



**COMPARACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE MERCURIO EN  
PARTÍCULAS METÁLICAS PRESENTES EN TRES ÁREAS DEL  
CAMPO OPERATORIO, POSTERIOR A LA ELIMINACIÓN DE  
AMALGAMAS DENTALES BAJO CUATRO PROTOCOLOS  
CLÍNICOS.**

Trabajo de Investigación  
Requisito para optar al  
Título de Cirujano Dentista

Alumnos: Daniela Busquets Alvarado  
Christopher Coloma Bruneau  
Aracely Jorquera Herrera  
Cristóbal Rivera Monje

Docente Guía: Prof. Dra. Mylena Gil Aguilera  
Cátedra de Operatoria Dental

Valparaíso – Chile

2019

## **AGRADECIMIENTOS**

El siguiente trabajo se llevó a cabo gracias a la ayuda, apoyo y gestión de distintas personas que aportaron en su elaboración, desde nuestra docente guía Dra. Mylena Gil a la invaluable guía y ayuda del Dr. Miguel Muñoz, quien impulsó este tema, nos motivó, y dedicó su tiempo a sacarnos de infinitas dudas.

Gracias también a las ideas aportadas por el Dr. Jaime Jamett, quien además nos puso en contacto con Virginia Montenegro, gracias a ella, a Carla y todo el equipo del Laboratorio Ambiental del SEREMI de Salud Viña del Mar pudimos llevar a cabo gran parte de la presente investigación, haciendo uso de sus instalaciones, instrumentos, y por supuesto, su paciencia.

Agradecemos también al equipo del laboratorio de metalurgia de la Universidad Federico Santamaría, a María Isabel por facilitarnos la estufa y a Juan Verdejo por su trabajo con el Microscopio, pagados únicamente por la dicha de la investigación. Muchas gracias a la Dra. Vezna Sabando por tantas veces simplificarnos el trabajo y, con mucha paciencia, ayudarnos a elegir y entender el mejor camino para nuestra metodología.

Gracias también a María Eugenia y su marido, ambos estadísticos, quienes más allá de su trabajo se dieron el tiempo de aclararnos el complejo campo de la estadística.

Y por supuesto, a quienes aportaron su granito de arena: A Ricardo Escalante (Rifa) por ayudarnos a crear el estandarizador y poner el hombro a tardes enteras elaborando cuerpos de prueba, a Verónica Alvarado (Verito) por soportarnos en biblioteca a diario y aportarnos bibliografía y a todos aquellos que, en algún momento, estuvieron ahí para darnos un consejo o una palabra de ánimo.

### **Daniela Busquets**

No ha sido fácil llegar a este punto en mi formación profesional, por eso ahora que me veo tan cerca del término de mi etapa de pregrado estoy orgullosa de todos mis logros, pero no habría podido lograrlo sin todas aquellas personas que han caminado conmigo en el proceso. He conocido a grandes docentes a lo largo de mis estudios, algunos a los que incluso podría llamar maestros; solo puedo darles las gracias por ser libros abiertos para entregar sus conocimientos. Agradecer a mis amigos, los que traía conmigo en el corazón y han estado presentes de uno u otro modo con su apoyo y paciencia, a pesar de los pocos tiempos disponibles y la larga ausencia; y a los que hice aquí y llevo conmigo ahora, que han hecho más alegres mis días y de quienes he aprendido tanto académica como espiritualmente.

Quiero agradecer a mi madre, por apoyarme en todos los aspectos para poder estudiar, por creer en mí e impulsarme siempre a dar lo mejor; a mi abuela y a mi hermano por estar siempre ahí sin cuestionamientos.

Finalmente, les agradezco a Hans y Violeta, mi familia; sin su amor y paciencia infinitas no habría tenido la fuerza para llegar hasta donde he llegado.

## **Christopher Coloma**

Personalmente agradezco a docentes, funcionarios y compañeros que trabajaron en esta tesis, a Daniela por su paciencia maternal y a Aracely por sumarse con su trabajo incansable, también a Cristóbal por tomar el relevo.

Agradezco profundamente a quienes, más allá del trabajo de tesis, me ayudaron a sacar adelante esta carrera, a mis amigos que hicieron más llevadero el paso por la Universidad, los Canguros, el 4D y tantos más que estuvieron presentes durante todo el proceso. A los verdaderos docentes que motivaron mi estudio y a los pacientes estrella que afirmaron mi vocación y me ayudaron a llegar a la meta (Pame, Jessy). A Valentina que me ha abrazado, y alimentado, en momentos difíciles. Y, sobre todo, a la que vivió (y sobrevivió) para tenerme aquí y a quien le debo todo su esfuerzo, paciencia y perseverancia, a Gabriela, mi mamá. ¡Muchas Gracias!

## **Aracely Jorquera**

A mis padres, y en especial a mi madre Laura, por permitirme estudiar esta carrera y apoyarme en cada uno de los pasos que he dado en ella. A mi pareja Luis, que también ha sido un pilar fundamental con su compañía y consejos, por estar presente para escucharme y alentarme en los momentos difíciles, y también compartir mis logros y alegrías.

A mis compañeros de tesis, que me recibieron con los brazos abiertos ya avanzada esta empresa.

## **Cristóbal Rivera**

Agradezco a todos aquellos que pusieron una parte para que la tesis haya sido llevada a cabo, tanto docentes, compañeros y personas externas. Estoy muy y especialmente agradecido de mis compañeros, Christopher Coloma, Daniela Busquets y Aracely Jorquera, por el empeño, entusiasmo, paciencia y sacrificio que dieron para que, aún en contra de las probabilidades, la tesis haya sido un éxito. También le doy las gracias a los doctores Miguel Muñoz y Mylena Gil, por su apoyo y orientación cuando las dudas no nos dejaban avanzar. De todo corazón, Muchas gracias.

## INDICE

1	INTRODUCCIÓN .....	1
2	MARCO TEÓRICO .....	2
	CAPÍTULO I: AMALGAMA DENTAL .....	2
	1. Historia de la amalgama .....	2
	2. Composición de la amalgama .....	2
	3. Propiedades de la amalgama .....	3
	4. Preparación cavitaria .....	5
	5. Eliminación de la amalgama .....	5
	6. Instrumental rotatorio para la eliminación de amalgamas .....	8
	CAPÍTULO II: MERCURIO .....	9
	1. Propiedades del mercurio .....	9
	2. Toxicidad del mercurio .....	9
	3. Exposición mercurial en odontólogos y asistentes dentales .....	11
	4. Exposición mercurial en pacientes .....	13
	5. Límites de exposición ocupacionales .....	13
	6. Contaminación ambiental con mercurio .....	14
	7. Análisis y detección del mercurio .....	16
	CAPÍTULO III: CONTEXTO MUNDIAL DE LA AMALGAMA .....	17
3	OBJETIVOS E HIPÓTESIS .....	20
	3.1 Objetivos .....	20
	3.2 Hipótesis .....	20
4	METODOLOGÍA. ....	21
	4.1 Tipo de Estudio .....	21
	4.2 Cuerpos de prueba: .....	21
	4.3 Selección de la Muestra .....	21
	4.4 Variables: .....	21
	4.4.1 Variables independientes.....	21
	4.4.2 Variables dependientes.....	24
	4.5 Procedimiento de trabajo .....	24
	4.5.1 Simulación del campo operatorio.....	24

4.5.2 Materiales utilizados en el estudio	25
4.5.3 Preparación de los cuerpos de prueba	27
4.5.4 Proceso de eliminación de amalgamas	27
4.5.5 Instrumento de medición y calibración	30
4.5.6 Recolección de datos	31
4.6 Consideraciones de bioseguridad	31
4.8 Análisis estadístico	32
4.9 Determinación del tamaño de partícula	33
5 RESULTADOS	34
6 DISCUSIÓN	38
7 CONCLUSIONES	43
Limitaciones y sugerencias para futuros estudios	43
8 RESUMEN	45
9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

## 1 INTRODUCCIÓN

Las obturaciones de amalgama tienen una alta prevalencia en la población adulta principalmente por haber sido un material restaurador altamente indicado en el pasado<sup>1</sup>. Actualmente existe un recelo de la opinión pública<sup>75</sup> frente a las restauraciones de amalgama, debido a su contenido de mercurio y también a la gran cantidad de información mediática respecto a los riesgos a la salud que pueden derivar de la contaminación por este metal<sup>2,3,4,5,6,7,8,9</sup>; esto ha llevado a muchas naciones a firmar acuerdos como el de Minamata<sup>10</sup> (2013) para suprimir el uso de compuestos que contengan mercurio, llegando incluso a modificar las actuales políticas de salud<sup>9</sup>.

En la contraparte a la percepción de la población, en el año 2006, el Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR), llegó a la conclusión que: “se han encontrado que los niveles de mercurio de los trabajadores dentales son más bajos que los niveles establecidos por la norma europea y que no tendría efectos adversos sobre la salud de las personas en cuanto se utilicen bajo las indicaciones correspondientes”<sup>67, 68</sup>. Sin embargo, un hallazgo del año 1997 (anterior al consenso) visto en un estudio en Suecia, podría sugerir que la contaminación a través del tiempo en concentraciones menores a las normadas puede provocar de igual forma problemas a través del tiempo. Lo anterior dicho no es concluyente y se deben seguir investigando con mayores tamaños muestrales<sup>69</sup>.

Tanto por los motivos antes expuestos, como por la condicionante de la estética, se ha popularizado la idea del recambio de estas restauraciones por materiales libres del metal, tarea en la cual son los odontólogos, en conjunto con los asistentes dentales, quienes se exponen periódicamente a los metales liberados, principalmente mercurio, durante la labor de eliminación<sup>11,12,13,14,15,16</sup>.

Si bien se ha demostrado que el mercurio se puede absorber a través de la piel, por inhalación o por ingestión<sup>8</sup>, los estudios realizados hasta la fecha se centran principalmente en la existencia de partículas de mercurio en suspensión, o en forma de vapor de mercurio durante el procedimiento y dejan de lado las características de los distintos residuos sólidos, que incluyen además otros metales como cobre, estaño o zinc, que decantan en el área clínica y que pudieran afectar en distinta medida tanto al operador, al paciente o incluso al asistente. Además, en la mayoría de los estudios existentes no parecen considerar la existencia de protocolos de eliminación distintos según el clínico que realice el procedimiento, que podrían repercutir de diferente manera en la bioseguridad de la práctica clínica.

En el siguiente estudio se busca determinar con datos cuantificables la concentración de mercurio en partes por millón (ppm) de los residuos producidos durante el proceso de eliminación in vitro de amalgamas montadas en dientes de marfilina. Esto, con el fin de establecer si existen diferencias en dichos parámetros

al realizar la eliminación con diferentes protocolos clínicos, logrando de esta manera, en conjunto con futuros estudios sobre partículas metálicas encontradas en el campo operatorio, tanto su tamaño de partícula como también las variables del tiempo de eliminación y el calor generado, sentar las bases de una línea de investigación que permita otorgar recomendaciones referentes a bioseguridad y técnicas de eliminación de amalgamas, además de actuar en consecuencia con las razones que llevan a la sociedad, a través de tratados, a suprimir el uso de metales que generan toxicidad.

Dentro de las actualizaciones a la fecha del año 2019 y luego de filtrar por año y relevancia distintos estudios como se han realizado en este marco teórico anterior al año 2019, diversas investigaciones han seguido la línea investigativa sobre la exposición de los profesionales y pacientes al mercurio relacionado con la eliminación de la amalgama dental.

Es de importancia dar cuenta que los estudios vistos a la fecha en su conjunto no cuentan con uniformidad en lo que respecta a poder determinar de forma clara, ya que estos mismos manifiestan el sesgo que significa el mercurio y su recolección, en sus diferentes formas y del propio instrumento/mecanismo de medición.

## 2 MARCO TEÓRICO

### CAPÍTULO I: AMALGAMA DENTAL

#### 1. Historia de la amalgama

La amalgama dental es uno de los materiales restauradores más versátiles disponibles para la práctica odontológica y uno de los más antiguos. Existen reportes de su uso desde el año 659 DC en China; en Europa en el año 1528 el médico Alemán Johannes Stokers la recomendaba como material de relleno, mientras que en el mismo año Li Shihchen, considerado el mayor naturalista chino, describe una mezcla dental con 100 partes de mercurio, 45 de plata y 900 de estaño. La siguiente referencia histórica a la amalgama fue en Francia en 1826, cuando Traveau describe una "pasta de plata" como material de obturación la cual se obtenía mezclando mercurio y monedas de plata, esta mezcla fue introducida en Estados Unidos por los hermanos Crawcours en 1833 con el nombre de "Royal Mineral Succedaneum". Sin embargo, no es hasta los estudios realizados por Greene Vardiman Black en los años 1895, 1896 y 1908 que su uso se masifico, llegando a convertirse en el material dental más empleado durante varias décadas<sup>1</sup>.

La composición de la amalgama ha variado considerablemente a través de los años, en sus inicios era básicamente una aleación de plata y mercurio, para luego incorporar estaño, lo cual dio buenos resultados a largo plazo (1877, J.Foster Fraga) Posteriormente, en los estudios de Black se modificó a una aleación de mercurio, plata, estaño, oro y zinc, aleación reestructurada por S.S White en 1900, que reemplazo el oro por cobre. Finalmente, en 1963 Innes DB, demostró que las amalgamas con alto contenido en cobre eran más resistentes a la corrosión que las que lo poseían en baja concentración dando así origen a las amalgamas actuales<sup>1</sup>.

#### 2. Composición de la amalgama

El uso de las obturaciones en base a aleación de amalgama nace en conjunto con la búsqueda de la restauración ideal, que pudiera combinar costo, propiedades físico/químico/biológicas y mecánica. Debido a las limitaciones tecnológicas y científicas en su tiempo, el uso de las amalgamas lograba buenas propiedades a bajo costo en desmedro de la estética<sup>1</sup>.

Amalgama es el nombre que se da a las aleaciones en las que uno de los componentes es el mercurio(Hg). La amalgama es un material para restauraciones de inserción plástica, lo que significa que es trabajada a partir de la mezcla de un polvo con un líquido(mercurio). La masa plástica obtenida se inserta en una preparación convenientemente realizada en un diente y, dentro de ella, adquiere estado sólido<sup>17</sup>.

La especificación n°1 de la ADA exige que las aleaciones para amalgama estén formadas fundamentalmente de plata(Ag) y estaño(Sn), pero sigue siendo el mercurio el ingrediente más importante, representando aproximadamente el 50% de la composición de la capsula de amalgama que se encuentra normalmente en el comercio y consultas dentales. Esta composición permite que el material

endurezca o fragüe ya que el polvo(Plata y estaño) forma fases sólidas con el mercurio a temperatura ambiente o en el medio bucal<sup>17</sup>; al emplear solo plata el resultado final es mecánicamente deficiente al ser una aleación poco rígida, por ende poco apta para restauraciones en zonas de esfuerzo oclusal, por ello se incorpora estaño que además al interactuar con plata forma un compuesto intermetálico que, como tal, es rígido y confiere rigidez al producto final<sup>17</sup>.

Por lo tanto, la composición del polvo al mezclarse con mercurio es una aleación del tipo compuesto intermetálico de plata y estaño, identificada como fase gamma<sup>17</sup>. Para lograr esta fase gamma, la composición de la amalgama no puede variar demasiado, solo se incorpora un 3-5% de cobre(Cu) para aumentar resistencia y en ocasiones una pequeña cantidad de zinc(Zn) dando como resultado la aleación que se conoce como "convencional"<sup>17</sup>.

Según las indicaciones ISO (24234:2015) actuales, deben ser aleaciones de plata, estaño y de alto contenido de cobre (13-29% en peso) que, cuando se mezclan con mercurio producen la amalgama propiamente tal, formando una aleación sin fase gamma 2, mejorando las propiedades físicas, mecánicas y biológicas.

La diferencia principal entre las amalgamas convencionales y las de alto contenido en cobre es la formación de fases distintas, que les confieren diferentes propiedades (Tabla I).

**Tabla I: Fases de la amalgama**

<b>Amalgama</b>	<b>Fases</b>
<b>Convencional</b>	$Hg + Ag_2Sn \text{ (gamma)} = Ag_2Hg_3 \text{ (gamma-1)} + Sn_6Hg \text{ (gamma-2)}$
<b>Alto contenido en cobre</b>	$Hg + AgCu + AgSn \text{ (gamma)} = AgCu + Ag_2Hg_3 \text{ (gamma-1)} + Cu_6Sn_5$

### **3. Propiedades de la amalgama**

#### **3.1. Aspectos biológicos**

En las amalgamas convencionales, al verse expuestas al medio bucal, la fase gamma-2 se transforma en otra fase, que tiene menor cantidad de mercurio y mayor contenido de estaño, quedando libre parte del mercurio. Debe tenerse en cuenta que el mercurio libre tiene efectos tóxicos si es absorbido, ya sea por piel o vía aérea<sup>17</sup>, no obstante, el mercurio liberado por la transformación de la fase gamma-2 no sería significativa para el paciente<sup>2,17</sup>. Aún así, es innegable que la producción y manipulación de amalgamas genera contaminación ambiental, como también ocurre al realizar recambio de restauraciones de amalgama y/o eliminar restos de esta en el trabajo odontológico<sup>3,17,18</sup>.

### **3.2 Fijación a la estructura dentaria y sellado marginal**

Dada la alta tensión superficial del mercurio, la amalgama no puede unirse a la estructura dentaria por sí sola, por lo cual se requiere una preparación cavitaria con formas de retención<sup>17</sup>.

Para ayudar a la unión entre diente y amalgama, se puede utilizar técnicas adhesivas que disminuyen la posibilidad de infiltración marginal y mejoran el comportamiento mecánico del remanente dentario al contribuir a la integración de ambas estructuras. No obstante, la infiltración marginal posibilita la oxidación y formación de productos de reacción de los componentes de la amalgama con los iones provenientes del medio bucal, lo que va mejorando el sellado marginal con el tiempo<sup>17</sup>.

### **3.3 Propiedades físicas**

La amalgama, al ser un material metálico, posee buena conductividad térmica y eléctrica por lo cual, previo a su inserción, se requiere de una protección del órgano dentinopulpar<sup>17</sup>.

El coeficiente de expansión térmico lineal de la amalgama es casi el doble que el del diente, pero ya que el sellado marginal se da por la corrosión antes mencionada, esto no es relevante clínicamente<sup>17</sup>.

### **3.4 Propiedades mecánicas**

Debido a la formación de los compuestos intermetálicos, la amalgama posee las siguientes propiedades<sup>17</sup>:

- Alto módulo elástico
- Elevada resistencia compresiva
- Resistencia traccional y flexural
- Baja capacidad de deformación permanente (fragilidad).

Estos aspectos deben ser tomados en cuenta al realizar una restauración de amalgama ya que de no ser considerados y, por ejemplo, trabajar en espesores muy delgados en los márgenes, se producirán fracturas<sup>17</sup> que podrían facilitar la formación de caries secundarias al crear un factor retenedor.

Otra característica de la amalgama es el "creep", que consiste en una deformación permanente cuando la estructura es sometida a tensiones pequeñas (inferiores al límite proporcional) durante lapsos prolongados. Esta característica es notoria en las amalgamas "convencionales" debido a su fase gamma 2, pero no así en las de "alto contenido de cobre" porque la fase de cobre y estaño limita esta posibilidad de deformación<sup>17</sup>.

La posibilidad de presentar creep en las amalgamas convencionales, las hace más propensas a sufrir desajustes marginales y fracturas asociadas a estos cuando se presentan en zonas de oclusión, por este motivo, las amalgamas convencionales han sido casi por completo desplazadas por las de alto contenido en cobre<sup>17</sup>.

### 3.5 Estabilidad química

La fase gamma-2 puede sufrir corrosión al estar expuesta en medio acuoso con iones disueltos(bucal) formando compuestos iónicos de estaño y liberando mercurio. Este fenómeno no es significativo en las amalgamas de alto contenido de cobre, por lo que se dice que poseen mayor estabilidad química<sup>17</sup>.

### 4. Preparación cavitaria

La amalgama es un material de restauración directa, que se mantiene en su lugar por medio de retención de tipo macro y micromecánica, por efectos geométricos, lo que implica la necesidad de realizar una preparación cavitaria con un diseño adecuado para lograrlo<sup>19</sup>.

Las características de este diseño son<sup>20</sup>:

- **Formas de retención:** En las preparaciones que presenten mayor ancho que alto, es necesario que las formas favorezcan la retención lo cual se logra con fresas tipo pera, logrando una preparación convergente hacia oclusal.
- **Resistencia del material:** La amalgama requiere un espesor mínimo de 1.5mm para no fracturarse y que este espesor sea relativamente uniforme a través de la restauración. Además, el borde cabo superficial debe formar un ángulo de 90° para lograr el espesor óptimo tanto en la amalgama como en la estructura dental.
- **Resistencia del remanente:** Los ángulos internos de la preparación deben ser redondeados, a fin de dispersar las tensiones que inciden sobre el conjunto diente-restauración.

Otra medida de resistencia es mantener las paredes mesial y distal del cajón oclusal con inclinación vertical o levemente divergentes para evitar la fractura del esmalte marginal que, de otro modo, podría quedar sin sustento debido a la inclinación de los prismas.

### 5. Eliminación de la amalgama

Ante la investigación y búsqueda de un protocolo para realizar la eliminación de amalgama, se ha encontrado un consenso que fija como meta del procedimiento del retiro de amalgama de la cavidad oral, la reducción al mínimo de cualquier exposición adicional del paciente, del odontólogo, o del equipo de trabajo al mercurio.

Actualmente existe un protocolo de extracción segura de amalgamas dentales desarrollado por la IAOMT (International Academy of Oral Medicine and Toxicology) utilizado por un gran número de clínicas e instituciones con un enfoque holístico y medioambientalista en todo el mundo, que ofrecen una eliminación segura de amalgamas y que en ocasiones se acompaña de un programa de apoyo nutricional y de desintoxicación con agentes quelantes de metales pesados, como el ácido alfa lipóico(ALA), sin embargo ningún ensayo clínico en humanos ha investigado el uso de ALA como un agente quelante de la toxicidad del mercurio.

El protocolo de la IAOMT contempla ocho pasos que se enumeran a continuación<sup>11</sup>:

- 1. Mantener las amalgamas frías.** Toda la eliminación debe ser hecha bajo un spray de agua fría en cantidades copiosas.
- 2. Utilizar un succionador de alto volumen.** Una extremidad del succionador de alto volumen debe ser situada cerca del diente (a menos de 1 cm. y medio) en todo momento para evacuar el vapor de esta área del paciente. Pulir la amalgama puede crear niveles muy peligrosos de mercurio y se debe evitar especialmente para el paciente intoxicado por mercurio.
- 3. Proporcionar una fuente alternativa de aire.** A todos los pacientes a los que se les elimina o coloca una amalgama se les debe proporcionar una fuente alternativa de aire y debe ser instruido para no respirar a través de su boca durante el tratamiento. Una mascarilla nasal como por ejemplo la que se utiliza con el equipo de anestesia de óxido nitroso es excelente. El aire es mejor y el oxígeno es aceptable, aunque no está requerido. Si se utiliza sólo aire, debe estar limpio y libre del vapor de mercurio, preferiblemente tomado desde fuera de la clínica dental.
- 4. Eliminación inmediata de la aleación de mercurio.** Las partículas de la aleación de mercurio deben ser lavadas y aspiradas tan pronto como son generadas. El relleno se debe seccionar y quitar en pedazos grandes para reducir la exposición. Actualmente la Academia Internacional de Medicina Oral y Toxicología (IAOMT) ha aprobado la eliminación con y sin el uso de un dique de goma. Existe una cierta evidencia para apoyar ambas opiniones puesto que altos niveles de partículas de mercurio y de amalgama se pueden encontrar debajo del dique. Todos los miembros están de acuerdo en que, tanto si se usa o no un dique de goma oral, debe ser instruidos para no respirar a través de su boca y no tragar las partículas de amalgamas. Algunos expertos sienten que es mejor quitar la amalgama primero y en seguida aplicar el dique si es necesario realizar procedimientos restaurativos.
- 5. Lavado y cambio de guantes.** Después de que los rellenos se hayan eliminado, se debe sacar el dique de goma si fue utilizado y hacer un lavado de boca al paciente por lo menos durante 30 segundos con agua fría y succión. Los guantes deben ser reemplazados por un nuevo par. Si a continuación se va a realizar un procedimiento restaurativo entonces se deberá utilizar un nuevo dique de goma.
- 6. Limpiar al paciente inmediatamente.** Se debe cambiar inmediatamente el atuendo de protección del paciente y limpiar su cara.
- 7. Considerar la ayuda alimenticia.** Considerar ayuda alimenticia apropiada antes, durante y después de la eliminación. (la publicación no especifica la recomendación "ayuda alimentaria")

**8. Mantener el aire de la habitación puro.** Instale purificadores de aire o ionizadores y ventiladores.

Si bien los ocho pasos mencionados anteriormente sin duda pueden ayudar a reducir enormemente la exposición de todas las personas, lo más aplicado al momento de eliminar este tipo de restauraciones, es apelar a la experiencia y sentido común por parte del profesional en la técnica. Aun así, en la revisión bibliográfica y recolección de opiniones de docentes de la cátedra de operatoria dental de la universidad de Valparaíso, se han encontrado algunos denominadores comunes en la forma de eliminación de las amalgamas que no han sido contemplados en el protocolo enunciado más arriba, como lo es el corte en cruz de la restauración en la cara oclusal y la remoción en bloque rompiendo las zonas de retención, como el corte del istmo en las restauraciones de clase 2. Para eliminar una amalgama dental es necesario el uso de fresas transméticas de alta velocidad e irrigación con spray aire/agua en conjunto con un sistema de succión que se incluye en cualquier sillón dental. Otros protocolos que consideran menos recursos usan piedras de diamante de alta velocidad. Independiente de la técnica a utilizar, la mayoría de los profesionales instan el uso de aislamiento absoluto, vale decir uso de clamps y dique de goma en el sector donde se realizará la eliminación, se hace mención también a la variante de aislamiento relativo, consistente en uso de algodón, gasa o barreras de resina en caso de no existir los recursos suficientes o de haber dificultad para la técnica de aislamiento absoluto<sup>17</sup>.

En un estudio anterior realizado en la Universidad de Alberta, Canadá, se utilizaron dientes plásticos montados en una arcada de simulación, los cuales fueron restaurados con amalgama y ésta eliminada por un investigador calibrado mientras un segundo investigador realizaba succión de alto volumen, y un tercer investigador, recolectaba las mediciones de vapor de mercurio en el aire ambiental alrededor del investigador que realizaba la eliminación. En este estudio se utilizó un analizador de vapor de mercurio de tipo Jerome modelo 431 -X por ser idóneo para el análisis de vapor de metales en suspensión, estableciendo un límite mínimo de cuantificación de 3 microgramos por metro cúbico. La eliminación de las restauraciones de amalgama de 2 planos se realizó según las indicaciones de los profesionales de la Universidad de Alberta con alta velocidad y piedras de diamante, mientras que las mediciones se realizaron a 38 cm del área de eliminación representando la posición del operador e interponiendo una mascarilla desechable en el lector del analizador que se recambió tras cada medición. Las mediciones se realizaron aplicando como variables el uso o no uso de spray de agua y succión, realizada por el segundo investigador en un ángulo de 45 grados del sitio de eliminación. Los investigadores determinaron que bastaban 25 mediciones por cada variable para un análisis estadístico satisfactorio, logrando en todas las pruebas superar el límite mínimo ( $3\mu\text{m}/\text{mg}^3$ ) que logra medir el analizador Jerome.

Tras analizar los resultados de este estudio se obtuvo que la mayor concentración de vapor de mercurio se encontró en los casos de eliminación sin succión de agua, disminuyendo relativamente al utilizar succión y considerablemente al utilizar

succión más agua en spray, demostrando que el uso de succión y spray de agua reduce significativamente la contaminación por vapor de mercurio estando dichas mediciones en un 100% bajo el límite superior e inferior de exposición ocupacional de Alberta, Canadá. En cuanto al uso de succión sin agua, se excedió el límite superior en un 8% de los casos y un 16% cercano a este, mientras el 84% restante de los casos excedieron el límite inferior recomendado<sup>12</sup>.

## **6. Instrumental rotatorio para la eliminación de amalgamas**

Para realizar eliminación de amalgamas se requiere la acción mecánica de una punta activa girando a velocidad controlada mediante una turbina dental. La turbina puede girar a un máximo de 450.000 revoluciones por minuto(rpm). Debido al calor generado por la alta velocidad, las turbinas presentan sistemas de refrigeración que consisten en 3 o 4 salidas de spray aire/agua direccionadas a la punta activa de la fresa o piedra diamantada<sup>20</sup>.

Los instrumentos rotatorios pueden remover materiales mediante corte o desgaste. Los instrumentos de corte son conocidos como **fresas** y en su punta activa está formada por una serie de láminas que al girar promueven el corte. Los instrumentos de desgaste son las puntas diamantadas o **piedras de diamante** y su punta activa está formada por partículas abrasivas diamantadas aglutinadas al metal<sup>20</sup>.

Durante la manipulación del instrumental rotatorio sobre el diente, se genera un incremento en la temperatura pulpar y este varía según el instrumental usado. Se ha demostrado que con una piedra de diamante estándar puede haber un incremento de entre 3.7 y 7.7 °C tras 40 segundos de desgaste<sup>21</sup>. Sin embargo, la aplicación de spray aire/agua a un volumen de 40ml/min ayuda a reducir este incremento además de facilitar el corte o desgaste que realiza el instrumento ya que evita el embotamiento de la piedra o fresa y actúa como lubricante entre esta y el sustrato<sup>22</sup>.

En un estudio de Kasraei y cols. se vio que los odontólogos que usan fresas de carburo para eliminar amalgama, en comparación con los que utilizan piedras de diamantes, tenían menor concentración sanguínea de mercurio, aunque la diferencia no fue estadísticamente significativa. Este resultado se explicaba porque las piedras de diamante producen más calor y la fase Ag-Hg se funde liberando más vapor de mercurio<sup>13</sup>.

## **CAPÍTULO II: MERCURIO**

### **1. Propiedades del mercurio**

El mercurio se manifiesta de manera natural en el medio ambiente, ocupa el lugar 67 de abundancia entre los elementos de la corteza terrestre. De color blanco plateado y brillante, rara vez se le encuentra en estado puro; se caracteriza por ser el único metal líquido a temperatura ambiente, por lo cual no es buen conductor del calor comparado con otros metales, pero sí es buen conductor de la electricidad. Se combina fácilmente con muchos otros metales como el oro o la plata produciendo

amalgamas. Es insoluble en agua, pero soluble en ácido nítrico y ácido sulfúrico concentrado. Es incompatible con el acetileno, el amoníaco, el cloro y los metales<sup>23</sup>. En este sentido, la Tabla II<sup>4,24</sup> contiene información acerca de las propiedades fisicoquímicas más importantes del mercurio:

**Tabla II: Propiedades químicas del mercurio.**

Propiedad	Detalle
<b>Nombre</b>	Mercurio
<b>Nomenclatura</b>	Hg
<b>Número atómico</b>	80
<b>Valencia</b>	1,2
<b>Estado de oxidación</b>	+2
<b>Electronegatividad</b>	1,9
<b>Radio covalente</b>	(Å)1,49
<b>Radioiónico</b>	(Å)1,10
<b>Radio atómico</b>	(Å)1,57
<b>Configuración electrónica</b>	(Xe)4f145d106s2
<b>Primer potencial de ionización(eV)</b>	10,51
<b>Masa atómica (g/mol)</b>	200,59
<b>Densidad (g/ml)</b>	16,6
<b>Punto de ebullición (°C)</b>	357
<b>Punto de fusión (°C)</b>	-38,4 Sólido

Fuente: Proske et al, 1960 y Lenntech, 2009.

## 2. Toxicidad del mercurio

El mercurio en su estado más conocido es bivalente, esto significa que se asocia con sólo dos átomos. Es dañino por inhalación, ingestión y contacto; se trata de un producto muy irritante para la piel, ojos y vías respiratorias<sup>25</sup>. Si no está encapsulado el mercurio metálico, usualmente a temperaturas por encima de los 40 °C se volatiliza parcialmente formando vapores de mercurio que son incoloros e inodoros, tóxicos y corrosivos, más pesados que el aire. La emanación de vapores de mercurio presenta una relación directamente proporcional con la temperatura, esto es, a mayor temperatura, mayor cantidad de vapores de mercurio emanados<sup>23</sup>.

La evidencia dice que, actualmente, la exposición al mercurio proviene de tres fuentes principales: el consumo de pescado (metil mercurio), las vacunas (etil mercurio) y las amalgamas dentales (vapor de mercurio y mercurio inorgánico). Cada una de estas variantes con un perfil toxicológico específico y síntomas clínicos diferentes. En este punto son las obturaciones de amalgama las que constituyen la fuente principal de exposición en bajos niveles al vapor de mercurio que se libera de ellas, siendo una parte exhalada y la otra absorbida. La cifra de ingesta tolerable de mercurio inorgánico propuesta por la OMS es de 0,23 microgramos por día, por kilogramo de peso corporal<sup>25</sup>.

El mercurio y sus compuestos pueden ser clasificados según su grado de toxicidad. Las formas alquílicas son más tóxicas que la elemental y las sales inorgánicas, siendo la primera diana la membrana citoplasmática, a la que se unen

incrementando su permeabilidad. Con ello, disminuyen los gradientes de concentración y eléctrico, con la despolarización consiguiente y el incremento del volumen celular. Se inhibe la ATPasa sódico-potásica y el transporte de aminoácidos<sup>5</sup>.

El Hg es el elemento metálico con mayor afinidad en medio biológico por los grupos tioles, en forma decreciente  $\text{SH} > \text{CONH}_2 > \text{NH}_2 > \text{COOH} > \text{PO}_4^{-2}$  y produce una masiva inhibición enzimática (Glucosa-6-fosfatasa, fosfatasa alcalina, ATPasa, succinato-deshidrogenasa)<sup>5</sup>.

Los compuestos mercuriales orgánicos son más tóxicos que los vapores de mercurio elemental, siendo estos últimos los que tienen mayor importancia en odontología<sup>6</sup>.

El vapor de mercurio es absorbido en un 80-90 % por el tracto respiratorio llegando hasta los alvéolos y penetrando al torrente sanguíneo. Debido a su carácter lipofílico, atraviesa la membrana celular de los eritrocitos donde es oxidado ( $\text{Hg}^0 \rightarrow \text{Hg}^{+2}$ )<sup>6</sup>.

Sin embargo, la tasa de oxidación es más lenta que el tiempo de circulación del vapor de mercurio desde los pulmones al cerebro; permitiendo que el mercurio inorgánico no oxidado ( $\text{Hg}^0$ ), cruce rápidamente la barrera hematoencefálica. El mercurio en el cerebro es oxidado, acomplejado y retenido, además aumenta la permeabilidad de la membrana plasmática al calcio lo cual causa neurotoxicidad<sup>6</sup>.

Dentro de los efectos descritos tras la exposición a mercurio se encuentran: desordenes autoinmunitarios, disfunción renal, infertilidad, efectos negativos en el feto, problemas neuroconductuales, disfunción cardíaca, esclerosis múltiple, Alzheimer, efectos destructivos en sistema nervioso central y periférico, insuficiencia respiratoria aguda, dermatitis, demencia, náusea, vómito, diarrea, dolor abdominal, hematuria, conjuntivitis, bronquitis necrotizante, neumonía, edema pulmonar, desordenes neuropsicóticos, enfermedades oculares y problemas orales<sup>13</sup>.

Sin embargo, es importante mencionar en este punto que la toxicidad depende de la concentración del material<sup>67, 73, 74</sup>, tal como se ha descrito anteriormente por la comisión de toxicología de la unión europea, en el caso de las obturaciones por amalgama, se ha descrito que los niveles de ingesta de mercurio por este origen comparado a la ingesta de mariscos no son significativa y no produce enfermedades como lo es la esclerosis lateral amiotrófica<sup>73</sup>.

### **3. Exposición mercurial en odontólogos y asistentes dentales**

La manipulación directa de amalgama (durante el pulido, tallado y remoción), genera una exposición a corto plazo a vapores de mercurio para el odontólogo y otros trabajadores dentales, la cual puede exceder los límites ocupacionales saludables<sup>11</sup>.

La inhalación de vapor de mercurio por un periodo prolongado causa el mercurialismo, que se caracteriza por temblores finos, gingivitis con salivación excesiva y eretismo (timidez excesiva, depresión, resentimiento a las críticas, dolores de cabeza, fatiga e insomnio, comportamiento errático que varía de excitación a agresividad), signos que se asocian a exposiciones prolongadas,

observables en niveles urinarios de más de 300 microgramos de mercurio por litro<sup>7</sup>. En este sentido, Foo y cols., en Singapur, estudiaron a 98 dentistas y a 54 controles (no dentistas). Los autores encontraron que existía una fuerte correlación entre la intensidad y la duración de la exposición y los efectos observados. Concluyeron que existe un efecto neuro-comportamental acumulativo, consistente con estudios de absorción y excreción de mercurio que indican que el proceso de excreción y eliminación del mercurio absorbido y almacenado es muy lento<sup>14</sup>.

Desde el punto de vista odontológico, se puede decir que el mercurio llega al cuerpo por estas vías<sup>6</sup>:

1. Desde la cavidad bucal y nasal: Llegan vapores de mercurio a la circulación sanguínea y a través de los nervios directamente al cerebro.
2. Los vapores de mercurio al ser inhalados penetran a los pulmones por las vías respiratorias, de allí pasan por el torrente sanguíneo, donde se transforma una parte del vapor de mercurio oxidándose y formando iones de mercurio ( $Hg^0 \rightarrow Hg^{+2}$ ). De esta forma es almacenado en órganos como el hígado y el riñón.
3. Durante la labor clínica, el odontólogo al remover las amalgamas de restauraciones antiguas, debido al fresado a altas velocidades, genera vapor de mercurio el cual puede penetrar al sistema respiratorio
4. Al realizar las preparaciones de amalgamas pueden derramarse pequeñas cantidades de mercurio en la piel o permanecer en el ambiente, del cual se evapora contaminando el área de trabajo.

Yılmaz y cols. realizaron un estudio en odontólogos y personal hospitalario en Turquía y determinaron que la concentración plasmática de mercurio en el grupo Dentistas fue significativamente mayor que la del grupo control, es decir, Personal hospitalario no odontológico. Además, se determinó que el número de amalgamas hechas en el último año era directamente proporcional a la concentración de mercurio encontrada<sup>15</sup>. Esto demostraría que al haber una exposición a amalgama sostenida en el tiempo, se genera una contaminación crónica, lo cual puede repercutir directamente en la calidad de vida de estas personas ya que estudios indican que los asistentes dentales y dentistas, quienes trabajan con amalgamas presentan reducción de la fertilidad y bajas posibilidades de concepción y sus hijos tienen un bajo coeficiente intelectual comparado con la población general<sup>6</sup>.

Actualmente existe una técnica en la que se utilizan amalgamas encapsuladas en lugar de la preparación manual; en estas cápsulas el mercurio y el polvo están separados por una membrana, la cual es rota al agitar la cápsula vigorosamente, esta técnica disminuye el riesgo ocupacional de los dentistas y de sus asistentes. En efecto, se han encontrado niveles bajos de mercurio en plasma, sangre y orina de odontólogos que trabajan con rutinas modernas de manipulación de mercurio, como por ejemplo el uso de succión y enfriamiento durante el trabajo con amalgamas, teniendo especial cuidado con los residuos de amalgamas liberados<sup>6</sup>.

Además de la exposición a vapores de mercurio, durante la remoción de amalgamas con alta velocidad, se generan partículas que pueden ser inhaladas tanto por el operador como por el asistente y/o paciente. Las partículas menores a 10 micrones

son consideradas altamente respirables pudiendo llegar hasta los alveolos terminales, mientras que las partículas de 1micron son aspirables en un 100%.Cutright y cols. demostró una captación sistémica después de la inhalación de mercurio en partículas en un modelo animal y encontró que los niveles de mercurio en sangre y órganos fue marcadamente elevado durante más de 72 horas posteriores a la exposición a partículas de amalgama en aerosol. Musajo y cols. informó hallazgos similares en un estudio más reciente de animales<sup>16</sup>.

Por otro lado, existen numerosos reportes de casos en los que se describe enfermedades pulmonares asociadas a quienes trabajan con metales pesados<sup>26</sup> y también en odontólogos que manipularon materiales con partículas finas<sup>27,16</sup> tales como silicona, aluminio o amalgama. Se debe considerar que el material particulado es reconocido como agente contaminante y sus efectos sobre la función respiratoria son claros por ello, muchos países realizan controles periódicos en la calidad del aire para mantener estos contaminantes dentro de los límites compatibles con la salud de la población<sup>28</sup>. Dentro del material particulado se involucran diversos tipos de partículas agrupadas de acuerdo con sus propiedades específicas, según comportamiento aerodinámico se dividen en dos grandes grupos: partículas sedimentables y partículas suspendidas. Las partículas suspendidas a su vez se subdividen en partículas suspendidas totales (PST), partículas respirables identificadas como menores a 10 micrones o PM<sub>10</sub> y partículas respirables finas o PM<sub>2.5</sub><sup>28</sup>.

Si bien se puede absorber a través de la piel o por ingestión el riesgo principal del odontólogo es la inhalación del vapor<sup>11</sup>.

La normativa chilena en su Decreto Supremo 594 indica al mercurio en forma de vapor y compuestos inorgánicos por su potencial absorción por la piel con una calificación A.4 que refiere a sustancias en proceso de validación de estudios que permitan calificarla como cancerígenas para el ser humano o para animales de laboratorio, recomendando una mínima exposición por parte de los trabajadores que trabajen con estas sustancias<sup>29</sup>.

Múltiples investigaciones sugieren que la exposición de los profesionales al mercurio, manifestada en forma de concentración de mercurio en los tejidos de los trabajadores dentales (uñas, pelo, sangre, orina, heces, órganos), son mayor en términos comparativos que las de otros trabajadores, y que los trabajadores dentales tienen mayores problemas de salud relacionadas con el mercurio que otros trabajadores (controles)<sup>13, 51, 52, 53, 54, 56, 57</sup>.

Dentro de los problemas a la salud, se reconocen patologías neurológicas adversas, como la esclerosis múltiple<sup>13, 51, 56, 58, 59, 60, 61, 62</sup>, y también condiciones negativas a la reproducción, como lo es en el embarazo<sup>64, 65, 66</sup>.

La falta de certeza en esta materia sugiere por algunos autores que la “no se puede distinguir un umbral mínimo de concentración de mercurio en el cual no se produzcan problemas a través del tiempo”<sup>70, 71</sup> y/o que los “métodos de medición, no tienen la fiabilidad suficiente para medir la concentración de mercurio en los

tejidos”<sup>56</sup>. Ambos siendo premisas no comprobadas, pero dando pie a seguir con las investigaciones.

A pesar de que se han realizado múltiples estudios de exposición al mercurio por parte del uso de la turbina, no se ha podido cuantificar con certeza la totalidad de mercurio liberado, ya que se las muestras son conformaciones distintas entre partículas y vapores. Esto, puede indicar que la liberación de mercurio puede ser mayor a la recolectada por diversos estudios, incluyendo este<sup>12, 16</sup>.

#### **4. Exposición mercurial en pacientes**

Desde el punto de vista toxicológico, la acumulación de metales pesados en los organismos es la resultante de la relación entre la tasa de incorporación y la tasa de excreción de los mismos. De esta forma, altas concentraciones de mercurio podrían saturar los mecanismos de depuración, generando la acumulación del metal en los órganos y produciendo daños. Algunos autores sugieren que las cantidades de mercurio liberadas desde las amalgamas son muy pequeñas y pueden ser eliminadas mediante los sistemas depuradores del cuerpo<sup>6</sup>. Otros estudios en los cuales han comparado los niveles de mercurio entre personas con y sin amalgamas en autopsias humanas, han revelado niveles de mercurio significativamente mayores en órganos como el cerebro y el riñón en las personas que presentaban amalgamas en sus bocas<sup>6</sup>.

Tal como en un estudio realizado en EEUU, la concentración de mercurio en los pacientes varía según la cantidad de obturaciones que tengan en boca, siendo correlativa y directamente proporcional la cantidad de mercurio absorbido por el cuerpo con la cantidad de obturaciones; desde 0.2 a 0.4 ug de mercurio por día por superficie dental llena de amalgama, hasta 0.5 a 1.0 ug por día, variando según otros factores como edad<sup>72</sup>.

El mercurio presente en las amalgamas dentales se encuentra en su forma metálica que es poco tóxica. Sin embargo, este metal se evapora a 25°C, presentándose como vapor de mercurio que es muy tóxico. Considerando que al tomar bebidas calientes como café, té o chocolate, las temperaturas en la boca pueden llegar a 40 y 60 °C, puede esperarse la liberación del vapor de mercurio cada cierto tiempo, exponiendo al paciente a una contaminación crónica, este hecho fue evaluado experimentalmente y se comprobó que existía un aumento de la tasa de evaporación<sup>6</sup>.

La exposición del paciente con restauraciones de amalgama no ha demostrado ser peligrosa en sí, dado que la contribución más significativa a la asimilación del mercurio de las amalgamas dentales es por evaporación. La extracción de las obturaciones de amalgama puede ocasionar una elevación temporal de la concentración de mercurio en sangre en el paciente, ya que el procedimiento aumenta transitoriamente la cantidad de mercurio inhalado. Dicho aumento tiende a normalizarse a los 100 días, por lo que pese a que en un primer momento el uso de medidas de protección, como el dique de goma, genera diferencias de absorción, éstas tienen una relevancia toxicológica menor<sup>25</sup>.

## 5. Límites de exposición ocupacionales

Según la ADA, El valor máximo de la exposición ocupacional considerada como segura es de 50µm de mercurio por mt<sup>3</sup> de aire al día<sup>12</sup>. Dentro de la legislación chilena en su Decreto Supremo 594 sobre seguridad laboral, la cantidad de mercurio inorgánico y vapor de mercurio tienen un límite permisible ponderado de 0,9 mg/mt<sup>3</sup>, mientras que otros metales presentes en la amalgama dental como el estaño inorgánico tienen un límite de 1,75 mg/mt<sup>3</sup>, el cobre en polvo 0,88 mg/mt<sup>3</sup> y el zinc en forma de vapor 4,4 mg/mt<sup>3</sup> (29).

La legislación chilena considera límite permisible ponderado como el valor máximo permitido para el promedio ponderado de las concentraciones ambientales de contaminantes químicos existentes en los lugares de trabajo durante la jornada normal de 8 horas diarias, considerando un total de 45 horas semanales<sup>29</sup>.

## 6. Contaminación ambiental con mercurio

Los mayores depósitos de mercurio son encontrados en áreas que han tenido alta actividad volcánica como China, España y Sud América. El mercurio de estos depósitos circula naturalmente en la biosfera. La principal fuente de mercurio es la desgasificación natural de la corteza terrestre, que asciende a entre 25.000 y 125.000 toneladas anuales. La producción mundial de mercurio por la minería y la fundición se estimó en 10.000 toneladas por año en 1973 y ha estado aumentando a una tasa anual de alrededor del 2%<sup>30</sup>.

El uso industrial del mercurio ha ocasionado tragedias como la ocurrida en la Bahía de Minamata, en Japón en 1953, en la cual fallecieron 44 personas y muchos sobrevivientes quedaron paralizados de por vida por mercurialismo tras consumir pescados y mariscos contaminados con mercurio originado de una fábrica de químicos que producía acetil-aldehído utilizando mercurio como catalizador. Posteriormente los análisis químicos realizados determinaron que se trataba de un compuesto orgánico del mercurio (metilmercurio). Otra tragedia por envenenamiento con mercurio fue la ocurrida en Iraq, en 1960, en la cual se intoxicaron personas al consumir pan que había sido preparado con semillas expuestas a un fungicida que contenía mercurio<sup>6</sup>.

Las industrias de cloroalcalinos, equipos eléctricos y pinturas son los mayores consumidores de mercurio, representando aproximadamente el 55% del consumo total. El mercurio tiene una amplia variedad de otras aplicaciones en la industria, la agricultura, el campo militar, la medicina y la odontología. Se ha estimado que 34% se utiliza en odontología<sup>30</sup>.

El desarrollo de la actividad profesional en la clínica odontológica resulta en la producción de desechos, que pueden ser divididos en tres grandes grupos:

1. Cortopunzantes
2. Desechos infecciosos
3. Desechos químicos

Los desechos peligrosos generados por el manejo de los materiales de obturación generalmente se clasifican como desechos químicos; dentro de estos, las aguas

residuales contaminadas con mercurio dispuestas en soluciones fotográficas constituyen una preocupación ambiental importante. Generalmente estos desechos deben ser eliminados siguiendo las normas sanitarias, almacenados individualmente en contenedores de polietileno o poliestireno adecuadamente etiquetados y retirados por un servicio especializado<sup>30</sup>.

Una investigación danesa que reportó análisis de contenido de mercurio en aguas residuales de 20 consultorios dentales concluyó que, de las clínicas sin separador de amalgama, se descargaron hasta 800 mg de mercurio con las aguas residuales por dentista al día (media de 250 mg Hg / dentista al día) con valores en el intervalo de 200 g de mercurio por dentista al año (media de 57 g Hg / dentista al año). Las clínicas equipadas con un moderno dispositivo de separación de amalgama mostraron resultados al nivel de aproximadamente 10% de los resultados obtenidos en las clínicas sin separador de amalgama (media de 35 mg Hg / dentista y día)<sup>30</sup>.

Otro estudio realizado por Senkpiel K. y cols. midió el nivel de mercurio en aguas residuales de una clínica se durante cinco días consecutivos. No se encontró correlación entre el número de superficies de amalgama eliminadas o producidas y la cantidad de mercurio determinada en las aguas residuales. La falta de correlación no es sorprendente ya que es posible encontrar sedimentos de amalgama sobre la superficie interior rugosa de los tubos de plástico flexible en las unidades dentales, las partículas de amalgama pueden ser liberadas continuamente en la corriente de agua incluso cuando no se realiza trabajo de amalgama<sup>31</sup>.

En otra área, en el Reino Unido, el 70% de los cadáveres son cremados, por lo que el mercurio presente en las restauraciones de amalgamas en las piezas dentales es liberado al ambiente, produciendo un riesgo ocupacional para el personal que labora en los crematorios. Se determinó que en un año un crematorio emite 5.543 Kg de mercurio. Para medir el nivel de mercurio en los trabajadores del crematorio se tomaron muestras de cabello y se observaron niveles mayores que los del grupo control (personas que no trabajaban en el crematorio). Se concluyó que la fuente de contaminación eran las amalgamas colocadas en los cadáveres. En países como Suecia han instalado filtros de selenio que remueven entre el 80 y el 85% del mercurio de las emisiones<sup>6</sup>.

La National Institute Occupational Security Health, ha generado las siguientes normas para disminuir el riesgo de exposición al mercurio<sup>6</sup>:

- Almacenar los reactivos en contenedores sellados.
- Lavarse las manos antes de comer, fumar o beber.
- Evitar el contacto de los reactivos con la piel.
- El trabajador debe conocer el riesgo potencial de los reactivos en su lugar de trabajo.
- Participar activamente en cursos, entrenamientos dados por el empleador acerca de seguridad e higiene en el trabajo.

- Prevenir la contaminación en el hogar: cambiarse la ropa contaminada y lavarse con agua y jabón antes de llegar a la casa; guardar la ropa de calle alejada del sitio de trabajo; lavar la ropa de trabajo aparte de la ropa de casa: evitar llevar ropa u objetos contaminados a la casa.

## **7. Análisis y detección del mercurio**

Para detectar y medir la concentración de mercurio en los diferentes estratos de la biosfera y superficies se utilizan muchas técnicas, entre las cuales se destacan; el método colorimétrico de la ditizona, el fotómetro para luz ultravioleta, la absorbimetría atómica, el método de espectrofotometría de absorción atómica sin llama, el detector de gases<sup>32</sup> y la fluorescencia de rayos X.

### **7.1. Analizador XRF**

La espectrometría de fluorescencia de rayos X es una técnica de espectroscopía atómica. Esta se basa en las transiciones de electrones de los átomos que se producen cuando una radiación electromagnética de cierta energía incide con el material en estudio, produciendo una excitación del átomo, el cual pasa de un estado basal (estable) a otro de mayor energía (inestable) de lo que resultan transiciones en diferentes estados energéticos en el átomo, los cuales son únicos para cada átomo en particular. Esta característica se utiliza para la identificación de los compuestos que queremos analizar, por lo que es de gran utilidad en el análisis cualitativo y cuantitativo.

#### **Descripción**

La espectrometría de fluorescencia de rayos-X consiste en analizar la radiación X característica generada por una muestra al ser ésta irradiada con rayos-X emitidos desde un tubo de rayos X. Esta técnica permite obtener análisis químicos de manera rápida y no destructiva, pudiendo analizarse cualquier elemento químico entre el  $^{11}\text{Na}$  y el  $^{92}\text{U}$ <sup>33</sup>.

#### **Características del análisis por XRF-EDX con el EDX-720<sup>33</sup>**

- 1.- Es un análisis no destructivo, ya que la medida de elementos químicos no necesita destrucción previa de la muestra.
- 2.- No se necesita realizar ningún tratamiento (ni físico ni químico) previo a la muestra.
- 3.- Se puede realizar las medidas en condiciones de vacío o incluso en condiciones atmosféricas.
- 4.- Software amigable y resultados de fácil interpretación.

#### **Posibilidades de análisis**

- 1.- Análisis cualitativo (identificación de elementos químicos presentes en la muestra)

2.- Análisis semi-cuantitativo (determinación de las concentraciones de elementos químicos presentes en la muestra) sin necesidad de utilizar standards. 3.- Análisis cuantitativo, utilizando standards específicos a la naturaleza del problema a analizar.

Los análisis de rutina permiten identificar elementos químicos con concentraciones superiores a unos 20-50 ppm (dependiendo del elemento y de la muestra). Sin embargo, el límite de detección puede disminuir cambiando las condiciones de análisis.

El equipo permite el análisis de muestras en polvo, sólidas o líquidas, pudiendo ser el diámetro de la irradiación de 1, 3, 5 o 10 mm. Por otro lado, el gran tamaño de la cámara de análisis (300 mm de diámetro, con una altura de 150 mm), con sistema de apertura y cierre totalmente automático, permite analizar muestras de tamaños muy variados<sup>33</sup>.

### **CAPÍTULO III: CONTEXTO MUNDIAL DE LA AMALGAMA**

Ante la problemática de proporcionar restauraciones y salud oral<sup>34</sup> a la población que tiene acceso limitado a profesionales odontológicos, la elección de usar amalgamas ha sido la primera durante muchas décadas, dando como resultado una alta prevalencia de restauraciones de este tipo en la población adulta.

Pero desde sus inicios en occidente, el uso de este material ha pasado por múltiples controversias. Históricamente se pueden reconocer tres "Guerras de la amalgama", la primera de ellas fue encabezada en el año 1845 por la Sociedad Americana de Cirujanos Dentales quienes promulgaron que el uso de este material constituía mal praxis y quienes utilizaran este material serian expulsados de la Sociedad<sup>1,8</sup>. La segunda guerra fue en 1926 cuando el médico alemán Alfred Stock mostró que las amalgamas liberan mercurio en forma de vapor el que podía generar daños significativos en la salud, mientras en contraparte, la Sociedad Dental Americana defendía el uso de la amalgama de plata<sup>8</sup>. Por último, durante la década del 80, la tercera guerra involucro a la ADA ya que en vista de los estudios que demostraban la existencia de liberación de vapores de mercurio desde las amalgamas en boca de los pacientes, hubo presiones para discontinuar el uso de estas, sin embargo, no fueron fructíferas pues la evidencia de que esa liberación causara daño a la salud no fue concluyente<sup>8,35</sup>.

Es durante los últimos años, que se han realizado distintas investigaciones a todo nivel, tanto clínico, industrial y medio ambiental, en la cual se analiza los efectos en la salud y en el medio ambiente la exposición de estos a metales. Por otra parte, la prensa y la opinión pública ve con recelo las restauraciones de amalgama y todo aquello que tenga mercurio dentro de su contenido, debido al fácil acceso a la información sobre los perjuicios con mercurio y la tendencia mundial a suprimir el uso de compuestos que lo contengan, llegando incluso a modificar las políticas de salud<sup>9</sup>.

En el año 2013, durante el mes de octubre se celebró en la ciudad de Kunamoto, Japón, el Convenio de MINAMATA, un tratado mundial que busca proteger la salud humana y el medio ambiente de las emisiones y liberaciones antropogénicas de mercurio y compuestos de mercurio, en dicho tratado se reconoce al mercurio como un producto químico de preocupación mundial debido a su transporte a larga distancia en la atmósfera, su persistencia en el medio ambiente tras su introducción antropógena, su capacidad de bioacumulación en los ecosistemas y sus importantes efectos adversos para la salud humana y el medio ambiente<sup>10</sup>.

Respecto a los productos con mercurio añadido, categoría en la que se encasilla la amalgama dental, el convenio de MINAMATA insta a las partes a prohibir, adoptando las medidas pertinentes, la fabricación, importación y exportación de dichos productos. Las medidas que se acuerdan en el convenio, el cual también fue firmado por Chile, en relación a las restauraciones de amalgama se especifican en el Anexo 1<sup>10</sup>.

La ADA ha estimado que 1 de cada 10 gabinetes dentales superan el nivel máximo permitido para el Hg, sin embargo, se han publicado pocos casos de intoxicación grave. Dentro de las medidas de bioseguridad que se recomiendan para el trabajo con amalgama dental, están trabajar en un gabinete bien ventilado y recoger todos los excesos<sup>12</sup>. Los restos de amalgama endurecida y/o mercurio derramado deben guardarse en envases plásticos irrompibles con tapa hermética que contenga una solución de azufre en polvo en agua o líquido fijador de rayos X (tiosulfato soluble); deben ser enviados a laboratorios con capacidad de reciclar los residuos a través de refinadores autorizados<sup>33</sup> y si el mercurio entra en contacto con la piel debe ser lavado con abundante agua y jabón<sup>12</sup>.

Otro elemento que constituye parte de la fórmula de la amalgama en altas concentraciones es el cobre, y en menores plata, estaño y zinc. Se han realizado una serie de estudios a lo largo de los años, en los cuales estos elementos metálicos, cobre, y en menor medida zinc y plata, como partículas nanométricas se encuentran de manera libre y en soluciones. Según el meta análisis de Notter y cols, estas partículas nanométricas son menos tóxicas en este estado y aún menos tóxico en solución, más que como un elemento iónico libre<sup>37</sup>. Por otra parte, en un meta análisis realizado por Wang M y cols. se estudió la contaminación por elementos micrométricos metálicos libres en la atmósfera y su efecto en enfermedades cardiovasculares que se realizó en cohortes europeas, ésta no encontró asociación estadísticamente significativa entre las partículas de tamaño menor a 2,5 y 10 micras de cobre, hierro, potasio, níquel, azufre, silicio, vanadio y zinc, tanto por sí solas como en mezcla iónicas atmosféricas, para enfermedades cardiovasculares u hospitalizaciones por esta causa<sup>38</sup>. Por último, se realizó una investigación por Civardi y cols. con trabajadores en el rubro maderero, quienes realizaban tratamiento de la madera a través de abrasiones con partículas nanométricas de cobre. Este establece que las partículas a través del tiempo no representan

problemas para el sistema respiratorio y no existe toxicidad en células epiteliales del pulmón y macrófagos<sup>39</sup>.

### **3 OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

#### **3.1 Objetivos**

##### **General:**

Comparar la concentración de mercurio encontrada en tres áreas diferentes del campo operatorio tras la aplicación de cuatro protocolos de eliminación de amalgamas dentales.

##### **Específicos:**

- Determinar la concentración de mercurio en partículas metálicas en partes por millón (ppm) generadas al eliminar amalgamas con Piedra de Diamante al utilizar o no succión.
- Determinar la concentración de mercurio en partículas metálicas en partes por millón (ppm) generadas al eliminar amalgamas con Fresa Transmetálica al utilizar o no succión.
- Determinar la concentración de mercurio en partículas metálicas en partes por millón (ppm) encontradas en los sitios de Operador, Asistente y Paciente del campo operatorio.

#### **3.2 Hipótesis**

##### **Conceptual**

“Existe diferencia entre las concentraciones de mercurio encontradas en el campo operatorio tras la aplicación de cuatro protocolos de eliminación de amalgamas dentales”

##### **Operacional**

**H<sub>0</sub>** = No existe diferencia entre las concentraciones de mercurio generadas por los cuatro protocolos de eliminación

**H<sub>1</sub>** = Existe diferencia entre las concentraciones de mercurio generadas por los cuatro protocolos de eliminación

## 4 METODOLOGÍA.

**4.1 Tipo de Estudio:** Estudio experimental In-Vitro

**4.2 Cuerpos de prueba:** Los cuerpos de prueba consisten en dientes de simulación de marfilina correspondientes a Primeros molares inferiores (4.6), montados en una Arcada Columbia y restaurados con aleación de amalgama de capsula simple en cavidades clase I de Black.

**4.3 Selección de la Muestra:** Para el cálculo de la muestra se replicaron protocolos disponibles en la literatura (Warwick y cols., 2013) que estudiaban la relación de la concentración de mercurio ambiental ante técnicas o protocolos de eliminación descritos por profesionales experimentados, donde se utilizaron 25 cuerpos de prueba (n=25) por cada tratamiento (o protocolo) a utilizar.

Para efecto de las pruebas estadísticas se realizó un cálculo de poder mediante análisis Post-Hoc., considerando las 3 mediciones a cada resultante de tratamiento aplicado al cuerpo de prueba, lo que generó un tamaño total de 210 mediciones, obteniendo un poder estadístico de 92% y un nivel de significancia del 5%.

### 4.4 Variables:

#### 4.4.1 Variables independientes

<b>Técnica de eliminación</b>	<b>Definición conceptual:</b> Desgaste de la amalgama por fricción o corte mediante instrumental rotatorio con piedra o fresa sobre la superficie de la restauración de amalgama condensada, para removerla de la estructura dentaria.
	<b>Definición operacional:</b> <b>Piedra de diamante (PD):</b> Se define como la eliminación mediante fricción de la restauración de amalgama con el uso de piedras de diamante redondas tamaño 0.12, en turbina de alta velocidad con spray de agua. <b>Fresa transmetálica (TM):</b> Se define como la eliminación mediante corte de la restauración de amalgama con el uso de fresas de carbide transmetálica cilíndricas tamaño 0.12, en turbina de alta velocidad con spray de agua.

	<p><b>Uso de succión (PDS y TMS):</b> Hace referencia a la variante de la aplicación de las dos técnicas anteriores, sumándole fuerza de succión mediante un eyector colocado junto al diente restaurado.</p>
<p><b>Área de contaminación</b></p>	<p><b>Definición conceptual:</b></p> <p>Sector del área de trabajo donde será medida la concentración. Se consideran para la medición las zonas donde se ubica el paciente, el operador y el asistente durante la atención dental, representando una modalidad de atención a cuatro manos.</p> <hr/> <p><b>Definición operacional</b></p> <p><b>Área de paciente:</b> Zona inferior al área de trabajo, abarcando la cavidad bucal del paciente, específicamente el piso de boca, representado por el piso de boca de la arcada Columbia utilizada para la simulación.</p> <p><b>Área de operador:</b> Zona anterior al área de trabajo, abarca la posición del Odontólogo durante la atención a pacientes, representado por la pantalla facial (lamina de poliacetato) que porta el investigador que opera la simulación.</p> <p><b>Área de asistente:</b> Zona posterior al área de trabajo, abarca la posición del Asistente dental en una modalidad de atención a cuatro manos, a una distancia idéntica y opuesta a la del operador ante la zona de eliminación. Se representa por una pantalla facial adherida a una estructura metálica que simula la distancia entre el sitio de eliminación y la posición hipotética del asistente.</p>

#### 4.4.2 Variables dependientes

<b>Concentración en PPM</b>	<b>Definición conceptual:</b> Cantidad de unidades de un determinado soluto que hay por cada millón de unidades del conjunto o solución.
	<b>Definición operacional:</b> Cantidad de residuo metálico de la aleación de mercurio (Hg) contenida en la solución acumulada tras la proyección de aerosoles desde el sitio de eliminación.

#### 4.5 Procedimiento de trabajo

##### 4.5.1 Simulación del campo operatorio

Con objeto de simular el campo operatorio se utilizó un estandarizador metálico [Fig. 1], diseñado por los investigadores, que ayuda a separar en zonas medibles las áreas del campo clínico que se quieren estudiar.



Fig. 1

Gracias al estandarizador, y sumando la posición del operador se puede separar el campo clínico en 3 áreas numeradas según se observa en la imagen [Fig.2]:

- 1: Área de Operador (Pantalla facial)
- 2: Área de Asistente (Pantalla facial en el estandarizado)
- 3: Área de Paciente (Arcada Columbia T560 con piso de boca desmontable)

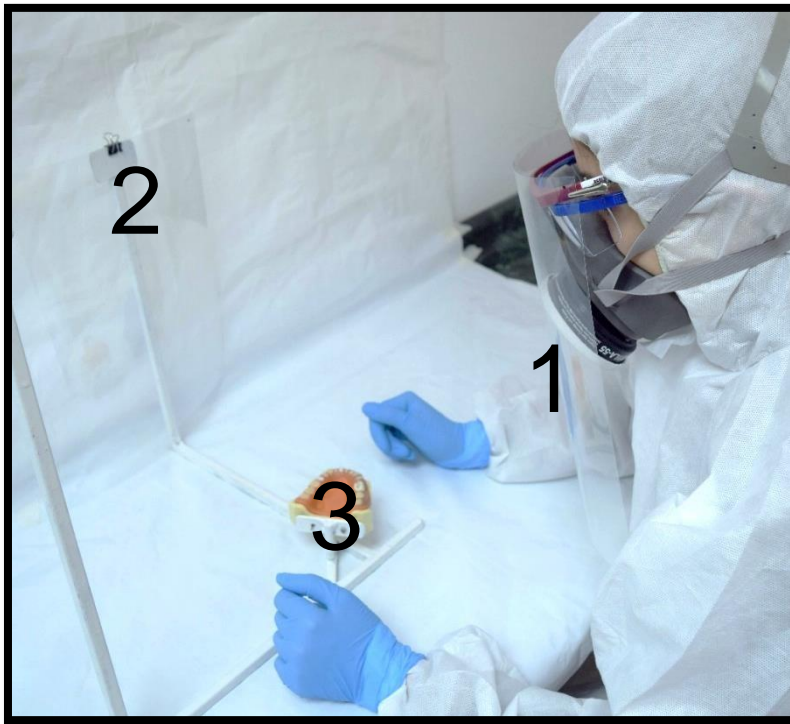









Fig. 2

#### 4.5.2 Materiales utilizados en el estudio

<p>Dientes de Marfilina para Arcada de simulación tipo Columbia T560 con piso de boca removible.</p>	
<p>Piedras de Diamante tipo Pera 0.12 Grano medio Punta activa compuesta de diamante de grano medio con función de desgaste.</p>	

<p>Amalgamas Dentales <i>Rubycap™</i> de cápsula simple (400mg), de alto contenido en cobre y libre de fase Gamma 2.</p> <p>Por cada 10 partes de aleación contiene 10,3 partes de Mercurio (Hg),</p>	
<p>La composición de la aleación es:</p> <p>45% Ag - 30,5% Sn 24% Cu - 0,5% Zn</p>	
<p>Piedra de Diamante redonda 0.12</p> <p>Grano medio:</p> <p>Punta activa compuesta de diamante de grano medio con función de desgaste.</p>	
<p>Fresa Carbide Transmetálica troncocónica 0.12:</p> <p>Modificación de la fresa de Carburo Tungsteno compuestas por una aleación de metales, con capacidad de corte en su parte activa por 8 a 12 hojas que presentan ranuras.</p>	
<p>Micas de Poliacetato tamaño carta, montadas como pantalla facial para protección del operador sobre anteojos y para simulación del sitio de asistente, instalada con clip en la zona del estandarizador destinada a este fin.</p>	
<p>Eyector para atención dental</p>	

#### 4.5.3 Preparación de los cuerpos de prueba

En los dientes de marfilina se realizaron cavidades de 5mm de largo por 3mm de ancho y 3mm de profundidad con piedra de diamante tipo pera 0.12. Las cavidades fueron restauradas utilizando para cada diente una capsula de amalgama de dosis simple con un tiempo de trituración de 12 segundos.

La restauración se realizó según la secuencia que indica la literatura: Condensación, Bruñido, Tallado y Bruñido post tallado, considerándose un periodo de 24 horas antes de realizar la eliminación. [Fig.3]



Fig. 3

#### 4.5.4 Proceso de eliminación de amalgamas

Los dientes de marfilina restaurados fueron montados en la Arcada Columbia de simulación, en la posición del diente 4.6 eliminando los demás dientes de la arcada [Fig.4]



Fig. 4

Para realizar la eliminación de las restauraciones de amalgama se utilizó un compresor portátil, con alta velocidad y succión en los casos requeridos; para proveer de agua al spray de la turbina y a la jeringa triple fue cargado el contenedor del equipo con agua destilada. [Fig.5]

[Fig. 5]



Sobre cada diente restaurado y montado se aplicó uno de los cuatro protocolos de eliminación a estudiar:

- Piedra de Diamante tamaño 0.12 con uso de succión [Fig.6]



Fig. 6

- Piedra de Diamante tamaño 0.12 sin uso de succión [Fig.7]



Fig. 7

- Fresa Transmética tamaño 0.12 con uso de succión [Fig. 8]



Fig. 8

- Fresa Transmética tamaño 0.12 sin uso de succión [Fig. 9]



Fig. 9

Cada eliminación se realizó según dicta la Cátedra de Operatoria de la Universidad de Valparaíso con el objetivo de disminuir la contaminación resultante y el tiempo clínico de eliminación, realizando fresado en cruz partiendo de distal a mesial y desde lingual a vestibular buscando romper las zonas de retención de la restauración de amalgama.

Para los casos en los que se utilizó succión, se adosó la boquilla del eyector paralela a la cara lingual del diente de marfilina montado en la arcada. [Fig.10]



Fig. 10

Para estandarizar el procedimiento, el operador se situó frente al estandarizador metálico, donde se instaló la arcada en la zona de Paciente y la lámina de Asistente a una distancia de 38cm del sitio de trabajo, la eliminación se realizó según indica la Cátedra de Operatoria de la Universidad de Valparaíso, utilizando exactamente la misma secuencia en todos los protocolos.

Todas las eliminaciones fueron realizadas por un mismo investigador. A su vez, la decantación del aerosol proyectado en las láminas de poliacetato fue recolectada

en frascos y las mediciones posteriores de la concentración fueron realizadas por un segundo investigador.

Tras cada eliminación se cambian las láminas de poliacetato y se limpia todo el campo operatorio con alcohol denaturalizado al 70%. Además de cambiar el diente montado para realizar la siguiente eliminación.

#### 4.5.5 Instrumento de medición y calibración

Para la medición se utilizó un Analizador XRF (Fluorescencia de rayos X) [Fig.11] cuyo mecanismo de acción es la excitación de un material, en este caso partículas metálicas, mediante el disparo de rayos X de alta energía que resulta en una emisión de rayos X secundarios o fluorescentes de parte del material escaneado. Esta emisión secundaria llega al lector del analizador que realiza una lectura de los metales depositados y su concentración en partes por millón (PPM).



Fig. 11

El Analizador XRF puede ser configurado con calibraciones que están optimizadas para una gran variedad de muestras de materiales, incluyendo una amplia gama de aleaciones diferentes: La minería y muestras ambientales, así como materiales restringidos. Para este estudio se utilizó la calibración *SOIL*, que es capaz de

analizar 45 elementos en bajas concentraciones, ya sea como componentes minerales o bien como contaminantes en suelo, entre ellos, el mercurio (Hg).

El instrumento de medición fue manipulado por un solo investigador durante todo el estudio, quien realizó la totalidad de las mediciones.

Durante la investigación, al inicio de cada sesión, el analizador fue calibrado en la estación de carga y este procedimiento se repitió cada 15 mediciones [Fig.12]



Fig. 12

#### 4.5.6 Recolección de datos

El residuo producto de cada eliminación encontrado en la zona del piso de boca de la arcada y en las láminas de poli acetato de las zonas Operador y Asistente, fue depositado y almacenado en frascos plásticos de 24mm de diámetro por 45 mm de alto con tapa, en cuyo fondo se acumuló un decantado de las partículas metálicas. Dichos frascos fueron almacenados a una temperatura nunca superior a los 18°C, para en un plazo de una semana realizar las mediciones del decantado con el analizador XRF, realizando por frasco 3 mediciones en intervalos de una semana por medición.

Los resultados recogidos en cada oportunidad fueron registrados en una tabla elaborada según el diseño de estudio de bloques aleatorizados completos, donde cada área del campo operatorio representa un bloque, como se esquematiza a continuación:

Número de diente	Posición	Tratamiento aplicado	Concentración Hg	Concentración Hg	Concentración Hg
			Medición 1	Medición 2	Medición 3

#### 4.6 Consideraciones de bioseguridad

Las medidas de bioseguridad para los investigadores a cargo de realizar las restauraciones (preparación del cuerpo de prueba) consistieron en:

- Antiparras para protección de ojos.

- Guantes de Nitrilo (material más recomendado ante exposición a mercurio) para protección de manos.
- Mascarillas desechables para vapores de metal.

Tanto el investigador a cargo de la eliminación como aquel a cargo de las mediciones, contaron con todas las medidas de bioseguridad necesarias para protegerse de los vapores potencialmente tóxicos que supone la eliminación de las muestras de amalgama, [Fig.13] tales como:

- Buzo Overall para protección de piel, pelo y ropa.
- Antiparras con ventilación indirecta para protección de ojos.
- Guantes de Nitrilo para protección de manos.
- Respirador para rostro con filtros especiales de vapores de Mercurio para protección de vías respiratorias.



Fig. 13

Todas las eliminaciones fueron realizadas en una sala adecuadamente ventilada y con dos campanas de succión de vapores, facilitada por el Laboratorio Ambiental Regional de Viña del Mar, perteneciente al SEREMI de Salud de la Región de Valparaíso. (Permiso para uso de sus instalaciones y certificado de bioseguridad del INN se adjunta en ANEXO 2 y 3)

#### 4.8 Análisis estadístico

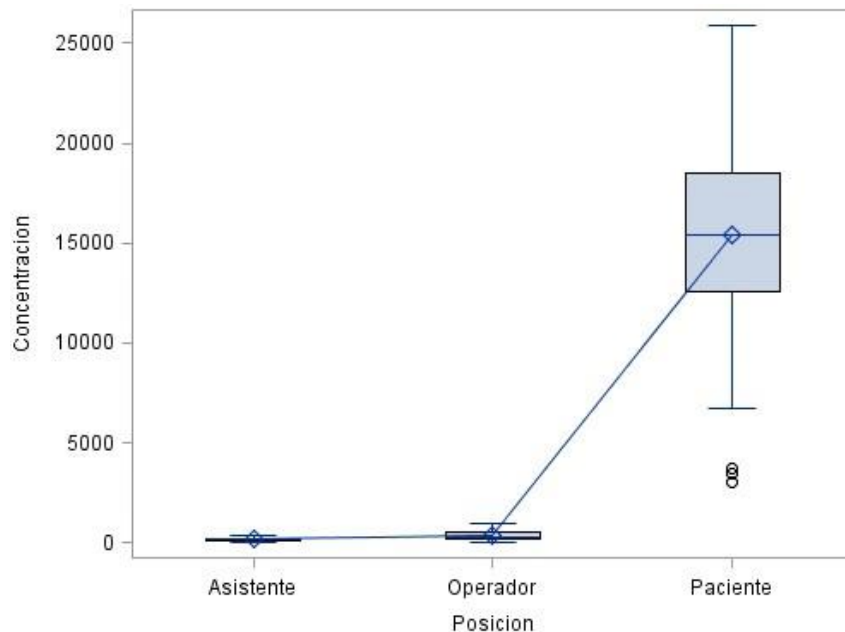
Para el realizar el análisis se utilizaron, como se menciona anteriormente, las 3 mediciones realizadas a cada muestra, completando 210 mediciones. A éstas, se le aplicaron distintas pruebas estadísticas, comenzando con ANOVA de medidas repetidas para los datos recabados dentro de cada bloque con objeto de rechazar la hipótesis de igualdad. Además, se aplicó un método de comparaciones múltiples de Tukey para contrastar las medias de cada tratamiento.

#### **4.9 Determinación del tamaño de partícula**

Posterior a las mediciones y el análisis de las mismas se llevaron los frascos plásticos que contienen el decantado de partículas metálicas a una estufa de uso para laboratorio marca *QUIMIS* modelo *WHL-65B*, perteneciente al Laboratorio de Metalurgia de la Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM), sede Valparaíso, donde los frascos de muestra se mantuvieron a 30° Celsius constantes hasta evaporar el agua de los frascos dejando solo el decantado metálico en el fondo, este decantado fue raspado y depositado uniformemente en láminas portaobjeto de vidrio y cubiertos con cubreobjetos de vidrio para ser analizados en Microscopio Óptico Metalográfico, también en la UTFSM realizando mediciones de partículas en micrómetros ( $\mu\text{m}$ ) a través de la imagen computacional del microscopio.

## 5 RESULTADOS

Para el análisis de los resultados se utilizó el software estadístico SAS (Statistical Analysis System) comenzando con un análisis descriptivo, el primer resultado que salta a la vista al comparar de manera limpia las medias de concentración de las posiciones es lo que se muestra en el siguiente gráfico de cajas [Fig. 14]



**Fig. 14:** Gráfico de concentración por posición:

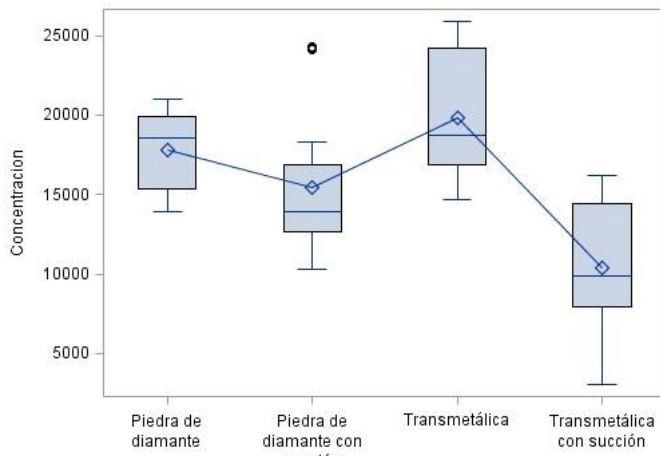
Diferencia sustancial entre la posición de Paciente y las que no son Paciente, por lo que no son comparables y se procede a analizarlas por separado

Las estadísticas descriptivas sustentan las observaciones, y la necesidad de estudiar las posiciones como bloques en estratos independientes como diseño de estudio, se observa una media muy alta en la posición de Paciente en comparación a las otras posiciones, valores que se condicen con una, también alta, desviación estándar. [Tabla III]

Tabla III: Variable de Análisis: Concentración				
Posición	Número de Observaciones	Media	Varianza	Dev std
Asistente	60	151.5516667	7940.27	89.1081984
Operador	69	347.4057971	56831.39	238.3933594
Paciente	81	<b>15418.44</b>	27037344.50	<b>5199.74</b>

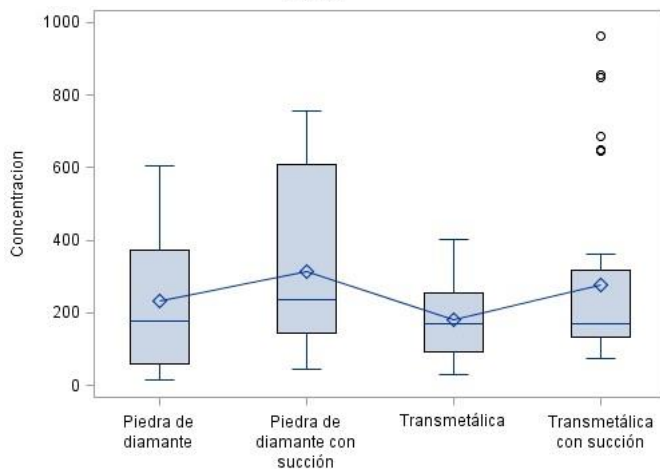
**Tabla III:** Medias, varianzas y desviaciones estándar en relación a la variable posición.

En los gráficos de caja donde se observan las diferencias de concentraciones encontradas según tratamiento y separado por las posiciones [Fig. 15 y 16] se observa un menor promedio bajo el protocolo TMS, sin embargo no se considera la varianza ni el efecto de las interacciones aisladas, por lo que no se puede hablar de diferencias significativas entre los protocolos frente a la estadística descriptiva.



**Fig.15:**

Gráfico de cajas que muestra las diferencias en las concentraciones encontradas según protocolo utilizado en la posición PACIENTE



**Fig.16:**

Gráfico de cajas que muestra las diferencias en las concentraciones encontradas según protocolo utilizado en las posiciones OPERADOR Y ASISTENTE

Para contrastar los efectos de la posición, de los tratamientos y del uso o no de succión de manera aislada se procede a aplicar un modelo ANOVA de medidas repetidas, debido a las múltiples mediciones realizadas a cada muestra.

En los resultados del análisis de ANOVA se observa que las diferencias de las medias de las concentraciones son distintas a 0, por lo que existen diferencias entre ellas, lo que rechaza la Hipótesis nula con un p-valor inferior a 0.001 y un poder estadístico del 92%. Además, ANOVA explica la variabilidad de los datos en un 87% según la prueba de R-cuadrado [Tabla IV].

<b>Tabla IV: Cálculo de R-cuadrado</b>			
<b>R-cuadrado</b>	<b>Coef. Var</b>	<b>Raíz MSE</b>	<b>Concentración Media</b>
0.876832	47.18494	2880.434	6104.562

Se procede a incorporar los cuatro efectos al modelo, tres principales y una interacción [Tabla.V]

Fuente	F-Valor	p-Valor
Tratamiento	0.22	0.6404
Succión	35.91	<.0001
Posición	671.04	<.0001
Tratamiento/Succión	18.55	<.0001

**Tabla V:**  
Efectos incorporados al modelo ANOVA con sus respectivos p-Valor

Donde se puede observar según los resultados de p-valor de cada interacción que los efectos Succión y Posición son estadísticamente significativas, pero el efecto tratamiento por sí solo no lo es, sin embargo, el efecto de la interacción Tratamiento/Succión si es estadísticamente significativo.

Es en este efecto de interacción se observó que el protocolo TMS resulta ser significativamente diferente al resto de los protocolos, resultando este más efectivo en términos de menor cantidad de concentraciones de mercurio, como se verá más adelante.

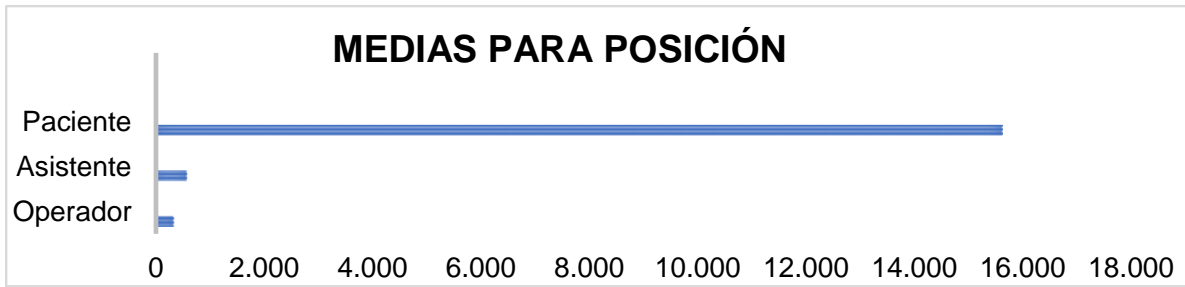
Para detectar las diferencias entre las variables contrastando las medias se utilizó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey. Y es sumamente importante mencionar que, debido a una falla en el instrumento de medición, fuera del alcance de los investigadores, no se pudo finalizar completamente la recogida de datos dejando un desequilibrio en la cantidad de muestras entre los protocolos. Para compensar este desequilibrio se empleó el ajuste de Tukey y Kramer.

La estadística descriptiva mostró la relevancia de la posición [Tabla VI], luego, los modelos de ANOVA y Tukey mostraron que la posición de paciente es estadísticamente diferente a las otras posiciones y las posiciones de Operador y Asistente no muestran diferencia significativa entre ellas [Fig. 17], contrastando las dos a la vez, quitando todos los efectos combinados y controlando los errores posibles.

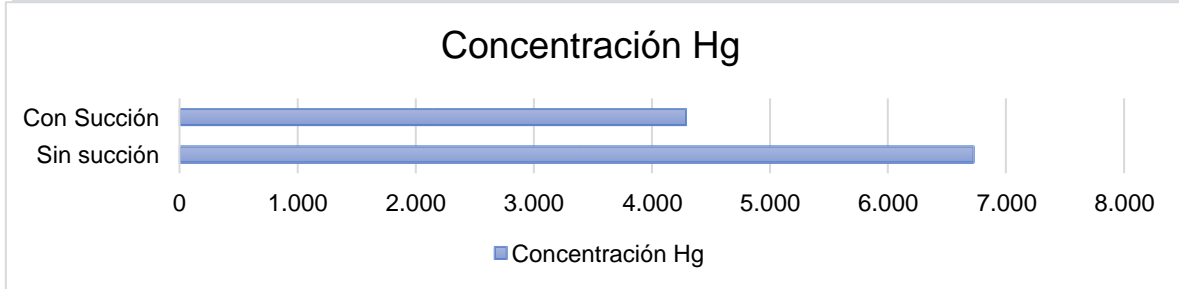
**Tabla VI:** p-Valor para la interacción de la variable posición

i/j	1	2	3
1		0.8847	<.0001
2	0.8847		<.0001
3	<.0001	<.0001	

Para el efecto aislado de la succión también existe una diferencia estadísticamente significativa, siendo en todos los casos menor la concentración encontrada al aplicar succión en el experimento. [Fig. 18]



**Fig. 17:** Diferencias de media de concentración según posición



**Fig. 18:** Diferencia de medias de concentración al usar o no succión

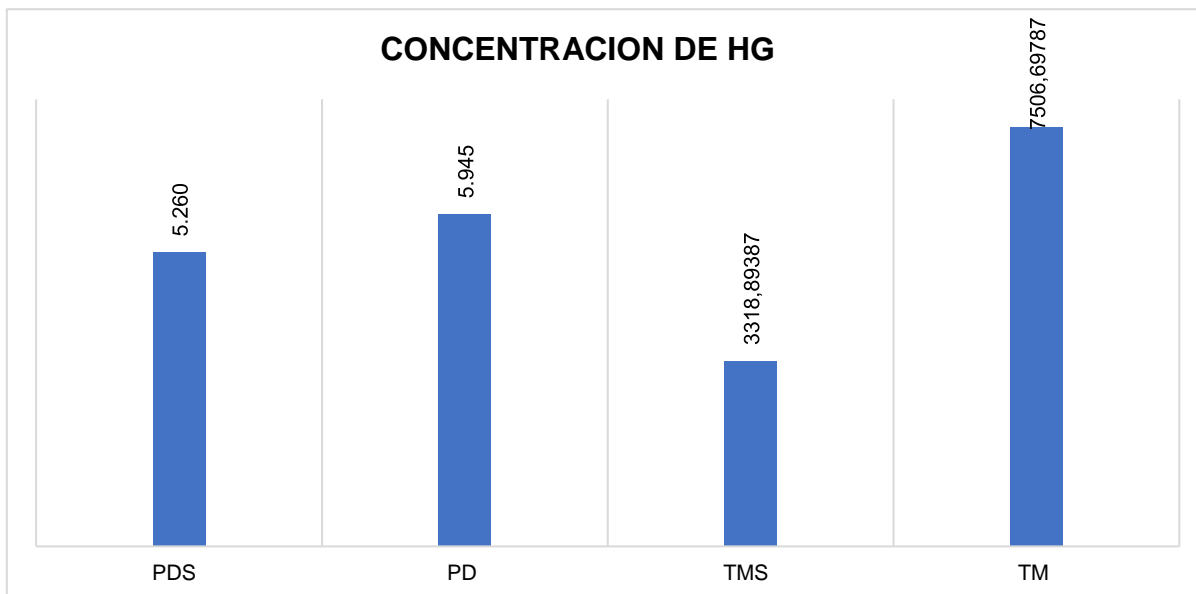
Como se mencionó, el efecto de tratamiento por si solo, es decir, el uso de Piedra de Diamante o Fresa Transmetálica aislando los efectos de la posición y de la succión resultó ser no estadísticamente significativo con un p-valor de 0.6404.

Sin embargo, en el método de comparaciones múltiples, la interacción del efecto Tratamiento con el efecto Succión resulta significativo, lo que entrega una solución al problema de conocer el protocolo que genera menor contaminación; según la siguiente tabla de p-Valor [Tabla VII]

i/j	PDS	PD	TMS	TM
<b>PDS</b>		0.6314	<b>0.0022</b>	<b>0.0009</b>
<b>PD</b>	0.6314		<b>&lt;.0001</b>	0.0530
<b>TMS</b>	<b>0.0022</b>	<b>&lt;.0001</b>		<b>&lt;.0001</b>
<b>TM</b>	<b>0.0009</b>	0.0530	<b>&lt;.0001</b>	

Se puede apreciar que el efecto de TMS es estadísticamente diferente a todos los otros protocolos. Entre los protocolos donde no se utiliza succión no hay diferencias significativas por un margen muy ajustado en relación a su p-valor. Entre los protocolos que involucran Piedra de Diamante no existe diferencia significativa, sin embargo, la diferencia entre el uso de PDS y TM si existe una diferencia estadística.

Al graficar esta diferencia de medias se puede observar que la menor concentración se encuentra al utilizar Transmetálica y Succión, pudiendo notar que el efecto de la succión es tal que el efecto de la fresa transmetálica no es significativo si esta no se encuentra. [Fig. 20]



**Fig. 20:** Gráfico que muestra la diferencia de medias de las concentraciones de mercurio según la interacción tratamiento/succión

Por lo tanto, se resume que con un poder del 92%, el Protocolo que mezcla el uso de Fresa Transmetálica con el uso de Succión es significativamente diferente a los demás en cuanto a la concentración de Hg liberada y medida, esto es controlando los efectos aislados de la posición, la succión y el tratamiento. Es importante mencionar que el tratamiento por sí solo no genera diferencias significativas, la succión si, pero es la combinación de ambos lo que genera la mayor diferencia.

### Tamaño de partícula

Respecto a la medición del tamaño de partícula, el microscopio óptico metalográfico arrojó imágenes donde se observa cada decantado, según el protocolo de eliminación utilizado.

En el anexo (Ver ANEXO 4) se puede observar la imagen más representativa de cada muestra tomada desde el microscopio, donde la medición de la partícula de menor diámetro dentro de cada decantado es del orden de  $1\mu\text{m}$ .

## 6 DISCUSIÓN

El presente estudio determinó que hay diferencias entre las concentraciones de mercurio resultantes de la aplicación de los cuatro protocolos de eliminación de amalgama, aislando los efectos generados por la posición, el uso de succión y la aplicación de los diferentes tratamientos, cuyo análisis se detalla a continuación.

Al analizar las posiciones en relación a los niveles de concentración de mercurio, se observa que en la posición Paciente se encontró su mayor promedio, en todos los casos estudiados, a niveles no comparables con otras posiciones. Este mayor promedio se explica por ser el piso de boca del paciente el área crítica de eliminación, donde ocurre la proyección directa del spray de agua y los residuos metálicos que se liberan durante el procedimiento de eliminación. Si bien se ha demostrado que la mayor toxicidad de mercurio es mediante inhalación de vapores, también puede ser incorporado vía gastrointestinal, ya que por esta vía se puede absorber hasta un 10% de lo ingerido<sup>40</sup>. Esta mayor concentración de mercurio encontrada en el piso de boca es importante al momento de utilizar medidas de bioseguridad para el paciente en la práctica odontológica, como el uso de goma dique, pese a que existen detractores; un estudio anterior que compara los niveles de mercurio en el plasma de 20 voluntarios sometidos a eliminación de amalgama con el uso de goma dique versus el no uso de ella, concluye que al no utilizar el dique de goma se produce un aumento transitorio de los niveles de mercurio en sangre inmediatamente después de extraer las obturaciones de amalgama, de pequeña magnitud y que se normaliza a los 100 días. Por lo que el efecto del dique de goma tendría una relevancia toxicológica menor<sup>25</sup>, coincidiendo con los hallazgos de otros autores<sup>41</sup>.

Sin embargo, otro antecedente que sí nos permite fomentar el uso de goma dique con base en nuestros resultados, proviene de la clasificación de la amalgama, que por definición es un compuesto intermetálico inestable desde el punto de vista químico, por lo que se generan filtraciones de vapor de mercurio de la amalgama dental en el tiempo, además, existen investigaciones que demuestran que las partículas de amalgama en el alcantarillado liberan Hg al ser expuestas a agentes oxidantes como desinfectantes y limpiadores químicos<sup>42,43,44</sup>. En contraste, otros investigadores argumentan que como una aleación, los desechos de amalgama eliminada son física y químicamente estables y no se descomponen fácilmente en sus componentes<sup>45</sup>.

La idea de la liberación de Hg desde las partículas de amalgama del alcantarillado se ve respaldada por una investigación danesa que realiza un análisis de contenido de mercurio en aguas residuales de 20 consultorios dentales y concluye que desde las clínicas sin separador de residuos de amalgama en su sistema de alcantarillado se descargaron hasta 800 mg de mercurio en estas aguas residuales por dentista al día (media de 250 mg Hg / dentista al día) con valores en el intervalo de 200 g de mercurio por dentista al año (media de 57 g Hg / dentista al año). Las clínicas equipadas con un moderno dispositivo de separación de amalgama mostraron resultados que equivalen a aproximadamente un 10% de los resultados obtenidos en las clínicas sin separador (media de 35 mg Hg / dentista al día)<sup>30</sup>. En otro estudio se mide el nivel de mercurio en aguas residuales de una clínica por cinco días consecutivos, no encontrándose correlación entre el número de superficies restauradas con amalgama o amalgamas eliminadas y la cantidad de mercurio encontrada en las aguas residuales. La falta de correlación se explica ya que es posible que se acumulen sedimentos de amalgama sobre la superficie interior rugosa de los tubos de plástico flexible de las unidades dentales y estas partículas

acumuladas pueden ser liberadas continuamente en la corriente de agua incluso cuando no se realiza trabajo sobre amalgamas<sup>31</sup>.

Con base en lo anterior, y respaldado en los resultados encontrados donde se observa la mayor media de concentración de mercurio en la zona de paciente (piso de boca) es que recomendamos el uso de goma dique no solo con el objetivo de proteger a éste evitando que ingiera o aspire los residuos de amalgama si no también evitando que los escupa directamente al salivero, lo que complementado con el uso de filtros separadores de amalgama en la bomba de aspiración del sillón dental, y sumado a la aplicación del protocolo de eliminación que generó residuos con la menor concentración de mercurio en la posición del paciente en nuestro estudio, constituye una medida óptima de bioseguridad para proteger el lugar de trabajo del odontólogo, el personal asistente, y el medio ambiente, pese a que los efectos en este último no sean factibles de cuantificar en el corto plazo.

Siguiendo con el análisis de las posiciones, se encontró variabilidad en las concentraciones dentro de una misma posición, siendo mayor en la posición del paciente, debido sobre todo a la aplicación o no de succión según el protocolo utilizado y a la extracción previa a la medición de los grandes fragmentos de amalgama que se encontraron en piso de boca resultantes al corte que proporciona el uso de fresa transmetálica. La variabilidad en las concentraciones de mercurio de las posiciones de Operador y Asistente son considerablemente menores a la de Paciente, siendo la variabilidad en Operador explicada por los movimientos propios del factor humano del investigador en dicha posición, mientras que el área de asistente fue estandarizada, lo que coincide con una menor variabilidad en las concentraciones de mercurio en esa zona.

Encontramos que las áreas del campo clínico correspondientes a Operador y Asistente tienen un comportamiento similar en cuanto a concentraciones de mercurio, que puede ser explicada por la posición en la que se encuentra cada uno de estos puntos de medición gracias al estandarizador, donde se consideró una técnica de atención a cuatro manos. Esta similitud en los niveles contaminantes confirma la importancia de que las medidas de bioseguridad deben ser ejecutadas con la misma rigurosidad no sólo por parte del cirujano dentista, sino que también por el asistente dental en este tipo de atención, porque, además de la presente investigación donde medimos las concentraciones de mercurio decantadas, existen diversos estudios que demuestran la presencia de mercurio en el ambiente<sup>12,46</sup> y se menciona que estos niveles vuelven recién a valores normales luego de 30 minutos de la contaminación en lugares poco ventilados y 20 minutos en ambientes ventilados<sup>46</sup>.

Como segundo punto a analizar, en relación a la succión, se obtuvo que luego de aislar los efectos de los tratamientos e independiente de la posición, las mediciones en las que se utilizó succión siempre arrojaban el menor promedio de concentración de mercurio, lo que se condice con las concentraciones encontradas en el aire post eliminación en estudios similares<sup>12</sup>. Warwick y cols.<sup>12</sup> estudiaron los promedios de concentración de mercurio en el ambiente clínico, comparando las medias de las

concentraciones obtenidas al hacer uso de succión e irrigación, uso de succión sin irrigación y la eliminación de amalgama sin ninguno de estos dos elementos, con un resultado de 8.0 ug/m<sup>3</sup>, 142 ug/ m<sup>3</sup> y 214 ug/m<sup>3</sup> respectivamente, demostrando así que el uso de succión y spray de agua durante la remoción de amalgama reduce significativamente la concentración de vapor de mercurio en el aire, en comparación a cuando no se utilizan, de hecho, las mediciones de su estudio están todas bajo los niveles del AOCL (Alberta Occupational Ceiling Limit) que corresponde a 125 um/m<sup>3</sup>, para un periodo de 8 horas de trabajo, salvo un gran porcentaje de las que fueron realizadas sin el uso de succión. Las concentraciones observadas en dicho estudio están tomadas según la posición del operador, y fueron detectadas en el aire y no en los residuos metálicos decantados como en nuestra investigación, lo que no hace comparables las unidades de medida con lo encontrado en el presente estudio, sin embargo, podemos coincidir que el uso de succión en todos los casos tiene un impacto significativo en la disminución de la concentración de mercurio liberado tras la eliminación de amalgamas.

En último lugar, al analizar los tratamientos (piedra de diamante o fresa transmetálica) combinados con el efecto succión, encontramos que existe una diferencia significativa entre el protocolo de eliminación con transmetálica y succión en comparación a los otros protocolos, sin embargo, y pese al impacto de la succión no encontramos una diferencia significativa entre el uso o no uso de succión al utilizar piedra de diamante.

Es importante agregar a modo de observación, que el tiempo empleado para la eliminación de amalgama dental con fresa transmetálica, también pareciera ser menor según la percepción del investigador a cargo de la eliminación, lo que favorece directamente el ahorro de tiempo durante el procedimiento, además, afirma que el corte producido por la fresa transmetálica genera la liberación temprana de grandes fragmentos de amalgama que pueden fácilmente ser recogidos y eliminados manualmente antes de generar un impacto en la contaminación del paciente.

Hay estudios que comparan los incrementos de temperatura que produce la fricción y el desgaste al utilizar piedras de diamante en el ejercicio clínico, no encontrando diferencias entre la temperatura generada al utilizar fresas carbide (de menor efectividad que la fresa transmetálica). También mencionan la importancia de la presión necesaria aplicada sobre el diente y el tiempo de eliminación donde la fresa carbide, al ser más rápida, genera a la larga menos calor<sup>21,22,47,48</sup>.

La diferencia en las concentraciones de mercurio obtenidas podría verse no solo respaldada por el menor tiempo y requerimiento de carga al utilizar transmetálica, sino también por el rol preponderante de la acción de corte de ésta. La literatura menciona que la mayor producción de calor que genera la eliminación con Piedra de Diamante podría fundir la fase Gamma 1 (Ag-Hg) liberando más vapor de mercurio<sup>49</sup>, y esto podría explicar que la concentración de mercurio encontrada en el decantado al utilizar transmetálica sin succión fue mayor, aunque no significativamente, que con las piedras de diamante, donde la concentración podría

encontrarse en forma de vapor como lo afirman otros estudios<sup>12</sup>, no así al utilizar succión donde se encontró significativamente menor concentración en los residuos decantados. No obstante, independiente del instrumental rotatorio empleado, la mayor medida para disminuir el aumento de temperatura es la aplicación de irrigación con spray agua/aire a un volumen de 40 ml/min<sup>22</sup>.

Un estudio realizado en Irán menciona que existe menor concentración de mercurio en sangre en aquellos dentistas que optaron por utilizar carbide en lugar de piedras de diamante al momento de la eliminación, pero las diferencias que describen no son significativas<sup>13</sup>.

Sin embargo, los estudios que comparan el calor liberado por diferentes fresas o piedras no siempre fueron aplicados en la eliminación de amalgama y el tiempo de eliminación no fue medido ni controlado en la presente investigación, por lo que se recomienda abordar estos tópicos en estudios futuros.

De igual manera, en cuanto al tamaño de partícula, y el tamaño inferior a 1 micrón encontrado en todos los grupos estudiados, permite sentar las bases para futuras investigaciones relacionadas con el tamaño de partículas metálicas encontradas en el campo operatorio tras la eliminación de amalgamas, ya que, por las características observadas en el microscopio metalográfico, podrían ser consideradas como perjudiciales para la salud del sistema respiratorio al incluirse como partículas respirables finas o PM<sub>2.5</sub> (menor a 2.5 micrones)<sup>16,28</sup>.

En relación a los límites permisibles de exposición a metales contaminantes, la normativa chilena establece a través de los artículos 61 al 66 del decreto supremo 594 del MINSAL, un límite permisible ponderado de contaminación (LPP), cuyo valor para el caso del mercurio inorgánico en el aire es de 0,9 mg/m<sup>3</sup>. Las mediciones obtenidas en nuestro estudio no son equiparables con estos valores, ya que como lo hemos mencionado antes, el decantado en las áreas clínicas estudiadas es de partículas metálicas sólidas y no vaporización en el aire. Aun así, el decreto supremo establece para el mercurio inorgánico una clasificación "Piel", que dice relación con aquellas partículas que pueden ser absorbidas a través de la piel humana y con las que deberán adoptarse todas las medidas necesarias para impedir el contacto con la piel de trabajadores extremando las medidas de protección e higiene personal, y clasificación "A.4" referente a partículas que se encuentran en estudio pero no disponen aún de información válida para ser clasificadas como cancerígenas para el ser humano o animales, por lo que la exposición debe ser mantenida en el nivel más bajo posible<sup>31</sup>.

Sin duda, los menores niveles de mercurio obtenidos al eliminar amalgama dental con fresa transmetálica y succión, nos permiten recomendar este instrumento como el de elección al momento de realizar este procedimiento, sin embargo, es relevante recalcar una vez más la importancia de que sea acompañada de succión.

Yilmaz y Cols. realizaron un estudio en odontólogos y personal hospitalario en Turquía y determinaron que la concentración plasmática de mercurio en el grupo

dentistas fue significativamente mayor que la del grupo control, es decir, personal hospitalario no odontológico. Además, se determinó que el número de amalgamas hechas en el último año era directamente proporcional a la concentración de mercurio encontrada<sup>15</sup>. Esto demostraría que, al haber una exposición a amalgama sostenida en el tiempo, se genera una contaminación crónica, la cual es posible evitar o disminuir al tomar los resguardos necesarios.

Es relevante destacar que este estudio nos invita a reforzar las medidas de bioseguridad en todas las personas que están presentes durante este proceso, buscando una reducción de las complicaciones de salud general después de la eliminación de amalgamas dentales que según algunas investigaciones, se correlaciona con los niveles de mercurio encontrados en sangre, e incluso, de otros metales pesados presentes en la aleación de amalgama<sup>13,50</sup>.

## **7 CONCLUSIONES**

Los cuatro protocolos aplicados en la eliminación de amalgama generan diferentes concentraciones de mercurio.

La presencia de succión demostró disminuir las concentraciones de Mercurio.

El protocolo fresa transmetálica combinado con el efecto succión, permiten disminuir los niveles de contaminación a los que se expone el odontólogo, personal y paciente durante la labor clínica de eliminación de amalgama ya que se demostró que esta combinación es la que genera las partículas con menor concentración de mercurio.

Los riesgos de exposición mercurial en el trabajo de odontología son escasos si el personal que trabaja en dicha área cumple con las normas de bioseguridad existentes. En consecuencia, el personal debe estar informado acerca del riesgo ocupacional al cual están expuestos operadores y pacientes, además de las medidas para prevenirlo y disminuirlo, ya sea siguiendo las normas adecuadas y ejecutando un sistema de gestión que permita reducir la concentración de mercurio en el área de trabajo; minimizar el contacto entre los desechos metálicos que contienen mercurio y el asistente dental y/u odontólogo, ubicar apropiadamente los desechos del mismo, y utilizar un protocolo adecuado para su eliminación.

Con el presente estudio se sugiere además generar una línea de investigación que sirva para comparar los resultados actuales y futuros con la normativa chilena actual sobre exposición a partículas contaminantes, donde actualmente no se considera el

material decantado tanto como el vapor de Hg. Así también crear recomendaciones a esta normativa de regulación y control del mercurio en Chile.

### **Limitaciones y sugerencias para futuros estudios**

Este estudio, al ser experimental in vitro posee como limitación no representar en su totalidad las condiciones y características de una eliminación de amalgama real en boca.

Las mediciones fueron realizadas en base a la eliminación de amalgamas de un solo diente de la arcada, limitando la variabilidad que puede generar la proyección en otras ubicaciones de la boca.

Las mediciones que realizamos fueron sobre las partículas metálicas del decantado y no en el vapor de mercurio del ambiente clínico, lo que arroja unidades de medida no contempladas en el reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo.

Recomendamos aumentar la muestra total, buscando igualar la cantidad de muestras por protocolos y evitar el uso de Anova de medidas repetidas, lo que simplificará el análisis estadístico.

Se sugiere replicar las condiciones de este estudio para un diente superior, observando las diferencias en las concentraciones.

Las eliminaciones se realizaron en una sola arcada por lo que se aconseja replicar el estudio utilizando un fantoma completo que simule al paciente.

No es necesario realizar el experimento dividiendo las zonas de operador y asistente, pues se comportan de manera similar en cuanto a la contaminación de partículas con mercurio, lo que permitiría optimizar tiempo y recursos.

Recomendamos generar estudios respecto al tamaño de partícula metálica encontrada, además de estudiar la temperatura generada ante diferentes protocolos y el tiempo de eliminación al utilizar distinto instrumental rotatorio de alta velocidad.

Se hace necesario encontrar una manera de comparar los resultados del presente estudio con la normativa actual de exposición a partículas contaminantes, o recomendar nuevos estudios para complementar la normativa incluyendo el material decantado.

Si se desea continuar o replicar este estudio recomendamos fuertemente realizar análisis de mercurio en sangre antes y después de la fase de experimentación.

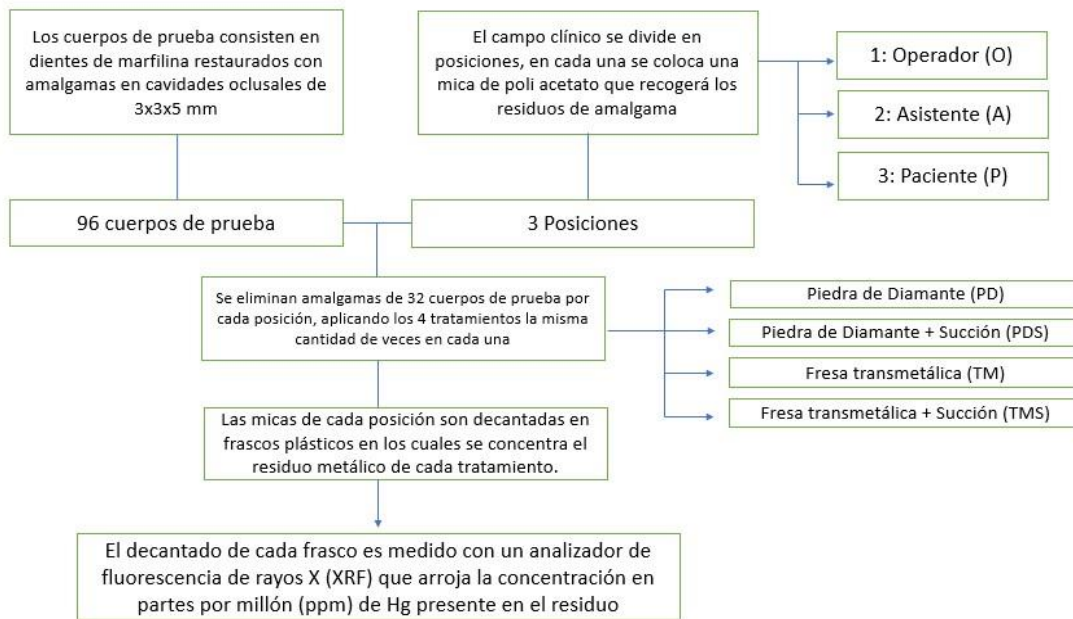
## 8 RESUMEN

**Background:** Durante la eliminación de amalgamas, paciente, odontólogo y asistente se exponen al Mercurio (Hg), que puede absorberse por piel, inhalación, o ingestión.

Este estudio determina la concentración en partes por millón (PPM) en el campo operatorio del Hg en partículas liberado durante la eliminación empleando cuatro protocolos. Otros estudios sobre concentración de Hg en vapor durante eliminación no consideran el residuo decantado.

**Objetivo:** Comparar la concentración de Hg presente en el campo operatorio tras la aplicación de cuatro protocolos de eliminación de amalgama.

**Metodología:** Estudio experimental in-vitro, se exponen las posiciones de Operador - Asistente - Paciente a contaminación tras 4 protocolos de eliminación:



**Resultados:** Se estudió por separado cada posición, arrojando concentraciones mayores en (P), siendo indiferente (O) y (A).

Según tratamiento, no hubo una diferencia significativa entre uno u otro, la mayor diferencia se encontró al utilizar o no succión y al comparar el efecto combinado del tratamiento y la succión.

**Discusión y Conclusión:** Al comparar los resultados según posición se observa correlación con el potencial de contaminación por Hg vaporizado, y se establece el área preferente del decantado de residuos metálicos frente al uso de distintas fresas con y sin succión. Se reafirma la importancia del uso de succión y fresa transmetálica de manera combinada.

El estudio respalda las medidas de bioseguridad necesarias en el trabajo con materiales peligrosos como el Hg, invita a ser conscientes de la exposición, incluir en ella al asistente y utilizar el tratamiento más adecuado para eliminar amalgamas.

## 9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 Bharti, R., Wadhvani, K., Tikku, A. and Chandra, A. (2010). Dental amalgam: An update. *Journal of Conservative Dentistry*, 13(4), p.204.
- 2 Priya, E., Ranganathan, K., K Rao, U., Joshua, E., Mathew, D. and Wilson, K. (2014). A study of sister chromatid exchange in patients with dental amalgam restorations. *Indian Journal of Dental Research*, 25(6), p.772.
- 3 Oliveira, M., Constantino, H., Molina, G., Milioli, E., Ghizoni, J. and Pereira, J. (2014). Evaluation of Mercury Contamination in Patients and Water during Amalgam Removal. *The Journal of Contemporary Dental Practice*, 15, pp.165-168.
- 4 Lenntech, Mercurio (Hg) Propiedades químicas y efectos sobre la salud y el medio ambiente. Holding B.V. [www.lenntech.com](http://www.lenntech.com), 2009
- 5 Camean A., Toxicología avanzada, Ediciones Díaz de Santos, 1995.
- 6 Morales I., Reyes R., Mercurio y salud en la odontología, *Rev Saúde Pública*, 2003, 37(2):266-72.
- 7 Peraire Ardevol M, Liberación de mercurio por parte de las obturaciones de amalgama dental: tipo, cantidad, método de determinación y posibles efectos adversos, *RCOD* 2011, 16(1):43-47
- 8 Dodes JE, The amalgam controversy-an evidence based analysis, *JADA*, vol. 132, 2001.
- 9 López Tagle E, Departamento de Salud Bucal, Subsecretaria de Salud Pública, Ministerio de Salud, "Disminución gradual de amalgama dental en el programa de salud dental en Chile, 2015.
- 10 Minamata, Convention on Mercury, 2013.
- 11 IAOMT Standards of Care, Preferred Procedure Approved 9/27/92
- 12 Warwick R., O'Connor A., Larmey B.; Mercury vapour exposure during dental student training in amalgam removal, *Journal of Occupational Medicine and toxicology*, 2013, 8:27
- 13 Kasraei et al., Blood Mercury Level and Its Determinants among Dental Practitioners in Hamadan, Iran, *Journal of Dentistry, Tehran University of Medical Sciences*, Vol. 7, No. 2, 2010

- 14** Foo S. et al. Neurobehavioral effects in occupational chemical exposure. Environ Res 1993;60:267-73..
- 15** Yilmaz H. et al, Exposure to mercury among dental health workers in Turkey: Correlation with amalgam work and own fillings, Toxicol Ind Health, April 2013
- 16** Nimmo A. et al., Particulate inhalation during the removal of amalgam restorations, the Journal of Prosthetic dentistry, volumen 63, número 2, 1990
- 17** Barrancos Mooney, Operatoria Dental, 4ª Edición, 2006, Cap. 35, Pág. 745-753.
- 18** Kenneth J. Anusavice, "Phillips ciencia de los materiales dentales", Undécima edición, 2004, Cap. 17, Pág. 496, 535-538.
- 19** Gladwin M, Bagby M., Clinical Aspects of Dental Materials, 3ª Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2009, p. 76-85
- 20** Baratieri L., Odontología Restauradora, Editorial Santos, vol.1, 2011.
- 21** Segal P. et al, A comparison of temperature increases produced by "premium" and "standard" diamond burs: An in-vitro study, Quintessence International, vol 47, 2016.
- 22** Ercoli C. et al., In vitro comparison of the cutting efficiency and temperature production of 10 different rotary cutting instruments. Part I: Turbine, The Journal of Prosthetic Dentistry, 2009.
- 23** Lacerda L., Salomons W., El Mercurio en la Amazonía. Serie Tecnología Ambiental: 3. Río de Janeiro. 78pp. 2005.
- 24** Proske O., Ensslin F. y Blumenthal H. Análisis de Metales. Editorial Aguilar. Vol 2. 657pp. 1960.
- 25** Kremers L, Halbach S, Willruth H, et al. Effect of rubber dam on mercury exposure during amalgam removal. Eur J Oral Sci. 1999;107:202-207.
- 26** Futoshi R. y cols, Hard metal lung disease: a case series, J Bras Pneumol., 2016;42(6):447-452
- 27** Kuramochi J. y cols., Pneumoconiosis diagnosed in a dentist, Nihon Kokyuki Gakkai Zasshi. 2004 Jun;42(6):528-32.
- 28** Garrido A., Camargo Y., Partículas respirables en el aire: generalidades y monitoreo en Latinoamérica, Revista INGE CUC, volumen 8, número 1, Octubre de 2012, pp. 293-312

- 29 Decreto supremo N°594, Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo, Ministerio de Salud, Chile, 2015.2003;37(2):266-72.
- 30 Arenholt-Bindslev, Environmental aspects of dental filling materials, *Eur J Oral Sci* 1998; 106: 713–720
- 31 Senkpiel K. et al., Bestimmung der absoluten Quecksilber-Tages- und Stundenfracht im Abwasser einer Zahnrztlichen Behandlungseinheit. *Hyg Med* 1989; 14: 283–288.
- 32 Sepúlveda T., Velasco J. Tecnologías de remediación para suelos contaminados, Instituto Nacional de Ecología, México D.F. 1ra edición, 467pgs, 2002.
- 33 <http://www.geologia.uchile.cl/laboratorio-de-espectrometria-de-fluorescenciade-rayos-x-edx-xrf>
- 34 WHO, informative note nº 318
- 35 American Dental Association (ADA), Council on scientific Affairs, Statement on dental amalgam", 2011.
- 36 Macchi R., "Materiales Dentales", 4ta edición, 2009, Cap. 17, Pág. 214-215
- 37 Notter DA. et al., Are nanosized or dissolved metals more toxic in the environment? A meta-analysis, *Environ Toxicol Chem.*, 2014.
- 38 Wang M et al., Long-term exposure to elemental constituents of particulate matter and cardiovascular mortality in 19 European cohorts: results from the escape and transphorm projects, *Environment International*, 2014 May;66:97-106.
- 39 Civardi C et al., Release of copper-amended particles from micronized copperpressure-treated wood during mechanical abrasion, *Journal of nanobiotechnology*, 2016 Nov 28;14(1):77.
- 40 Shirkhanloo H. et al, Identifying occupational and nonoccupational exposure to mercury in dental personnel, *Archives of environmental & occupational health*, 2014.
- 41 Ekstrand J, Björman L, Edlund C, Sandborgh-Englund G. Toxicological aspects on the release and systemic uptake of mecury from dental amalgam.*Eur J Oral Sci.* 1998;106(2 Pt 2:678-686).
- 42 Stone ME, Cohen ME, Liang L, Pang P. Determination of methylmercury in dental-unit waste water. *Dent Mater.* 2003 Nov;19(7):675-9.

- 43 Batchu H, Hwai-Nan C, Rakowski D, Fan PL. The effect of disinfectants and line cleaners on the release of mercury from amalgam. *JADA*. 2006;137(10):1419-25.
- 44 Stone ME, Scott JW, Schultz ST, Berry DL, Wilcoxon M, Piwoni M, *et al*. Comparison of chlorine and chloramine in the release of mercury from dental amalgam. *Sci Total Environ*. 2009 Jan 1;407(2):770-5. doi: 10.1016/j.scitotenv.2008.09.041.
- 45 Chin G, Chong J, Kluczevska A, Lau A, Gorjy S, Tennant M. The environmental effects of dental amalgam. *Aust Dent J*. 2000 Dec;45(4):246-9.
- 46 Ferracane, J.L. *et al*, Reduction in operatory mercury levels after contamination or amalgam removal. *American journal of dentistry* Volume 7, Issue 2, April 1994,  
Pages 103-107
- 47 Brandão F., Pulpal temperature increase with high-speed hand piece, Er:YAG laser and ultra sound tips.
- 48 Eldad Sharon, Efficiency and Thermal Changes during Implantoplasty in Relation to BurType cid\_366 1..5., DMD, MSc, BMedSc.
- 49 Bayane SC, Thompson JY. *Biomaterials. Art and science of operative dentistry*. In: Roberson TM, Heyman HO, Swift EJ, editors. 4rd ed. North Carolina: Mosby Co; 2006. pp. 135–242.
- 50 Frisk P. *et al*, Decrease of Trace Elements in Erythrocytes and Plasma After Removal of Dental Amalgam and Other Metal Alloys. *Biol Trace Elem Res*. 2006 Dec;113(3):247-59.
- 51 Anglen J, Gruninger SE, Chou HN, Weuve J, Turyk ME, Freels S, Stayner LT. Exposición ocupacional al mercurio en asociación con la prevalencia de esclerosis múltiple y temblor entre los dentistas estadounidenses. *J Am Dent Assoc*. 2015; 146 (9): 659–668.e1.
- 52 Oliveira MT, Pereira JR, Ghizoni JS, Bittencourt ST, Molina GO. Efectos de la exposición a la amalgama dental en los niveles sistémicos de mercurio en pacientes y estudiantes de odontología. *Fotomed Laser Surg*. 2010; 28.
- 53 Jamil N, Baqar M, Ilyas S, Qadir A, Arslan M, Salman M, Ahsan N, Zahid H. Uso de mercurio en la amalgama dental de plata: una evaluación ocupacional y ambiental. *Biomed Res Int*. 2016.
- 54 Nylander M, Friberg L, Eggleston D, Björkman L. La acumulación de mercurio en los tejidos del personal dental y los controles en relación con la exposición.

- 55 Nagpal N, Bettiol SS, Isham A, Hoang H, Crocombe LA. Una revisión de la exposición al mercurio y la salud del personal dental. *Saf Health Work*. 2017.
- 56 Tezel H, Ertas OS, Ozata F, Erakin C, Kayali A. Niveles de mercurio en sangre de estudiantes de odontología y dentistas en una escuela de odontología. *Br Dent J*. 2001.
- 57 Aaseth J, Hilt B, Bjørklund G. Exposición al mercurio e impactos en la salud del personal dental. *Environment Res*. 2018; 164: 65–9.
- 58 Duplinsky TG, Cicchetti DV. El estado de salud de los dentistas expuestos al mercurio de las restauraciones dentales de amalgama de plata. *Int J Estadísticas*. 2012.
- 59 Echeverria D, Woods JS, Heyer NJ, Rohlman D, Farin FM, Li T, Garabedian CE. La asociación entre un polimorfismo genético de la coproporfirinógeno oxidasa, la exposición dental al mercurio y la respuesta neuroconductual en humanos. *Neurotoxicol Teratol*. 2006.
- 60 Echeverria D, Woods JS, Heyer NJ, Rohlman DS, Farin FM, Bittner AC Jr, Li T, Garabedian C. Exposición crónica al mercurio de bajo nivel, polimorfismo BDNF y asociaciones con la función cognitiva y motora. *Neurotoxicol Teratol*. 2005.
- 61 Heyer NJ, Echeverria D, Bittner AC Jr, Farin FM, Garabedian CC, Woods JS. Exposición crónica a mercurio de bajo nivel, polimorfismo BDNF y asociaciones con síntomas y estados de ánimo autoinformados. *Toxicol Sci*. 2004.
- 62 BE Moen, BE Hollund, Riise T. Síntomas neurológicos entre asistentes dentales: un estudio transversal. *J Occup Med Toxicol*. 2008.
- 63 El-Badry A, Rezk M, El-Sayed H. El estrés oxidativo inducido por mercurio puede afectar negativamente el resultado del embarazo entre el personal dental: un estudio de cohorte. *Int J Occup Environ Med*. 2018.
- 64 Rowland AS, Baird DD, Weinberg CR, Shore DL, Shy CM, Wilcox AJ. El efecto de la exposición ocupacional al vapor de mercurio en la fertilidad de las asistentes dentales femeninas. *Occup Environ Med*. 1994.
- 65 Sikorski R, Juskiewicz T, Paszkowski T, Szprengier-Juskiewicz T. Mujeres en cirugías dentales: riesgos para la reproducción en la exposición laboral al mercurio metálico. *Int Arch Occup Environ Health*. 1987.
- 66 Mutter J. ¿Es segura la amalgama dental para los humanos? La opinión del comité científico de la Comisión Europea. *J Occup Med Toxicol*. 2011.

- 67** The safety of dental amalgam and alternative dental restoration materials for patients and users, Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks SCENIHR, 6 May 2008.
- 68** Langworth S, Sallsten G, Barregard L, Cynkier I, Lind ML, Soderman E. Exposición al vapor de mercurio e impacto en la salud en la profesión dental en Suecia. J Dent Res. 1997.
- 69** Bernhoft RA. Toxicidad por mercurio y tratamiento: una revisión de la literatura. J Environment Salud Pública. 2012.
- 70** WHO, Mercurio en el documento de política sanitaria. Ginebra: Departamento de Protección del Medio Humano, Agua, Saneamiento y Salud; 2005.
- 71** Gioda A, Hanke G, Elias-Boneta A, Jiménez-Velez B. Un estudio piloto para determinar la exposición al mercurio a través del vapor y ligado a PM10 en un ambiente de escuela dental. Toxicol Ind Health. 2007; 23 (2): 103-13.
- 72** Mercury exposure and risk from dental amalgam in the US population, post 2000, G.M.Richardson, R.Wilson, D.Allard, C.Purtill, S.Douma, J.Gravière. 2011.
- 73** Una comparación de la exposición al mercurio del consumo de mariscos y los empastes de amalgama dental en personas con y sin esclerosis lateral amiotrófica (ELA): un estudio internacional de casos y controles en línea, Parkin Kullmann JA, Pamphlett R. 2018.
- 74** Evaluación de la respuesta del tejido oral y los niveles sanguíneos de mercurio liberado de la amalgama dental en ratas, Soussa E, Shalaby Y, Maria AM, Maria OM. 2013.
- 75** Un estudio de entrevista de personas que atribuyen problemas de salud a los materiales de obturación dental - segunda parte en un estudio de triangulación en suecos de 65 y 75 años, Ståhlacke K, Söderfeldt B. 2013, Suecia.

## ANEXOS

### ANEXO 1: Fragmento sobre Amalgamas dentales del acuerdo de MINAMATA

Productos con mercurio añadido	Disposiciones
Amalgama dental	<p>I) Establecer objetivos nacionales destinados a la prevención de la caries dental y a la promoción de la salud, a fin de reducir al mínimo la necesidad de restauración dental;</p> <p>II) Establecer objetivos nacionales encaminados a reducir al mínimo su uso;</p> <p>III) Promover el uso de alternativas sin mercurio eficaces en función de los costos y clínicamente efectivas para la restauración dental;</p> <p>IV) Promover la investigación y el desarrollo de materiales de calidad sin mercurio para la restauración dental;</p> <p>V) Alentar a las organizaciones profesionales representativas y a las escuelas odontológicas para que eduquen e impartan capacitación a dentistas profesionales y estudiantes sobre el uso de alternativas sin mercurio en la restauración dental y la promoción de las mejores prácticas de gestión.</p> <p>VI) Desincentivar las políticas y los programas de seguros que favorezcan el uso de amalgama dental en lugar de la restauración dental sin mercurio;</p> <p>VII) Alentar las políticas y los programas de seguros que favorezcan el uso de alternativas de calidad a la amalgama dental para la restauración dental;</p>

	<p>VIII) Limitar el uso de amalgama dental en su forma encapsulada;</p> <p>IX) Promover el uso de las mejores prácticas ambientales en los gabinetes dentales para reducir las liberaciones de mercurio y compuestos de mercurio al agua y al suelo</p>
--	---

ANEXO 2: Permiso para operar por parte del Laboratorio Ambiental Viña del Mar, SEREMI de Salud



VALPARAÍSO, 28 de junio del 2016

LABORATORIO AMBIENTAL VIÑA DEL MAR  
/BQ. VMD/UMQ-  
Nº 01.-

**CARTA**

Por medio de la presente, se informa que el Laboratorio Ambiental de Viña del Mar, de la Secretaría regional Ministerial de Salud región de Valparaíso, autoriza a los alumnos de la Escuela de Odontología de la Universidad de Valparaíso, en usar las dependencias del laboratorio Ambiental para el desarrollo de su tesis, la cual consiste en la determinación y cuantificación de mercurio en matriz sólida.

Para el desarrollo del estudio se utilizará como instrumento de medición el **Analizador XRF portátil Olympus Innov-X, modelo DELTA**. El DELTA es un espectrómetro de fluorescencia de rayos-X portátil, con detector SDD, configurado para realizar análisis químico elemental cualitativo y cuantitativo de cualquier tipo de muestra sólida.

Este equipo está construido usando un tubo de rayos-X miniatura, lo que permite ser una fuente de excitación más intensa y mejor controlada, permitiendo análisis más precisos que los viejos sistemas basados en isótopos radioactivos.

La manipulación del equipo Olympus Innov-X será supervisado por personal autorizado de laboratorio, los cuales cuentan con certificación

en manejo de equipos de emisión. Cabe señalar que todo laboratorio que cuente con acreditación por el organismo nacional de Acreditación INN cumple con todas las exigencias de Bioseguridad que debe tener un laboratorio de ensayo acreditado por la norma ISO17025. Of 2005.

Se adjuntan certificados de acreditación del Laboratorio Ambiental de la SEREMI de Salud

**Saluda atte. a Ud.**



**D<sup>CA</sup>. VIRGINIA MONTENEGRO QUIROGA**  
**JEFE DE LABORATORIO AMBIENTAL REGIONAL**  
**SEREMI DE SALUD**  
**REGION DE VALPARAISO**

**DISTRIBUCION:**

- INTERESADO
- ARCHIVO LABORATORIO

### ANEXO 3: Certificado de Bioseguridad del INN, que acredita al Laboratorio Ambiental de la SEREMI de Salud

**INSTITUTO NACIONAL  
DE NORMALIZACION**

Señora  
Virginia Montenegro O.  
Jefe de Laboratorio  
Secretaría Regional Ministerial de Salud Región Valparaíso  
Malgarejo N°669 sexto piso  
**VALPARAISO**  
Correo electrónico: [jaime.jamett@redsalud.gov.cl](mailto:jaime.jamett@redsalud.gov.cl);  
[virginia.montenegro@redsalud.gov.cl](mailto:virginia.montenegro@redsalud.gov.cl)

Su Ref. Su Carta del Nuestra Ref. Santiago, 2014.04.28  
4200-0449-14

Asunto: Comunica aprobación de acreditación (LE 1184, LE 1185, LE 1186 y LE 1187).

De mi consideración:

Tengo el agrado de informar a Ud., que el Comité de Acreditación, en su sesión del 25 de Abril de 2014, aprobó la acreditación del Laboratorio Ambiental de la Secretaría Regional Ministerial de Salud, Región Valparaíso, Viña del Mar, como Laboratorio de ensayo, en la norma NCh-ISO 17025-01:2005 "Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración"; para las áreas Química para alimentos, Físico-química para aguas, Microbiología para alimentos y Microbiología para aguas, en el Sistema Nacional de Acreditación del INN, hasta el 25 de Abril de 2018.

El alcance de la acreditación se indica en el Anexo.

De acuerdo a las disposiciones del Sistema Nacional de Acreditación, procederemos a enviar para su firma el Acta de Compromiso.

Sin otro particular, saluda atentamente a Ud.,

**INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION**



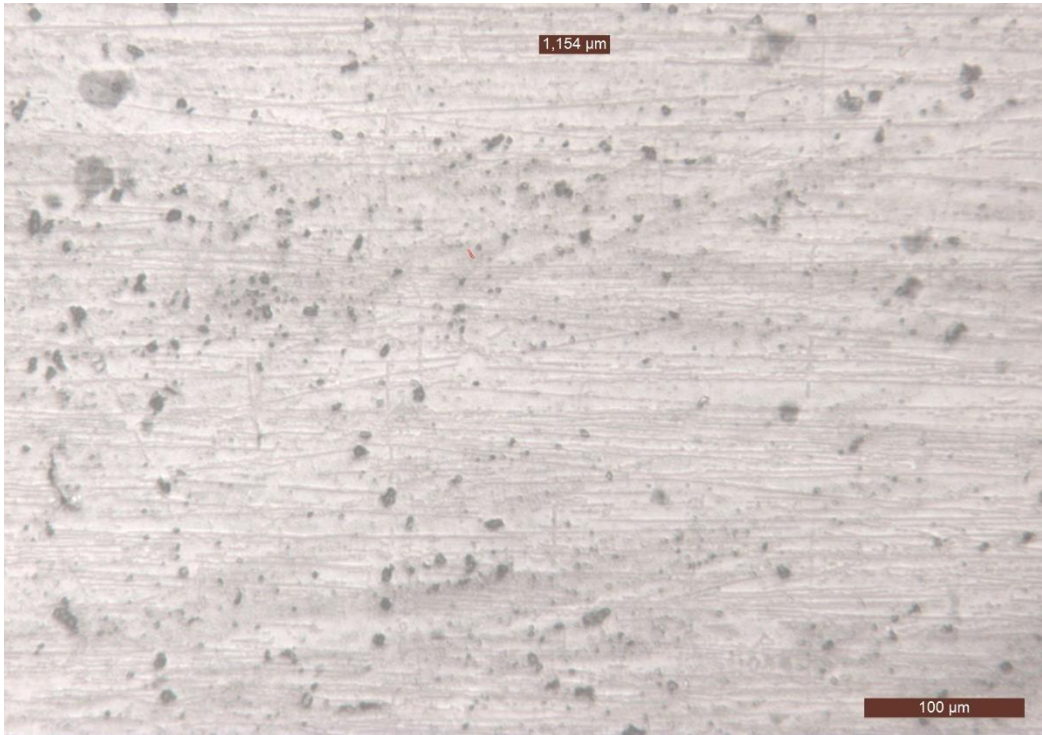
**Eduardo Ceballos O.**  
Jefe de División Acreditación

ELV/eml.  
2014.04.28

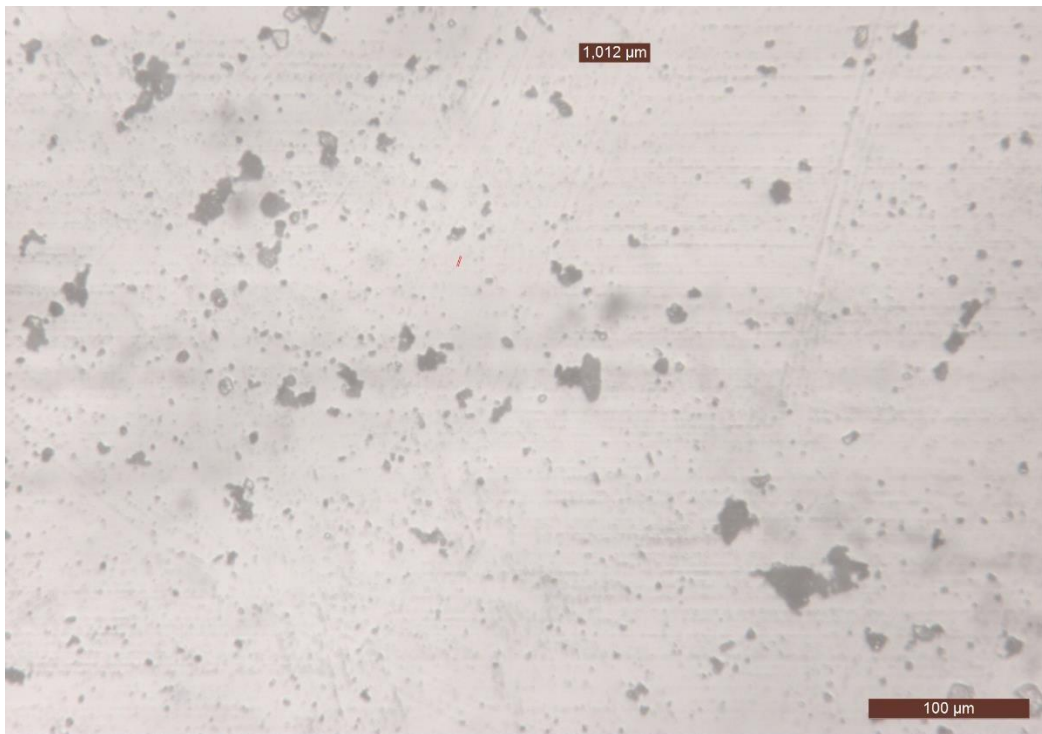
OFICINAS GENERALES  
MATIAS COUS NO 34 - PISO 5  
SANTIAGO - CHILE  
TEL: +56-21 2440800  
FAX: +56-21 24410420  
[www.inn.cl](http://www.inn.cl)  
F407-08-03 v04

### ANEXO 4: Imágenes resultantes del estudio de partículas en microscopio óptico metalográfico otorgadas por la Universidad Federico Santa María.

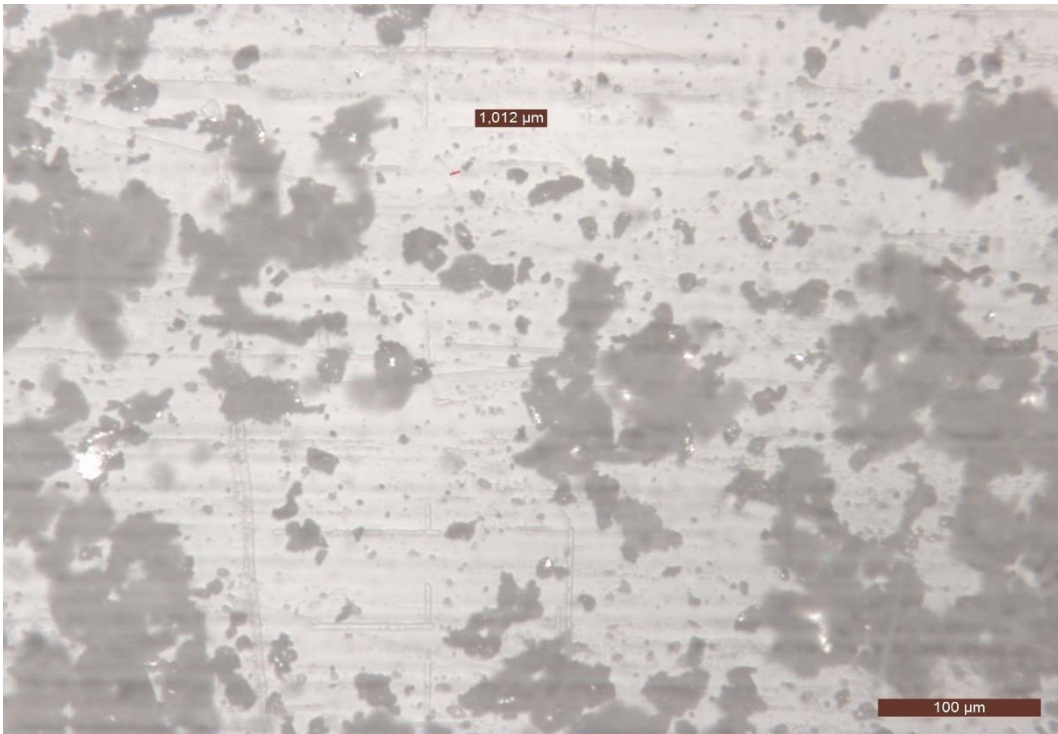
1.- Piedra de Diamante (Sin succión) – Posición 1. Operador



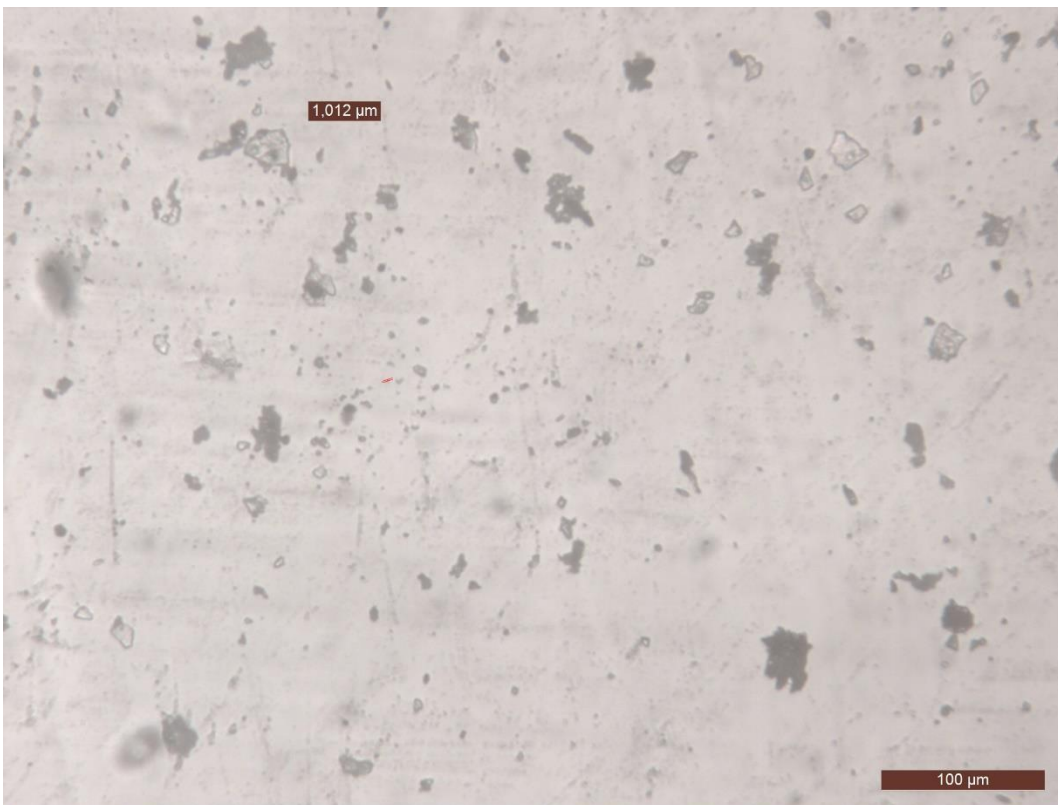
2.- Piedra de Diamante (Sin succión) – Posición 2. Asistente



3.- Piedra de Diamante (Sin succión) – Posición 3. Paciente



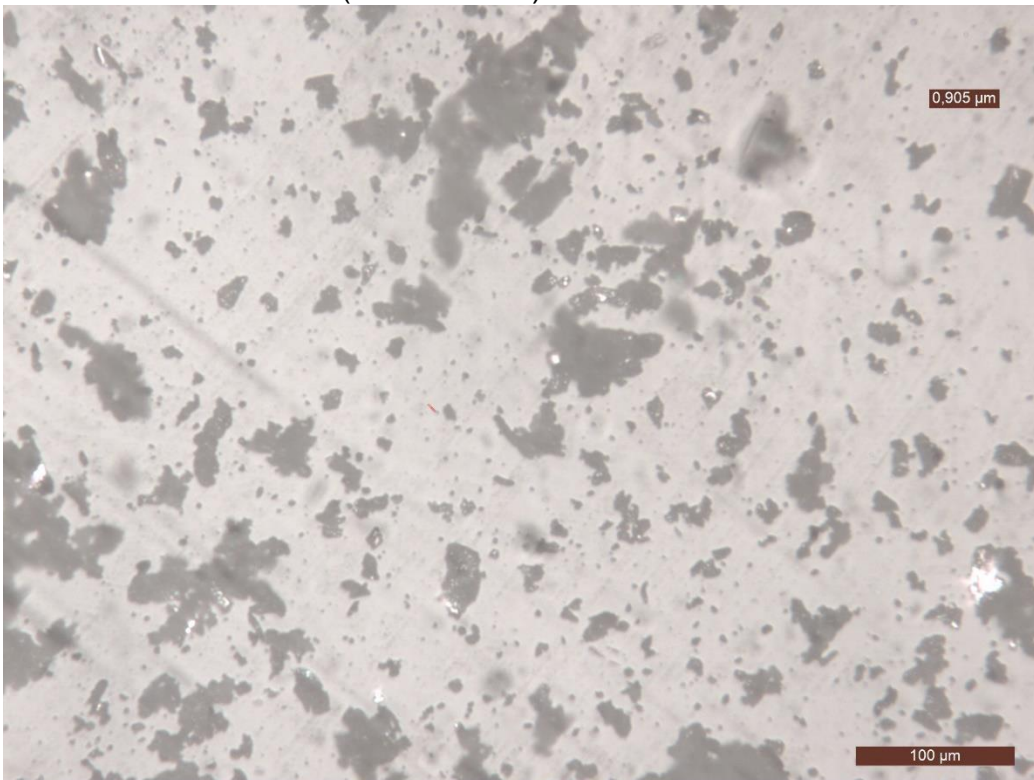
4.- Piedra de Diamante (Con succión) – Posición 1. Operador



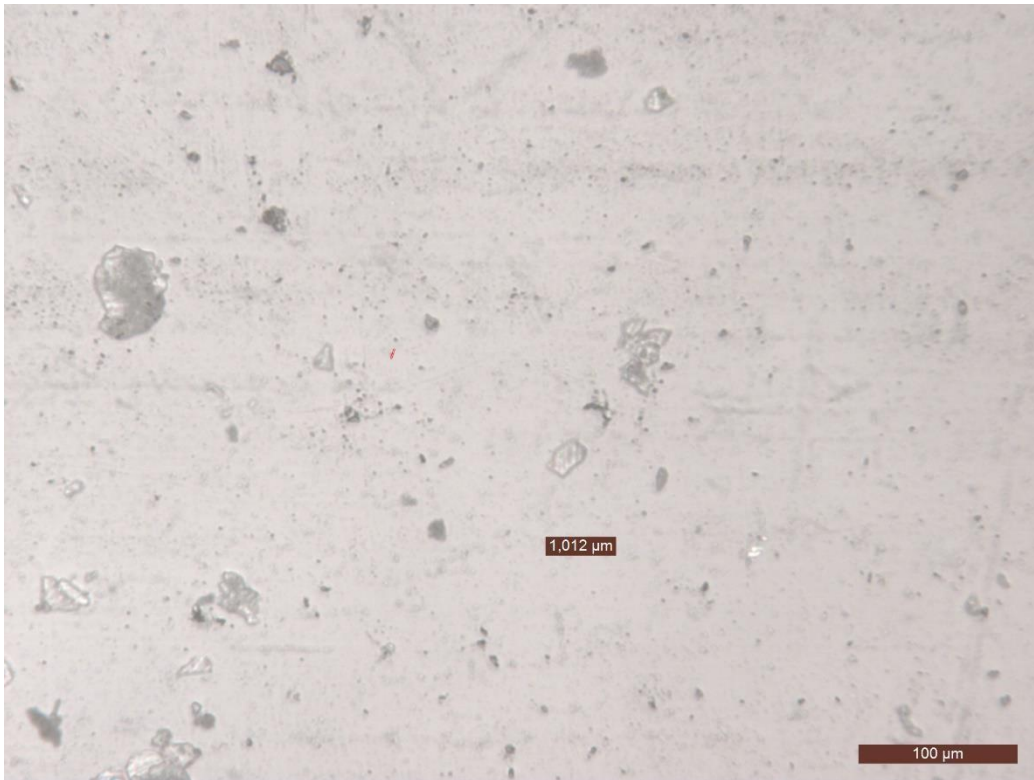
5.- Piedra de Diamante (Con succión) – Posición 2. Asistente



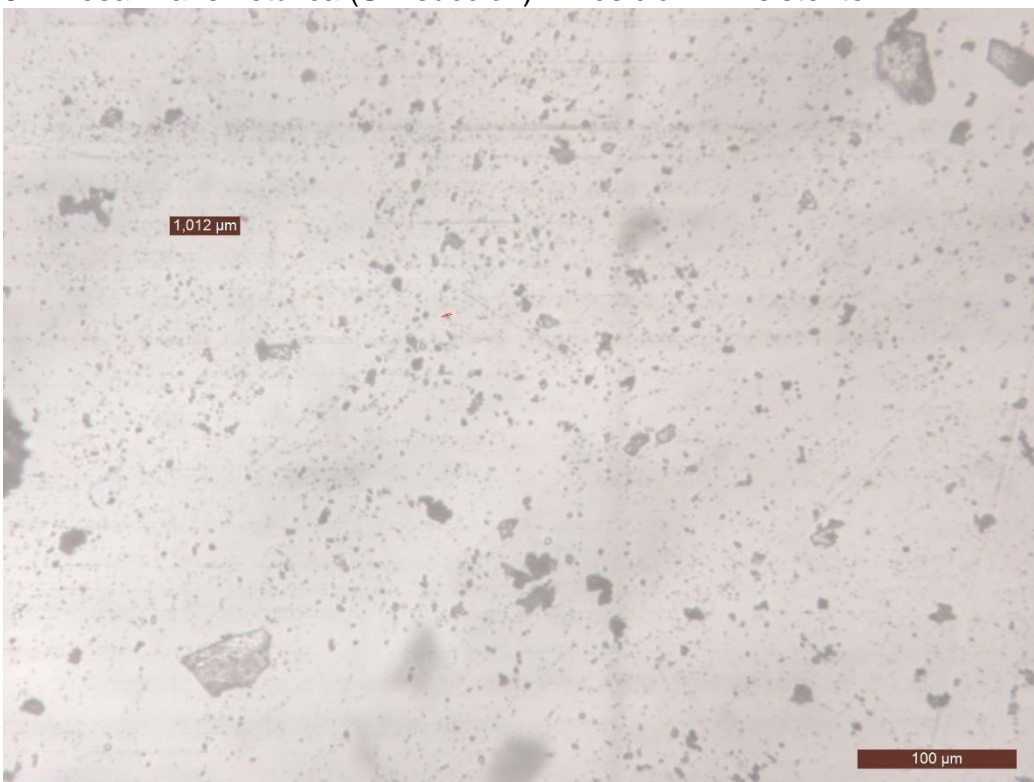
6.- Piedra de Diamante (Con Succión) – Posición 3. Paciente



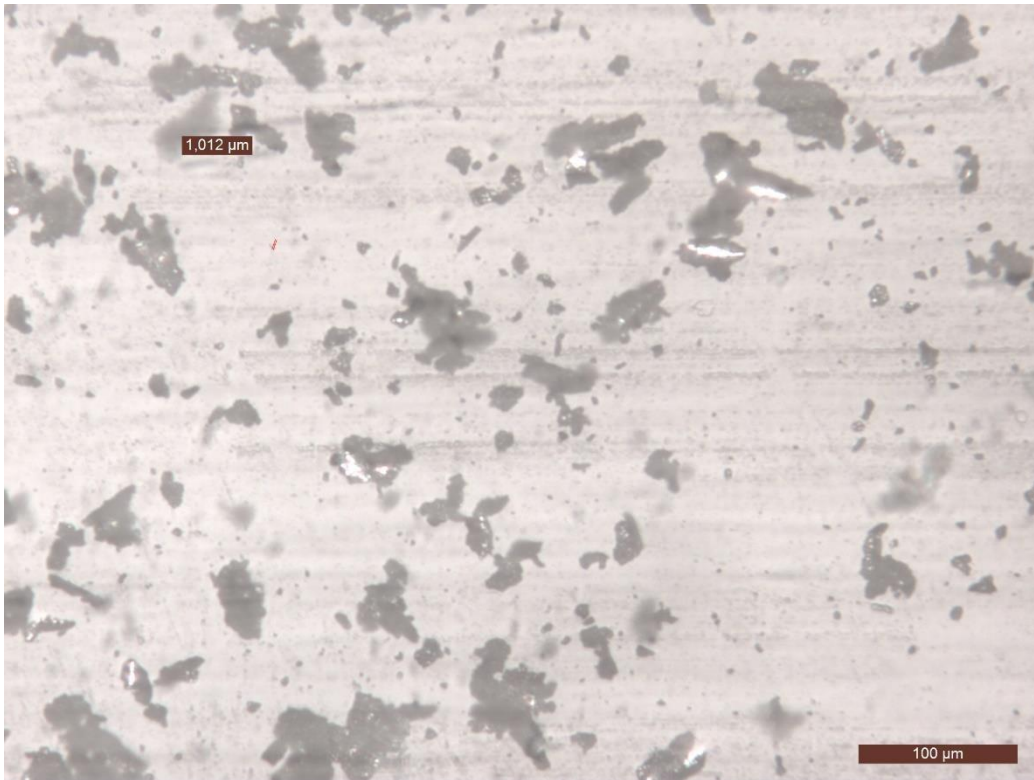
7.- Fresa Transmetálica (Sin succión) – Posición 1. Operador



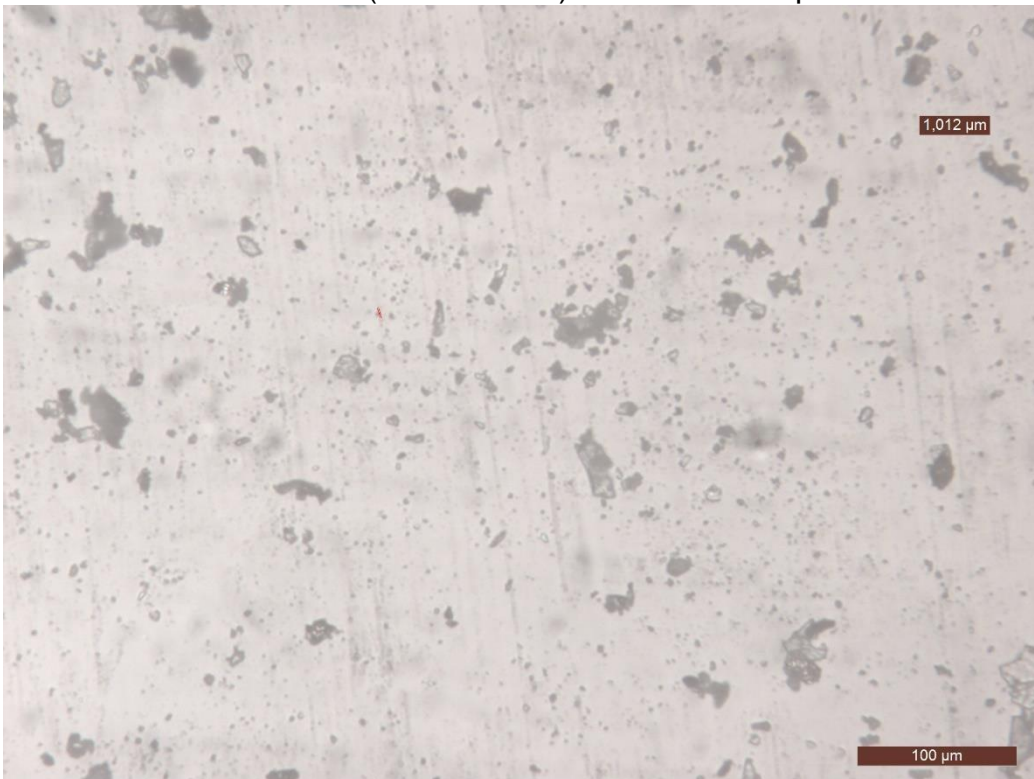
8.- Fresa Transmetálica (Sin succión) – Posición 2. Asistente



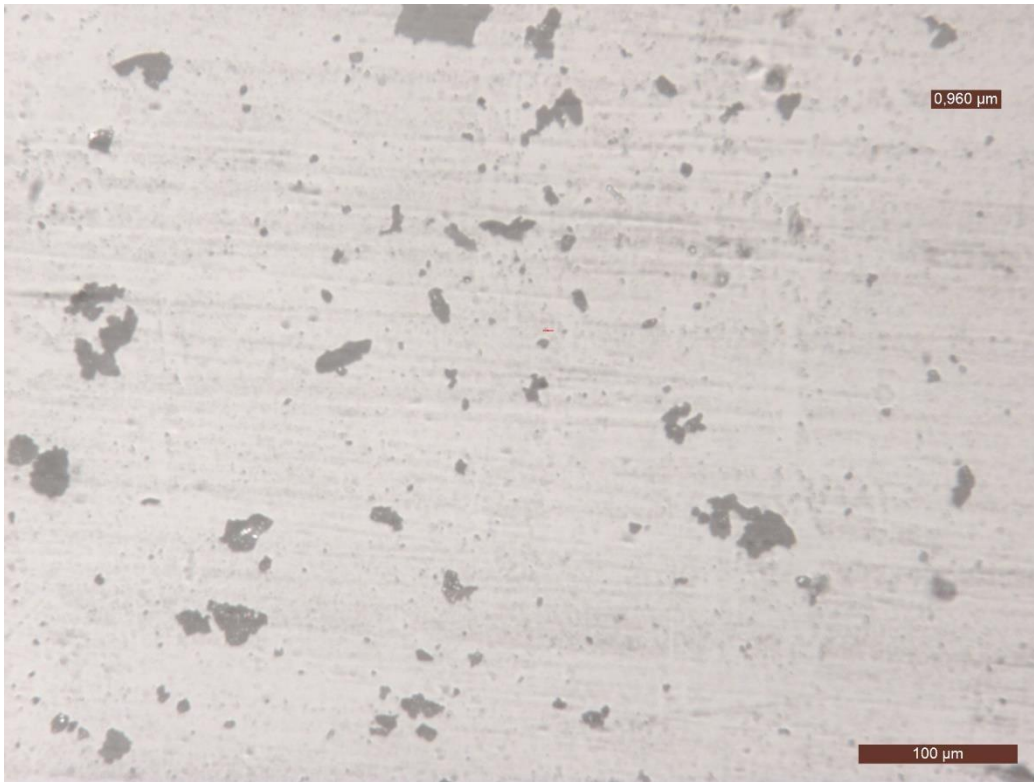
9.- Fresa Transmetálica (Sin Succión) – Posición 3. Paciente



10.- Fresa Transmética (Con Succión) – Posición 1. Operador



11.- Fresa Transmética (Con succión) – Posición 2. Asistente



12.- Fresa Transmetálica (Con succión) – Posición 3. Paciente

