscopía se observan poros y grietas. Se ha pensado que estas presentaciones aumentan la susceptibilidad a la corrosión por la habilidad de albergar microorganismos de la placa bacteriana. Estos microorganismos causan una disminución localizada del pH y disminución de oxígeno, lo que a su vez afecta el proceso de pasivación.

En el caso del Ni-Ti, se cree que el estrés de la superficie residual producido por el proceso de producción puede ser más importante que las rugosidades superficiales en la susceptibilidad a la corrosión de los arcos. En el acero inoxidable adopta la forma de surcos que se desarrollan en la interfase entre dispositivos metálicos y restos de alimentos o polímeros no adhesivos. Los polímeros, elásticos o rígidos, promueven la corrosión localizada. Después de formada la picadura o poro, el acceso de oxígeno es limitado y la capa protectora de óxido de cromo no puede regenerarse. Como resultado de varias transformaciones químicas, el pH del interior de esos hoyos declina y el proceso se torna autocatalítico y socava la estructura interna del metal con fisuras o cavidades profundas (49,50).

#### **1.2.3 Corrosión en Grieta**

Ocurre en el lecho expuesto al ambiente corrosivo, a través de la aplicación de partes no metálicas en metal (ej.: ligadura elastomérica sobre el bracket). Aumenta por diferencias de iones metálicos o en la concentración de oxígeno entre la grieta y su vecindad. Puede también



presentarse en los aparatos removibles donde los arcos y tornillos penetran en el acrílico, y se evidencia una decoloración color marrón, que se cree es debido a bacterias y a la película que se forma entre la aleación metálica y el acrílico (51).

#### **1.2.4 Corrosión Galvánica**

Ocurre cuando dos metales son puestos juntos en una solución conductora o un electrolito. El más electronegativo de los metales es el ánodo y el más electropositivo o metal noble, es el cátodo. Por esto, el metal más electropositivo corroe principalmente. Las celdas de corrosión galvánica son creadas por diferencias de potencial electroquímico entre dos tipos de metales o el mismo metal en diferentes sitios. Estas celdas galvánicas pueden ser hechas bajo diferentes circunstancias de pH, rugosidad superficial y trabajo debido a repetidos dobleces.

En presencia de un electrolito la unión de un metal anódico con otro metal menos noble da origen a la formación de una celda eléctrica. El metal menos noble se oxida, parte de sus átomos liberan electrones y se torna positivo o anódico (y soluble). El metal más noble se transforma en electronegativo (catódico y resistente a la corrosión).

En ortodoncia, la corrosión galvánica ocurre donde dos metales diferentes se unen para construir un bracket o arco incluso la misma aleación sujeta a diferente tratamiento. Toma lugar un proceso combinado de oxidación y disolución. El metal menos noble es oxidado y se vuelve anódico, mientras algunos átomos liberan electrones, los iones se disuelven y se vuelven iones solubles. El metal más noble se vuelve catódico y más resistente a la corrosión respecto al metal menos noble.

En los aparatos removibles, la situación es exacerbada en los puntos de soldadura, pues es un lugar mecánicamente activo. El acero inoxidable tiene la característica de tener un comportamiento activo-pasivo, dependiendo de las condiciones ambientales en las que el lecho de óxido de cromo protector pueda ser eliminado (forma activa) o regenerado (forma pasiva). Así la corrosión galvánica puede tomar lugar dependiendo del estado del acero inoxidable (contacto con metales derivados de soldadura). No obstante este tipo de corrosión es más común en el lugar de mayor contacto con el diente (52).

#### **1.2.5 Corrosión Intergranular**

Los brackets de acero inoxidable sujetos a altas temperaturas (temperaturas de esterilización), se someten a alteraciones en su microestructura. El fenómeno se debe a la precipitación del carburo de cromo en los límites de los granos.

En contraste con la corrosión uniforme o en picadura, los patrones que participan en la disolución de parte del metal en la corrosión intergranular afecta principalmente la solubilidad del carburo de cromo.

El acero inoxidable es particularmente susceptible a la corrosión intergranular durante el proceso de soldadura; puede ocurrir a 350° C. El calentamiento lleva a una reacción de cromo con carbón, formando carburo de cromo donde la aleación se vuelve más brillante y menos resistente a la corrosión ya que el cromo reaccionó con el carbono, es menos posible a formar el lecho óxido (53).

#### **1.2.6 Corrosión Desgarrante**

Se refiere al proceso que ocurre en contacto con áreas de material sujeto a carga y encuentra su análogo en la interfase slot y arco.

La apariencia es de grietas y grandes poros juntos con signos de delaminación, probablemente debido a la fricción creada durante el movimiento. Existe una destrucción notable de la estructura granular con disminución en su tamaño. Esta apariencia no se consigue con experimentación in vitro. Durante la aplicación de la carga, los dos metales pasan por un proceso de soldadura por frío, por la presión de la interfase entre ellos, lo que eventualmente producirá el desgarre de la unión, desnudando la superficie de lecho óxido y dejando al metal, susceptible a la corrosión.

#### **1.2.7 Corrosión por Estrés**

Cuando los arcos son ligados al bracket en dientes apiñados, aumenta el estado de reactividad de la aleación. Esto genera tensión y desarrolla estrés local por la carga tridimensional multiaxial del arco. Entonces se crea una diferencia de potencial electroquímico en sitios específicos actuando en unas superficies como ánodos y en otras, como cátodos (54).

#### **1.2.8 Corrosión por Fatiga**

Los metales generalmente tienen tendencia a la fractura por estrés cíclico (fatiga). Este fenómeno es acelerado cuando la aleación está expuesta a un medio corrosivo. La fatiga se acelera disminuyendo la resistencia por exposición a un medio corrosivo como la saliva. El proceso ocurre frecuentemente en arcos que permanece en el ambiente oral por períodos extendidos bajo carga. Se caracteriza por tener tres áreas delimitadas en la fractura: una lisa, otra rugosa y una de apariencia cristalina (55).

### **1.3. Biomarcadores Biológicos**

#### **1.3.1 La Saliva**

La saliva es una solución súper saturada en calcio y fosfato que contiene flúor, proteínas, enzimas, agentes buffer, inmunoglobulinas y glicoproteínas, entre otros elementos de importancia para evitar la formación de las caries. Su producción obedece a reflejos condicionados, la naturaleza del estímulo y la respuesta según la glándula, su viscosidad varía en función del equilibrio simpático y parasimpático.

Algunos autores consideran que la saliva mixta o total debería llamarse con mayor propiedad “Fluido Bucal”, ya que además de componentes aportados por las glándulas salivales, contiene leucocitos, células epiteliales bucales descamadas, microorganismos, líquido crevicular (exudado de la hendidura gingival) y restos de alimentos. Puede ser considerada como un filtrado de suero, puesto que se deriva de la sangre. Es decir que el proceso de producción de la saliva está unido al equilibrio del fluido corporal en su totalidad y el flujo de sangre, a través de los tejidos de las glándulas salivales tiene un efecto mayor sobre la producción de la saliva (56-59).

#### **1.3.2 Tipos de saliva**

La saliva es una secreción que resulta de la composición y localización de las glándulas salivales dentro de la cavidad bucal, que viene a ser las serosas y mucosas. La secreción serosa es rica en proteínas, pobre en hidratos de carbono y contiene amilasa que interviene en la digestión inicial; la secreción mucosa, es pobre en proteínas y rica en hidratos de carbono; contiene mucina que lubrica y protege las superficies orales. Estas células serosas

y mucosas de las glándulas mayores, secretan el 85 % a 90 % de la saliva. Al combinarse producen viscosidad y acciones del tampón de la saliva

La saliva como secreción exócrina compleja, proviene de las glándulas salivales mayores en el 93% de su volumen y las menores en 7% restantes, las cuales se extienden por todas las regiones orales. La saliva contiene dos tipos principales de secreción proteica: secreción serosa rica en ptialina ( $\alpha$ -amilasa), que es una enzima para digerir los almidones, y una secreción mucosa que contiene mucina, que cumple funciones de lubricación y protección de la superficie. El líquido presente en la boca proviene de las glándulas salivales mayores y menores; la saliva es secretada por las glándulas bucales, se conserva estéril hasta que se descarga en la boca, se mezcla con la saliva proveniente de otras glándulas y se le conoce como saliva total (60-62).

### **1.3.3 Componentes de la saliva**

Las glándulas salivares mayores y menores contribuyen a la composición de la saliva y se relaciona con el flujo, tiene característica serosa, mucosa o mixta. La presencia de proteínas y péptidos salivales contribuyen al equilibrio de los microorganismos presentes en la cavidad bucal y esta composición está controlada de acuerdo al ritmo de secreción la misma que está regulada por el centro salivatorio en el encéfalo, tiene menos proteínas e iones que la sangre y cada componente que tiene la saliva es primordial para la salud del individuo y éstos cumplen una función determinada (63).

Las proteínas salivales juegan un rol mayor en la dinámica de la cavidad bucal, ya que se les atribuyen propiedades antimicrobianas y antifúngicas, participan en la lubricación y mantención de la integridad de la mucosa, contribuyen a aumentar la capacidad buffer y promueven la remineralización, además de participar en los procesos fisiológicos de deglución, digestión, fonación y gusto. La importancia de analizar las variaciones existentes en la composición proteica salival, radica en que estas moléculas juegan un rol preponderante en la mantención de la salud e integridad tanto de los tejidos dentarios, como de la mucosa oral. El 99% de saliva es agua mientras que 1% restante está constituido por moléculas orgánicas e inorgánicas, entre los componentes orgánicos se encuentran carbohidratos, lípidos, aminoácidos, inmunoglobulinas (IgA, IgM, IgG), proteínas ricas en prolina,

glicoproteínas, mucinas, histaminas, urea, ácido úrico, lactato, y algunas enzimas como alfa amilasas peroxidadas salivales y anhidrasas carbónicas.

Los principales componentes son:

- a) Agua 99%
- b) Componentes proteicos y glicoproteínas: ptialina (amilasa salival).
- c) Componentes orgánicos no proteicos: ácido úrico, glucosa, creatinina.
- d) Componentes inorgánicos: Na, K, Ca, cloruros, fluoruros, fosfatos, (64-66).

#### **1.3.4 Las funciones de la Saliva son:**

- a) Limpiar las superficies de los dientes.
- b) Mantener los tejidos bucales húmedos y protegerlos contra los irritantes y la desecación.
- c) Ayudar a la masticación y deglución de alimento.
- d) Proporcionar acción antibacteriana.
- e) Ayudar a la formación de la película, que es una membrana protectora en la superficie del diente (67).

#### **1.3.5 Volumen de la saliva**

El flujo salival se calcula dividiendo el volumen salival y el tiempo de recolección, existen dos tipos de flujos salival: en reposo y estimulado; en condiciones normales el flujo en reposo es de 0.25 y 0.40 mL/min, mientras que el flujo salival estimulado normal es de 2 mL/min. La saliva que no es estimulada permanece alrededor de unas 14 horas en la cavidad oral cumpliendo su función protectora; en cambio la saliva estimulada después de la ingesta, su acción se ejerce durante unas 2 horas. Un incremento en el amortiguamiento salival minimiza los productos finales acidógenos de las bacterias. El aumento del flujo salival con un mayor contenido líquido, promueve el retiro de los alimentos cariogénicos al tiempo que se establece un ambiente osmótico favorable para la difusión más rápida de los iones de hidrógeno hacia la saliva, en vez de hacia el diente; sin embargo, el efecto de la desmineralización no se puede atribuir a los alimentos y bebidas, teniendo en cuenta sólo el pH. Otros factores también deben ser considerados, incluyendo la propiedad física y química

que afectan la adherencia de los microorganismos a la superficie dental y la estimulación del flujo salival (68,69).

### **1.3.6 pH Salival**

El término pH, se utiliza para expresar la concentración de iones hidrogeniones de una solución. Las concentraciones altas de hidrogeniones corresponden a pH bajos y las concentraciones bajas a pH altos. El pH se mide en unidades potencio métricas en una escala que va de 0 a 14. El pH al cual la saliva está exactamente saturada con respecto a la apatita del esmalte, es denominado “pH Crítico”. Este valor dependerá de concentraciones de calcio y fosfato de la saliva. El pH crítico está entre 5.3 y 5.7. El pH crítico no es constante pero es proporcional a las concentraciones de calcio y fosfato de la saliva y el líquido de la placa. Los componentes inorgánicos se comportan como electrolitos, siendo los más importantes: los iones de calcio, fosfatos y fluoruros; de gran importancia en el proceso de remineralización, tiocinato, hiotiocinato, yodo y cloro; de interés en el mecanismo defensivo del hospedador; bicarbonato como elemento tampón; sodio, potasio, magnesio, amonio y dióxido de carbono; de éstos el calcio es el más importante, el cual se encuentra unido a proteínas, ionizado o como ion inorgánico. Las bacterias en el biofilm son metabólicamente activas, causando fluctuaciones en el pH de la saliva. Estas fluctuaciones pueden causar la pérdida de minerales de los dientes cuando el pH disminuye o ganancia de minerales al aumentar el pH. Las bacterias en el biofilm son metabólicamente activas, causando fluctuaciones en el pH de la saliva. Estas fluctuaciones pueden causar la pérdida de minerales de los dientes cuando el pH disminuye o ganan minerales al aumentar el pH (70,71).

### **1.3.7 Capacidad Tampón o Buffer**

La capacidad tampón de la saliva ayuda a controlar los descensos de pH; ante un ataque microbiano que puede ser causado por diversos factores, el organismo reacciona defendiéndose por medio de la saliva con su capacidad amortiguadora que va modulando el pH. El tampón ácido carbónico/bicarbonato ejerce su acción sobre todo cuando aumenta el flujo salival estimulado. El tampón fosfato, juega un papel fundamental en situaciones de flujo salival bajo, por encima de un pH de 6 la saliva está sobresaturada de fosfato con respecto a la hidroxiapatita (HA), cuando el pH se reduce por debajo del pH crítico de 5.5.

La hidroxiapatita comienza a disolverse, y los fosfatos liberados tratan de restablecer el equilibrio perdido, lo que dependerá en último término del contenido de iones de fosfato y calcio del medio circundante (72).

### **1.3.8 Desmineralización y Remineralización**

Las altas concentraciones de iones  $H^+$  provocan la solubilización de la hidroxiapatita y la desmineralización, la hidroxiapatita reacciona con los hidrogeniones a un pH de 5.5 o inferior. Los hidrogeniones reaccionan preferentemente por los grupos de fosfato del entorno acuoso inmediatamente adyacente a la superficie del cristal. Podemos considerar este proceso como una conversión de  $PO_4^{3-}$  en  $HPO_4^{2-}$  por la adición del hidrogenión. El  $HPO_4^{2-}$  no puede contribuir ya al equilibrio normal de la hidroxiapatita, ya que contiene  $PO_4^{3-}$  no  $HPO_4^{2-}$ , el cristal de hidroxiapatita se disuelve. Es lo que se conoce como desmineralización. El proceso de remineralización es cualquier modificación de las estructuras duras del diente, incluyendo dentina y cemento, que ocurre en el interior de los tejidos duros dentales previamente desmineralizados.

Un incremento en el amortiguamiento salival minimiza los productos finales acidógenos de las bacterias. El aumento del flujo salival con un mayor contenido líquido, promueve el retiro de los alimentos cariogénicos al tiempo que se establece en un ambiente osmótico favorable para la difusión más rápida de los iones de hidrógeno hacia la saliva, en vez de hacia el diente, Sin embargo, no se puede atribuir a los alimentos y bebidas, teniendo en cuenta sólo el pH. Otros factores también deben ser considerados, incluyendo la propiedad física y química que afectan la adherencia de los microorganismos a la superficie dental, la estimulación del flujo salival (73,74).

### **1.3.9 El Cabello**

El cabello es una fibra de queratina que se forma en un folículo de la epidermis, constituye un rasgo característico de la piel del ser humano. Se puede considerar como una pequeña unidad de excreción de los elementos traza, además, puede actuar como una especie de tejido almacenador donde los metales integran a su matriz proteica en la medida que crece.

Su estructura básica consiste en dos o tres cadenas de  $\alpha$ -queratina entrecruzadas en hebras llamadas microfibrillas organizadas en haces. Las hebras de cabello son estabilizadas y

obtienen su forma por uniones disulfuro de hidrógeno que hacen que el cabello adquiera una estructura semicristalina. El cabello se compone mayoritariamente de proteínas (65% a 95%), el resto lo forman lípidos (1% a 9%), pigmentos como la melanina (% variable que depende del color del cabello), sales minerales (0.25% a 0.95%), agua (15% a 35%) y elementos químicos (73-75).

La proteína más abundante es la queratina, la cual está compuesta por cadenas polipeptídicas muy ricas en cisteína. La cisteína es un aminoácido azufrado, que contiene un grupo sulfhidrilo o tiol (SH) que puede oxidarse dando el dímero cistina (14%) en la que el enlace disulfuro constituye un puente covalente entre dos restos de cisteína. El cabello con respecto a otras muestras biológicas tiene varias ventajas, ya que se recopilan a través de una toma de muestras no invasiva, contiene la mayor concentración de elementos para determinar con mayor eficacia el contenido de estos elementos en el cuerpo humano, a diferencia de la sangre, en la que las concentraciones tienden a mantenerse constantes mediante mecanismos de control homeostático. De esta manera, se extraerán de los tejidos o de la parte ósea los elementos deficientes para mantener sus niveles estabilizados por medio de mecanismos fisiológicos y bioquímicos (76).

### **1.3.10 Elementos trazas en cabello**

El cabello actúa como una especie de tejido almacenador así su contenido metálico consigue reflejar el estado del organismo a largo plazo debido a su lento crecimiento. Como término medio el cabello crece a una velocidad que oscila entre 0,7 y 1,5 cm/mes (dependiendo del sexo y edad), por lo que, una muestra de cuatro centímetros de longitud, puede reflejar la concentración promedio de los elementos traza de los últimos cuatro meses (77-80).

La concentración de elementos en sangre y orina reflejan un estado actual o reciente, el del momento de la extracción lo que representa un período relativamente corto dependiendo de algunos elementos.

Los metales pueden atarse a la estructura del pelo a través de melanina, la cual determina el color del pelo dependiendo de la cantidad y el tipo de melanina incorporaron en el cabello. La melanina es un polímero polianiónico con grupos semiquinones carboxil negativamente cargados en el pH fisiológico y consecuentemente puede atar los cationes cercanos por



interacción iónica. Aminas, iones orgánicos y metales pueden tener una alta afinidad por la melanina, porque están positivamente cargados en el pH fisiológico y obrar recíprocamente con el polímero de la melanina y las cargas negativas en polímero de la melanina. El intercambio iónico puede también ser realizado por otras fuerzas tales como atracción de van der Waal. Metales sin carga como el mercurio elemental, puede también atarse a la base hidrofóbica de la melanina polímero en la estructura del pelo.

La abundancia de elementos metálicos en cabello es debido a que éstos pueden ser incorporados en el pelo desde dentro del cuerpo endógeno, que debe ser distinguido de la contaminación por las fuentes externas exógenas, sin embargo, la contaminación del ambiente y de los cosméticos por ejemplo shampoos, aerosoles para el cabello, jabones y perfumes, estos tratamientos permanentes de la belleza del cabello también altera el contenido del elemento de rastro del pelo. Esta contaminación externa complica la interpretación de los resultados del análisis de cabello, ya que alteran los resultados en la determinación de niveles elementales endógenos.

Además la concentración de metales en cabello humano están estrechamente vinculados a la caracterización de los parámetros y condicionado la vida humana, como la nutrición, el medio ambiente, la salud, la edad, el sexo y la raza (81-83).

### **1.3.11 Determinación de elementos trazas en cabello**

La investigación de elementos traza en cabello humano se ha correlacionado con el diagnóstico de diversas enfermedades, como en la ciencia forense para demostrar estados de intoxicación. El cabello también es utilizado como indicadores de deficiencia en la nutrición. Para la Agencia de Protección Ambiental (EPA), el cabello es una de las más importantes muestras biológicas, para la vigilancia del medio ambiente en el mundo, el cabello humano es una rentable y conveniente indicador biológico de la contaminación ambiental.

El análisis de cabello es utilizado para el estudio del medio ambiente y la exposición profesional. Así como para evaluar la condición nutricional y ambiental de varios metales esenciales (Ca, Cr, Cu, K, Mg, Mn, Na y Zn) y tóxicos (Ag, Al, Cd, Ni y Pb).

Además, la localización dinámica a lo largo del cabello presenta un panorama general de la exposición media en la escala de tiempo que va de semanas a meses. En el caso de la orina

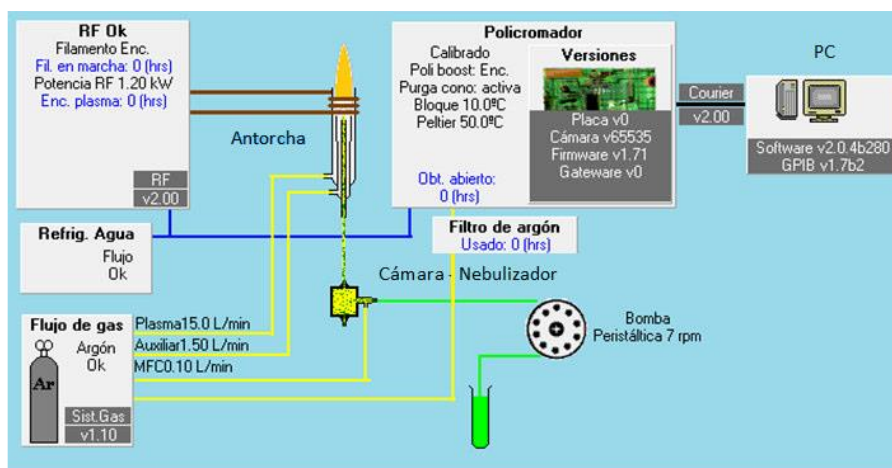
los elementos traza son excretados; sin embargo, una fracción de ellos se acumula en otras partes del cuerpo, lo que representa un impedimento de poder registrar valores elevados, por el desplazamiento de éstos a otros tejidos u órganos ya que de otra forma deberían aparecer en las heces o en otros fluidos corporales (84-88).

#### 1.4. Análisis de metales por ICP-OES

Componentes del Espectrómetro de Emisión Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP OES).

El espectrómetro de emisión óptica por plasma (ICP-OES) inducido consta de cuatro componentes principales, Figura 1.

- Sistema de introducción de muestras (Bomba peristáltica, cámara de nebulización, nebulizador)
- Fuente de emisión del ICP (Plasma y Generador de radiofrecuencia)
- Sistema óptico (Policromador)
- Detector y sistema de lectura



**Figura 1.** Componentes principales del ICP OES (Tomado del Software ICP Expert II de Agilent Technologies).

La bomba peristáltica introduce la muestra líquida hacia el nebulizador, el cual genera un aerosol suspendido en argón. Este aerosol es transportado por una corriente de argón hacia el plasma para su desolvatación, vaporización, atomización y/o ionización y excitación de los analitos presentes en la muestra. Los átomos e iones excitados emiten radiaciones

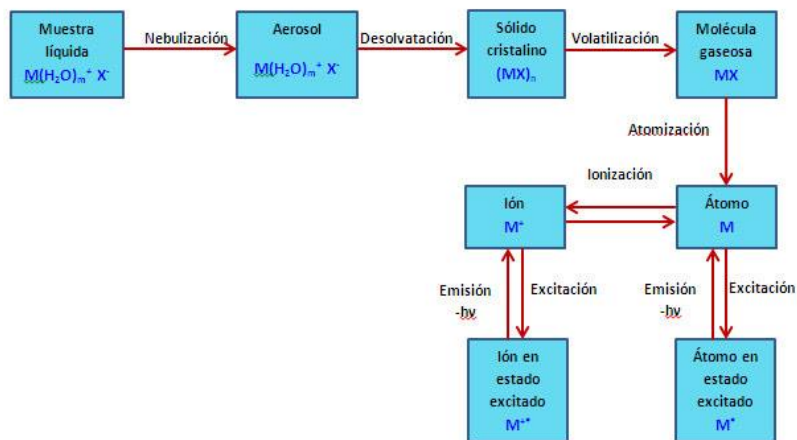
características, las cuales son dirigidas hacia el sistema óptico para su separación de acuerdo a sus longitudes de onda. Finalmente, estas radiaciones son transmitidas hacia el detector, el cual convierte la energía luminosa en corriente eléctrica, para su cuantificación (89-91).

#### **1.4.1 Sistema de introducción de muestras**

La forma más común de transportar las muestras líquidas hasta el plasma es en forma de aerosol, el cual es generado por un nebulizador; sin embargo, también es posible el análisis directo de muestras sólidas y de gases. Las técnicas de generación de hidruros y vapor frío también son aplicadas a la espectrometría de emisión óptica por plasma acoplado inductivamente. Cuando el aerosol de la muestra ingresa al canal central del plasma experimentará los procesos de desolvatación, volatilización y atomización Figura 2. a una temperatura entre 6 000 – 7 000 K por un período de pocos milisegundos (92).

La *desolvatación* es la evaporación del solvente de las gotas, obteniendo una suspensión de aerosol seco, es decir partículas desolvatadas. Durante el proceso de evaporación, las gotitas y partículas secas están rodeadas de una nube de vapor del solvente. Cuando el solvente se evapora, éste se encuentra cerca a su punto de ebullición, el cual se encuentra muy por debajo de la temperatura del plasma. En la volatilización se produce la conversión del aerosol seco en un gas o un vapor. Las partículas del soluto tienen un amplio rango de puntos de ebullición, estos valores son comparables con las temperaturas alcanzadas dentro del plasma.

La atomización es la conversión de los analitos volatilizados en átomos en estado basal. Una vez obtenidos los átomos en estado basal, se produce una ionización parcial; luego, estos átomos e iones son excitados. El periodo de tiempo para los tres primeros procesos está en el orden de milisegundos, mientras que los procesos de excitación e ionización son mucho más rápidos



**Figura 2.** La cantidad de disolvente en el aerosol y el número de gotas grandes que no son desolvatadas completamente por plasma, pueden afectar la excitación e ionización.

Los efectos de la desolvatación y atomización del analito durante la emisión óptica, el inicio de la desolvatación puede ser tomado desde el inicio de la intensidad del hidrógeno. A medida que la gota está ingresando a la zona del plasma, esta zona es enfriada por los procesos de desolvatación, disociación de las moléculas del agua, y por la excitación e ionización de sus productos (átomos de hidrógeno y oxígeno), en estas condiciones (flujo de gas de transporte: 0.18L/min) el tiempo de desolvatación fue aproximadamente 2 ms. La disminución de la intensidad de emisión de la línea de Ar se debe al enfriamiento de la zona del plasma donde ocurre la desolvatación, disociación, excitación e ionización (93).

#### 1.4.2 Generación del aerosol líquido

Los aerosoles constituyen la forma más sencilla de introducir muestras líquidas en medios tales como llamas o plasmas. Un aerosol líquido es un conjunto de gotas provenientes de una masa líquida suspendidas en una fase gaseosa cuyos diámetros abarcan un intervalo amplio.

Una de las características más importantes de los aerosoles es su elevada relación superficie-volumen. La importancia de esta propiedad radica en que cuanto mayor sea este cociente, más efectiva será la evaporación del disolvente facilitando la vaporización de la muestra.

Las funciones de un aerosol en espectrometría atómica son:

- a) Convertir la masa líquida en una forma que pueda ser convenientemente introducida en una célula de atomización de alta temperatura.
- b) Asegurar que la distribución de tamaño de gota sea lo suficientemente fina para que se produzca una rápida evaporación del disolvente en la célula de atomización.
- c) Asegurar que el analito que queda una vez que se haya evaporado el disolvente, esté en partículas lo suficientemente pequeñas como para que produzca totalmente su vaporización en el corto espacio de tiempo que transcurre mientras éste pasa a través de la célula de atomización.
- d) La producción de un aerosol a partir de una masa de líquido se requiere el aporte de una cantidad de energía, el proceso puede ser considerado como aquél en el que se crea una nueva superficie en contra de la tensión superficial, la cual mantiene a los líquidos con una relación superficie-volumen mínima (94).

### **1.4.3 Fenómenos de transporte en espectrometría atómica**

Por el término “fenómenos de transporte” se entiende al conjunto de procesos que tienen lugar desde que la muestra es aspirada hasta que alcanza el plasma.

Los aerosoles pueden ser generados de diversas formas. La más ampliamente utilizada es la del tipo neumático, en la que el aerosol se forma por la interacción entre la corriente líquida de la disolución y una gaseosa a alta velocidad. Al aerosol que ha sido generado inicialmente se le denomina *aerosol primario*. Justo en el momento en que se forma el aerosol primario se empieza a producir la evaporación del disolvente. La intensidad de la evaporación dependerá de las características del disolvente, temperatura del medio, tamaño de las gotas, etc.

Inmediatamente después de la nebulización y paralelamente a la evaporación tiene lugar otro fenómeno por el cual se tiende a la formación de gotas mayores por fusión de gotas de menor tamaño, este proceso se denomina *coalescencia*.

Una vez generado el aerosol primario, éste ha de atravesar la cámara de nebulización. En este punto, existe una diferencia entre las técnicas de llama y plasma; en la técnica de llama las cámaras de nebulización suelen contener superficies de impacto para generar un *aerosol*

*denominado secundario*, el cual es más fino que el primario. Sin embargo en la técnica de plasma no es común el uso de dichas superficies.

El aerosol secundario sufrirá una serie de transformaciones generadas por colisiones contra las paredes de la cámara, pérdidas gravitacionales, por turbulencias y centrifugacionales. Después de todos estos procesos, el aerosol resultante se denomina *aerosol terciario* y es el que finalmente llega hacia el plasma (95).

#### **1.4.4 Nebulizadores**

La técnica de ICP, el sistema de introducción de muestras líquidas está constituido por un nebulizador, una cámara de nebulización y un sistema inyector de muestra.

La elección del tipo de nebulizador utilizado en ICP para el análisis de muestras líquidas es crítica. Esta técnica está condicionada por las características del aerosol generado por el nebulizador y por ende, por el sistema de introducción de muestras.

El tamaño de partícula es una característica importante del aerosol producido por cualquier fuente e indica la calidad del aerosol. Un aerosol ideal debe tener gotas con diámetros  $<10 \mu\text{m}$  y ser monodisperso; es decir, las gotas deben tener diámetros idénticos. Básicamente, el proceso de nebulización consiste en la transformación de un volumen de líquido en un conjunto de gotas suspendidas en un gas. Los mecanismos de nebulización se basan en la generación de una inestabilidad sobre la superficie del líquido. Para ello, se aporta una cierta cantidad de energía a la masa líquida, la cual es utilizada para vencer las fuerzas de cohesión del líquido (tensión superficial, viscosidad, etc.).

#### **1.4.5 Nebulizador ultrasónico**

Un nebulizador ultrasónico (Ultrasonic nebulizer, USN) utiliza ondas de ultrasonido para la generación del aerosol, en lugar de un flujo de gas (Nebulizador neumático). En este nebulizador, un generador de ultrasonido impulsa un transductor piezoeléctrico a una frecuencia entre 200 kHz y 10 MHz. Las ondas son generadas normalmente en la superficie del cristal piezoeléctrico.

El aerosol se genera por efecto de la transferencia de la energía acústica a la muestra líquida a través del transductor piezoeléctrico que vibra a su frecuencia característica. Cuando la disolución entra en contacto con el transductor se generan ondas longitudinales en el interior de la misma, que crecen en dirección perpendicular a la superficie de la muestra generando ondas capilares en la superficie del líquido.

#### **1.4.6 Cámaras de nebulización**

Generalmente, la mayoría de los nebulizadores producen aerosoles primarios con una amplia distribución de tamaños de gotas (aerosoles polidispersos) con diámetros desde sub micras ( $< 1\mu\text{m}$ ) hasta  $100\mu\text{m}$  o superiores. Por ello, después del nebulizador, el siguiente dispositivo en un sistema de introducción de muestras líquidas es la cámara de nebulización, cuya principal función es actuar como un “filtro” adecuando las características del aerosol generado por un nebulizador a los requerimientos de la fuente de atomización.

Una cámara de nebulización ideal debería remover todas las gotas  $> 10\mu\text{m}$ , debido a que estas gotas no podrán ser vaporizadas completamente debido al tiempo de residencia corto en el plasma; adicionalmente las gotas más finas deberían salir de la cámara sin pérdida alguna. Para los análisis por ICP OES, se requiere gotas con diámetros  $< 10\mu\text{m}$ , porque sólo estas gotas pequeñas podrán ser completamente vaporizadas y por ende ionizadas durante el tiempo de residencia corto en el plasma.

La cámara de nebulización se encarga de eliminar las gotas de mayor tamaño e igualar las velocidades de las gotas a la del gas portador eliminando las gotas con velocidades elevadas y haciendo el flujo lo más laminar posible. El aerosol que emerge de la cámara de nebulización, y es transportado al plasma a través del tubo inyector recibe el nombre de aerosol terciario.

Cuando el aerosol atraviesa las cámaras de nebulización utilizadas comúnmente en las técnicas de plasma, se pueden perder hasta un 98-99% de la muestra nebulizada (96).

#### **1.4.7 Fuente de emisión del ICP**

##### **Antorchas**

Las antorchas están formadas por tres tubos concéntricos, este diseño permite el ingreso del gas argón para formar el plasma y la inyección del aerosol de la muestra. La separación estrecha entre los tubos externos permite que el gas salga a una velocidad alta. Este diseño también permite una circulación del gas en forma de espiral, a medida que avanza fuera de la antorcha.

En este diseño, el gas que circula entre los tubos más externos, es denominado “flujo de gas refrigerante”, “flujo de gas plasma” o más recientemente “flujo de gas externo”. Este gas es utilizado para mantener fría la pared de cuarzo de la antorcha y también para formar el plasma. Dependiendo del fabricante y en operaciones estándar de análisis, el rango del flujo de gas externo puede estar entre 11-15 L/min. El gas que circula entre el segundo tubo y el tubo inyector es denominado “flujo de gas auxiliar” o “flujo de gas intermedio”. Bajo condiciones de operación estándar, el rango de flujo de gas intermedio está entre 0.5-2 L/min. La función de este gas es levantar el plasma, esto permite alejar la base del plasma de los extremos de los tubos auxiliares e inyector, evitando de esta manera que estos tubos de fundan.

El flujo de gas que transporta el aerosol de la muestra hacia el plasma, es inyectada a través del tubo central o “inyector”. Bajo condiciones de operación estándar y dependiendo del tipo de nebulizador, el rango de este flujo de gas es de 0.5-1.5 L/min, este flujo de gas que es utilizado también para la nebulización, puede penetrar y hacer un agujero en el plasma. Debido a que este flujo de gas transporta la muestra hacia el plasma, es denominado “flujo de gas muestra”, “flujo de gas de nebulizador” o más recientemente “flujo de gas interno” (97).

### **1.5 Microscopía Electrónica de Barrido**

Es un instrumento que permite la observación y caracterización superficial de materiales inorgánicos y orgánicos, entregando información morfológica del material analizado. A partir de él se producen distintos tipos de señal que se generan desde la muestra y se utilizan para examinar muchas de sus características, Figura 3.



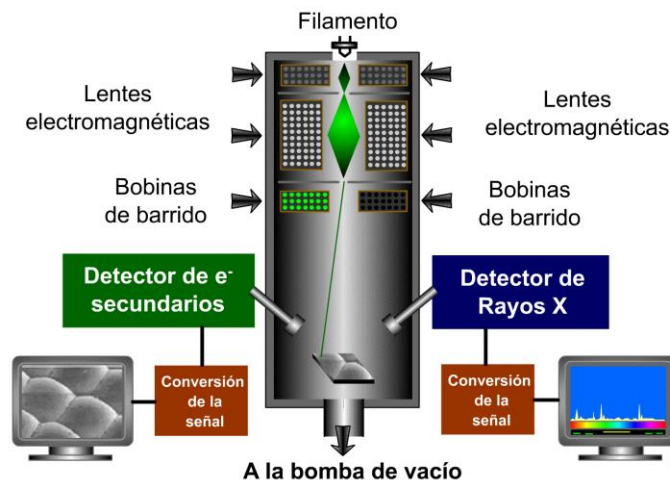
En el microscopio electrónico de barrido, el haz electrónico, atraviesa la columna y llega a la muestra. Un generador de barrido es el responsable de producir el movimiento del haz, de manera que barra la muestra punto a punto. De la interacción entre los electrones incidentes con los átomos que componen la muestra se generan señales, las cuales pueden ser captadas con detectores adecuados para cada una de ellas. Los electrones secundarios de baja energía ( $<50$  eV) emitidos de la superficie de la muestra se pueden utilizar para dar un tipo de imagen. Para facilitar esta emisión de electrones se metaliza la muestra, que consiste en recubrirla de una pequeña capa de un metal conductor como el oro (98).



**Figura 3. Microscopio Electrónico de Barrido.**

#### **Fuente propia**

Un microscopio electrónico de barrido típico, como el esquematizado en la Figura 4, consta de un cañón electrónico consistente de un filamento de tungsteno que tiene por función generar y acelerar electrones. En el cañón los electrones son enfocados en un haz y acelerados con voltajes que varían usualmente entre 1 a 30 KeV. Dos o más lentes condensadores son usados para reducir la sección cruzada de la imagen generada en la fuente de emisión. La última de las lentes o apertura objetiva tiene por función graduar el diámetro de la sección iluminada de la muestra y por lo tanto una mayor rigidez. Los dispositivos de barrido se sitúan por encima de la apertura objetiva y permiten que el haz enfocado barra una sección cruzada de la superficie de la muestra. Posteriormente se localiza un detector de las señales emitidas por cada zona del material y la imagen es producida coleccionando los electrones emitidos en un tubo de rayos catódicos. Figura 4



**Figura 4. Microscopía Electrónica de Barrido.**

### 1.5.1 Interacción haz incidente con muestra en SEM.

Cuando el haz de electrones choca contra la muestra, ocurren interacciones entre dichos electrones y los átomos que componen la muestra. De allí surgen señales tales como: electrones secundarios, electrones retrodifundidos, rayos X característicos, electrones Auger, catodo luminiscencia. Todas estas señales se producen simultáneamente pero cada una de ellas son captadas por detectores diferentes.

El microscopio electrónico de barrido puede estar equipado con diversos detectores, entre los que se pueden mencionar: un detector de electrones secundarios para obtener imágenes de alta resolución SEI (Secondary Electron Image), un detector de electrones retrodispersados que permite la obtención de imágenes de composición y topografía de la superficie BEI (Backscattered Electron Image), y un detector de energía dispersiva EDS (Energy Dispersive Spectrometer) permite recolectar los Rayos X generados por la muestra y realizar diversos análisis e imágenes de distribución de elementos en superficies pulidas.

El haz de electrones se puede concentrar en una zona diminuta (20 Å) que puede barrer la superficie del espécimen al ser reflectado por bobinas adecuadas. Los electrones secundarios se detectan por encima del espécimen y la imagen muestra la intensidad de los electrones secundarios emitidos por las diferentes partes de la muestra.

El detector capta una señal y las convierte en una señal electrónica que es proyectada en un tubo de rayos catódicos (CRT). El barrido del haz está sincronizado con el barrido del CRT y produce una relación uno a uno entre puntos de la muestra y puntos en el CRT (99).

Aplicaciones del Microscopio Electrónico de Barrido:

- a) Mineralogía de cementos: clínquer, alitas, etc.
- b) Mineralogía de áridos: granito, calizas, etc.
- c) Crecimiento cristalinos, texturas, figuraciones, porosidades, fragilidad, etc.
- d) Identificación de fases reactivas y productos expansivos.
- e) Apreciación de interferencia árido-pasta e índice de vacíos.
- f) Composición microquímica.
- g) Cuantificación de parámetros de caracterización

### **1.5.2 Preparación de Muestras**

Como primer requisito las muestras deben estar exentas de líquido, ser lo más planas posibles para que así se genere una imagen más homogénea y además cuando se desea visualizar una muestra en un microscopio electrónico de barrido ésta debe ser conductora ya que, de no ser así, se carga durante la irradiación por una acumulación de carga que desvía el haz electrónico y, como consecuencia de ello aparecen distorsiones en la imagen. Una solución a este problema es recubrir la muestra con una película conductora, de espesor comprendido entre 10 y 25 nm.

La elección del material con el que se va a recubrir la muestra depende fundamentalmente del estudio que se va a realizar. Así, para la observación de imágenes de electrones secundarios el oro y el oro-paladio son los materiales que conducen a los mejores resultados; al ser elementos pesados, producen mayor emisión.

Cuando lo que se pretende es realizar un estudio micro analítico es recomendable emplear carbono. El bajo número atómico de este elemento lo hace prácticamente transparente a los rayos X emitidos por la muestra.

### **1.5.3 Recubrimiento de muestras**

Se utiliza cuando las muestras sólo serán analizadas por concepto de imágenes sin incluir la obtención de espectro de rayos X. Consiste en una fuente de alimentación en corriente continua regulable de 1 a 3 KV, conectada por una parte a una tarjeta de oro y por otra parte al porta muestras. El conjunto va acoplado a una bomba de vacío. La introducción de un gas tal como el argón en la campana de vacío provoca que los átomos de argón impacten en la tarjeta de oro y se desprendan átomos de dicha tarjeta que son atraídos hacia la muestra en la cual quedan depositados en forma de películas metálicas proporcionando un espesor de recubrimiento que depende del tiempo de exposición.

### **1.5.4 Recubrimiento de muestras con carbono.**

Se utiliza carbono porque es el elemento más transparente para los rayos X. El metalizador de carbono está formado por dos electrodos conectados a una fuente de bajo voltaje y alta intensidad, entre ellos se ubica una barra de carbono que termina en forma de cúspide, la cual se evapora a medida que pasa la corriente y a la vez rocía a la muestra con una fina capa de carbono, todo el sistema funciona aislado en vacío.

La interacción puede ser elástica, cuando la trayectoria de los electrones se modifica pero no se altera significativamente su energía; o inelástica, cuando existe una transferencia total o parcial de energía a los electrones de la muestra. Para el SEM las señales de interés pueden categorizarse en tres grupos: electrones secundarios, electrones retrodispersados y rayos X. Los electrones secundarios son el resultado de colisiones inelásticas y son convencionalmente definidos como aquellos que poseen energías de menos de 50 eV. Estos electrones han ganado una pequeña cantidad de energía cinética y han escapado de una región con una profundidad de pocos nanómetros de la superficie de la muestra. Los electrones secundarios son atraídos por un colector que tiene una pequeña carga positiva y su uso principal es para el contraste topográfico. La señal de electrones secundarios tiene un poder de resolución por debajo del orden de 10 nm.

Los electrones retrodispersados resultan de colisiones elásticas y esencialmente poseen la misma energía que el haz incidente de electrones. Proviene de una profundidad mayor que aquella que origina a los electrones secundarios y se producen en menores cantidades que

éstos. La probabilidad de obtener una señal retrodispersa aumenta con el incremento de elementos con mayor número atómico en la muestra. Los electrones retrodispersados proveen información topográfica y de composición aunque para la formación de imágenes de superficie tienen menor poder de resolución (25-100 nm). En cuanto a composición son útiles para contrastar regiones del espécimen que difieren ampliamente en número atómico. La última de las señales producida por el material son los rayos X y ésta da origen a la técnica conocida como espectroscopia de rayos X de energía dispersiva (EDS) la cual será tratada en el apartado siguiente (100).

### **1.5.5 Espectroscopia de rayos X de energía dispersiva (EDS)**

La espectroscopia de rayos X de energía dispersiva o microanálisis permite determinar cuáles elementos están presentes en el área seleccionada de la muestra. Como fue descrito con anterioridad, las señales de rayos X son producidas cuando un haz de electrones primario causa la eyección de un electrón de la capa más profunda de la muestra. La remoción del electrón provoca una ionización temporal en el átomo el cual es estabilizado por el llenado de la vacancia con un electrón de las capas más externas del mismo. El electrón que ha llenado la vacancia proviene de un nivel más alto de energía y la diferencia de energía entre la capa interna y la externa liberada en forma de Rayos X. Generación de Rayos X característicos debido a la interacción de un haz electrónico con electrones de capas profundas de átomos de la muestra. Figura 5



**Figura 5. Microscopio Electrónico de Barrido y  
Espectroscopia de energía dispersiva (EDS)**

## 1.6 Investigaciones realizadas sobre liberación de iones metálicos utilizando aparatología ortodóntica.

Referencia	Fase de intervención	Tamaño de la muestra	Biomarcador	Iones metálicos	Instrumento	Resultado
Freitas (2011)	10 min, 24 h, 7, 30, 60 días después de la colocación	60 niños: 30 control 30 tratados	Saliva	Ag, Cd, Cu, Zn	GFAAS	Las concentraciones más altas fueron inmediatamente posterior a la colocación de los aparatos
Mikulewicz (2011)	Aparatología fija	28 pacientes y 18 grupo control	Cabello	Cr, Fe, Mn, Ni	ICP-OES	Se encontró una diferencia significativa entre los grupos para Ni (39%) y Mn (18%).
Martín-Cameán (2014)	Aparatología fija 24 meses	70 pacientes y 56 grupo control	Cabello	Cr, Cu, Fe, Mn, Ni	FAAS GFAAS	Los niveles con mayor significancia fueron en el Mn
Amini (2013)	La recogida de muestras en 4 tiempos: (T1);Antes del tratamiento (T2) 3 meses (T3)15 min después de estrés) (T4) 30 min después de estrés	28 pacientes y 28 grupo control	Saliva	Cr, Ni Ti, Zr	GFAAS ICP-MS	Aumento significativo en la liberación de Ni en la saliva en la inducción de estrés, pero el Cr no fue significativamente liberado.
Chen (2013)	Restauraciones de Ni-Cr 1 mes 1-3 meses 3-6 meses	795 pacientes 198 controles	Orina	Ni, Cr	AAS	Los niveles urinarios de Cr fueron significativamente mayores en los tres grupos de pacientes de, 1, 1 a, 3 y 3 a, 6 meses
Mikulewicz (2015)	Aparatología fija ortodóntica 4, 8 y 12 meses	47 pacientes de ortodoncia	Cabello	Cr, Fe, Ni	ICP-OES	La liberación máxima de Cr y Fe se produjo después de 4 meses de tratamiento, y la liberación máxima de Ni aumenta gradualmente a lo largo de todo el año de la terapia.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Organización Mundial de la Salud considera a las maloclusiones como un problema de salud pública que ocupa el tercer lugar en términos de prevalencia de alteraciones bucales asociadas con diferentes factores de riesgo como los genéticos y ambientales, esta información puede ser utilizada en todos los países para crear programas de salud pública para la prevención, detección y tratamiento de estas patologías (102).

La Ortodoncia es la disciplina que tiene como objetivo corregir la posición y la orientación de los dientes malocluidos, esto se consigue mediante la aplicación de una fuerza con aditamentos y aparatología fija hasta la posición considerada como oclusión normo-funcional. El movimiento óptimo de los dientes se logra mediante la aplicación de fuerzas pequeñas y continuas, minimizando la destrucción del tejido óseo y la aplicación de una tensión relativamente constante en los órganos dentarios (103).

En la corrección de las maloclusiones se emplean varios tipos de materiales como arcos, bandas y diversos tipos de aleaciones metálicas, así mismo los alambres que son elaborados de distintas formas y tamaños, estos materiales interactúan continuamente con los fluidos que se producen en la boca como es la saliva, lo que implica la degradación de los materiales por ataques electroquímicos en la aparatología fija ortodóntica, conocido como corrosión.

Durante el tratamiento ortodóntico, la liberación de iones se ha convertido en un tema importante en la evaluación de la biocompatibilidad ya que la mayoría de los aparatos están elaborados químicamente de aleaciones que contienen cobalto (Co), cromo (Cr), hierro (Fe), níquel (Ni) y titanio (Ti). Entre ellos el níquel y cromo han generado gran preocupación, ya que además de su toxicidad intrínseca, estos aparatos ortodónticos contienen aleaciones y el aumento de las concentraciones puede producir una reacción tóxica en particular el níquel, asociado con la hipersensibilidad tipo IV y efectos citotóxicos (104).

Los problemas de hipersensibilidad y reacciones alérgicas al Ni son motivo de interés creciente, discusión y controversia en Odontología actual. La frecuencia de tratamientos en ortodoncia y el uso común del Ni en estos materiales, nos hace cuestionarnos si estos



tratamientos pueden estar incrementando o disminuyendo la hipersensibilidad al Ni en la población (105).

Por lo tanto con el presente trabajo se pretende responder la siguiente pregunta:

¿Cuáles serán los niveles de concentración de iones metálicos en pacientes con aparatología fija ortodóntica, a los 3 meses y 6 meses posteriores a su colocación?

### **3. JUSTIFICACIÓN**

Los aditamentos y aparatos utilizados en los tratamientos de Ortodoncia proporcionan un medio ideal para la corrosión de los materiales y por ende para la liberación metálica, siendo éste el factor principal de la causa de la hipersensibilidad tipo IV. En consecuencia, los pacientes con tratamiento ortodóntico tienen un mayor riesgo de presentar procesos patológicos, lo que motiva una búsqueda de alternativas para la colocación de otros materiales en el mercado y dar una solución que reduzcan la de los componentes de la aparatología fija utilizados en el tratamiento de ortodoncia (106).

Las aleaciones metálicas, al estar presentes en la cavidad oral, constantemente se exponen a cambios súbitos de temperatura y de pH salival que generan intercambios iónicos con los tejidos orales, esto promueve el desarrollo de reacciones adversas tales como citotoxicidad, alergia, mutagénesis y bioacumulación.

En la mucosa bucal se presenta la viabilidad celular y daños en el ADN posterior a la inserción de aparatos ortodónticos dado por las concentraciones de níquel en el organismo (108). El níquel puede reducir la viabilidad celular y estimular la apoptosis, en cuanto a la liberación de níquel parece que el tratamiento de ortodoncia puede inducir la sensibilidad en los pacientes con predisposición a reacciones alérgicas; se ha estimado que el 10% de los pacientes con tratamiento ortodóntico desarrollan sensibilidad al Níquel o Cromo en América del Norte (107).

Aunque actualmente existen materiales en ortodoncia libres de metal, sin embargo se siguen utilizando las aleaciones a base de níquel y cromo debido a sus propiedades de resistencia a la corrosión, por lo que el interés más relevante de este estudio es dar a conocer las concentraciones y la bioacumulación de los materiales ortodónticos, ya que la liberación de iones metálicos en la cavidad bucal posterior a la colocación de los aditamentos se ha subestimado por el potencial alergénico, tanto por las casas comerciales así como los profesionales.

Por lo tanto, en la presente investigación se plantea realizar hallazgos sobre la liberación de iones metálicos en el medio bucal después de la colocación de aparatología fija ortodóntica para ver el efecto de bioacumulación, mediante la determinación de elementos

trazas en diferentes biomarcadores biológicos por espectrometría de emisión óptica con plasma inductivamente acoplado (ICP-OES) y posteriormente recomendar un programa de seguridad biológica.

#### **4. HIPÓTESIS**

### **Hipótesis de trabajo**

Los niveles de concentración de Ni, Cr, Co y Ti en pacientes bajo tratamiento de aparatología fija ortodóntica en saliva, orina y cabello disminuirán a los 3 meses y 6 meses después del inicio del tratamiento y por lo tanto no existirá una bioacumulación durante el tratamiento de ortodoncia.

### **Hipótesis Nula**

Los niveles de concentración de Ni, Cr, Co y Ti en pacientes bajo tratamiento de aparatología fija ortodóntica en saliva, orina y cabello incrementaran a los 3 meses y 6 meses después del inicio del tratamiento y por lo tanto existirá una bioacumulación durante el tratamiento de ortodoncia.

## **5. OBJETIVOS**

### **General**

Determinar la concentración de Ni, Cr, Co y Ti en pacientes bajo tratamiento de aparatología fija ortodóntica a los 3 meses y 6 meses después de su colocación.

### **Específicos**

Analizar el pH salival de Ni, Cr, Co y Ti de los pacientes con aparatología fija ortodóntica mediante el ICP-OES a los 3 meses y 6 meses después de su colocación.

Determinar la concentración de Ni, Cr, Co y Ti en orina de los pacientes con aparatología fija ortodóntica mediante el ICP-OES a los 3 meses y 6 meses después de su colocación.

Cuantificar la bioacumulación de Ni, Cr, Co y Ti a través del cabello de los pacientes con aparatología fija ortodóntica mediante el ICP-OES a los 3 meses y 6 meses después de su colocación.

Evaluar los cambios morfológicos de la aparatología fija ortodóntica mediante el uso de Microscopia Electrónica de Barrido (SEM).

## **6. DISEÑO METODOLÓGICO**

**6.1 Diseño de estudio:** Longitudinal, comparativo

**6.2 Universo y Muestra:** Se seleccionaron 40 pacientes en un seguimiento longitudinal, no probabilístico por conveniencia, en que el mismo paciente fue su control por un periodo de 3 y 6 meses.

### **6.3 Procedimientos**

Pacientes que acudieron a la clínica de especialidad de Ortodoncia en el Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Odontología de la Universidad Autónoma del Estado de México.

### **6.4 Criterios de Inclusión**

Pacientes con maloclusiones dentarias que requirieron aparatología fija ortodóntica completa.

Pacientes con dentición permanente.

Paciente sin restauraciones metálicas en boca.

Pacientes sin adicción toxicológica ni química.

Pacientes sanos sin enfermedades sistémicas.

Pacientes que acepten participar en el estudio.

### **6.5 Criterios de exclusión**

Pacientes con lesiones cariosas.

Pacientes con restauraciones metálicas.

Pacientes con adicción a drogas o medicamentos.

Pacientes que no acepten participar en el estudio

### **6.6 Criterios de eliminación**

Pacientes que abandonan el tratamiento de ortodoncia.

Pacientes que hayan ingerido algún medicamento el día de la toma de las muestras

### **6.7 Variable dependiente**

Iones metálicos (Níquel, Cromo, Cobalto y Titanio)

### 6.8 Variable independiente

pH salival

Corrosión de la aparatología fija

Edad, Sexo

Hábitos higiénico-dietéticos (Frecuencia del cepillado, hilo dental, frecuencia de consumo de azúcares, comidas saladas, alimentos provenientes de mar y jugos)

**Tabla 1.** Operacionalización de variables.

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERATIVA	TIPO DE VARIABLE	UNIDAD DE MEDIDA	ESCALA DE MEDICIÓN
<b>Variables dependientes</b>					
<b>Iones Metálicos</b>					
<b>Níquel</b>	Elemento metálico de número atómico 28, metal plateado, maleable excelente resistencia a la corrosión.	Medición a través del análisis elemental de ICP-OES	Cuantitativa continua	mg/L	Razón
<b>Cromo</b>	Elemento metálico de número atómico 24, metal duro, quebradizo color gris resistencia a la corrosión	Medición a través del análisis elemental del ICP-OES	Cuantitativa continua	mg/L	Razón
<b>Titanio</b>	Elemento químico 22, alta resistencia a la corrosión y gran resistencia mecánica, costoso	Medición a través del análisis elemental de ICP-OES	Cuantitativa continua	mg/L	Razón

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERATIVA	TIPO DE VARIABLE	UNIDAD DE MEDIDA	ESCALA DE MEDICIÓN
<b>Cobalto</b>	Elemento químico 27, alta resistencia a la corrosión (109)	Medición a través del análisis elemental de ICP-OES	Cuantitativa continua	mg/L	Razón
<b>VARIABLES INDEPENDIENTES</b>					
<b>pH salival</b>	Es la medida que determina el nivel de acidez o alcalinidad (110)	Se medirá con el potenciómetro	Cuantitativa	> 7 ácido <7 alcalino	Intervalo
<b>Corrosión</b>	Se define como el deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno. (112)	Medición a través del análisis elemental de microscopio electrónico de barrido	Cualitativa	Presente Ausente	Nominal
<b>Hábitos higiénico dietéticos</b>	Tendencia sobre actos de frecuencia en los alimentos y bebidas que consume una determinada persona a diario. (113)	Cuestionario que se aplicó en las etapas de tratamiento	Cualitativa	Presente Ausente	Ordinal
<b>Refrescos azucarados</b>	Las bebidas que contienen azúcares añadidos (sacarosa o fructosa).	Diario = A 3 semana = M 1-2 semana = M Nunca = P	Cualitativa	Presente Ausente	Ordinal
<b>Comidas saladas</b>	Alimento que contenga sal o se le añada sal como condimento.	Diario = A 3 semana = M 1-2 semana = M Nunca = P	Cualitativa	Presente Ausente	Ordinal
<b>Comidas de mar</b>	Alimento que provenga de mar ya sea crudo o enlatado.	Diario = A 3 semana = M 1-2 semana = M Nunca = P	Cualitativa	Presente Ausente	Ordinal



VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERATIVA	TIPO DE VARIABLE	UNIDAD DE MEDIDA	ESCALA DE MEDICIÓN
<b>Higiene dental</b>	Número de veces del cepillado dental al día	1 vez al día 2 veces al día 3 veces al día	Cualitativa	Presente Ausente	Nominal
<b>Auxiliares Dentales</b>	Instrumentos de higiene oral empleados en la remoción de placa dentobacteriana.	Hilo dental=1 No usa hilo=2	Cualitativo	Presente Ausente	Nominal
<b>Vivienda cerca de fábricas o zonas industrial.</b>	Espacio físico destinado a la elaboración de objetos o materiales.	Si= 1 No= 2	Cualitativo	Presente Ausente	Nominal
<b>Edad</b>	Tiempo que ha vivido una persona desde su nacimiento. Número de años y meses cumplidos	10-12 13-15 16-18	Cuantitativa Discontinua	Años	Intervalo
<b>Sexo</b>	Distinción de características biológicas o fisiológicas del ser humano	Femenino = 1 Masculino = 2	Cualitativa Nominal: dicotómica	Femenino Masculino	Nominal

## 6.6 Instrumentos

Jabón Extran alcalino (Merck).

Agua bidestilada y tridestilada.

Frascos de polietileno.

Cubre bocas.

Balanza Analítica

Pinzas de corte recto.

Bolsas para esterilizar medianas.

Juego de diagnóstico.

Ácido Nítrico al 5% y al 69%. Instra ultra puro

Potenciómetro.

Arcos de Ni-Ti 0.016", Ni-Ti 0.016 x 0.022", acero inoxidable 0.016 x 0.022"

Espectrometría de Inducción de Plasma Acoplada a Emisión Óptica (ICP-OES).

Microscopia electrónica de barrido (SEM).

## **6.7 Recolección de datos**

### **Etapa 1: Consentimiento informado**

En esta etapa se informó a los padres o tutores de los participantes sobre los objetivos de esta investigación, se gozó de plena libertad de proporcionar las muestras biológicas de acuerdo a los códigos de ética y de participar o negarse durante el estudio, así mismo de retirar su participación en cualquier momento o etapa del tratamiento. Después de aceptar a participar en el estudio firmaban el documento (Anexo 1).

### **Etapa 2: Hábitos Higiénico-Dietéticos**

Se elaboró una historia clínica, el primer apartado fue la ficha de identificación del paciente, después se realizaron una serie de preguntas de manera directa acerca de la ingesta y frecuencia de alimentos que pudieron haber alterado en el estudio, así como también de los aspectos higiénicos bucales (Anexo 2).

### **Etapa 3: Revisión del paciente**

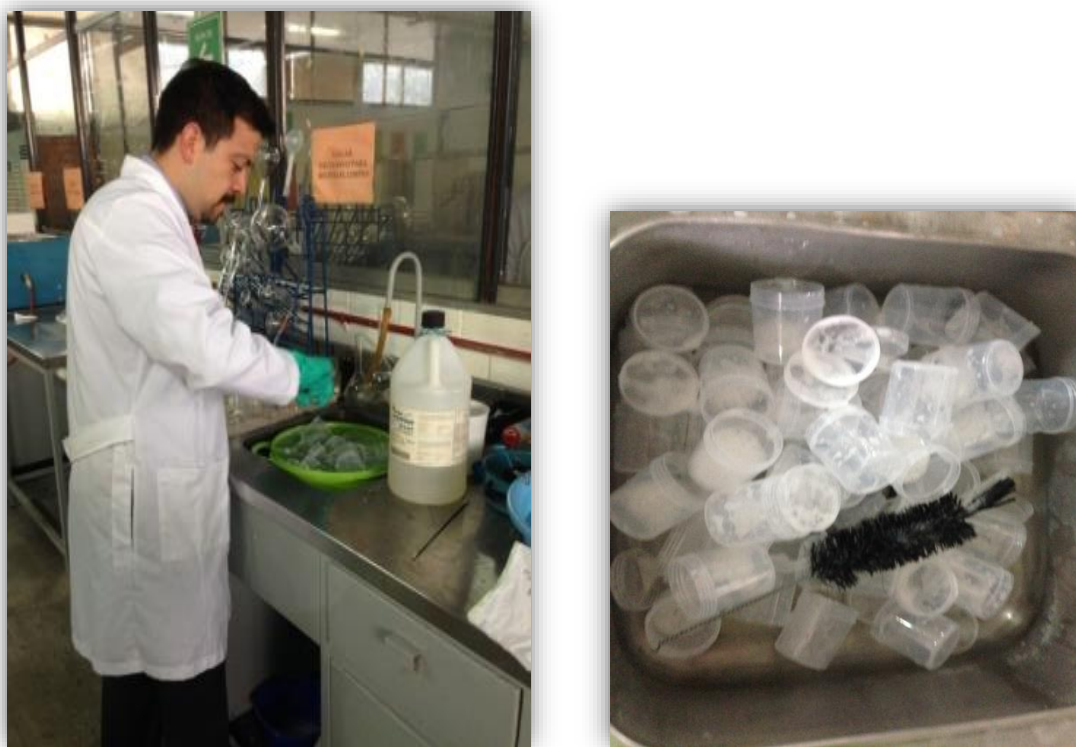
Los pacientes que se seleccionaron y cumplieron los criterios de inclusión de la clínica de especialidad de Ortodoncia del Centro de Investigación de Estudios Avanzados en Odontología, se les dieron las indicaciones previo a la toma de las muestras como fue la higiene, dieta etc. Se citaron al día siguiente por la mañana para realizar la toma de muestras biológicas en la clínica previamente a la colocación de aparatología fija ortodóntica.

#### **Etapa 4: Toma de la muestra y preparación para el análisis**

Los frasco de polietileno se lavaron en agua bidestilada, después se lavaron con jabón Extran alcalino (Merck) y se dejaron en ácido nítrico al 5% por 24 horas para evitar contaminación de fondo de metales pesados (Figura 6).

Para la toma de muestra de saliva se dieron indicaciones previas: asegurar que el paciente no ingiera alimentos, bebidas antes de la toma de la muestra, enjuagar la boca del paciente con agua potable y esperar 3 minutos (Figura 7).

Se recolectó 5 mL de saliva estimulada durante 5 min en los frascos de polietileno, este procedimiento se realizó en las 3 fases: la primera medición fue antes del tratamiento, la segunda medición los 3 meses después de la colocación de aparatología fija y la tercera medición a los 6 meses de tratamiento (Figura 8).



**Figura 6.** Lavado de los frasco para evitar contaminación.



**Figura 7.** Recolección de saliva previa a la colocación de aparatología fija.



**Figura 8.** Recolección de saliva a los 3 y 6 meses de colocación de aparatología fija.

### **Etapas 5: Recolección y preparación de las muestras de orina**

Los frascos de polietileno se lavaron en agua bidestilada, después se lavaron con jabón Extran alcalino (Merck) y se dejaron en ácido nítrico al 5% por 24 horas para evitar contaminación de fondo de metales pesados (Figura 6).

Para la obtención de la muestra de orina se recolectaron 50 mL por paciente en un frasco de polietileno, indicándoles a los pacientes que recolectaran la primera orina de la mañana, además se les instruyó para que evitaran contaminar el frasco de recolección; este procedimiento también se realizó en las 3 fases de medición.

A la llegada del laboratorio, las muestras fueron colocadas en agua destilada y bidestilada ácido nítrico 5% las muestras de orina y saliva fueron almacenadas en frascos de polietileno para conservación de la muestra; se mantuvieron en refrigeración para su lectura, procesamiento y análisis con el instrumento Espectrometro de Inducción de Plasma Acoplada a Emisión Óptica (ICP-OES) (Figura 9).



**Figura 9.** Muestras de orina en refrigeración para su procesamiento y analisis.

#### **Etapa 6: Determinación del pH salival**

Se midió la concentración de iones de hidrógeno, mediante el potenciómetro, dichos indicadores de pH considerando que presentaban una solución ácida o alcalina cambiaron el color que se tomó con el indicador es directamente proporcional al pH. En una balanza Analítica calibrada fueron pesados los reactores de teflón con tapa, sin tapa, con la muestra sin tapa y con la muestra con tapa y se colocarán 3 gr de muestra se saliva a cada reactor. A los reactores se adicionaron 5 mL de ácido nítrico INSTRA ultra puro y 2 mL de agua tridestilada sellados herméticamente para evitar contaminación con el ambiente.

#### **Etapa 7: Análisis con el ICP-OES**

Las muestras se digestarón con ácido nítrico concentrado al 69% por 5 mL espectralmente puro, en bombas de teflón en microondas MARSX press (CEM) Los parámetros de descomposición se seleccionaron de tal manera que se logro. Las muestras se diluyeron con

agua (Millipore Simplicity) a 50 g. A continuación, se realizaron análisis multielementales por ICP-OES OPTIMA 8300 Perkin Elmer. (Figura 10)

Los análisis se analizaron por duplicado. Todas las muestras del mismo tipo se enviaron al laboratorio de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo en un lote y se analizaron juntas en una sola calibración. Para la determinación de Ni, Ti y Cr, se utilizaron estándares de laboratorio de elemento único de Ultra Scientific. La curva de calibración incluyó las siguientes concentraciones: 0.01, 0.025, 0.05, 0.1, 0.5 y 1 ( $\mu\text{g}/\text{L}$ ).



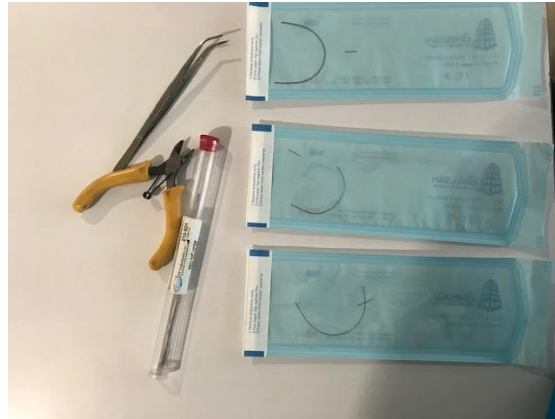
**Figura 10.** Equipo ICP-OES.

### **Etapa 8: Análisis de SEM y EDS.**

Se recolectaron arcos Ni-Ti con calibre 0.016", Ni-Ti (0.016 x 0.022") y acero inoxidable (0.016 x 0.022") después de su uso intraoral por 4 semanas durante el tratamiento ortodóntico. Así mismo se compararon con arcos nuevos sin contacto con el medio bucal, con la finalidad de obtener una muestra blanco de referencia; para comparar los arcos con exposición y sin exposición al medio bucal.

Los arcos se cortaron con alicates para corte de ligadura, la longitud de cada segmento fue

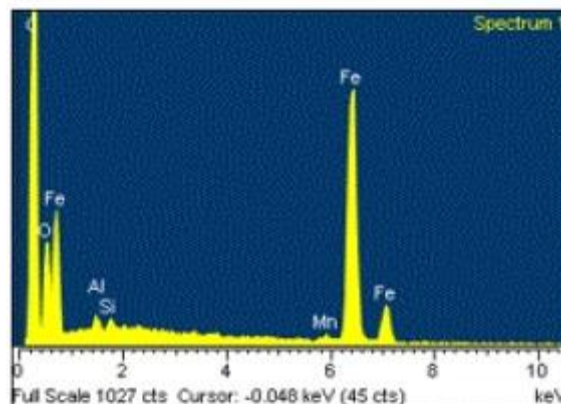
de 3 mm para cada arco, se tomaron dos áreas diferentes del arco Ni-Ti y acero inoxidable, en una parte distal y media para tener un área de distribución diferente para cada arco, con un total de 3 lecturas en los arcos para el análisis de microscopía electrónica de barrido SEM (Figura 11).



**Figura 11.** Corte y preparación de los arcos por calibre.

#### Arcos Ni-Ti

Los arcos Ni-Ti (0.016"), Ni-Ti (0.016 x 0.022") y acero inoxidable (0.016 x 0.022") se colocaron en portamuestras de aluminio y en cinta de carbono conductiva. Los arcos se agruparon, incluidas las muestras, se incluyeron tres arcos en cada grupo, las composiciones químicas elementales de las superficies de las muestras se determinaron usando Microscopía Electrónica de Barrido y Espectroscopía por dispersión de Energía de rayos X. (MEB-EDS) en el microscopio electrónico de barrido marca JEOL JSM-6510LV con filamento de tungsteno, acoplado a detector de rayos X, para hacer análisis químico por medio de Dispersión de Energía (EDS) marca OXFORD, con resolución de 137 eV para examinar la superficie (Figura 12).





## **Figura 12.** Análisis de los elementos por SEM y EDS.

### **6.8 Análisis de Datos**

El análisis estadístico se realizó con el SSPS versión 21. El análisis comprendió dos etapas: estadística descriptiva, para conocer el comportamiento de las variables en estudio y análisis inferencial a través de la prueba ANOVA de medidas repetidas para establecer diferencias estadísticamente significativas por grupo de intervención, entre las 3 etapas del estudio: basal, 3 y 6 meses posteriores a la colocación de aparatología ortodóntica fija, los análisis para las variables obtenidos de los hábitos higiénico-dietéticos se realizó una prueba t student para la caracterización de la población.

### **6.9 Aspecto Bioéticas**

De acuerdo al Código de Bioética se solicitaron los permisos para poder llevar a cabo las pruebas necesarias para la investigación.

De acuerdo con la Ley General de Salud en la protección de la salud en el artículo 7 fracciones VIII, impulsar las actividades científicas y tecnológicas en el campo de la salud. Artículo 27, fracción VII prevención y control de las enfermedades bucodentales. Artículo 99, al conocimiento y control de los efectos nocivos del ambiente en la salud. Deberá adaptarse a los principios científicos y éticos que justifican la investigación médica, especialmente en lo que se refiere a su posible contribución a la solución de problemas de salud y al desarrollo de nuevos campos de la ciencia médica; podrá efectuarse sólo cuando exista una razonable seguridad de que no expone a riesgos ni daños innecesarios al sujeto en experimentación (114).

## **7. RESULTADOS**



## 7.1 CARTA DE ACEPTACIÓN



Universidad Autónoma del Estado de México  
Facultad de Enfermería y Obstetricia

---

La Comisión Académica del Doctorado en Ciencias de la Salud a través de la Coordinación de Estudios Avanzados de la Facultad de Enfermería y Obstetricia

Otorga la presente:

# CARTA DE ACEPTACIÓN

**A: M. en C.O. Rafael Velasco Ibañez**

Por haber realizado el Capítulo de Libro "*Corrosión de un alambre ortodóntico de níquel-titanio mediante microscopia electrónica de barrido*" el cual se insertará en la edición del libro "Temas Selectos en Biomedicina en Ciencias de la Salud Vol. II".

ATENTAMENTE

PATRIA, CIENCIA Y TRABAJO  
"2018, Año del 190 Aniversario de la Universidad Autónoma del Estado de México"



FACULTAD DE ENFERMERÍA  
Y OBSTETRICIA  
DOCTORADO EN CIENCIAS  
DE LA SALUD

**DRA. EN C.S. PATRICIA CRUZ BELLO**  
COORDINADORA DE ESTUDIOS AVANZADOS

Facultad de Enfermería UAEM,  
Paseo Tollocan s/n esq. Jesús Carranza col.  
Moderna de la Cruz, C.P. 50180,  
Toluca, Estado de México  
Tel. (722) 2706270 / 2702357  
[feyo@uaemex.mx](mailto:feyo@uaemex.mx)



### 7.1.1 CAPÍTULO DEL LIBRO

### 7.1.2 CORROSIÓN DE UN ALAMBRE ORTODÓNTICO DE NÍQUEL-TITANIO

## **MEDIANTE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO**

*Rafael Velasco Ibáñez<sup>1</sup>, Edith Lara Carrillo<sup>2</sup>, Raúl Alberto Morales Luckie<sup>3</sup>, Elizabeth Teresita Romero Guzmán<sup>4</sup>, Víctor Hugo Toral Rizo<sup>5</sup>.*

1. Alumno del Doctorado en Ciencias de la Salud. Universidad Autónoma del Estado de México. e-mail: r\_velasco85@hotmail.com
2. Profesora-Investigadora. Directora de la Facultad de Odontología. Universidad Autónoma del Estado de México. e-mail: laracaedith@hotmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-6714-7790>.
3. Profesor-Investigador. Centro de Investigación en Química Sustentable, Universidad Autónoma del Estado de México-Universidad Nacional Autónoma de México. e-mail: ramoralesl@uaemex.mx. <https://orcid.org/0000-0002-7277-8650>.
4. Profesora-Investigadora. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. e-mail: [elizabeth.romero@inin.gob.mx](mailto:elizabeth.romero@inin.gob.mx). <https://orcid.org/0000-0001-6143-5452>
5. Profesor-Investigador. Universidad Autónoma del Estado de México. e-mail: toralrizo@hotmail.com. <https://orcid.org/0000-0003-0839-0771>.

**Resumen: Introducción:** Las aleaciones metálicas utilizadas en odontología en su composición química contienen níquel y titanio, estas aleaciones metálicas pueden liberarse en ambientes inestables, como la cavidad oral debido a las variaciones de temperatura,

húmedad y pH salival; así como la degradación electroquímica de los materiales que contribuye a la corrosión de los metales utilizados en ortodoncia. Los arcos de acero inoxidable y níquel-titanio (Ni-Ti) utilizados sufren cambios morfológicos y estructurales en su composición química. **Objetivo:** El objetivo de este estudio fue evaluar los cambios químicos y morfológicos de los arcos de alambre de níquel-titanio empleados en tratamientos de ortodoncia mediante Microscopía Electrónica de Barrido (SEM). **Métodología:** Se tomaron 3 segmentos de arcos de alambre de níquel-titanio (0.016 x 0.022") de pacientes sometidos a tratamiento de ortodoncia, estos con una longitud de 3mm, los cortes del arco se hicieron en la parte distal y central con un total de 3 lecturas a lo largo de cada segmento y un arco control con la misma medida. **Resultados:** Los arcos analizados presentaron una corrosión uniforme, con valores reportados C (37.84%), O (17.63%), Al (0.19%), P (0.73%), Cl (0.32%), K (0.82%), Ca (0.38%), Ti (20.38%) y Ni (21.70%), los valores basales para el Ti (41.14%) y Ni (49.95%) porcentaje en peso. **Conclusión:** Los materiales metálicos utilizados en tratamientos de ortodoncia sufren alteraciones estructurales y morfológicas de sus propiedades físicas. Estos pueden estar asociados con el ambiente oral corrosivo y pueden contribuir a efectos tóxicos para la salud. Sin embargo, todavía hay mucho por explorar en este campo de conocimiento, ya que la información disponible es controvertida. **Palabras clave:** Corrosión, níquel, arco de ortodóntico, biocompatibilidad.

### 7.2.1 ARTÍCULO ENVIADO

### 7.2.2 CARTA DE ENVÍO

## Detailed Status Information

<b>Manuscript #</b>	<a href="#">SRFP-19-38466</a>
<b>Current Revision #</b>	0
<b>Submission Date</b>	11th November 19
<b>Current Stage</b>	Decision Started
<b>Title</b>	EVALUATION OF THE RELEASE OF NICKEL AND TITANIUM UNDER ORTHODONTIC TREATMENT
<b>Manuscript Type</b>	Original Research
<b>Collection</b>	N/A
<b>Manuscript Comment</b>	For all participants in the study were obtained written informed consent from a parent or legal guardian before the experiment under the approval of the Ethics Committee of the Center for Research and Advanced Studies in Dentistry of the Autonomous University of the State of Mexico. Informed consent was included in the methodology
<b>Corresponding Author</b>	Dr. Edith Lara-Carrillo (laracedith@hotmail.com) (Autonomous University State of Mexico)
<b>Contributing Authors</b>	Dr. Rafael Velasco-Ibáñez , Dr. Raúl Alberto Morales-Luciké , Dr. Elizabeth Teresita Romero-Guzmán , Dr. Victor Toral-Rizo , Dr. Marius Ramirez-Cardona , Dr. Verónica Gardá-Hernández , Dr. Carlo Medina-Solis
<b>Authorship</b>	Yes
<b>Abstract</b>	The metal alloys used in dentistry are made mainly of nickel (Ni) and titanium (Ti), which can release metal ions in unstable environments. The aim of this work was determine the salivary pH before and during orthodontic treatment; evaluate the release of metal ions in urine and saliva for the use of fixed orthodontic appliances using Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES); and evaluate the corrosion of wire arcs using Scanning Electronic Microscopy (SEM). In this study, we selected 35 individuals under orthodontic treatment, from whom saliva and urine samples were collected in 3 stages: a) basal, b) at 3 and c) 6 months after the placement of the fixed appliances. Also, the salivary pH was determined at the different time intervals. SEM analyzed the Ni-Ti (0.016") and SS (0.016 X 0.022") archs after one month of being in contact with the oral cavity. Statistical analyzes were performed with SPSS using the ANOVA model of repeated measures with a $p < 0.05$ . A statistically significant difference in the concentration of Ni in saliva were found between 3 and 6 months of intervention and for the Ni in urine was found at 6 months.
<b>Techniques</b>	Physical sciences techniques [Imaging techniques]; Physical sciences techniques, Microscopy techniques [Scanning electron microscopy]; Physical sciences techniques [Spectroscopy]; Physical sciences techniques, Spectroscopy [Mass spectrometry];
<b>Subject Terms</b>	Health sciences/Health care/Dentistry/Orthodontics/Fixed appliances Health sciences/Health care/Therapeutics/Adverse effects
<b>Competing Interests Policy</b>	There is <b>NO</b> Competing Interest.
<b>Applicable Funding Source</b>	No Applicable Funding

### 7.2.3 EVALUATION OF THE RELEASE OF NICKEL AND TITANIUM UNDER ORTHODONTIC TREATMENT

Rafael Velasco-Ibáñez<sup>1a</sup>, Edith Lara-Carrillo<sup>1a\*</sup>, Raúl Alberto Morales-Luckie<sup>1b</sup>, Elizabeth Teresita Romero-Guzmán<sup>2</sup>, Víctor Hugo Toral-Rizo<sup>1a</sup>, Marius Ramírez-Cardona<sup>3</sup>, Verónica García-Hernández<sup>3</sup>, Carlo Eduardo Medina-Solís<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Universidad Autónoma del Estado de México. a. Facultad de Odontología. Av. Paseo Tollocan, Toluca C.P. 50130, Toluca de Lerdo México. Teléfono 7222179070. b. Centro de Investigación en Química Sustentable, CIQS. UAEM-UNAM. Carretera Km. 14.5, Unidad San Cayetano, Toluca – Atlacomulco. C. P. 50200 Toluca de Lerdo, Méx. Phone: 01 722 276 6610. E-mails: laracaedith@hotmail.com, r\_velasco85@hotmail.com, ramoralesl@uaemex.mx*

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. Departamento de Química, Gerencia de Ciencias Básicas. Carretera México-Toluca S/N. La Marquesa Ocoyoacac México. C. P. 52750. Phone: 5553297200 ext 12279. E-mail: elizabeth.romero@inin.gob.mx.

<sup>3</sup> *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. E-mails: mariusr@uaeh.edu.mx, v720609@yahoo.com, cemedinas@yahoo.com*

\*Corresponding author: Edith Lara Carrillo. Universidad Autónoma del Estado de México. Facultad de Odontología. Av. Paseo Tollocan, esq. Jesús Carranza C.P. 50130, Toluca de Lerdo México. Phone 7222179070. E-mail: laracaedith@hotmail.com

#### **7.2.4 ABSTRACT**

The metal alloys used in dentistry are made mainly of nickel (Ni) and titanium (Ti), which can release metal ions in unstable environments. The aim of this work was determine the

salivary pH before and during orthodontic treatment; evaluate the release of metal ions in urine and saliva for the use of fixed orthodontic appliances using Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES); and evaluate the corrosion of wire arcs using Scanning Electronic Microscopy (SEM). In this study, we selected 35 individuals under orthodontic treatment, from whom saliva and urine samples were collected in 3 stages: a) basal, b) at 3 and c) 6 months after the placement of the fixed appliances. The presence of metal ions in saliva and urine was quantified by ICP-OES. Also, the salivary pH was determined at the different time intervals. SEM analyzed the Ni-Ti (0.016") and stainless (0.016 X 0.022") archs after one month of being in contact with the oral cavity. Statistical analyzes were performed with SSPS using the ANOVA model of repeated measures with a  $p < 0.05$ . The average value of the salivary pH in the basal stage was 7.12 after 3 months, it decreased to 6.93, and at 6 months, it increased to 7.44. Statistically significant differences in the concentration of Ni in saliva were found between 3 and 6 months of intervention, and for the Ni in urine was found at 6 months. The release of Ni and Ti reached highest concentration peaks at 3 months after placement.

## **8. RESULTADOS ADICIONALES**

## **8.1 Hábitos higiénico-dietéticos**

Las características sociodemográficas de los pacientes en el presente estudio muestran que la media de edad fue de  $13.7 \pm 2.07$  años, el 64% de los pacientes fueron mujeres y el 36% hombres. El valor promedio del pH salival en la etapa basal fue 7.12, a los 3 meses disminuyó a 6.93 y a los 6 meses mostró un aumento significativo de 7.44.

La escolaridad de los pacientes fue de segundo de secundaria (25%), y de tercero de secundaria (75%). La estratificación por nivel socioeconómico en terciles fue de la manera siguiente: Tercil I (35%), Tercil II (33%), y Tercil III (33%).

En relación a los hábitos de higiene bucal, el número de veces de cepillado bucal fue de 18% (1 vez al día), 27% (2 veces al día), y 55% (3 veces al día). El cambio de cepillo dental, el 56% lo realizaba 1 vez al mes, el 31% cada tres meses, y el 13% cada seis meses. El 27% de los pacientes refirió utilizar algún tipo de auxiliar dental.

Los hábitos dietéticos referidos por los pacientes fueron: 1) consumo de dulces, 11% un nivel de consumo bajo, el 60% un nivel de consumo medio y 29% un nivel de consumo alto; 2) Nivel de consumo de bebidas azucaradas, el 31% refirió tener un consumo bajo, el 62% un consumo medio, y el 7% un consumo alto y 3) Consumo de comida rápida, donde el 31% refirió un nivel de consumo bajo, el 58% un nivel de consumo medio, y el 11% un nivel de consumo alto. Tabla 3.

## **8.2 Concentraciones de liberación de Ni y Ti de las muestras biológicas en saliva y orina.**

Los resultados del ICP-OES muestran diferencias estadísticamente significativas para el Ni en saliva con una  $p < 0.005$ , entre las etapas de 3 y 6 meses de intervención. La liberación del Ni en orina a los 3 meses con una significancia de  $p < 0.045$  y un promedio de  $0.023 \pm 0.010 \text{ mgL}^{-1}$ .

La concentración de Ni en la etapa basal (previa a la colocación de la aparatología fija) muestra niveles de  $0.021 \text{ mgL}^{-1}$ . A los tres meses aumenta esta liberación a  $0.023 \text{ mgL}^{-1}$ , mientras que a los 6 meses se observa una disminución significativa, llegando a  $0.014 \text{ mgL}^{-1}$ . Para la liberación del Ti en saliva para cada etapa de intervención, la medida basal reporta una lectura de  $0.022 \text{ mgL}^{-1}$ , a los 3 meses aumentó a  $0.024 \text{ mgL}^{-1}$  y a los 6 meses reporta

una media de 0.023 mgL<sup>-1</sup>.

El presente estudio mostró que el arco Ni-Ti 0,016" y Ni-Ti (0.016 x 0.022") produce una pérdida de iones metálicos de níquel y titanio, la activación durante el tratamiento ortodóntico muestra la corrosión y por lo tanto la degradación del material con mayor daño en la superficie del arco.

**Tabla 2.** Características de los pacientes incluidos en el estudio por grupo de intervención.

<b>Características</b>	<b>N 35</b>
<i>Sociodemográficas</i>	
Años de edad [Media (desv. est)]	13.7 (2.07)
Hombre	0.36
Mujer	0.64
Grado escolar	
Segundo de secundaria	0.25
Tercero de secundaria	0.75
Tercil de nivel socioeconómico	
I	0.35
II	0.33
III	0.33
<i>Nivel de pH salival [Media]</i>	
Basal	7.12
3 meses	6.93
6 meses	7.44
<i>Higiene bucal</i>	
Frecuencia uso de cepillo dental	
1 vez al día	0.18
2 veces al día	0.27
3 veces al día	0.55
Frecuencia de cambio de cepillo dental	
Cada mes	0.56
Cada 3 meses	0.31
Cada 6 meses	0.13
Uso de auxiliares bucales	0.27
<i>Habitos dietéticos</i>	
Nivel de consumo de dulces	



Bajo (1 a 2 veces a la semana)	0.11
Medio (3 a 5 veces a la semana)	0.60
Alto (> 5 veces a la semana)	0.29
Nivel de consumo de bebidas azucaradas	
Bajo (1 a 2 veces a la semana)	0.31
Medio (3 a 5 veces a la semana)	0.62
Alto (> 5 veces a la semana)	0.07
Nivel de consumo de comida rápida	
Bajo (1 a 2 veces a la semana)	0.31
Medio (3 a 5 veces a la semana)	0.58
Alto (> 5 veces a la semana)	0.11

## 9. DISCUSIÓN GENERAL

En el presente estudio, se evaluó la liberación de iones metálicos mediante la técnica del ICP-OES para medir la concentración de trazas que potencialmente se biodistribuyan en el organismo, y poder comparar el valor con un límite tóxico permitido. Se determinó que los iones metálicos se liberan sólo en etapas iniciales del tratamiento y esto coincide con lo reportado en la literatura.

Existen investigaciones centradas en estudiar la biodisponibilidad de los metales que pueden ser toxicológicos empleados en los tratamientos ortodónticos, la saliva puede actuar sobre ellos facilitando la migración de estos metales hacia el medio bucal. Los estudios más recientes, han reportado que la exposición al níquel tomando muestras de saliva, sangre y orina, se puede concluir que existe un aumento de liberación de níquel en las primeras etapas de tratamiento que se va reduciendo progresivamente con el tiempo y están influenciados con algunos alimentos puede ejercer en los niveles de níquel finalmente presentes, así como en su biodisponibilidad y toxicidad (108), sin embargo en este estudio se realizó un cuestionario hábitos higiénico-dietéticos con el fin de recabar información respecto del nivel de consumo de algunos alimentos que pudieran inferir en los resultados sobre la biocumulación de iones metálicos con respecto a los niveles permitidos en la ingesta diaria. Se consideró que los individuos que consumía azúcares refinados, bebidas azucaradas y alimentos provenientes de mar, así como la frecuencia de consumo en una semana lo cual es considerado para determinar si se estaba reabsorbiendo los iones metálicos en el organismo.

El tiempo y la vía de bioeliminación son factores que deben tomarse en cuenta cuando se determina la liberación de iones metálicos con el uso de aparatología fija. Estos aspectos son importantes para comprender las reacciones alérgicas que pueden causar en el organismo. De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud, las dosis diarias permitidas para cada elemento analizado en este estudio son: Ni (25-35 µg/día), Cr (50-200 µg/día), Ti (25-30 µg/día). El Ni se absorbe en el tracto gastrointestinal, la ruta principal para su eliminación es a través de los riñones, casi el 90% se excreta por orina. También se bioelimina por saliva y sudor, lo cual podría contribuir a una mayor excreción a mayor temperatura.

*Barrett et al.* estudiaron la relación de la liberación de Ni en saliva con el uso de aparatología Ni-Ti y acero inoxidable; demostrando que existe un aumento de la concentración de Ni

durante las primeras semanas después de la colocación de aparatología ortodóntica que posteriormente disminuye (109). Por otro lado, la liberación de Cr aumentó durante las primeras dos semanas y se estabilizó en las siguientes dos semanas. Amini *et al.* evaluaron la concentración de Ni y Cr en saliva durante las etapas del tratamiento ortodóntico observando que existe una mayor liberación de Ni salival, mientras que el Cr no tuvo diferencias significativas. (41) Los resultados de esta investigación se correlacionan con los anteriores, donde la liberación del Ni y Ti en saliva aumenta de forma significativa a los 3 meses de colocación de la aparatología ortodóntica, en relación con el grupo control. Además, las concentraciones obtenidas a los 6 meses de Ni en saliva indicaron un aumento estadísticamente significativo. Aunque la concentración obtenida de los iones metálicos liberados no presenta riesgos toxicológicos, se observa que la liberación aumenta posterior a la colocación de aparatología y disminuye gradualmente después de los 6 meses.

Freitas *et al.* evaluaron la liberación de Ag, Cd, Cu y Zn en saliva, a diferentes tiempos 10 minutos, 24 horas, 7 días, 30 días y 60 días después de la colocación de aparatología fija. Estos elementos alcanzaron concentraciones que implican riesgo de toxicidad potencial, con concentraciones de Cu 70.60 µg/L y Zn 0.07 µg/L (110). Las concentraciones obtenidas en etapas similares de tiempo para la liberación del Ni en saliva difieren de las reportadas ya que no presentan niveles tóxicos en ninguno de los elementos estudiados.

Angerer y Olmedo *et al.*, muestran que los iones metálicos no son biodegradables y se bioacumulan en tejidos del organismo por eso es de gran interés analizarlos bajo el principio de la concentración de una etapa basal hasta el termino del tratamiento, actuamente se siguen analizando bajo distintos biomarcadores como el es caso del cabello ya que es un vehículo adecuado de acumulación y excreción de metales pesados en concentraciones 10 veces superiores en comparación con sangre y orina, debido a la presencia de cisteína, por la producción de enlaces entre los cationes metálicos y los grupos sulfuro de la matriz de queratina del cabello De hecho, se considera esta matriz no invasiva uno de los materiales biológicos más importantes de monitorización ambiental presenta numerosas ventajas para su uso en biomonitorización humana, tales como la obtención de la muestra, costo, transporte y almacenamiento, no sufre cambios durante el periodo transcurrido entre muestreo y análisis, sin embargo en el presente estudio mediante el análisis de ICP-OES, el cabello fue

analizado en la etapa basal y a los 6 meses posterior a la colocación de los aditamentos ortodónticos reportando concentraciones de las trazas con valores no detectables. (111-112)

## **10. CONCLUSIONES GENERALES**

- Los aparatos ortodónticos liberan una cantidad medible de Ni y Ti cuando se colocan en la cavidad oral, de acuerdo a los resultados se puede concluir que a pesar de que existe un aumento en la liberación de los iones (Ni y Ti) en saliva a los 3 meses de colocación,

cuando alcanza su pico máximo de liberación, las concentraciones no superan los límites aceptables, por lo cual no generan daños citotóxicos, mientras que los valores de Ni y Ti de concentración en orina fueron en aumento en las etapas de 3 y 6 meses éstas no fueron significativas.

- El pH salival se vuelca ácido a los 3 meses de la colocación de los aditamentos, sin embargo a los 6 meses de realizar la medición regresa a condiciones alcalinas.
- El análisis por SEM permitió mostrar que tanto los arcos de acero inoxidable como los de Ni-Ti tienen la misma susceptibilidad a la corrosión metálica.
- La determinación de iones metálicos en el cabello demuestra que no se encontraron diferencias significativas ni concentraciones detectables para los pacientes bajo tratamiento ortodóntico.
- En lo que respecta a la liberación de iones metálicos, actualmente ya existen materiales en ortodoncia libres de metal, sin embargo, se utilizan las aleaciones a base de níquel y cromo, por lo que el interés más relevante de esta revisión es realizar un programa de seguridad biológica, ya que la liberación de iones metálicos en la cavidad bucal posterior a la colocación se ha subestimado por el potencial toxicológico tanto por la compañías así como los profesionales. Por lo tanto, son necesarios más estudios clínicos que consideren poblaciones heterogéneas y períodos de tratamiento más largos.

## **11. BIBLIOGRAFÍA**

1. Saleem AE, Sc M, Aldaggistany MS, Sc M, Ahmed AS, Sc M. Nickel & Chromium Ions Release from Fixed Orthodontic Appliances in Iraqi patients. MDJ 2011;2:139–43.
2. Martín-Cameán A, Molina-Villalba I, Jos A, Iglesias-Linares A, Solano E, Cameán

- AM, et al. Biomonitorization of chromium, copper, iron, manganese and nickel in scalp hair from orthodontic patients by atomic absorption spectrometry. *Environ Toxicol Pharmacol.* 2014;37:759–71.
3. Natarajan M, Padmanabhan S, Chitharanjan A, Narasimhan M. Evaluation of the genotoxic effects of fixed appliances on oral mucosal cells and the relationship to nickel and chromium concentrations: An in-vivo study. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2011;140:383–8.
  4. Bellini H, Moyano J, Gil J, Puigdollers A. Comparison of the superelasticity of different nickel – titanium orthodontic archwires and the loss of their properties by heat treatment. *J Mater Sci Mater Med.* 2016;27:158–68.
  5. Fang D, Zhang N, Chen H, Bai Y. Dynamic stress relaxation of orthodontic thermoplastic materials in a simulated oral environment. *Dent Mater J.* 2013;32:946–51.
  6. Karim M, Golfeshan F, Alizadeh Y, Mehrzad J. Resistance to Sliding in Clear and Metallic Damon 3 and Conventional Edgewise Brackets: an In vitro Study. 2015;16:15–20.
  7. Velasco G , Ortiz R, Yopez J KA. Corrosión por picadura en aleaciones de níquel-cromo ( Ni-Cr ) utilizadas en odontología. *Rev Odont los Andes.* 2009;23–30.
  8. Martín-Cameán A, Jos Á, Mellado-García P, Iglesias-Linares A, Solano E, Cameán AM. In vitro and in vivo evidence of the cytotoxic and genotoxic effects of metal ions released by orthodontic appliances: A review. *Environ Toxicol Pharmacol.* 2015;40:86–113.
  9. Varma DPK, Chidambaram S, Reddy KB, Vijay M, Ravindranath D, Prasad MR. Comparison of galvanic corrosion potential of metal injection molded brackets to that of conventional metal brackets with nickel-titanium and copper nickel-titanium archwire combinations. *J Contemp Dent Pract.* 2013;14(3):488–95.
  10. Talha M, Behera CK, Sinha OP. A review on nickel-free nitrogen containing austenitic stainless steels for biomedical applications. *Mater Sci Eng C [Internet].* 2013;33(7):3563–75. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.msec.2013.06.002>

11. Martín-Cameán A, Jos A, Calleja A, Gil F, Iglesias-Linares A, Solano E, et al. Development and validation of an inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) method for the determination of cobalt, chromium, copper and nickel in oral mucosa cells. *Microchem J.* 2014;114:73–9.
12. Al Subari R, Abdulwali N, Bellaouchou a., Guenbour a., Ben Bachir a., Merzouk N. Influence of chlorhexidine mouthwashes on corrosion resistance of Ni-Cr dental casting alloys. *J Int Dent Med Res.* 2012;5:67–72.
13. Wang J, Li N, Rao G, Han EH, Ke W. Stress corrosion cracking of NiTi in artificial saliva. *Dent Mater.* 2007;23:133–7.
14. Bhaskar V, Subba Reddy V V. Biodegradation of nickel and chromium from space maintainers: an in vitro study. *J Indian Soc Pedod Prev Dent.* 2015;28:6–12.
15. A Kaplan, Jf De Harfin. Biodesintegración de aparatología ortodóntica metálica. *Rev Fac Odontol Univ Nac.* 2010;25:17–20.
16. Jabbari YS Al. Physico-mechanical properties and prosthodontic applications of Co-Cr dental alloys : a review of the literature. *J Adv Prosthodont.* 2014;6:138–45.
17. Bakhtari A, Bradley TG, Lobb WK, Berzins DW. Galvanic corrosion between various combinations of orthodontic brackets and archwires. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2011;140:25–31.
18. Kararia V, Jain P, Chaudhary S, Kararia N. Estimation of changes in nickel and chromium content in nickel-titanium and stainless steel orthodontic wires used during orthodontic treatment: An analytical and scanning electron microscopic study. *Contemp Clin Dent.* 2015;6:44–50.
19. Castro-Amor M, Moyaho-Bernal A, Soberanes-de la Fuente L C-GR. Descripción de cambios morfológicos y elementos liberados en coronas de acero cromo. *Rev Colomb Investig en Odontol.* 2013;4:74–82.
20. Gil FJ, Espinar E, Llamas JM, Manero JM, Ginebra MP. Variation of the superelastic properties and nickel release from original and reused NiTi orthodontic archwires. *J Mech Behav Biomed Mate.* 2012;6:113–9.

21. Chen B, Xia G, Cao X-M, Wang J, Xu B-Y, Huang P, et al. Urinary levels of nickel and chromium associated with dental restoration by nickel-chromium based alloys. *Int J Oral Sci.* 2013;5:44–8.
22. Aminah N, Galang-boquiren MTS, Evans CA, Guang T, Tsay P, Viana G, et al. Comparison of the transformation temperatures of heat-activated Nickel-Titanium orthodontic archwires by two different techniques. *Dent Mater.* 2016;5:1–10.
23. Lech T. Lead, copper, zinc, and magnesium content in hair of children and young people with some neurological diseases. *Biol Trace Elem Res.* 2002;85:111–126.
24. Mikulewicz M, Wołowiec P, Loster B, Chojnacka K. Metal Ions Released from Fixed Orthodontic Appliance Affect Hair Mineral Content. *Biol Trace Elem Res.* 2014;163:11–8.
25. Arcila MEZ, Mercado F, Herrera H, Caballero AZ. El níquel y su vínculo con el agrandamiento gingival : *Rev Lit.* 2014;10:83–9.
26. Zhang Z, Freitas BC, Qian H, Lux J, Acab A, Trujillo CA. Layered hydrogels accelerate iPSC-derived neuronal maturation and reveal migration defects caused by MeCP2 dysfunction. *Proc Natl Acad Sci.* 2016;6:1–6.
27. Alessandra C, Ju GO, Silva L, Jose L. Prevalence of Nickel Allergy and Longitudinal Evaluation of Periodontal Abnormalities in Orthodontic Allergic Patients. *Angle Orthod.* 2009;79:1–6.
28. Rodrigo Matos de Souzaa ; Luciane Macedo de Menezes. Nickel , Chromium and Iron Levels in the Saliva of Patients with Simulated Fixed Orthodontic Appliances. *Angle Orthod.* 2008;78:347–50.
29. Aynur sahin Saglam VB. Nickel and Cobalt Hypersensitive Reaction Before and After Orthodontic Therapy in Children. *J Contemp Dent Pract.* 2004;5:1–8.
30. Grimsdottlr MR, Odont C, Gjerdet NR, Hensten-pettersen A. Composition and in vitro corrosion of orthodontic appliances. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 1992;101:526–34.
31. Ehrnrooth M, Kerosuo H. Face and Neck Dermatitis from a Stainless Steel



- Orthodontic Appliance. *Angle Orthod.* 2009;79:1193–997.
32. Gómez Arcila V, Fang Mercado L, Herrera Herrera A, Díaz Caballero A. Bioacumulación de níquel en encía, saliva y hueso alveolar de paciente con aparatología ortodóncica fija: reporte de un caso. *Rev Clínica Periodoncia, Implantol y Rehabil Oral.* 2015;8:163–6.
  33. Carpenter GH. The secretion, components, and properties of saliva. *Annu Rev Food Sci Technol.* 2013;4:267–76.
  34. Ortiz AJ, Fernández E, Vicente A, Calvo JL, Ortiz C. Metallic ions released from stainless steel, nickel-free, and titanium orthodontic alloys: Toxicity and DNA damage. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2011;140:115–22.
  35. Cheng Y, Pang X, Gao K, Yang H, Volinsky AA. Corrosion resistance and friction of sintered NdFeB coated with Ti/TiN multilayers. *Thin Solid Films.* 2014;550:428–34.
  36. Heinrich Wehrbein. Orthodontic anchorage capacity of short titanium screw implants in the maxilla. *Clin Oral Implants Res.* 1997;8:131–41.
  37. Porcayo-Calderon J, Casales-Diaz M, Salinas-Bravo VM, Martinez-Gomez L. Corrosion Performance of Fe-Cr-Ni Alloys in Artificial Saliva and Mouthwash Solution. *Bioinorg Chem Appl.* 2015;15:1–14.
  38. Dhandapani P, MuraliKannan M, Anandkumar B, Maruthamuthu S, Manoharan SP. Electrochemistry of calcium precipitating bacteria in orthodontic wire. *Oral Sci Int.* 2014;11:22–9.
  39. Wood DM, Andreyev J, Raja K, Dargan PI, Royal T, Nhs M, et al. Factitiously elevated blood chromium. *Clin Toxicol.* 2010;48:388–9.
  40. Hafez HS, Selim EMN, Kamel Eid FH, Tawfik WA, Al-Ashkar E a., Mostafa YA. Cytotoxicity, genotoxicity, and metal release in patients with fixed orthodontic appliances: A longitudinal in-vivo study. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2011;140:298–308.
  41. Amini F, Shariati M, Sobouti F, Rakhshan V. Effects of fixed orthodontic treatment

- on nickel and chromium levels in gingival crevicular fluid as a novel systemic biomarker of trace elements: A longitudinal study. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2016;149:666–72.
42. Kuhta M, Pavlin D, Slaj M, Varga S, Lapter-varga M. Type of Archwire and Level of Acidity : Release Met Ions From Orthod Appliances. *Angle Orthod.* 2009;9:102–10.
  43. Mikulewicz M, Chojnacka K. Release of Metal Ions from Orthodontic Appliances : An In Vitro Study. *Biol Trace Elem Res.* 2012;146:272–80.
  44. Lee TH, Wang CC, Huang TK, Chen LK, Chou MY, Huang HH. Corrosion resistance of titanium-containing dental orthodontic wires in fluoride-containing artificial saliva. *J Alloys Compd.* 2009;488:482–9.
  45. Castro SM, Ponces MJ, Lopes JD, Vasconcelos M, Pollmann MCF. Orthodontic wires and its corrosion—The specific case of stainless steel and beta-titanium. *J Dent Sci.* 2015;10:1–7.
  46. Fabiano F, Celegato F, Giordano A, Borsellino C, Bonaccorsi L, Calabrese L, et al. Assessment of corrosion resistance of Nd–Fe–B magnets by silanization for orthodontic applications. *Phys B Condens Matter.* 2014;435:92–5.
  47. Mikulewicz M, Kachniarz K, Chojnacka K. Exposure of cleft lip and palate patients to toxic elements released during orthodontic treatment in the study of non-invasive matrices. *PLoS One.* 2015;10:1–15.
  48. Gonçalves TS, Menezes LM de, Trindade C, Thomas P, Fenechc M, Henriques JAP. In vivo evaluation of the genotoxic effects of Hyrax auxiliary orthodontic appliances containing silver-soldered joints. *Mutat Res - Genet Toxicol Environ Mutagen.* 2015;791:25–9.
  49. Mirjalili M, Momeni M, Ebrahimi N, Moayed MH. Comparative study on corrosion behaviour of Nitinol and stainless steel orthodontic wires in simulated saliva solution in presence of fluoride ions. *Mater Sci Eng C.* 2013;33:2084–93.
  50. House K, Sernetz F, Dymock D, Sandy JR, Ireland AJ. Corrosion of orthodontic appliances-should we care. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2008;133:584–92.

51. Vázquez SM, Riesgo O, Duffó GS. Corrosión en soldaduras de aparatos de ortodoncia. *Rev Metal.* 1997;33:311–6.
52. Katić H, Otomačić D, Semenski G, Baršić K, Marušić S. Influence of surface layer on mechanical and corrosion properties of nickel-titanium orthodontic wires. *Angle Orthod.* 2014; 84:1041–48.
53. Eliades T, Athanasiou AE. In Vivo Aging of Orthodontic Alloys: Implications for Corrosion Potential, Nickel Release, and Biocompatibility. *Angle Orthod.* 2002;72:222–37.
54. Du XQ, Yang QS, Chen Y, Yang Y, Zhang Z. Galvanic corrosion behavior of copper/titanium galvanic couple in artificial seawater. *Trans Nonferrous Met Soc China.* 2014;24:570–81.
55. Chen Q, Thouas GA. Metallic implant biomaterials. *Mater Sci Eng R Reports.* 2015;87:1–57.
56. Pedro D, Garc L, Grado EP. Biochemistry of dental caries. *Rev Habanera Ciencias Médicas.* 2010;9:156–66.
57. De Luca, F y Rosello X. Etiopatogenia y diagnóstico de la boca seca. *Av Odonto.* 2014;30:121–8.
58. Gomez E CA. Histología, embriología e ingeniería tisular bucodental. *Histol Embriol e Ing tisular bucodental.* 2009;4:3–10.
59. Walsh LJ. Aspectos clínicos de biología salival para el Clínico Dental. *Rev Minima Interv en Odontol.* 2008;1:5–20.
60. Rohleder N, Nater UM. Determinants of salivary a amylase in humans and methodological considerations. *J Psychoneurogy.* 2009;34:469–85.
61. Armando A, Aguilar A, Sergio S, Armas V. Variación del pH salival por consumo de chocolate y su relación con el IHO en adolescentes. *J Oral.* 2012;:857–62.
62. Nater UM, Rohleder N. Salivary alpha-amylase as a non-invasive biomarker for the sympathetic nervous system: Current state of research. *Psychoneuroendocrinology.* 2009;34:486–96.

63. Walsh LJ. Preventive dentistry for the general dental practitioner. *Aust Dent J.* 2000;45:76–82.
64. Rj C, Guzmán G, Ra G, Shuplwd TXH, Vreuh H, Fdpelrv OR V. Comparación de la concentración total de proteínas salivales de adultos y adultos mayores. *Rev Clínica Periodoncia Imp y Reh Oral.* 5;1:25–8.
65. Rothmund L, Shehata M, Van Landuyt KL, Schweikl H, Carell T, Geurtsen W, et al. Release and protein binding of components from resin based composites in native saliva and other extraction media. *Dent Mater.* 2015;31:496–504.
66. Henskens YMC, Van den Keijbus PAM VE. Protein composition of whole and parotid saliva in healthy and periodontitis subjects. *J Periodontal Res.* 1996;31:57–65.
67. Gordis EB, Granger DA, Trickett PK. *Hormones and Behavior.* 2009;53:96–103.
68. Barreto Emanuel CM. Efecto de la aparatología ortodóntica fija sobre el flujo y la viscosidad salival. *Rev Mex Ortod.* 2015;3:186–90.
69. Laganà G, Masucci C, Fabi F, Bollero P, Cozza P. Prevalence of malocclusions oral habits and orthodontic treatment need in a 7-15 year-old schoolchildren population in Tirana. *J Prog in Orthod.* 2013;87:1–7.
70. Rate SF, Capacity B, Protein T, Stress O, Capacity A. Salivary Flow Rate, pH, Buffering Capacity, Total Protein, Oxidative Stress and Antioxidant Capacity in Children with and without Dental Caries. *J Clin Pediatr Dent.* 2018;42:1–5.
71. Rodrigues E, Delbem ACB, Pedrini D, Cavassan L. Enamel remineralization by fluoride-releasing materials: Proposal of a pH-cycling model. *Braz Dent J.* 2010;21:446–51.
72. Lages RB, Bridi EC, Perez CA, Basting RT. Salivary levels of nickel, chromium, iron, and copper in patients treated with metal or esthetic fixed orthodontic appliances: A retrospective cohort study. *J Trace Elem Med Biol.* 2017;40:67–71.
73. Takai N, Yamaguchi M, Aragaki T, Eto K, Uchihashi K, Nishikawa Y. Gender-Specific Differences in Salivary Biomarker Responses to Acute. *Acad Sci.*

2007;515:510–5.

74. Simonetti C, Rodrigues CC. Evaluation of some properties of fermented milk beverages that affect the demineralization of dental enamel. *Braz Oral Res.*2010;3:95–101.
75. Laganà G, Masucci C, Fabi F, Bollero P, Cozza P. Prevalence of malocclusions, oral habits and orthodontic treatment need in a 7 to 15 year-old schoolchildren population in Tirana. *Prog Orthod.* 2013;14:12.
- 76 Papageorgiou SN, Zogakis IP, Papadopoulos MA. Failure rates and associated risk factors of orthodontic miniscrew implants: A meta-analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2012; 11:577-595.
- 77 Park HY, Shearer TR. In vitro release of nickel and chromium from simulated orthodontic appliances. *Am J Orthod.* 1983;84:156-159.
- 78 Pazzini CA, Júnior GO, Marques LS, Pereira CV, Pereira LJ. Prevalence of nickel allergy and longitudinal evaluation of periodontal abnormalities in orthodontic allergic patients. *Angle Orthod* 2009; 79:922-927.
- 79 Petoumeno E, Kislyuk M, Hoederath H, Keilig L, Bourauel C, Jäger A. Corrosion susceptibility and nickel release of nickel titanium wires during clinical application. *J Orofac Orthop.* 2008; 69:411-423.
- 80 Petoumenou E, Arndt M, Keilig L, Reimann S, Horderath H, Eliades T, Jäger A, Bourauel C. Nickel concentration in the saliva of patients with nickel–titanium orthodontic appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009; 135:59-65.
- 81 Pigatto PD, Guzzi G. Systemic contact dermatitis from nickel associated with orthodontic appliances. *Contact Dermatitis* 2004; 50:100-101.
82. Rahilly G, Price N. Current Products and Practice. Nickel allergy and orthodontics. *J Orthod* 2003; 30:171-174.
83. Rana SVS. Metal and apoptosis: Recent developments. *J Trace Elem Med Biol* 2008; 22:262-284.
84. Reed GJ, Willman W. Galvanism in the oral cavity. *J Am Dent Assoc* 1940; 27:1471.

85. Albella, J. M.. Introducción a la ciencia de materiales: técnicas de preparación y caracterización. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. 1993;834:17
86. M. Rodríguez Gallego, “La Difracción de Rayos-X”, Alhambra Universidad, Madrid, 1982;23
87. J. Bermúdez Polonio, “Métodos de Difracción de Rayos-X. Principios y Aplicaciones”, Piramide, Madrid, 1981;178.
88. M. M. Woolfson, “An Introduction to X-Ray Crystallography”, Cambridge University Press, 1962;3.
89. W. H. Bragg, “X-Ray and Crystal Structure”, Bell & Sons, Londres, 1981, 174.
92. J. Rouquerol, “Characterization of Porous Solids III”, Elsevier Science Publishers, B. V. Amsterdam, 1994;17:67-23
93. B. V. Crist, “Annotated Handbooks of Monochromatic XPS Spectra,” de los Volumenes 1 y 2, XPS International LLC, Mountain View, CA, USA, 2005.
94. M. P. Seah, D. Briggs, “Practical Surface Analysis by Auger and X-Ray Photoelectron Spectroscopy”, Wiley and Sons, Chichester, UK, 1992.
95. Faraldos, M., & Goberna, C. Técnicas de análisis y caracterización de materiales. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid, Faraldos-Consuelo,2011;555-600.
96. Skoog, D. A., Holler, F. J., & Nieman, T. A. Principios de análisis instrumental, 5.a ed., España, Mc Graw Hill, 2001;463-469.
97. Kelsall, R. W., Hamley, I. W., & Geoghegan, M. Nanoscale Science and Techonology, Wiley, Gran Bretaña, 2005.69-90.
98. Nin, G. V., & Martínez, O. M. E. Introducción a la microscopia electrónica aplicada a las ciencias biológicas, Fondo de cultura económica, México, 2000; 17-53.
99. Bozzola, J. J., & Russell, L. D. Electron Microscopy Principles and Techniques for Biologists, 2 Ed, Jones and Bartlett publishers. Canada, 1992; 163.
100. Zhou, W., & Wang, Z. L. Scanning Microscopy for Nanotechnology Techniques and Applications, Springer, U.S.A, 2006; 1-9.

101. Menczel, J. D., & Prime, R. B. *Thermal Analysis of Polymers Fundamentals and Applications*, Wiley, U.S.A. 2009; 387-400.
102. Moraes L, Jordão R. Individual and contextual determinants of malocclusion in 12-year-old schoolchildren in a Brazilian city. *Braz Oral Res* 2015;29:1–8.
103. Evaluation of Nickel and Chromium Ion Release During Fixed Orthodontic Treatment Using Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer : An In Vivo Study. *J Int Oral Health*.2015;7:14–20.
105. Dođramacı EJ, Rossi-Fedele G, Dreyer CW. Malocclusions in young children. *J Am Dent Assoc.* 2017;148:566–574.
106. Gómez V, Fang L, Herrera A, Díaz A, Gitouc DI. Implantología y Rehabilitación Oral Bioacumulación de níquel en encía, saliva y hueso alveolar de paciente con aparatología ortodóncica fija : reporte de un caso. *Rev Clínica Periodoncia, Implantol y Rehabil Oral.* 2015;8:163–6.
107. Hafez HS, Selim EMN, Kamel Eid FH, Tawfik WA, Al-Ashkar E a., Mostafa YA. Cytotoxicity, genotoxicity, and metal release in patients with fixed orthodontic appliances: A longitudinal in-vivo study. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2011;140:298–308.
108. Olivares Arias V, Valverde Som L, Quiros Rodríguez V, García Romero R. Vique Nickel in food and influencing factors in its levels, intake, bioavailability and toxicity. *Journal of Food.* 2015;13:87-101
109. Barrett, R.D., Bishara, S.E., Ortho, D., Quinn, J.K. Biodegradation of orthodontic appliances . *Biodegradation of nickel and chromium in vitro.*2000; 103:8-14
110. Freitas M, Oshima H, Menezes L. Release of toxic ions from silver solder used in orthodontics: An in-situ evaluation. *Am J of Ortho Dentofac.* 2014;1:140:177-81
111. Angerer J, Ewer U, Wilhem M. Human bionitoring: state of the art. *Int J hyg Environ Health* 2007; 201: 201-28
112. Olmedo P, Pla A, Hernandez AF, Lopez O. Validation of method to quntify chromium

manganese, nickel and lead in human whole blood, urine, saliva and hair samples by electrothermal atomic absorption spectrometry. Anal Chim Acta 2010; 659;60-7.

## **12. ANEXOS**

### **ANEXO 1**

#### **CONSENTIMIENTO INFORMADO**

CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA LA TOMA DE MUESTRAS (Saliva, Orina, cabello)

Nombre \_\_\_\_\_ Edad \_\_\_\_\_



Nombre \_\_\_\_\_

(padre/madre, tutor/tutora o representante legal)

Este documento intenta explicarle todas estas cuestiones, léalo atentamente y consulte todas las dudas que se le planteen. Le recordamos que por imperativo legal, tendrá que firmar, usted o su representante legal, el consentimiento informado para que pueda realizarle dicho procedimiento. A propósito declaro haber sido informado y haber comprendido acabadamente que el objeto del proyecto.

DECLARO:

Que el/la Dentista \_\_\_\_\_ me ha explicado, el procedimiento para la recolección de las muestras de (saliva orina y cabello) dándome la siguiente información:

1. El propósito principal de recolección de la muestra de saliva, orina y cabello de los pacientes que asistan a la clínica de especialidad de Ortodoncia es determinar los niveles de iones metálicos en los pacientes con tratamiento de aparatología fija ortodóntica.
2. El profesional me ha explicado que se trata de un tratamiento no invasivo, mediante una revisión y recolección de (saliva, orina y cabello) en la cavidad oral.
3. La toma de muestra de la saliva se harán en frascos de polietileno, se recomienda que el paciente no ingiera alimento, bebidas antes de la toma de muestra; enjuagar la boca del paciente con agua potable y esperar unos 3 minutos.
4. Se estimulará la producción de saliva de cada paciente al masticar una cápsula de parafina estéril de aproximadamente 1 gr, e ir recogiendo toda la saliva que segregue en un frasco de polietileno durante 5 minutos.
5. La obtención de la muestra de orina se recogerá de cada paciente usando un frasco de polietileno que el paciente proporcionará para toma de la muestra.

6. La obtención de la muestra del cabello se harán en frasco de polietileno, y se cortará 2 cm de cabello.

7. Me han explicado que no debo ingerir alimentos o líquidos 30 minutos antes del procedimiento para no alterar el protocolo.

8. El no acceder a la participación del proyecto no influye en el tratamiento ortodóntico del paciente.

9. Condiciones particulares del caso:

He comprendido las explicaciones que se me han facilitado en un lenguaje claro y sencillo, y el/la dentista que me ha atendido me ha permitido realizar todas las observaciones y me ha aclarado todas las dudas planteadas. En tales condiciones, CONSIENTO que se realice el tratamiento y para que conste firmo el presente

\_\_\_\_\_  
Firma del/de la Dentista

\_\_\_\_\_  
Firma del/de la paciente, padre/madre,  
tutor/tutora o representante legal

## **ANEXO 2.**

### **HISTORIA CLÍNICA**

Número de folio: \_\_\_\_\_

Nombre: \_\_\_\_\_ Edad: \_\_\_\_\_

Domicilio \_\_\_\_\_

Sexo: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Ocupación \_\_\_\_\_

Lugar de residencia /Vivienda cerca de fabrica

Nivel de pH salival basal: \_\_\_\_\_ 90 días: \_\_\_\_\_ 180 días: \_\_\_\_\_

¿Está bajo tratamiento médico actualmente?

Sí

No

Porque

¿Fecha de su último examen bucal?

Uso de los servicios de salud bucodental

En el último año

Si

No

Alguna vez en la vida

Si

No

¿Hábito de cepillado? (frecuencia diaria del cepillado)

1 vez al día

2 vez al día

3 o vez al día

¿Uso de hilo dental para su higiene bucal?

Si	No

**Tipo de dieta consumida (frecuencia de consumo)**

**Dulces**

Diario (A)

3 o más veces/semana, no a diario (M)

1-2 veces/semana (M)

Menos de 1 vez/semana (P)

Nunca o casi nunca (P)

### **Refrescos azucarados**

A diario (A)

3 o más veces/semana, no a diario (M)

1 - 2 veces/semana (M)

Menos de 1 vez/semana (P)

Nunca o casi nunca (P)

### **Snacks o comidas saladas**

A diario(A)

3 o más veces/semana, no a diario (M)

1 - 2 veces/semana) (M)

Menos de 1 vez/semana(P)

Casi nunca o nunca (P)

### **Pescados o alimentos de provenientes de mar**

A diario(A)

3 o más veces/semana, no a diario (M)

1 - 2 veces/semana) (M)

Menos de 1 vez/semana(P)

Casi nunca o nunca (P)

### **Verduras o jugos verdes**

A diario(A)

3 o más veces/semana, no a diario (M)

1 - 2 veces/semana) (M)

Menos de 1 vez/semana(P)

Casi nunca o nunca (P)

**ANEXOS 3.**

**PARTICIPACIÓN DE CONGRESOS**



LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ZACATECAS  
"FRANCISCO GARCÍA SALINAS"  
A TRAVÉS DE LA UNIDAD ACADÉMICA DE ODONTOLOGÍA  
Y LA SOCIEDAD NACIONAL DE INVESTIGADORES EN ODONTOLOGÍA

Otorgan el presente

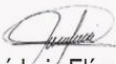
## RECONOCIMIENTO

A Rafael Velasco Ibañez, Edith Lara Carrillo, Raul Alberto Morales Luckie, Elizabeth Teresita Romero Guzman

Como AUTORES del Cartel

EVALUACIÓN DE CAMBIOS ESTRUCTURALES DE ARCOS DE ALAMBRE ORTODÓNTICOS MEDIANTE  
MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

Presentada durante los trabajos del  
**XXV Encuentro Nacional y XVI Iberoamericano de Investigación en Odontología,**  
y las **IV Jornadas de Investigación en Odontología de la UAO/UAZ,**  
celebrados del 8 al 10 de noviembre de 2017  
en la ciudad de Zacatecas, Zac.

  
Dr. José Luis Elías Salazar  
Director de la UAO/UAZ

  
Dr. Jorge Alanís Tavira  
Presidente de la SNIO



**XXVIII**  
**Congreso**  
**Técnico**  
**Científico**  
**ININ-SUTIN**

Reactor TRIGA Mark III  
50 Años de Críticidad 1968-2018




El Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares  
y el Sindicato Único de Trabajadores de la Industria Nuclear

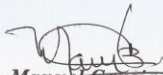
Otorgan el presente

## *Reconocimiento*

a Rafael Velasco Ibañez, Edith Lara Carrillo, Raul  
Alberto Morales Luckie, Elizabeth Teresita Romero  
Guzman and Victor Hugo Toral Riza  
Por la presentación del trabajo:

Evaluación de la liberación de Ni y Ti por el uso de  
aparatosología fija ortodóntica

*P.D.*  
  
**Dra. Lydia C. Paredes Gutiérrez**  
Directora General  
Instituto Nacional  
de Investigaciones Nucleares

  
**Ing. Manuel García Barajas**  
Secretario General  
Sindicato Único de Trabajadores  
de la Industria Nuclear

Noviembre de 2018

- [Home](#)
- [About](#)
- [Editorial Board](#)
- [Instructions for Authors](#)
- [Published Ahead of Print](#)
- [Supplements](#)
- [Recent Issues](#)
- † [Archives](#)
- [Search](#)
- [Contact](#)
- [Login](#)
- [Creative Commons](#)
- [WIMJ Open](#)
- [FAQ](#)

## Tridimensional Bioprinting for Regenerative Dentistry: Systematic Review

Journal Authors:

[A.Fernández-Bobadilla](#), [R.Velasco-Ibáñez](#), [B.Scougall-Vilchis](#), [E.Lara-Carrillo](#), [R.García-Contreras](#)

DOI: [10.7727/wimj.2017.130](#)

### ABSTRACT

**Objective:** The aim of this work is headed in the systematic revision and comparison of different techniques for the use of bioprint within the area odontology used in the last 10 years.

**Methods:** Randomized or nonrandomized studies that apply bioprint in the face and neck region were included, the methods and techniques are summarized in the review. Electronic databases were reviewed as systemic search until June, 2016 a total of 202 articles matched with the criteria search and only 11 were focused on regenerative dentistry. The key words used were as follow: Bioprinting, 3D bioprinting, 3Dbioprinting dentistry.

**Results:** The question remains whether creating biomimetic tissue engineered constructs that recapitulate nature, even to a limited degree, will lead to significantly improved therapies, regardless if these constructs are immediately implanted or transplanted after culture.

**Conclusion:** A fundamental problem for designing bioprinting constructs is that we have only a very limited understanding of the underlying biology of regeneration. Even as a more complete understanding is gained, it will probably be impractical to attempt to replicate all of the hundreds to thousands of factors involved in tissue repair.

Received: 13 Jun, 2017

Accepted: 08 Aug, 2017

Keywords: [Bioprinting](#), [bioprinting dentistry](#), [three-dimensional printing](#)

PDF Attachment:

[fernandez-bobadilla et al-bioprinting for regenerative dentistry.pdf](#)

e-Published: 15 Aug, 2017

### Disclaimer

Manuscripts that are Published Ahead of Print have been peer reviewed and accepted for publication by the Editorial Board of the West Indian Medical Journal. They may appear in their original format and may not be copy edited or formatted in the style guide of this journal. While accepted manuscripts are not yet assigned a volume, issue or page.