

## Influencia del factor mecánico en la formación de lesiones cervicales no cariosas

### Influence of the mechanical factor in the formation of non-cariou cervical lesions

Rafael Yagüe Ballester<sup>1</sup>; Myriam Katherine Zurita Solís<sup>2</sup>


#### Resumen

**Antecedentes:** las lesiones cervicales no cariosas son multifactoriales, la acción de los ácidos, abrasivos y cargas mecánicas a distancia del sitio de la lesión. Se requiere explicar cómo es el mecanismo de acción de cargas a distancia. Este estudio propuso evaluar la penetración de nitrato de plata 10%, al esmalte de especímenes sometidos o no a cargas cíclicas. **Método:** se cortaron 60 incisivos bovinos en paralelepípedos 3x3x8,2 mm con entalle en la dentina de 2x2 mm, se los protegió del nitrato con barniz, excepto una faja de esmalte de 1,5x5 mm, se aplicó 1200 ciclos mecánicos de tensión o compresión, con 5 s de carga de 40 N y 25 s sin carga, un grupo control no recibió carga ni exposición al trazador, otro control recibió exposición al trazador sin carga, para localizar el trazador fueron radiografiados, tomografiados y observados en lupa a luz reflejada y transmitida. **Resultados:** las radiografías solo marcaron la mayor concentración del trazador, la microtomografía fue ineficaz dados los artefactos formados, la observación en lupa indicó variaciones en la coloración natural del esmalte, los especímenes expuestos al trazador presentaron una camada fina de infiltración y variaciones en el patrón de penetración. Este inconveniente para identificar si existió o no bombeamiento, podría explicarse por diferencias en la velocidad y profundidad del esmalte de las distintas moléculas como los ácidos. **Conclusiones:** el trazador penetró el esmalte sin diferencias de patrón de penetración en los grupos, la hipótesis de circulación forzada requiere nuevos estudios.

**Palabras clave:** lesiones cervicales no cariosas, factor mecánico, nitrato de plata.

#### Abstract

**Background:** non-cariou cervical lesions are multifactorial, the action of acids, abrasives and mechanical loads at a distance from the lesion site. It is necessary to explain the mechanism of action of distant loads. This study proposed to evaluate the penetration of silver nitrate 10%, to the enamel of specimens subjected or not to cyclic loading. **Method:** 60 bovine incisors were cut into 3x3x8.2 mm parallelepipeds with 2x2 mm dentin notching, protected from nitrate with varnish, except for a 1.5x5 mm enamel strip, 1200 mechanical cycles of tension or compression were applied, With 5 s of 40 N load and 25 s without load, a control group received neither load nor exposure to the tracer, another control group received exposure to the tracer without load, to locate the tracer they were radiographed, tomographed and observed under magnifying glass with reflec-

1. Universidade de São Paulo, Faculdade de Odontologia: Sao Paulo, Brasil;  <https://orcid.org/0000-0002-1193-6344>

2. Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador;  <https://orcid.org/0000-0002-1668-481X>



Usted es libre de:  
**Compartir** — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato.

**Adaptar** — remezclar, transformar y construir a partir del material para cualquier propósito, incluso comercialmente.

**Recibido:** 15-08-2023

**Aceptado:** 20-10-2023

**Publicado:** 29-12-2023

**DOI:** 10.47464/MetroCiencia/vol31/4/2023/35-50

\*Correspondencia autor: [kzurita@uce.edu.ec](mailto:kzurita@uce.edu.ec)

ted and transmitted light. **Results:** the radiographs only showed the highest concentration of the tracer, the microtomography was ineffective due to the artifacts formed, the observation under magnification indicated variations in the natural coloration of the enamel, the specimens exposed to the tracer showed a thin layer of infiltration and variations in the penetration pattern. This inconvenience to identify if there was pumping or not, could be explained by differences in the speed and depth of the enamel of the different molecules such as acids. **Conclusions:** the tracer penetrated the enamel without differences in the penetration pattern.

**Keywords:** non-carious cervical lesions, mechanical factor, silver nitrate.

## Introducción

En los últimos tiempos se ha notado una disminución en la prevalencia de caries en la población mundial y un incremento en la incidencia de las lesiones no cariosas (LNC) que producen pérdida lenta, silenciosa e irreversible de los tejidos dentarios sin que el paciente lo perciba hasta cuando ha alcanzado un tamaño importante<sup>1-2</sup>.

### Existen varios factores responsables del aumento de las LNC

La media de vida en los seres humanos ha aumentado, así como los hábitos de higiene, por lo que las piezas dentales permanecen más tiempo en boca<sup>3</sup>.

Comportamiento de la sociedad moderna: especial importancia a los hábitos de higiene oral, frecuencia de cepillado dental y uso de pastas dentífricas que favorecen la abrasión.

Las personas que cepillan sus dientes 2 y 3 veces al día corren el doble de riesgo de desarrollar abfracciones que aquellos que lo hacen una sola vez al día<sup>4-5</sup>.

Hoy en día se intenta llevar una dieta saludable, lo cual invita a consumir productos naturales, antioxidantes, frutas ácidas, bebidas isotónicas que también contribuyen la formación de LNC<sup>1</sup>.

Los hábitos parafuncionales, bruxismo, presentes cada vez más en la sociedad moderna por aumento del estrés, acrecentando la fricción, intensidad, frecuencia y tiempo total en que los dientes están sometidos a

estrés mecánico. Tanto la tensión como la fricción se identifican como agentes etiológicos de las LNC<sup>6-9</sup>.

Trastornos alimentarios como la anorexia y bulimia, lleva el jugo gástrico a la cavidad oral, por lo que las enzimas proteolíticas y un pH ácido entre 1,5 y 3, son capaces de desmineralizar los tejidos duros de los dientes y disolver el colágeno de la dentina expuesta, impidiendo la remineralización, consecuentemente, la erosión dental acelerada y generalizada es una más de las variedades de las LNC<sup>5,10,11</sup>.

Un tipo particular de lesión no cariosa (LNC) es la lesión cervical no cariosa (LCNC) que consiste en la pérdida lenta e irreversible de sustancia dental a partir de la superficie externa, sin participación evidente de biofilm en la región próxima a la unión cemento esmalte<sup>1,12</sup>.

Las LCNC son consideradas de etiología multifactorial, actualmente continúa el interés por descubrir su mecanismo de formación y conocer cómo cada agente etiológico interviene, contribuye e interactúa en cada etapa del proceso de la lesión instalada, porque así se podrá prevenir, frenar y actuar eficientemente en el tratamiento<sup>13-15</sup>.

Se cree también que cuando uno de los agentes etiológicos actúa simultáneamente o en secuencia, dependiendo del orden de actuación, el efecto puede ser mayor que la simple sumatoria de efectos individuales, es decir, un efecto sinérgico en el cual la severidad y progreso de las lesiones sería mayor<sup>11,16,17</sup>.

En un reciente estudio, se expusieron cuerpos de prueba de esmalte bovino simultáneamente a tensión y medio ácido, los especímenes sometidos a tensión de tracción aumentaron la profundidad de la desmineralización del esmalte; en los sometidos a compresión hubo una tendencia a protección frente a la acción del ácido. Esto podría ser explicado porque la tensión de tracción aumenta la permeabilidad del ácido mediante la ampliación de los canales por donde circula el líquido y lo contrario acontece en la tensión de compresión<sup>22</sup>, por lo tanto, las tensiones cíclicas tanto en tracción como en compresión tendrían un efecto de bombeamiento o circulación forzada y mayor desmineralización en ambos casos.

El presente trabajo propuso aclarar el mecanismo de interacción entre la tensión cíclica concentrada y la acción de los ácidos sobre el esmalte para producir desgaste semejante al de las LCNC a través de un estudio *in vitro*.

En este estudio experimental, se evaluó la penetración de un colorante trazador a base de nitrato de plata en especímenes de esmalte bovino sometidos a tensiones cíclicas de tracción, compresión o no estresados, para testar la hipótesis de que el esmalte pueda funcionar como esponja rígida, y así colaborar en la explicación de interacción entre el factor mecánico y la exposición al medio ácido para formar lesiones cervicales no cariosas<sup>23</sup>.

## **Metodología**

Este estudio cuenta con la aprobación del Comité de Ética de Uso de Animales de la Facultad de Odontología de la Universidad de Sao Paulo CEUA FOU SP número 03/2017 (Anexo A). Fueron usados 60 incisivos bovinos para esta investigación.

Se seleccionaron 60 incisivos bovinos que cumplieran con los siguientes criterios: tamaño de la corona mayor a 4 cm de longitud, mínima curvatura vestibular, libre de defectos groseros, desgastes incisales, fracturas visibles, malformaciones.

Luego se almacenaron a 4°C en timol al 1% por 48 horas, después fueron lavados en agua corriente por 2 horas y almacenados en agua destilada a 4°C, hasta el momento de su corte<sup>24</sup>.

Se utilizó la cortadora automática programable Isomet de Buehler 5000 para cortar los dientes bovinos convertirlos en (palitos) paralelepípedos, con un entalle que permita dirigir la concentración de tensiones al esmalte, se obtuvieron 60 cuerpos de prueba que nos permitieron simular lo que acontece en las piezas dentales con el entalle que crea la concentración de tensiones, tal como ocurre en el área cervical de los dientes.

Después se realizó un corte horizontal para separar el espécimen de la corona del diente bovino, se ajustó el espesor del esmalte, aplanado y pulido, en la Ecomet 250, con cabezote Automet (Buehler).

Se dejó una longitud de 8,2 mm, finalmente el entalle que fue limitado en 1,6 mm, sumada al diámetro de 1,6 de la fresa (marca KG # 3100, de grano medio se produjo un entalle de 3,2 mm de longitud y la profundidad de 2mm de diente, a partir de la superficie vestibular plana del esmalte.

Lo excesos de dentina y esmalte de los especímenes fueron lijados, aplanados, con una Politriz con carga de 10 N con lija de diamante de 8" ALLIED HighnTech products INC 220 grit durante tiempos de 1 minuto hasta conseguir el desgaste necesario.

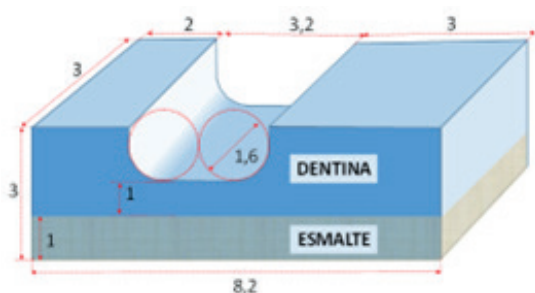
Se redondearon los ángulos de los especímenes para que durante la colocación del barniz no queden líneas sin cubrir; además se pulió la superficie del esmalte con la secuencia de 3 pastas de pulido de diamante de 3  $\mu$ , 1  $\mu$  y 0,25  $\mu$ .

Se fijaron en el borde incisal de cada espécimen un rolete metálico de alambre de ortodoncia de acero inoxidable de 0,5 mm de diámetro y cortado con 3 mm de longitud, la fijación fue un proceso de grabado ácido (3M), adhesivo (Ámbar de la FGM), y resina

fluida (Prevent de FGM), con el objetivo de aplicar a través de este la carga.

A continuación, los especímenes se barnizaron toda la superficie a excepción de la faja central de 1,5 mm de ancho, con barniz resistente al agua.

Los especímenes, una vez concluida su elaboración, fueron identificados y distribuidos aleatoriamente a los 6 grupos descritos más adelante.



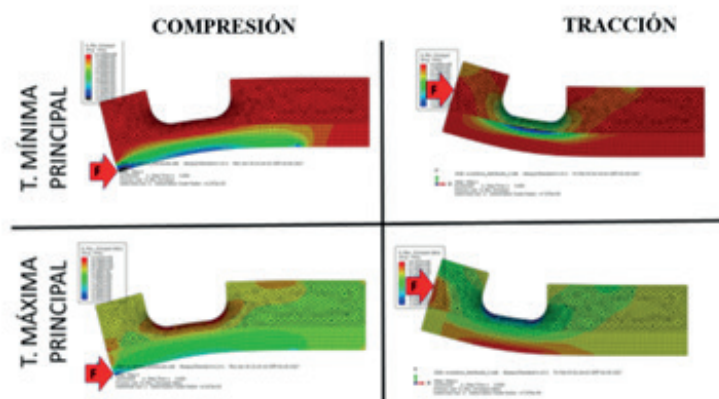
**Figura 1.** Especimen forma y medidas.

Para tener certeza de que la idealización del modelo era correcta en cuanto a la concentración de tensiones, se construyó un modelo de elementos finitos en 2D al que le aplicamos cargas excéntricas dirigidas longitudinalmente, se ubicaron en el borde del esmalte o en una línea a 2 mm desde el borde, esto nos permitió observar en los especímenes con carga aplicada en el

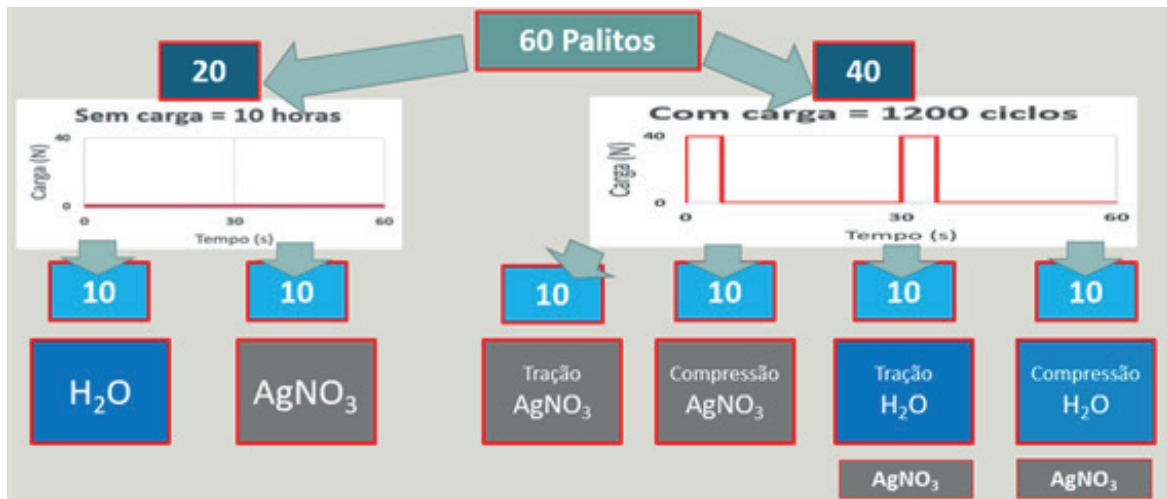
borde del esmalte la deformación elástica que provoca la concavidad de la superficie bucal y la concentración de tensión en la región del esmalte frente al entalle. En los especímenes en los que se aplicó la carga a 2 mm del borde del esmalte, tienden a doblarse produciendo convexidad en la superficie bucal, y aparecen tensiones de tracción en la región del esmalte frente al entalle<sup>25-27</sup>.

A: deformación ampliada evidencia la flexión provocada por el cargamento de las piezas (representado por la flecha roja). El mapa de colores ilustra las regiones de concentración de tensiones al aplicar carga.

Los especímenes se barnizaron completos a excepción de una faja central de 1 ½ mm de ancho, en la superficie bucal expuesta al ambiente externo. Si la hipótesis de bombeo es correcta, el líquido circundante penetraría en el esmalte cuando los cuerpos de prueba son sometidos a las cargas cíclicas. Tomando en cuenta que el trazador usado fue una solución de nitrato de plata al 10% por sus características, moléculas pequeñas similares a la de los ácidos, y que pueda localizarse después, para permitir su rastreo y marcar si hay diferencia en la penetración del trazador luego de que las muestras se sometan a los ciclos de carga capaces de provocar bombeo.



**Figura 2.** Resultado de los modelos de elementos finitos.



**Figura 3.** Diseño del experimento.

Se diseñó el estudio con 6 grupos:

El primer grupo sin carga e inmerso en agua para conocer las características del esmalte y dentina sin contacto con el trazador.

El segundo grupo sin carga, inmerso en nitrato de plata, es un grupo control para conocer las características del esmalte y dentina cuando el trazador entra en contacto y penetra exclusivamente por mecanismos de difusión no forzada.

El tercer grupo con carga cíclica que provoque tensión de tracción y se encuentre inmerso en nitrato, si ocurre el bombeo en regiones deformadas por la tensión allí la solución trazadora debería penetrar más, ya que existiría a más de la difusión un nuevo mecanismo de penetración por bombeo.

El cuarto grupo con carga cíclica que provoque tensión de compresión, el espécimen inmerso en nitrato. Si el bombeo ocurre en las regiones deformadas por la tensión, la solución trazadora deberá entrar más ya que existiría a más de la difusión el mecanismo de penetración o del bombeo.

El quinto grupo con carga cíclica que provoque tensión de tracción y se encuentre inmerso en agua, a continuación, sin quedar expuesto a tensión los especímenes de este grupo se sumergirán en nitrato por el

mismo tiempo de ciclado mecánico. Este también es un grupo control que permite conocer si el ciclado de tracción provocó daños (grietas). Si las grietas no se forman, la penetración del trazador en este grupo será semejante al de control del grupo 2.

El sexto grupo con carga cíclica que provoque tensión de compresión, inmerso en agua, luego sin quedarse expuesto a tensión, los especímenes de este grupo serían inmerso en trazador, por el mismo tiempo de ciclado mecánico. Este grupo también es un control. Permitirá conocer si el ciclado de compresión provoca grietas en el esmalte, y si estas pudieran ser el camino de entrada del trazador, si no hay formación de grietas la penetración del trazador en este grupo será similar al control del grupo 2.

Los especímenes se confeccionaron luego de seleccionarlos limpiarlos y desinfectarlos<sup>24</sup>, debían cumplir los siguientes criterios de selección: corona de alrededor de 4 cm, con mínima curvatura en la cara vestibular y libre de defectos notorios, desgastes incisales, grietas visibles, malformaciones, etc.





**Figura 4.** Ejemplo de diente seleccionado.

Los especímenes seleccionados se introdujeron en timol al 1% por 48 horas, después fueron colocados en agua corriente por 2 horas, posteriormente introducidos en agua destilada en refrigeración a 4°C hasta ser utilizados<sup>24</sup>.

La solución trazadora seleccionada fue el nitrato de plata al 10% (sigma Aldrich), por el pequeño tamaño de los iones de plata (0.059 nm) y por su característica de producir coloración al ser precipitados, su peso molecular de 169,87; pH 7,0 esta solución es incolora y queda turbia únicamente al precipitar la sal. La plata puede precipitar en el interior del tejido dentario como pequeños cristales que ennegrecen en presencia de luz quedando de un color entre acastañado y negro opaco. Los especímenes penetrados de nitrato de plata y radiografiados evidencian regiones fuertemente radiopacas, menores a las manchas negras identificadas visualmente, las regiones radiopacas pueden ser consideradas como mucho más infiltradas<sup>29</sup>.

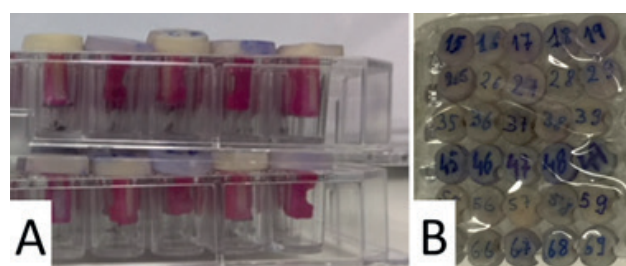
La aplicación de la carga cíclica se realizó en la cicladora mecánica Biocycle V1 (Biopdi), programada para aplicar 1.200 ciclos de 30 segundos, cada ciclo comprendió 5 segundos de aplicación con carga de 40 N en cada uno de sus 10 actuadores neumáticos y 25 segundos sin carga.

Los especímenes fueron colocados en vasos de vidrio de aproximadamente 50 ml, en cuyo fondo se colocó una base de acrílico para que sirva de encaje para el cuerpo de prueba.

Obtenido el ciclado mecánico de los grupos correspondientes, se precipitó la plata de los grupos expuestos a nitrato, se lavaron en agua corriente y luego se sumergieron en líquido fijador radiográfico por 5 minutos, se lavaron nuevamente y fueron expuestos a luz intensa de fotopolimerizador (Flash lite 1401- Discus Dental) durante 5 minutos, posteriormente se sumergieron en el suero fisiológico, ya que la solución de cloruro de sodio también es capaz de reaccionar con nitrato de plata, precipitando en cloruro de plata que es fotosensible, transformando en plata metálica y cloro.

Una de las formas como se evaluó la penetración del trazador fue a través de microtomografía computarizada, por ser rápida, no destructiva, en el Instituto de Investigaciones Energéticas y Nucleares (IPEN). El microtomógrafo utilizado fue de marca (Netzch-Carestream Albira CT) con una resolución de 90  $\mu\text{m}$ .

Los especímenes fueron ubicados en una placa de Elisa envueltos en filme de PVC fino y tomografiados bajo 35 kV, 0.4 mA, en dos lotes. Las imágenes de cada espécimen se separaron del conjunto y analizadas con el software InVesalius.



**Figura 5.** Organización de los especímenes en placas de ELISA.

**A.** Vista lateral de los dos conjuntos.

**B.** Vista de las bases de los palitos respectivamente identificados.

Para poder comparar las imágenes de los especímenes antes y después de la aplicación de los ciclos mecánicos y del trazador, fueron tomografiados dos veces (inicial y T1) y después de verificar las primeras imágenes resultantes y los artefactos presentes en ellas se realizó una tercera tomografía (T2) después de remover los eventuales elementos causantes de los artefactos como los roletes metálicos, la resina usada para su fijación y el barniz usado para el aislamiento.

La siguiente forma de evaluar la penetración del trazador fue a través de la radiografía, con un RX odontológico y sensor digital, con un tiempo de exposición variado para optimizar el contraste con el objetivo de identificar el mayor número posible de estructuras, la misma disposición se usó para radiografiar tanto los palitos enteros como las láminas seccionadas a partir de ellos.

El objetivo fue verificar la posibilidad de detección de pequeñas concentraciones del trazador, o la localización de acúmulos grandes de metal que no pueden ser distinguidos visualmente en regiones sobre cierto grado de oscurecimiento.

Para la visualización en cortes de 1 mm de los especímenes, se cortaron longitudinalmente los especímenes con el fin de obtener una lámina central de 1 mm de espesor de la región no protegida por el barniz, obteniéndose otras dos láminas laterales como auxiliares para la evaluación de la lámina central.

Estas láminas fueron almacenadas en ependorf en alcohol absoluto por una semana y luego remplazado por glicerina, para que las láminas no se sequen y se vuelvan opacas, haciendo inviable la observación, con la glicerina se obtuvo un efecto de diafanización tanto de la dentina como del esmalte.

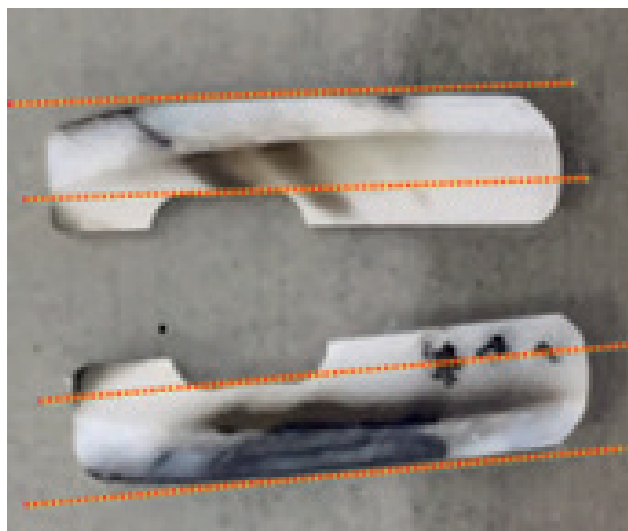
## Resultados

En la comparación de las imágenes de la figura 7 presenta resultados de infiltración en cortes longitudinales de especímenes sometidos a diferentes tipos de tensión o sin carga, parecería loable la hipótesis del bombeamiento o circulación forzada del fluido circundante durante la aplicación de tensión cíclica, bien sea tracción o compresión. Lamentablemente no fue posible conseguir la repetibilidad de estos resultados en número legítimo de especímenes. Esto se atribuye a fallas de estandarización e influencia de defectos imperceptibles en los especímenes durante los ensayos iniciales.

Se desconfía en que la penetración del trazador hubiese sucedido a través de microgrietas generadas durante la aplicación de cargas cíclicas, pues también se nota la penetración del trazador en el caso de haber aplicado cargas cíclicas de tracción antes del contacto con el trazador. En este caso las grietas también pueden abrirse o cerrarse durante el cargamento cíclico y forzar una circulación de fluidos, este efecto sería diferente al propuesto, ya que dependería de haber provocado un daño previo al tejido (grietas).

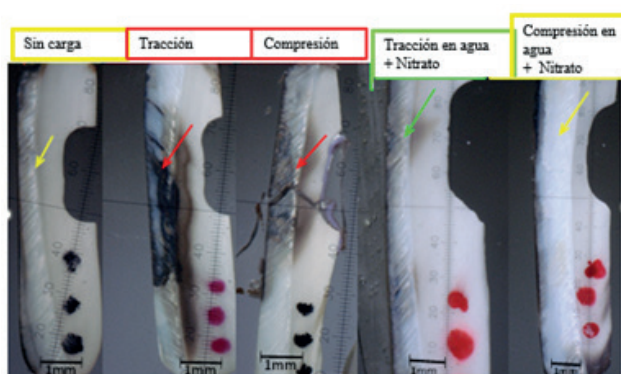
No se observó la penetración del trazador en especímenes sometidos a compresión cíclica y posteriormente al contacto con el trazador; lo que sería compatible con la hipótesis de la circulación forzada por regiones dañadas (grietas) debido a que el esmalte es mucho más resistente a la compresión que a la tracción, (30) el nivel de tensión alcanzado bajo compresión no sería suficiente para provocar daño. En consecuencia, la penetración del colorante ocurriría en menor grado, apenas por difusión a través del tejido sano.

Notamos además que los especímenes con longitud de 11,2 mm difícilmente conseguían tener piezas con la superficie vestibular plana y el espesor del esmalte constante, detalles dignos de tomar en cuenta para estandarizar.



**Figura 6.** Especímenes cortados con 11,2 mm de longitud.

Las líneas punteadas evidencian la dificultad en conseguir piezas sin una parte de región vestibular curvada.



**Figura 7.** Fotografías de las láminas longitudinales de la región central de los especímenes de los 5 grupos expuestos al nitrato en el estudio piloto.

Las flechas apuntan las regiones sin penetración de nitrato de plata, las rojas para las regiones de penetración elevada y la flecha verde a penetraciones leves. Los especímenes sometidos a compresión se fracturaron después de la prueba, durante la remoción del soporte en el que estaban encajados.

Después del estudio piloto se hicieron algunos cambios que permitieron estandarizar el proceso de obtención de los palitos, uno de ellos la disminución de 3 mm de longitud para obtener muestras completamente planas. Además del uso de algunos dispo-

sitivos que nos permitieran tenerlos completamente uniformizados.

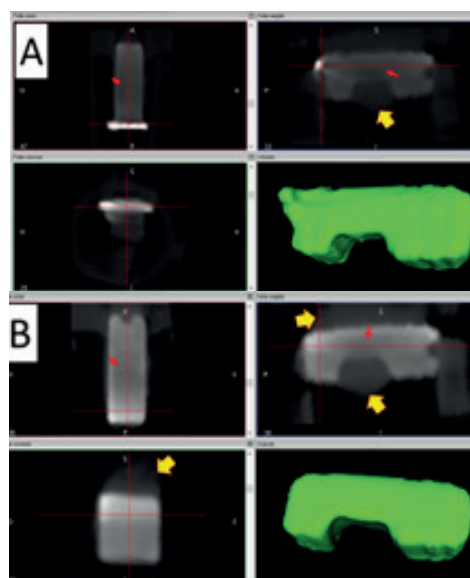
### Microtomografías

En las microtomografías iniciales se observó la presencia de artefactos, aun así, se pensó que podríamos comparar con las del final de la prueba. Sin embargo, se observó que la interacción de los elementos productores de los artefactos no era constante, tal vez por no haber controlado la posición de los especímenes durante la aplicación de RX. Consecuentemente, impidió cualquier comparación.

### Relación a los problemas

El rolete metálico produjo el efecto de rayos radiopacos, a su vuelta se produjo una región radiolúcida que se tornaba indefinible a la región de unión amelo dentinaria debajo del rolete, al retirar el rolete se eliminó el primer efecto y apenas disminuyó el segundo.

La región del esmalte era llenada por una masa radiopaca y, al mismo tiempo, parecía influir en el aumento de la radiolucidez de la dentina y del esmalte adyacente, solo en la dirección vestibular.

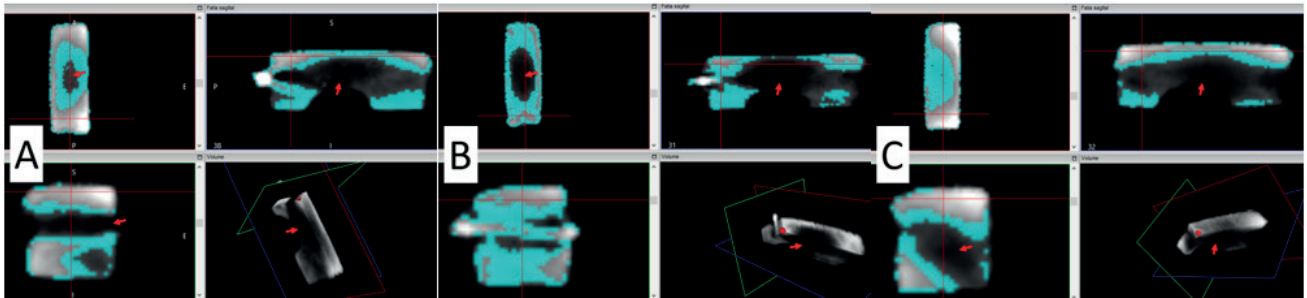


**Figura 8.** Imágenes tomográficas del espécimen # 14 grupo sin carga y sin contacto de nitrato, y superficie de volumen formada por los vóxeles con valor de unidades Hounsfield entre 800 y 4215



**A:** Antes de remover el rolete metálico y barniz, **B:** Después de removido el rolete metálico y el barniz. Las flechas rojas señalan a una región de artefacto con mayor radio lucidez y las flechas amarillas a regiones de artefacto con mayor radiopacidad que la que correspondería al aire de la región.

Las regiones del límite superficial del esmalte se aprecian anormalmente radiopacas, antes de la exposición al trazador, especialmente en alguno de los ángulos diedros y triedros, lo que no es posible justificar sin suponer la presencia de un artefacto, aún más después de ver el resultado de las radiografías que no indican ningún indicio que justifique esta apariencia.



**Figura 9.** Imágenes del espécimen #30 destacando en azul el conjunto de vóxels con valor de unidades Hounsfield entre 1500 y 1999.

Las flechas rojas apuntan a artefactos radiolúcidos. **A:** Inicial. **B:** Después de la aplicación de ciclos mecánicos y exposición al trazador, **C:** Después de la remoción del rolete y el barniz.

Se evidencia que no hubo una coherencia en el cálculo de valor de unidades Hounsfield entre las diversas tomas, ya que la región destacada en azul correspondiente a vóxels entre 1500 y 1999, varía mucho entre la microtomografía inicial, después de la prueba y después de la remoción del rolete y barniz. Esta secuencia además evidencia un efecto errático del artefacto que provoca radio lucidez entre el entalle y la superficie del esmalte.

En conclusión, la microtomografía no se presta para análisis de los resultados del experimento. Se podría corregir con tomas individuales de los palitos, eventualmente el cómputo del valor de las unidades Hounsfield estuvieran menos sujetas a errores, en caso de eliminar las interferencias de objetos adyacentes, lo cual volvería inviable el proyecto.

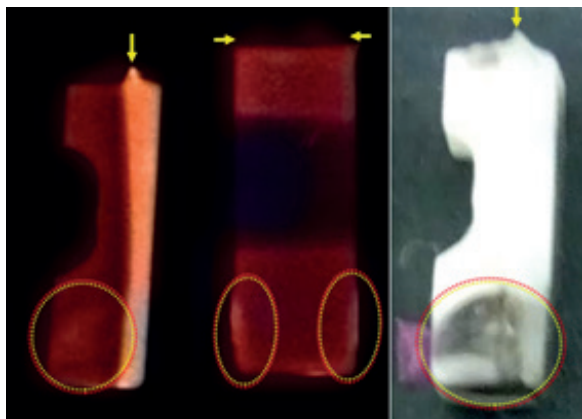
## Radiografías

### *Radiografías de los especímenes*

Los resultados de las radiografías demostraron la detección del trazador solo en concentraciones mayores, al comparar las imágenes de fotografías y radiografías, para notar áreas más extensas de marcación en las fotografías.

Los especímenes se radiografiaron en planos perpendiculares, se percibe la dificultad de detección de cantidades del trazador en la superficie de la dentina cuando esta superficie se encuentra paralela a la superficie del detector de RX. Estas regiones quedan mucho más evidentes si la superficie estuviera perpendicular al detector.

Tampoco este método permitió evidenciar la penetración diferenciada del trazador en regiones de esmalte sometidas a tensión cíclica durante el ensayo. Por otro lado, la mayor radiopacidad del esmalte exigiría una cantidad mayor de trazador que la dentina para ser detectada en las radiografías mesiodistales. Las tomas vestibulo linguales del entalle dificultan la interpretación.

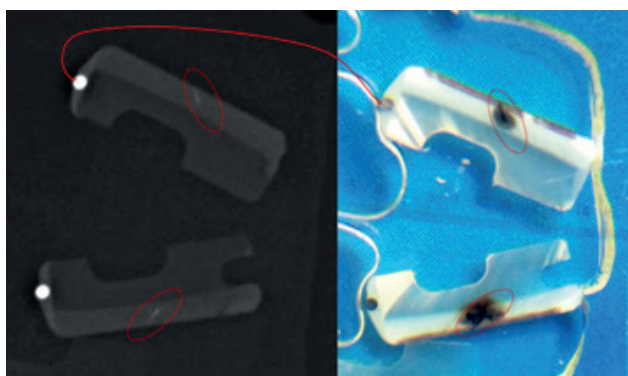


**Figura 10.** Radiografías coloreadas automáticamente y fotografía del palito #33, las flechas apuntan a un residuo de resina que ayudó a mantener el rolete en posición. Las elipses circundan manchas del trazador.

También llama la atención una espesa camada radiolúcida en la unión amelodentaria.

### Radiografías de láminas de 1 mm de espesor

Las radiografías de láminas de 1 mm obtenidas de los especímenes ayudan a disminuir alguno de los problemas de sobreposición del trazador en la imagen en las diversas profundidades, sin embargo, permanece el problema principal, sólo parece posible detectar los mayores acúmulos del trazador.



**Figura 11.** Láminas de 1 mm radiografiadas y fotografiadas en lupa.

Ejemplar sometido a tracción. Los marcajes establecen correspondencias entre los dos tipos de imágenes.

### Evaluación de los cortes con lupa

Para evaluar los efectos de tratamiento en las imágenes es necesario verificar la variedad de patrones encontrado en los ejemplares de grupos controles.

En el grupo sin exposición a nitrato, el dígito 1 es el primer número de identificación. Observamos que los ejemplares iluminados por reflexión muestran tonos grises variados no uniformes.

En el esmalte de todos ellos se notan líneas inclinadas que recorren todo su espesor y corresponden al camino de los prismas.

La dentina presenta normalmente una región más oscura inmediatamente debajo del esmalte, cuyo espesor a veces es uniforme, en los especímenes (10 y 19) pudiendo ser irregular y puede llegar a ocupar prácticamente toda la dentina, como en los especímenes (12 y 17).

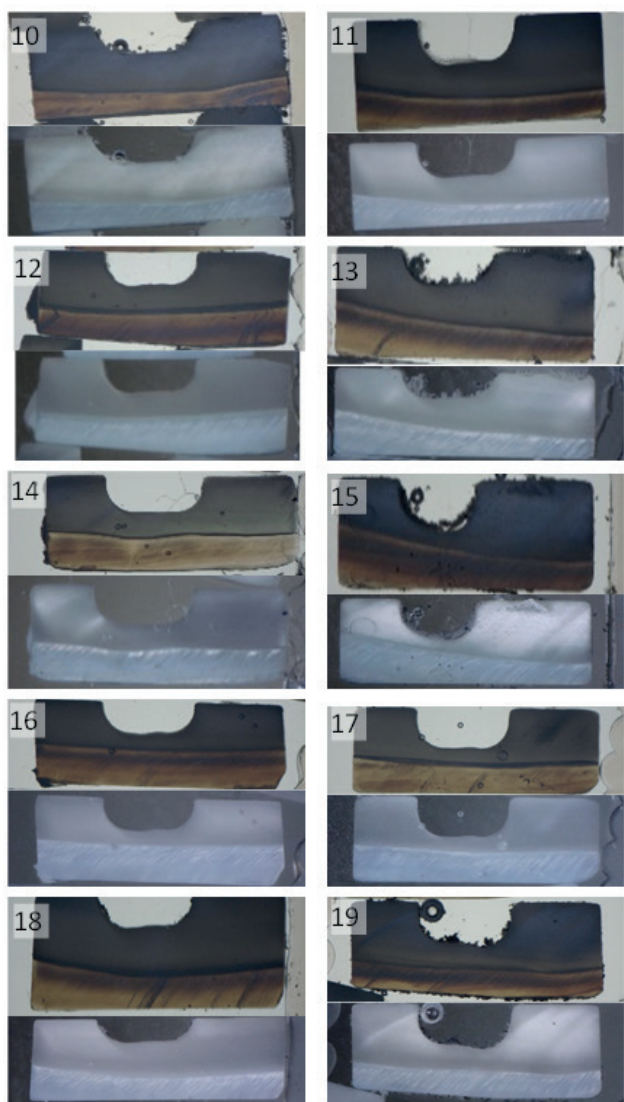
En algunas ocasiones la dentina puede mostrar un camino inclinado de los túbulos dentinarios como en los especímenes (10, 14, 15, 19) y otros no muestran este patrón como en (12 y 18).

En los ejemplares transiluminados el esmalte se presenta de color acastañado, con mucha variación entre ejemplares.

Sólo los ejemplares 14 y 17 presentan un color uniforme del esmalte, marcado de pequeñas líneas estrechas y pequeñas manchas.

En la mayor parte de los ejemplares el esmalte próximo a la dentina presenta una estrecha franja clara seguida por otra oscura, que se identifica como la zona de decusación de los prismas.

Algunos ejemplares presentan betas oscuras bien definidas acompañando a la inclinación de los prismas. Son laminillas de regiones hipo mineralizadas, que se extienden en la unión amelodentaria hasta la superficie externa del esmalte, estas estructuras, como la 12, 13 y 18, no son evidentes en la iluminación por reflexión.



**Figura 12.** Fotografías de los cortes centrales del grupo 1, cada número identifica el ejemplar fotografiado bajo luz reflejada y transiluminada.

En el grupo control expuesto a nitrato sin exposición a tensión ejemplares identificados como 2 como primer número, aparecen diferencias evidentes al grupo 1.

Los diferentes patrones de tinción son detectables tanto en reflexión, como en transiluminación.

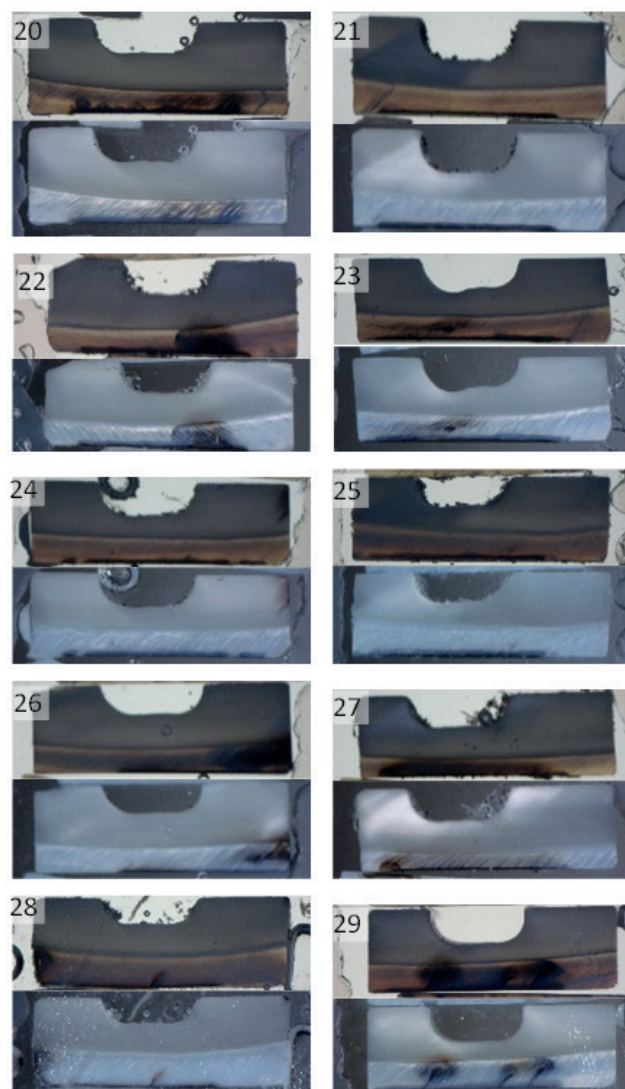
Como mínimo aparece una banda delgada negruzca en la superficie del esmalte expuesto de todos los ejemplares. A la transiluminación esta franja aparece también opaca.

En dos ejemplares (22 y 27) aparece una tinción dispersa, más profunda, menos in-

tensa que el anterior y uniforme del esmalte. Puede alcanzar a extenderse a través de la dentina marcando la región de la unión de una manera más marcada.

El ejemplar 28 presenta una grieta compatible con infiltración (que inicia en la superficie y termina en la zona de decusación) se limita en la hendidura de la grieta. En el ejemplar 29 se distingue además de la infiltración en las tres fisuras, una dispersión del trazador radialmente en todas las direcciones a partir del fondo de la grieta.

Dos ejemplares (20 y 23) parecen tener facilidad de esparcimiento del trazador en algunas regiones de la zona de decusación.



**Figura 13.** Fotografías de las láminas centrales del grupo 2, cada número identifica el ejemplar fotografiado bajo luz reflejada y transiluminada.



En los grupos controles expuestos a tracción y a compresión antes que al nitrato (grupos 5 y 6) observamos los mismos patrones de penetración que en el grupo 2, lo que quiere decir que la tensión no debe haber provocado daños adicionales por los cuales el trazador pueda penetrar pasivamente. El ejemplar 56 presenta una laminilla que parece constituirse en una vía de penetración facilitada para el trazador, como sucedió en la laminilla del ejemplar 64. Sin embargo, en la laminilla del 69 es lo contrario (control sometido a compresión previa) en que no se observa la marcación del trazador. Como vemos, las laminillas no tenían una frecuencia en su ocurrencia. Por tanto, no podemos afirmar que siempre faciliten la penetración del trazador, como se esperaba por la hipomineralización.

Los ejemplares 50, 54, 66 y 67 presentan una tinción en la dentina aparentando que el trazador habría entrado por el lugar de la falla de unión del barniz, ya sea por la región de la base o por la del rolete.

Considerando todo lo dicho al respecto de los grupos controles, al examen de los grupos sometidos simultáneamente al trazador y ciclos mecánicos (grupos 3 y 4), notamos que los patrones de penetración del trazador son semejantes a los de los controles en los siguientes aspectos:

Todos tienen una capa superficial muy ennegrecida casi del mismo espesor.

Algunos ejemplares (30, 34, 36, 37, 39, 40, 44, 45 y 49) la marcación se limitó a una línea oscura y opaca.

En algunos ejemplares la línea negra y opaca incrementan regiones de penetración más profunda, difusa y que producen una tinción más suave (31, 32, 43, 46 y 47).

Existen ejemplares en que la penetración parece haber ocurrido en grietas, densamente marcadas, a partir de las cuales aparece una tinción difusa (38 y 40).

Observamos casos de laminillas, una infiltrada (35) y otra aparentemente sin teñir (44).

En consecuencia, la interpretación para la propuesta de este estudio es dudosa, llama la atención la frecuencia de casos en que ocurrió infiltración por fallas de aislamiento del barniz, tal vez sea porque el sellado falló y la aplicación de carga, las deformaciones cíclicas de la base o del rolete faciliten la entrada del trazador por bombeamiento.

El efecto de circulación forzada del fluido circundante por acción de la deformación del esmalte no se confirmó dentro de los parámetros de este estudio.

Queda claro que el trazador es capaz de penetrar y teñir las regiones de esmalte, a pesar de ser un tejido compacto y mineralizado, y no haber una diferencia clara en la penetración entre los diferentes grupos.

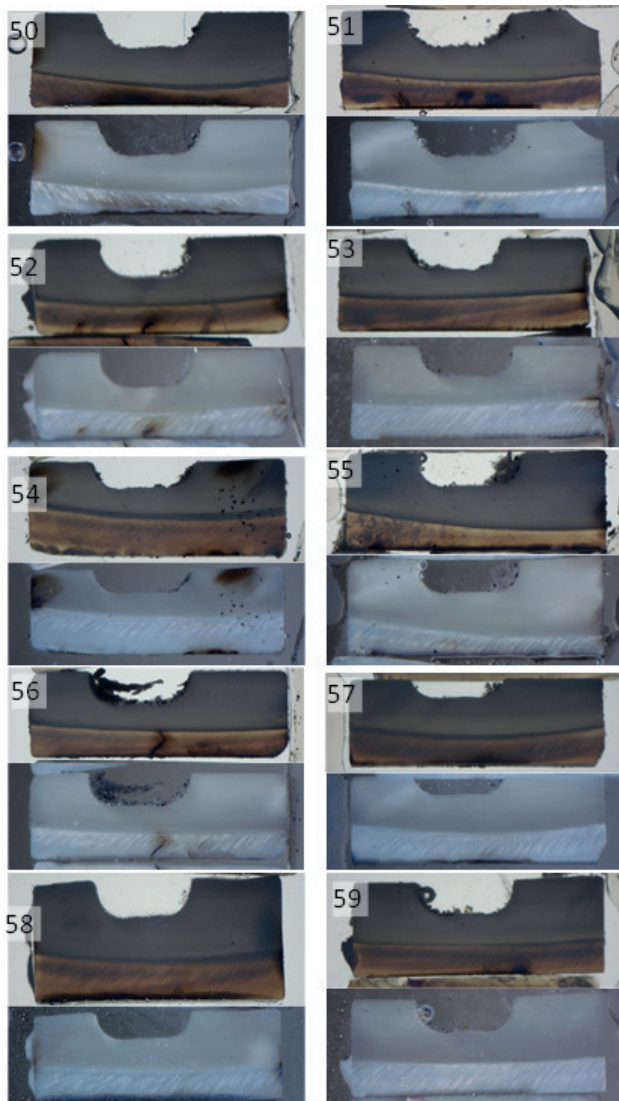
Esto quiere decir que:

La penetración sólo ocurrió por difusión pasiva, y no se diferenció apreciablemente en ninguno de los grupos, que parecen equivalentes al grupo 2, en el cual apenas pudo haber ocurrido una penetración por simple difusión. La hipótesis de bombeamiento o circulación forzada no se confirmó dentro de los parámetros de este estudio. Puede ser por varios motivos y limitaciones, que la hipótesis no es correcta, que los parámetros del ensayo no fueron correctamente fijados. O que el valor de la carga cíclica fue muy pequeño, sería preciso establecer nuevamente este parámetro, para garantizar que haya alcanzado un nivel de tensión más extremo.

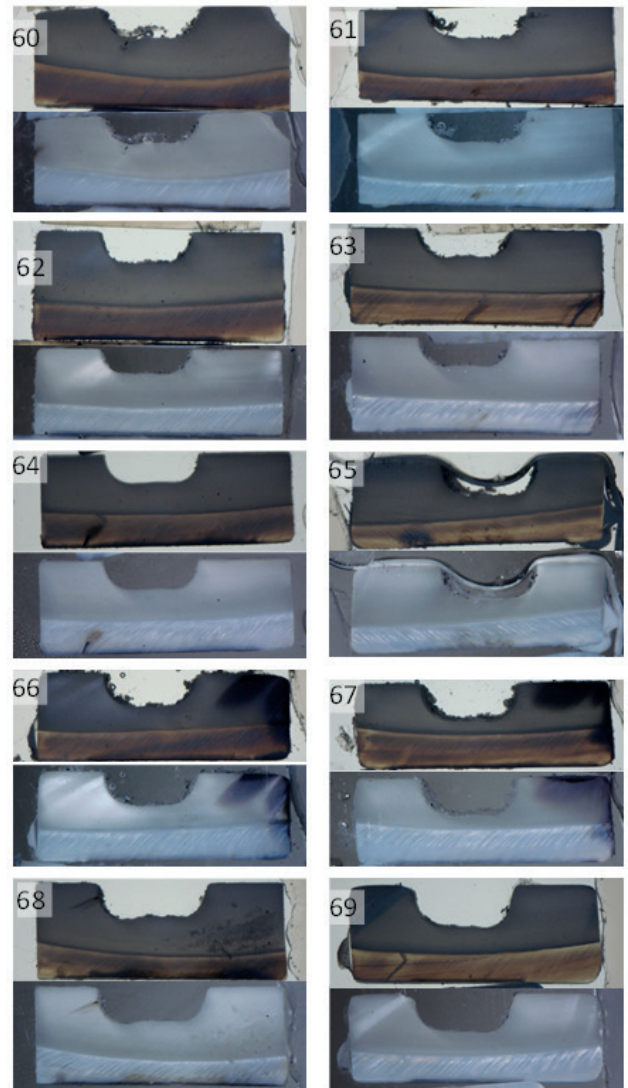
En el ensayo piloto los ejemplares comenzaron teniendo medidas de 1,2 mm de ancho en el cuello, siendo 1,0 mm de esmalte, algunos ejemplares se fracturaron durante la aplicación de carga que fue atribuida a la baja resistencia del esmalte y para resolver se aumentó el ancho a 2 mm de esmalte y 1 mm de dentina, como la carga se mantuvo se redujo la tensión.



Otro elemento que lleva a pensar que la tensión fue mucho mayor en el piloto, es el hecho de que por haber utilizado una longitud de 11 mm en los especímenes y posteriormente como no pudimos conseguir dientes de longitud suficiente fuimos forzados a aceptar especímenes que todavía conservaban un cierto grado de curvatura. Algunos de esos ejemplares pueden haber manifestado el efecto de bombeamiento en condiciones aparentemente semejantes al del experimento final, sin embargo, a la mayor longitud del palito y a la curvatura, las tensiones pueden haber sido mayores en el estudio piloto. Parece razonable pensar que los ciclos hayan sido insuficientes.



**Figura 14.** Fotografías de las laminillas del grupo 5. Cada número identifica el ejemplar, fotografiado bajo luz reflejada y transiluminada.



**Figura 15.** Fotografías de las laminillas centrales del grupo 6. Cada número identifica el ejemplar fotografiado bajo luz reflejada y transiluminada.

Otra posibilidad en cuanto a la fijación de los parámetros del experimento sería trabajar con una configuración de prueba mecánica más parecida con la usada por el investigador que describió el comportamiento del esmalte como esponja rígida. En este caso aparecerían nuevos problemas como: el área de evaluación debería cambiar a la región próxima de la esfera, que fue también la región de mayor deformación evaluada por el investigador, allí al existir cierto grado de fricción, un eventual bombeamiento encontrado no podría ser atribuido exclusivamente a deformación del esmalte. Además, no sería posible hacer

una distinción entre tensiones de tracción o compresión. Las tensiones previstas serán complejas y difícilmente comparables con las normalmente desarrolladas en cervical.

## Discusión

---

Fox describió al esmalte como una esponja rígida, a través de experimento *in vitro* en premolares humanos, íntegros y sin presencia de caries, afirmó que la capacidad de absorción de energía a través de la dureza mecánica del esmalte dependía de la expulsión de líquido a través del esmalte que actuaría como una esponja rígida. Adicionando con la teoría del flujo a través de canales estrechos, por ello hizo modificaciones para permitir la influencia de dobles capas eléctricas aplicadas para demostrar como la dureza del esmalte se puede influenciar y controlar químicamente<sup>31</sup>, se considera que los iones fluoruro dan un aumento de la tenacidad del esmalte, en este sentido, el presente estudio pretendió usar un trazador como el nitrato de plata por el tamaño de su molécula, si este además fuera un ácido, esto debilitaría la dureza del esmalte permitiendo su penetración, así ante la presencia de fuerzas mecánicas o ciclado mecánico, estos líquido circundantes penetrarían o saldrían produciendo la formación de las lesiones cervicales no cariosas, tanto el estudio de Fox en 1980 como el presente no son concluyentes.

En un reciente estudio, se expusieron cuerpos de prueba de esmalte bovino simultáneamente a tensión y medio ácido, en los especímenes sometidos a tensión de tracción se aumentó de la profundidad la desmineralización del esmalte; en los sometidos a compresión hubo una tendencia a protección frente a acción de ácido. Esto podría ser explicado porque la tensión de tracción aumenta la permeabilidad del ácido mediante la ampliación de los canales por donde circula el líquido y lo contrario acontece en la tensión de compresión<sup>22</sup>, por lo que las tensiones cíclicas tanto en tracción como en compresión tendrían un efec-

to de bombeamiento o circulación forzada y mayor desmineralización en ambos casos, esto motivó a pensar en la hipótesis planteada en este estudio, sin resultados que nos permitan aceptarla.

Las limitaciones en este estudio fueron las dificultades en ser estandarizadas completamente, la presencia de muchos pasos que requerían de una perfección, así como variaciones naturales en los ejemplares, presencia de grietas previas, espesura irregular del esmalte, propiedades mecánicas variables del tejido.

Sería conveniente conseguir acertar mejor los detalles de la técnica de producción del entalle para evitar variaciones.

## Conclusiones

---

Existen variaciones del patrón de coloración natural del esmalte de incisivos bovinos, observadas en cortes de 1 mm de espesor, especialmente al ser transiluminados.

Todos los ejemplares expuestos al trazador, independientemente del grupo experimental, presentan alguna infiltración, por lo menos en una camada fina y uniforme de la superficie expuesta.

Además de la fina camada marcada, existe variación de patrones de penetración del trazador en el esmalte dentro de los ejemplares, así mismo entre los que recibieron igual tratamiento experimental, o debido a variaciones inevitables en el historial de cada diente. Esto a pesar de ser un inconveniente para identificar un posible efecto de bombeamiento podría ser identificado como un indicador de que pueden existir diferencias en la velocidad y profundidad de penetración en el esmalte de otras moléculas, como por ejemplo las de los ácidos.

Un colorante trazador a base de nitrato de plata penetró en el esmalte de los ejemplares de incisivos bovinos sin diferencias claras de patrón de penetración entre los diferentes grupos.

## Financiamiento

La financiación de este estudio fue otorgada por la Universidad Central del Ecuador.

## Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflictos de interés

## Contribución de los autores

Conceptualización; metodología; software; validación; análisis formal; recursos; curación de datos; redacción (borrador y original): Rafael Yagüe Ballester; Myriam Katherine Zurita Solís.

## Bibliografía

1. **Garone W, Silva VAe, Garone FP.** Lesões não cariosas: o novo desafio da odontologia 2008. 274 p p.
2. **Lussi A, Hellwig E, Zero D, Jaeggi T.** Erosive tooth wear: diagnosis, risk factors and prevention. *Am J Dent.* 2006;19(6):319-25.
3. **Alvarado A, SMÁM.** Análisis del concepto de envejecimiento. *Gerokomos Barcelona.* 2014;25:57-62.
4. **Miller WD.** Experiments and Observations on the Wasting of Tooth Tissue Variously designated as Errosion, Abrasion, Chemical Abrasion, Denudation, Etc. *Dental Cosmos.* 1907;49(1):1-23.
5. **Bernhardt O, Gesch D, Schwahn C, Mack F, Meyer G, John U, et al.** Epidemiological evaluation of the multifactorial aetiology of abfractions. *J Oral Rehabil.* 2006;33(1):17-25.
6. **McCoy G.** The etiology of gingival erosion. *J Oral Implantol.* 1982;10(3):361-2.
7. **Lee WC, Eakle WS.** Possible role of tensile stress in the etiology of cervical erosive lesions of teeth. *The Journal of prosthetic dentistry.* 1984;52(3):374-80.
8. **Xhonga FA.** Bruxism an effect on the teeth. *J Oral Rehabil.* 1977;4:65-76.
9. **Sadaf D, Ahmad Z.** Role of Brushing and Occlusal Forces in Non-Carious Cervical Lesions (NCCL). *International journal of biomedical science: IJBS.* 2014;10(4):265-8.
10. **Uhlen MM, Tveit AB, Stenhagen KR, Mulic A.** Self-induced vomiting and dental erosion--a clinical study. *BMC oral health.* 2014;14:92.
11. **Carvalho TS, Colon P, Ganss C, Huysmans MC, Lussi A, Schlueter N, et al.** Consensus report of the European Federation of Conservative Dentistry: erosive tooth wear--diagnosis and management. *Clin Oral Investig.* 2015;19(7):1557-61.
12. **Wood I, Jawad Z, Paisley C, Brunton P.** Non-carious cervical tooth surface loss: a literature review. *J Dent.* 2008;36(10):759-66.
13. **Penoni DC, Gomes Miranda M, Sader F, Vettore MV, Leão ATT.** Factors Associated with Noncarious Cervical Lesions in Different Age Ranges: A Cross-sectional Study. *Eur J Dent.* 2021;15(2):325-31.
14. **Braem M, Lambrechts P, Vanherle G.** Stress-induced cervical lesions. *The Journal of prosthetic dentistry.* 1992;67(5):718-22.
15. **Grippio JO, Simring M, Coleman TA.** Abfraction, Abrasion, Biocorrosion, and the Enigma of Non-carious Cervical Lesions: A 20-Year Perspective. *Journal of Esthetic & Restorative Dentistry.* 2012;24(1):10-23.
16. **Brandini DA, de Sousa ALB, Trevisan CL, Pineilli LAP, Do Couto Santos SC, Pedrini D, et al.** Noncarious Cervical Lesions and Their Association With Toothbrushing Practices: In Vivo Evaluation. *Operative Dentistry.* 2011;36(6):581-9.
17. **Brandini DA, Trevisan CL, Panzarini SR, Pedrini D.** Clinical evaluation of the association between noncarious cervical lesions and occlusal forces. *The Journal of prosthetic dentistry.* 2012;108(5):298-303.
18. **Baig M, Cook RB, Pratten J, Wood R.** Evolution of wear on enamel caused by tooth brushing with abrasive toothpaste slurries. *Wear.* 2021;476:203580.
19. **ADA.** Dental erosion: Department of Scientific Information, Evidence Synthesis & Translation Research, ADA Science & Research Institute, LLC.; 2021 [Available from: <https://www.ada.org/resources/research/science-and-research-institute/oral-health-topics/dental-erosion>].
20. **Broderick R, Fuchs K-H, Breithaupt W, Varga G, Schulz T, Babic B, et al.** Clinical Presentation of Gastroesophageal Reflux Disease: A Prospective Study on Symptom Diversity and Modification of Questionnaire Application. *Digestive Diseases.* 2020;38(3):188-95.



21. **Nascimento MM, Dilbone DA, Pereira PN, Duarte WR, Geraldeli S, Delgado AJ.** Abfraction lesions: etiology, diagnosis, and treatment options. *Clin Cosmet Investig Dent.* 2016;8:79-87.
22. **Leal NMS, Silva JL, Benigno MIM, Bemerguy EA, Meira JBC, Ballester RY.** How mechanical stresses modulate enamel demineralization in non-cariou cervical lesions? *J Mech Behav Biomed Mater.* 2017;66:50-7.
23. **Zurita K, Ballester R.** Influência do fator mecânico na formação de lesões cervicais não cariosas [Tese de Doutorado]: Universidade de São Paulo - Faculdade de Odontologia; 2018.
24. **Rodríguez de Freitas A, F; da Silva, A; Sales Peres, A; Calvalho Sales Peres S.** Assessment of the effects of decontamination and storage methods on the structural integrity of human enamel. *Revista de Odontología da UNESP.* 2016.
25. **Lee HE, Lin CL, Wang CH, Cheng CH, Chang CH.** Stresses at the cervical lesion of maxillary premolar--a finite element investigation. *J Dent.* 2002;30(7-8):283-90.
26. **Rees JS.** The effect of variation in occlusal loading on the development of abfraction lesions: a finite element study. *J Oral Rehabil.* 2002;29(2):188-93.
27. **Jakupovi S, Ani I, Ajanovi M, Kora S, Konjhodži A, Džankov A, et al.** Biomechanics of cervical tooth region and noncariou cervical lesions of different morphology; three-dimensional finite element analysis. *Eur J Dent.* 2016;10(3):413-8.
28. **Buehler.** Isomet 5000 cutter programming instructions 2016 [Available from: <https://www.buehler.com/products/sectioning/precision-cutters/isomet-high-speed-pro/>].
29. **Aldrich S.** Nitrato de Plata: Merck KGaA, Darmstadt, Alemania y/o sus filiales; 2023 [Available from: [igmaaldrich.com/EC/es/search/nitrato-de-plata?focus=documents&page=1&perpage=30&sort=relevance&term=nitrato%20de%20plata&type=site\\_content](https://www.igmaaldrich.com/EC/es/search/nitrato-de-plata?focus=documents&page=1&perpage=30&sort=relevance&term=nitrato%20de%20plata&type=site_content)].
30. **Leal N.** Estudo in vitro da influência da tensão na formação de lesões cervicais não cariosas. São Paulo, SP: Universidade de São Paulo; 2013.
31. **Fox P.** The toughness of tooth enamel. a natural fibrous composite. Nottingham University, Nottingham; 1980

**Cómo citar:** Yagüe Ballester R; Zurita Solís MK. Influencia del factor mecánico en la formación de lesiones cervicales no cariosas. *MetroCiencia* [Internet]. 29 de diciembre de 2023; 31(4):35-50. Disponible en: <https://doi.org/10.47464/MetroCiencia/vol31/4/2023/35-50>