




El esmalte dental bovino como modelo experimental para la investigación en odontología. Una revisión de la literatura

Bovine dental enamel as experimental model for research in dentistry. A literature review

Presentado: 17 de agosto de 2020

Aceptado: 14 de enero de 2021

Edgardo Daniel Acevedo^a Alina Noelia Peláez^b Juan José Christiani^c^aOficina de Fundamentos de la Ortodoncia, edificio Sector Clínicas;^bOficina de Metodología de la Investigación, edificio Adolfo Domingo Torres;^cOficina de Preclínica de Prótesis, edificio Adolfo Domingo Torres;

Facultad de Odontología, Universidad Nacional del Nordeste, Corrientes, Argentina

Resumen

El propósito de esta revisión bibliográfica es aportar información actualizada acerca de las características de los dientes bovinos en relación con su uso como sustitutos de dientes humanos en trabajos de investigación. De acuerdo con la infor-

mación registrada, los dientes bovinos serían excelentes sustitutos de la dentición humana para la realización de ensayos de laboratorio con el esmalte dental como modelo experimental.

Palabras clave: Diente, esmalte bovino, esmalte dental.

Abstract

The purpose of this bibliographic review is to provide updated information about the characteristics of bovine teeth to be used as substitutes for human teeth in dental research. According to the information recorded, bovine teeth appear to be

excellent substitutes for human dentition for conducting laboratory tests, using dental enamel as an experimental model.

Key words: Bovine, dental enamel, tooth.

Introducción

En el ser humano, el esmalte dental cubre a manera de casquete la dentina en su porción coronaria, ofreciendo protección a la dentina y la pulpa subyacentes. El esmalte es el tejido más duro del organismo debido a que, estructuralmente, está constituido por millones de prismas muy mineralizados que lo recorren en todo su espesor, desde el límite amelodentinario hasta la superficie externa, que se encuentra en contacto con el medio oral. Su dureza se debe a que no contiene colágeno, posee un 95% de matriz inorgánica y un 0,36-2% de matriz orgánica, la cual es de naturaleza proteica con agregados de polisacáridos.¹ El componente inorgánico está representado por cristales de hidroxiapatita (HPA), que contie-

nen fosfato de calcio y grupos hidroxilo ($\text{Ca}_{10} [\text{PO}_4]_6 [\text{OH}]_2$). También pueden presentar sustituciones de iones como magnesio, sodio, cloro, potasio, carbonato, flúor y otros que no se encuentran en la HPA ideal.² Si bien el tejido adamantino se asemeja a otros tejidos mineralizados como el hueso, la dentina y el cemento, existen ciertas características que lo hacen único. Los cristales de HPA se hallan densamente empaquetados y son de mayor tamaño que los de otros tejidos mineralizados.³

La unidad estructural del esmalte es el prisma, constituido por cristales de HPA. El estudio microscópico de estas unidades del esmalte suele ser difícil debido a la interferencia óptica que produce su

composición totalmente cristalina y también por la diferente orientación de los cristales en el seno de los prismas. Este conjunto de unidad estructural forma el esmalte prismático, que constituye la mayor parte de la matriz extracelular mineralizada. Las unidades estructurales secundarias del esmalte son aquellas variaciones que se originan a partir de las unidades estructurales primarias como resultado de diferentes factores, tales como diversos grados de mineralización, cambios en el recorrido de los prismas, interacción entre el esmalte y la dentina o el contacto de la superficie con el medioambiente.⁴

Cuando se seccionan perpendicularmente a su eje longitudinal, los cristales se presentan como hexágonos alargados; en cambio, cuando la sección es paralela al eje longitudinal, su forma es rectangular. Los cristales de apatita están constituidos por la agregación de células o celdas unitarias, que son las unidades básicas de asociación iónica de las sales minerales en el seno del cristal.⁵ El agua es el tercer componente químico en el esmalte. Se localiza en la periferia del cristal y constituye la denominada capa de agua absorbida o de hidratación. Por debajo y hacia el interior del cristal, se ubica la capa de iones y compuestos absorbidos. El porcentaje de agua en el esmalte disminuye progresivamente con la edad de la pieza dentaria.⁶

Por naturaleza, el esmalte dental del ser humano comienza su proceso de amelogenénesis desde la sexta semana de vida intrauterina. Este proceso consiste en la conformación de una matriz orgánica sobre la cual luego se produce la precipitación de sales minerales. Clásicamente, el fenómeno de embriogénesis dental se describe de acuerdo a un esquema de cuatro etapas sucesivas: yema o brote, casquete, campana y folículo dentario. Tras la diferenciación de las yemas epiteliales (las cuales se forman por la profundización y la proliferación del epitelio de la lámina dental en el mesénquima subyacente y en el lugar que ocuparán los futuros órganos dentales),⁷ se constituyen los órganos en casquete y campana, y finalmente ocurre la morfogénesis de los folículos, en el seno de los cuales se elaboran los tejidos dentarios. Es importante destacar que cuando la diferenciación de los tejidos del germen alcanza su nivel máximo, se inicia la formación de los tejidos mineralizados. Inicialmente, lo hace en las zonas de cúspides y bordes incisales. Antes de la mineralización y luego de la formación de las primeras capas de dentina, los ameloblastos y las células del estrato intermedio elaboran la matriz orgánica del esmalte, secretando los cristales de HPA.⁸ En este momento del desarrollo intervienen tres proteínas esen-

ciales: la amelogenina (90%), que regula el inicio y el crecimiento de los cristales; la enamulina (5%), que participa en la enucleación y la extensión del cristal del esmalte; y la ameloblastina (5%), que regula la diferenciación de los ameloblastos. Estos últimos son las células secretoras del tejido adamantino, que luego de completar la formación del esmalte desaparecen durante la erupción dentaria mediante un mecanismo de apoptosis. Por esa razón, el esmalte maduro es una sustancia extracelular altamente mineralizada, acelular, sin vasos ni inervación.⁹

La dureza del esmalte está dada por la apatita, quinto mineral en la escala de Mohs¹⁰ (de 1 a 10), lo que le confiere una gran resistencia superficial a ser rayado y a sufrir deformaciones bajo presiones externas. Por otra parte, su elasticidad es escasa y depende de la cantidad de agua y de sustancia orgánica que posee. Se trata de un tejido frágil con tendencia a las macro y microfracturas cuando carece de apoyo dentinario elástico.

El esmalte es translúcido, de modo que su color depende de las estructuras subyacentes (en especial, de la dentina) y va de blanco amarillento a blanco grisáceo. Su transparencia puede atribuirse a variaciones en los grados de calcificación y homogeneidad; a mayor mineralización, mayor translucidez. Esta transparencia es muy importante durante el examen clínico, ya que permite estudiar las áreas desmineralizadas por caries mediante fibra óptica. El esmalte difunde la luz blanca según el grado de mineralización.¹¹ La permeabilidad es extremadamente escasa, pero el esmalte puede actuar como una membrana semipermeable, permitiendo la difusión de agua y de algunos iones presentes en el medio oral. Finalmente, el esmalte es muy radiopaco a causa de su alto grado de mineralización.¹²

El uso experimental de dientes extraídos de humanos o animales requiere de la aprobación de protocolos por parte de un comité de ética, generalmente perteneciente a la institución en la que se realiza el ensayo. A causa de la dificultad para obtener un número suficiente de piezas dentarias humanas para la experimentación, se ha propuesto la utilización de dientes de otras especies como sustratos alternativos de la dentición humana. En ese sentido, se han utilizado dientes de bovinos, porcinos, primates, ovinos o equinos.¹³ Sea cual fuera el origen, el criterio principal para la selección y el uso de dientes de animales es que sus características estructurales, fisicoquímicas y biológicas sean similares a las de los dientes de humanos.¹⁴ Las investigaciones anatómicas e histológicas realizadas hasta el momento revelan que

todos los dientes de mamíferos son esencialmente similares. Como sustituto de los dientes humanos, los incisivos permanentes bovinos se han empleado en pruebas de adhesión, de microfiltración, en estudios de oligoelementos y en procedimientos dirigidos a identificar sus características morfológicas.¹⁵ A pesar de que aún existe cierta discrepancia acerca de la confiabilidad de los datos obtenidos mediante el uso de dientes de animales y de la posible extrapolación de los resultados, los comités de bioética estimulan cada vez más el empleo de dientes de animales.

El objetivo de la presente revisión es aportar información actualizada acerca de las características y las ventajas del uso de dientes bovinos en la experimentación de laboratorio.

Desarrollo

Estructura y propiedades del esmalte bovino

Ortiz Ruiz *et al.*¹⁶ evaluaron las diferencias entre las nanopartículas cristalinas del esmalte y de la dentina de dientes humanos, bovinos, porcinos y ovinos. Para ello, tomaron muestras de ambos tejidos de incisivos y molares de cada especie y las trituraron hasta obtener un conjunto de nanopartículas de aproximadamente 100 μm de espesor. El análisis con difracción de rayos X (DRX), espectroscopía infrarroja transformada de Fourier (FTIR) y calorimetría diferencial de barrido (DSC) reveló que existen diferencias en el contenido orgánico e inorgánico del esmalte, debido a que el contenido de carbono influye en el tamaño de los cristales de HPA, y el tamaño del cristal se encuentra en íntima relación con el comportamiento del tejido. El esmalte humano posee cristales de mayor tamaño (más anchos y de menos altura) en comparación con el de las diferentes especies animales (más delgados y altos), pero el esmalte bovino es el que más se asemeja al del ser humano. Los autores concluyen que la dureza, el módulo elástico, la tasa de desgaste y la resistencia a la fractura del esmalte humano dependen en gran medida de las características de su microestructura, especialmente la forma, la disposición y la orientación de las varillas adamantinas.

Arango-Santander *et al.*¹⁵ compararon los valores de microdureza del esmalte humano y bovino y no observaron diferencias estadísticamente significativas entre ellos. El valor promedio de la microdureza del esmalte bovino fue de $3,27 \pm 0,2$ GPa. Este valor fue ligeramente más bajo que el registrado para el esmalte humano, tanto masculino como femenino ($3,53 \pm 0,16$ GPa y $3,57 \pm 0,11$ GPa, respectivamente).

Con estos resultados los autores sugieren que, desde un punto de vista estructural y mecánico, el esmalte bovino podría ser una alternativa interesante de modelo experimental para ensayos *ex vivo* de materiales dentales o estudios de resistencia al cizallamiento, tanto para sustratos de esmalte como de dentina. Sin embargo, también advierten que las pruebas de adhesión y resistencia a la tracción realizadas hasta el momento podrían no ser del todo confiables, ya que los hallazgos se basan en estudios de baja calidad (heterogeneidad considerable), por lo que deberían ser interpretados con cautela.¹⁷ Hua *et al.*¹⁸ demostraron, mediante pruebas nanomecánicas (NST), que la deshidratación del esmalte se asocia frecuentemente con el aumento de sus propiedades mecánicas. Estos autores indicaron que, luego de la deshidratación del esmalte, el coeficiente de fricción disminuye al aumentar la dureza, lo que implicaría que el esmalte deshidratado posee mejores propiedades mecánicas que el esmalte hidratado.

Ensayos de erosión y abrasión

Cuando las muestras de esmalte se preparan para estudios de erosión y abrasión, es posible presumir que tendrán características de superficie similares. Field *et al.*¹⁹ intentaron probar la hipótesis nula de que no hay diferencias significativas entre las características de superficie de referencia correspondientes a muestras de esmalte humano, bovino y ovino preparadas con el mismo método. Concluyeron que, al inicio del ensayo, la rugosidad y la microdureza de los esmaltes humano, bovino y ovino fueron significativamente diferentes; el esmalte ovino era el más áspero, mientras que el bovino era más liso y duro. En consecuencia, rechazaron la hipótesis nula, reconociendo que las mismas técnicas de preparación no dan lugar necesariamente a rugosidades basales consistentes o características de superficie en los distintos tipos de tejidos. Los autores concluyeron que, para los estudios de superficie, las muestras deben ser pulidas de forma estandarizada, a fin de garantizar que los datos de referencia sean comparables.

Tanto en el esmalte bovino como en el humano, el agrietamiento ocurre fácilmente en una microestructura menos compactada y está influido por la orientación de las nanofibras de los cristales de HPA. La ruta preferida para la propagación de las grietas es a lo largo de la interfaz entre las varillas y el esmalte intervarillas. Los estudios acerca de la correlación entre el hábito de alimentación de mamíferos y la microestructura y el rendimiento mecánico del esmalte son escasos.³ En los mamíferos, los hábitos de alimenta-

ción ocasionan diferentes condiciones masticatorias. En los animales herbívoros, los dientes se usan para fragmentar diariamente plantas duras y fibrosas durante largos tiempos de masticación, mientras que en los carnívoros los dientes perforan el alimento, lo dividen en trozos, y roen huesos duros con una gran fuerza de mordida.²⁰ Por lo tanto, el esmalte dental de mamíferos está dotado de varias propiedades mecánicas que le permiten lograr una masticación funcional. Se ha informado que el módulo de Young y la dureza del esmalte ovino son más bajos que en el esmalte humano, mientras que el esmalte de la nutria marina es mucho más resistente que el de los humanos.²¹ Parecería, entonces, que existe una correlación entre el hábito de alimentación de los mamíferos y la microestructura y el rendimiento mecánico del esmalte. Por lo tanto, el análisis de estos fenómenos contribuye a una mejor comprensión del mecanismo de desgaste del esmalte dental.

Los mamíferos carnívoros y herbívoros tienen hábitos de alimentación totalmente diferentes. Xiao *et al.*²² analizaron comparativamente la microestructura, las propiedades mecánicas y el comportamiento tribológico (fricción y roce) del esmalte canino y bovino. Su objetivo fue revelar la autoadaptación de las propiedades tribológicas del esmalte en ambas especies, con sus funciones fisiológicas. Los autores comprobaron que el esmalte suave que se encuentra entre varillas en el perro contribuye a una alta tolerancia de carga y protege la superficie del daño frágil, mientras que la disposición escalonada de las nanofibras de HPA beneficia al esmalte bovino duro en la resistencia a la propagación de grietas y, al mismo tiempo, aumenta la resistencia al desgaste y la fatiga. Los resultados indicaron que existe una autoadaptación de la microestructura del esmalte y el rendimiento tribológico de los mamíferos en relación con sus hábitos alimenticios.

Ronay *et al.*²³ evaluaron la eficacia de los cristales de HPA utilizados como sustituto del esmalte humano (H) y el bovino (B) en experimentos de erosión y medición del contenido cálcico mediante pruebas de ensayo colorimétrico. Observaron que, a un pH de 2 y 3, la HPA reveló una diferencia estadísticamente significativa con respecto a H y B. Asimismo, demostró una tendencia constante a tasas de disolución más bajas, con una desviación máxima de -16% a un pH de 3 respecto del esmalte humano. Y también una variabilidad de muestra más baja, con un coeficiente de variación promedio de 17% en comparación con el 25% correspondiente a H y B. Estos resultados sugieren que la sustitución completa del esmalte bio-

lógico por HPA en experimentos de erosión que se centran en valores de medición absolutos no sería recomendable, pero sí puede resultar útil para establecer tendencias relativas entre los agentes erosivos. En función de estos resultados, los autores sugieren que el esmalte bovino se comportaría como un sustituto adecuado del esmalte dental. Por su parte, Sakae *et al.*²⁴ evaluaron *ex vivo* el grado de erosión en el esmalte bovino luego de aplicar enjuagues dentales que contienen fluoruro (F) y cloruro estañoso (SnCl₂), y concluyeron que el aumento de la viscosidad de las soluciones de enjuague bucal redujeron la pérdida de esmalte por erosión; sin embargo, este efecto fue escaso y se observó únicamente cuando las soluciones fueron aplicadas una vez al día.

Con el objeto de comparar la cinética del inicio y la progresión de la lesión de caries en el esmalte humano y bovino, Lippert *et al.*²⁵ utilizaron 90 piezas dentarias humanas y 90 bovinas para medir el grado de desmineralización del esmalte por medio de una solución de ácido láctico parcialmente saturado. Las lesiones de caries en el esmalte de dientes bovinos se formaron más rápido que en el humano. Sin embargo, en cuanto a sus características de distribución mineral, las diferencias fueron insignificantes en ambos casos.

Fernández Teruel *et al.*⁴ afirmaron que, en estudios en los que resulte más relevante el comportamiento térmico en atmósfera inerte, el diente porcino sería el adecuado para sustituir al humano. Sin embargo destacan que, entre las especies estudiadas, el esmalte y la dentina de bovinos son los más parecidos a los de humanos.

Adhesión en el esmalte bovino

Los dientes bovinos también son útiles para realizar ensayos de materiales. En 2015, Ionta *et al.*²⁶ evaluaron la aplicación de materiales a base de resina como alternativa de tratamiento para lesiones erosivas en esmalte. Prepararon muestras de esmalte bovino de 4 × 4 mm, las que fueron previamente sumergidas en ácido clorhídrico (HCl) 0,01 M con un pH de 2,3 durante 30 segundos para producir lesiones de erosión iniciales. Posteriormente, dividieron la muestra en cinco grupos, de acuerdo a las marcas comerciales de los productos que evaluaron: AdheSE® (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein), Tetric N-Bond® (Ivoclar Vivadent), Single Bond 2® (3M, Saint Paul, MN, Estados Unidos), Heliobond Clear® (Ivoclar Vivadent), Icon® (DMG, Hamburgo, Alemania), y según el tipo de tratamiento que recibió el esmalte (con y sin grabado). La penetra-

ción de los materiales en el esmalte fue evaluada mediante microscopía de escaneo confocal láser en los modos de reflexión y fluorescencia. La profundidad de penetración (PD) se midió utilizando el programa ImageJ. Los resultados demostraron que, independientemente del material empleado, la superficie del esmalte grabado tiene una PD significativamente superior a la no grabada. Icon® (DMG) mostró la PD más alta, seguido por Helioclear® (Ivoclar Vivadent), con una diferencia significativa entre ellos. Por el contrario, no se observaron diferencias significativas entre AdheSE® (Ivoclar Vivadent), Tetric N-Bond® (Ivoclar Vivadent) y Single Bond 2® (3M). Los autores concluyeron que el grabado previo del esmalte aumentó la penetración de los materiales en la superficie erosionada y que Icon® (DMG) presentó mayor penetración. Ayar *et al.*²⁷ utilizaron dientes bovinos para evaluar la influencia del almacenamiento en agua durante 12 meses en la resistencia adhesiva de la unión de la resina con el esmalte previamente irradiado con láser de erbio cromo (Er,Cr:YSGG). Se utilizaron para eso 35 dientes bovinos que se incluyeron en bloques de acrílico. Los bloques fueron asignados aleatoriamente a siete grupos de cinco (n=5) bloques cada uno y de acuerdo al tratamiento realizado sobre la superficie con láser Er,Cr:YSGG aplicando diferentes valores de energía (6 W y 20 Hz; 6 W y 35 Hz; 6 W y 50 Hz; 3 W y 20 Hz; 3 W y 35 Hz; 3 W y 50 Hz) o sin tratamiento, y un grupo control en el que se realizó un tratamiento convencional. Posteriormente, se aplicó el adhesivo Adper Single Bond® (3M) y las diferentes resinas al esmalte acondicionado, las que fueron preparadas y fotopolimerizadas en forma de barras de esmalte y resina. Luego, las barras fueron almacenadas en agua y sometidas a pruebas de resistencia adhesiva (μ TBS) a las 24 horas y a los 12 meses. Los resultados demostraron que la fuerza de unión inicial en el esmalte irradiado puede ser influida por la potencia y la configuración de la frecuencia del pulso. Sin embargo, la unión de la resina al esmalte irradiado fue estable durante los 12 meses de almacenamiento en agua, independientemente de las diferentes potencias de irradiación láser aplicadas.

Con respecto a la edad de la pieza dentaria, es necesario considerar que si se utilizan dientes humanos jóvenes y dientes que han sufrido un proceso de envejecimiento los resultados pueden ser diferentes. En cambio, esto no ocurre con los dientes bovinos, tal como ha sido demostrado en 2019 por Limeira *et al.*²⁸ Estos autores, al evaluar el efecto de la edad de la dentina radicular humana y bovina sobre la resis-

tencia al desplazamiento de postes de fibra de vidrio fijados con cementos de resina, observaron que la fuerza de unión en la dentina bovina no era afectada por el envejecimiento dentario. Por el contrario, en dientes humanos, la resistencia del cemento al desplazamiento del poste era mayor en dientes jóvenes.

Los dientes bovinos también han sido utilizados como modelo en pruebas de blanqueamiento. En este aspecto, Santos *et al.*²⁹ evaluaron la influencia de diferentes protocolos de blanqueamiento en la fuerza de unión al esmalte, utilizando 40 incisivos bovinos sanos. Concluyeron que, en caso de requerir un procedimiento adhesivo después de un blanqueamiento ambulatorio prolongado, el procedimiento debería retrasarse como mínimo 7 días, a fin de permitir la recuperación de las condiciones de sustrato necesarias en el esmalte para recibir un material adhesivo.

Pelá *et al.*³⁰ compararon el perfil proteómico de la película (AEP) formada *in situ* sobre el esmalte humano y el bovino con un nuevo dispositivo intraoral denominado “modelo de película *in situ* Bauru” (BISPM). Los autores observaron que el nuevo dispositivo es eficaz y que las proteínas que se encuentran típicamente en la película adquirida del esmalte aparecían tanto en el esmalte humano como en el bovino. Esto sugiere que el esmalte bovino es adecuado como sustrato en los ensayos que registren el nivel proteico del esmalte.

Conclusiones

La utilización de dientes humanos en estudios realizados *ex vivo* tiene varias limitaciones, tales como la dificultad para obtener un número adecuado de especímenes que presenten las condiciones necesarias para los ensayos (ausencia de caries extensas, defectos y/o alteraciones producidas como consecuencia de procedimientos ortodóncicos), especialmente las técnicas que abogan por un tratamiento sin extracciones. Los trabajos consultados demuestran que los dientes bovinos son excelentes sustitutos de la dentición humana y constituyen un modelo experimental adecuado para la investigación de laboratorio, sobre todo para las pruebas realizadas sobre esmalte. En ese sentido, las investigaciones realizadas avalan el uso del esmalte bovino para evaluar propiedades mecánicas, químicas y biológicas, analizar alteraciones de color, cambios ocurridos en la microestructura y en los valores de la microdureza, pruebas de resistencia al cizallamiento, en casos de desgaste de material adhesivo residual al retirar brackets e incluso para evaluar el comportamiento de un material adhesivo. Los dientes bovinos se obtienen generalmente en

los establecimientos de faena y distribución de productos animales para la alimentación, razón por la que deben ser sometidos a protocolos de limpieza y desinfección antes de su empleo con fines científicos. La similitud de sustrato del diente bovino con respecto al humano permite concluir que el esmalte bovino (junto con la dentina) constituye un modelo adecuado para la investigación en odontología. Sin embargo, es necesario recalcar que los resultados de los procedimientos realizados *ex vivo* en el laboratorio no pueden ser extrapolados directamente al comportamiento del diente humano en las condiciones clínicas de rutina, razón por la que deberían interpretarse con cautela.




Declaración de conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses en relación con este artículo científico.

Fuentes de financiamiento

Este artículo científico fue financiado exclusivamente por los autores.

Identificadores ORCID

EDA  0000-0001-6585-9068
ANP  0000-0002-2715-8524
JJC  0000-0002-8627-9174

Referencias

- Castellanos JE, Marín Gallón LM, Úsuga Vacca MV, Castiblanco Rubio GA, Martignon Biermann S. La remineralización del esmalte bajo el entendimiento actual de la caries dental. *Univ Odontol* 2013;69:49-59. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5025979>
- Bartlett JD, Simmer JP. New perspectives on amelotin and amelogenesis. *J Dent Res* 2015;94:642-4. <https://doi.org/10.1177/0022034515572442>
- Durso G, Tanevitch A. Estudio de la microestructura del esmalte dental humano en relación con la microdureza y la composición química. *Rev Cs Morfol* 2018;19:1-9. Disponible en: <https://revistas.unlp.edu.ar/Morfol/article/view/3824>
- Teruel JD, Alcolea A, Hernández A, Ruiz AJ. Comparison of chemical composition of enamel and dentine in human, bovine, porcine and ovine teeth. *Arch Oral Biol* 2015;60:768-75. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2015.01.014>
- Chávez-Campuzano M, Gutiérrez-Brito X, Guevara-Cabrera O, Fabara-Ordoñez C, Caviedes-Cepeda G, Armas-Vega A. Evaluation of the action of two fluorides systems applied to dental enamel surface, in vitro study. *KIRU* 2016;13:109-12. Disponible en: www.aulavirtualusmp.pe/ojs/index.php/Rev-Kiru0/article/view/994/798
- Yilmaz ED, Koldehoff J. On the systematic documentation of the structural characteristics of bovine enamel: A critic to the protein sheath concept. *Dent Mat* 2018;34:1518-30. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.dental.2018.06.006>
- Hurtado PM, Tobar-Tosse F, Osorio J, Orozco L, Moreno F. Amelogenesis imperfecta: Revisión de la literatura. *Rev Estomatol* 2015;23:32-4. <https://doi.org/10.25100/re.v23i1.2968>
- Hinostroza-Izaguirre MC, Abal-Perleche DM, Navarro-Beteta RJ, Perona-Miguel de Priego G. Factores genéticos asociados a la hipomineralización incisivo-molar. Revisión de literatura. *Rev Cient Odontol* 2019;7:148-56. <https://doi.org/10.21142/2523-2754-0701-2019-148-156>
- Bronckers AL. Ion transport by ameloblasts during amelogenesis. *J Dent Res* 2017;96:243-53. <https://doi.org/10.1177/0022034516681768>
- Universidad Politécnica de Valencia. La escala de Mohs dureza de los minerales. 2018 [citado el 10 de enero de 2021]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/105177/Moreno?sequence=1>
- Schmeling M. Selección de color y reproducción en Odontología. Parte 3: Escogencia del color de forma visual e instrumental. *Odovtos - International Journal of Dental Sciences* 2017;19:23-32. <https://doi.org/10.15517/ijds.v19i1.28083>
- Reyes-Gasga J. Observación del esmalte dental humano con microscopía electrónica. *Rev Tame* 2013 [citado el 11 de enero de 2021];1:90-6. Disponible en: www.uan.edu.mx/d/a/publicaciones/revista_tame/numero_3/Tam133-06.pdf
- Comité Asesor Bioética Fondecyt-Conicyt. Aspectos bioéticos de la experimentación animal. Cuarto taller de Bioética: utilización de animales en investigación. 2009 [citado el 11 de enero de 2021]. Disponible en: www.conicyt.cl/fondecyt/files/2012/10/Libro-4-Aspectos-Bio%3%A9ticos-de-la-Experimentaci%3%B3n-Animal.pdf
- Soares FZ, Follak A, Da Rosa LS, Montagner AF, Lenzi TL, Rocha RO. Bovine tooth is a substitute for human tooth on bond strength studies: A systematic review and meta-analysis of in vitro studies. *Dent Mater* 2016;32:1385-93. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2016.09.019>
- Santander-Arango S, Montoya C, Peláez-Vargas A, Ossa EA. Chemical, structural and mechanical characterization of bovine enamel. *Arch Oral Biol* 2020;19:104573. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2019.104573>
- Ortiz-Ruiz AJ, Teruel-Fernández JD, Alcolea-Rubio LA, Hernández-Fernández A, Martínez-Beneyto Y, Gispert-Guirado F. Structural differences in enamel and dentin in human, bovine, porcine, and ovine teeth. *Ann Anat* 2018;218:7-17. <https://doi.org/10.1016/j.aanat.2017.12.012>
- De Carvalho MFF, Leijóto-Lannes ACN, Rodrigues MCN, Nogueira LC, Ferraz NKL, Moreira AN, et al. Viability of bovine teeth as a substrate in bond strength tests. A systematic review and meta-analysis. *J Adhes Dent* 2018;20:471-79. <https://doi.org/10.3290/j.jad.a41636>
- Hua LC, Wang WY, Swain MV, Zhu CL, Huang HB, Zhou ZT. The dehydration effect on mechanical properties of

- tooth enamel. *J Mech Behav Biomed Mater* 2019;95:210-14. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2019.04.013>
19. Field JC, German MJ, Waterhouse PJ. Qualifying the lapped enamel surface: a profilometric, electron microscopic and microhardness study using human, bovine and ovine enamel. *Arch Oral Biol* 2014;59:455-60. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2014.02.007>
 20. Xia J, Zheng J, Huang D, Tian ZR, Chen L, Zhou Z, et al. New model to explain tooth wear with implications for microwear formation and diet reconstruction. *Proc Natl Acad Sci USA* 2015;112:10669-72. <https://doi.org/10.1073/pnas.1509491112>
 21. Ziscovici C, Lucas PW, Constantino PJ, Bromage TG, Van Casteren A. Sea otter dental enamel is highly resistant to chipping due to its microstructure. *Biol Lett* 2014;10:20140484. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2014.0484>
 22. Xiao H, Lei L, Peng J, Yang D, Zeng Q, Zheng J, et al. Research of the role of microstructure in the wear mechanism of canine and bovine enamel. *J Mech Behav Biomed Mater* 2019;92:33-9. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2018.12.036>
 23. Ronay FC, Wegehaupt FJ, Becker K, Wiedemeier DB, Attin T, Lussi A, et al. Pure hydroxyapatite as a substitute for enamel in erosion experiments. *J Dent* 2019;84:89-94. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2019.04.002>
 24. Sakae LO, Bezerra SJC, João-Souza SH, Borges AB, Aoki IV, Aranha ACC, et al. An in vitro study on the influence of viscosity and frequency of application of fluoride/tin solutions on the progression of erosion of bovine enamel. *Arch Oral Biol* 2018;89:26-30. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2018.01.017>
 25. Lippert F, Lynch RJ. Comparison of Knoop and Vickers surface microhardness and transverse microradiography for the study of early caries lesion formation in human and bovine enamel. *Arch Oral Biol* 2014;59:704-10. <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2014.04.005>
 26. Ionta FQ, Boteon AP, Moretto MJ, Júnior OB, Honório HM, Silva TC, et al. Penetration of resin-based materials into initial erosion lesion: A confocal microscopic study. *Microsc Res Tech* 2016;79:72-80. <https://doi.org/10.1002/jemt.22607>
 27. Ayar MK. The durability of adhesion to Er, Cr: YSGG laser-irradiated enamel. *Laser Ther* 2018;27:124-30. <https://doi.org/10.5978/islsm.18-OR-12>
 28. Limeira FIR, Carvalho MFF, Nascimento VVD, Santa-Rosa CC, Yamauti M, Moreira AN, et al. Bond strength of resin cements fixing fiber posts to human and bovine teeth of different ages. *J Adhes Dent* 2019;21:423-31. <https://doi.org/10.3290/j.jad.a43180>
 29. Santos GC, Baia JC, Ribeiro ME, Lima RR, E Sousa Júnior MHS, Loretto SC. Influence of prolonged bleaching with 4% hydrogen peroxide containing calcium and different storage times on the bond strength to enamel. *J Contemp Dent Pract* 2019;20:216-20. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10024-2500>
 30. Pelá VT, Cassiano LPS, Ventura TMDS, Souza-E-Silva CM, Gironde CC, Ríos D, et al. Proteomic analysis of the acquired enamel pellicle formed on human and bovine tooth: a study using the Bauru in situ pellicle model (BISPM). *J Appl Oral Sci* 2018;27:20180113. <https://doi.org/10.1590/1678-7757-2018-0113>

Cómo citar este artículo

Acevedo ED, Peláez AN, Christiani JJ. El esmalte dental bovino como modelo experimental para la investigación en odontología. Una revisión de la literatura. *Rev Asoc Odontol Argent* 2021;109:137-143. <https://doi.org/10.52979/raoa.1121>

Contacto:

EDGARDO DANIEL ACEVEDO

daniel-acevedo@live.com

Oficina Fundamentos de la Ortodoncia,

edificio Sector Clínicas

Facultad de Odontología,

Universidad Nacional del Nordeste

Avenida Libertad 5450 (W3400AAS)

Corrientes, Argentina