



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**



FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**INFLUENCIA DEL HEXAFLUOROSILICATO DE AMONIO
Y EL FLUORURO DE PLATA AMONIACAL EN EL
ESMALTE DE DIENTES PERMANENTES.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN CIENCIAS

P R E S E N T A:

ESP. ILIANA IRAÍS VEGA RAMÍREZ

TUTOR: Dr. CARLOS ANDRÉS ÁLVAREZ GAYOSSO



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

A Dios y a los Ángeles.

Seres que han llenado mi vida de felicidad y dicha, me han motivado a ser una mejor persona día con día, me han permitido gozar de salud y me han dado la oportunidad de conocer gente valiosa que llena mi vida de cosas positivas. Gracias. Sin ustedes yo no estaría aquí.

A mis padres, Eduardo y Carolina.

Que con sus enseñanzas y apoyo, me han preparado para ser una profesionalista entregada a su trabajo, me han forjado hacia el camino del éxito y no dejarme vencer ante las adversidades

A mi hermana Carolina.

Porque con tu sabiduría de la vida me has enseñado a vivir y disfrutar al máximo cada momento. Gracias por ser ese hombro en el que puedo apoyarme cuando lo necesito.

A mi esposo Daniel.

La persona que durante 12 años ha recorrido conmigo este camino, me ha dado su apoyo incondicional y confortado cuando más lo he necesitado. Me ha mostrado que aunque este trayecto sea difícil, juntos podemos afrontarlo, crecer y llenar nuestras vidas de cosas positivas.

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis ha sido el fruto de un gran esfuerzo y dedicación durante un periodo de mi vida, representa muchas horas de trabajo no solo mio, sino de muchas personas que sin conocerme me brindaron su apoyo y ayuda incondicional en este trayecto, me mostraron que en el camino de la investigación se pueden conocer amigos que te valoren y aprecien por quien eres, no por el título que poseas.

Gracias a todos ustedes.

Carlos A. Álvarez

Daqueline Cañetas

Jesús Arenas

Jorge Guerrero

José Ocotlán Flores

José Saniger

Mirna Estrada

Miguel Ángel Araiza

Roberto Sato

Sandra Rodil

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	8
II. ANTECEDENTES	
A. Esmalte	9
B. Caries dental	15
C. Desmineralización y remineralización	16
D. Fluoruro de plata amoniacal	18
E. Hexafluorosilicato de amonio	20
F. Dureza	22
G. Rugosidad	25
H. Microanálisis por dispersión de energía de rayos X	26
I. Espectroscopía Raman	28
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	32
IV. JUSTIFICACIÓN	32
OBJETIVOS	
V. General	32
VI. Específicos	33
VII. Hipótesis	33

VIII. MATERIALES Y MÉTODOS	
1. Tipo de estudio	33
2. Población en estudio	33
3. Tamaño de la muestra	33
4. Criterios de inclusión	34
5. Criterios de exclusión	34
6. Criterios de eliminación	34
7. Variable dependiente	34
8. Variable independiente	34
Materiales	34
Metodología	36
1. Obtención de la muestra	36
2. Preparación de la muestra	36
3. Preparación de disoluciones	39
4. Distribución grupal	40
5. Experimentación	40
5. Métodos de registro y procesamiento	43
6. Plan de análisis de datos	43
IX. Resultados	44
1. Microdureza	44
2. Rugosidad	52
3. Microanálisis por dispersión de energía de rayos X	57
4. Análisis Raman	61
5. Cambio de color	65
X. Discusión	67
XI. Conclusiones	74
XII. Referencias bibliográficas	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Orientación de los prismas del esmalte	13
Figura 2.	Dimensiones y componentes de los prismas del esmalte	14
Figura 3.	Caries dental	15
Figura 4.	A. Producto comercial a base de Fluoruro de Plata Amoniacal, B. Pigmentación dental en la zona palatina de los dientes anteriores superiores temporales después de la colocación de AgF	18
Figura 5.	Indentador de Vickers de diamante con forma de pirámide	23
Figura 6.	Gráfica de Ra	25
Figura 7.	Los dientes fueron seccionados con cortadora	36
Figura 8.	A. Moldes de aluminio. B. Dientes colocados dentro de los moldes de muestras. C. Acrílico autopolimizable. D. Muestras montadas	37
Figura 9.	Se muestran dientes montados sobre acrílico paralelizados para su medición en el rugosímetro	37
Figura 10.	Microdurómetro (MXT30-UL. Serie UL 0023 Matzuzawa Seki Japón.)	40
Figura 11.	Rugosímetro (Mitutoyo. SJ-201. Japón)	41
Figura 12.	Microscopio electrónico de barrido (JEOL.JSM-5.600LV. Japón) con aditamento EDS Noran, versión Voyager.USA	41
Figura 13.	A y B. Fotografías de muestras pulidas tratadas con AGF utilizadas para las pruebas de dureza, EDS y Raman	65
Figura 14.	A y B. Fotografías de muestras no pulidas tratadas con AGF utilizadas para la prueba de rugosidad	65
Figura 15.	A y B. Fotografías de muestras pulidas tratadas con SIF utilizadas para las pruebas de dureza, EDS y Raman	66
Figura 16.	A y B. Fotografías de muestras no pulidas tratadas con SIF utilizadas para la prueba de rugosidad	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Componentes de la solución de Hank	35
Tabla 2.	Disoluciones fluoradas empleadas	39
Tabla 3.	Distribución grupal	40
Tabla 4.	Valores obtenidos de la aplicación de diferentes gf y tiempo	44
Tabla 5.	Variación de intervalos de tiempo	45

Tabla 6.	Elementos contenidos en el esmalte dental sin ningún tratamiento previo	57
Tabla 7.	Elementos contenidos en el esmalte dental después del tratamiento de desmineralizaciones	58
Tabla 8.	Elementos contenidos en el esmalte dental tras la colocación de AGF	59
Tabla 9.	Elementos contenidos en el esmalte dental tras la colocación de SIF	60

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1.	Microdureza Vickers inicial	46
Gráfica 2.	Microdureza Vickers. Primera aplicación de fluoruro	47
Gráfica 3.	Microdureza Vickers. Segunda aplicación de fluoruro	48
Gráfica 4.	Microdureza Vickers. Tercera aplicación de fluoruro	49
Gráfica 5.	Distribución por grupos de microdureza Vickers	50
Gráfica 6.	Dispersión de microdureza Vickers	51
Gráfica 7.	Rugosidad inicial	52
Gráfica 8.	Rugosidad después de la primera aplicación de fluoruro	53
Gráfica 9.	Rugosidad segunda aplicación de fluoruro	54
Gráfica 10.	Rugosidad posterior a la tercera aplicación de fluoruro	55
Gráfica 11.	Distribución por grupos en la prueba de rugosidad	56
Gráfica 12.	Dispersión de rugosidad	56
Gráfica 13.	Análisis EDS inicial de esmalte	57
Gráfica 14.	Grupo control después del tratamiento de desmineralizaciones	58
Gráfica 15.	Análisis EDS de esmalte tras la colocación de AGF	59
Gráfica 16.	Análisis EDS tras la colocación de SIF	60
Gráfica 17.	Análisis Raman inicial de esmalte dental	61
Gráfica 18.	Análisis Raman del esmalte dental desmineralizado en tres ocasiones	62
Gráfica 19.	Análisis Raman del esmalte dental después de haber colocado AGF en tres ocasiones	63
Gráfica 20.	Análisis Raman del esmalte dental después de haber colocado SIF en tres ocasiones	64

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años ha surgido interés por las técnicas de mínima intervención para el manejo de caries dental en niños ya que ciertas poblaciones en nuestro país carecen de acceso al cuidado dental.

Existen diversos agentes empleados, como el fluoruro de plata amoniacal (AGF) que se caracteriza por ser un agente con propiedades anticariogénicas y cariostáticas, se ha utilizado por su gran efectividad clínica en comparación con los fluoruros tópicos convencionales.

Hoy en día, el AGF es una alternativa terapéutica de elección en programas comunitarios, y por qué no decirlo, en casos especiales de la consulta privada por su fácil aplicación y bajo costo.

Sin embargo, presenta la desventaja de pigmentar al diente de color negro, lo que resulta antiestético, por lo que su empleo se restringe a dientes temporales. Se han buscado alternativas que nos provean de los mismos beneficios, pero sin pigmentar los dientes.

Una de estas es el hexafluorosilicato de amonio (SIF), una sal de reciente experimentación en el área dental que ha mostrado ser efectiva en la fluoración de hidroxiapatita, además de promover la formación del complejo fosfato-calcio-sílice y con ello la obturación de túbulos dentinarios (calidades deseables para la protección dental ante los ácidos que favorecen la aparición de caries).

En este trabajo se pretende determinar si el SIF tiene los mismos efectos que el AGF, así como dar a conocer si el número de aplicaciones de estos productos poseen ingerencia en su utilización, a través de pruebas mecánicas como la microdureza y rugosidad; y químicas como EDS y Raman

El efecto deseable del SIF sería poderlo utilizar como alternativa en esmalte de dientes permanentes humanos, ya que su aplicación protegería a la superficie dental del ataque ácido. Este efecto, clínicamente retardaría la aparición de caries, al mismo tiempo que ofrecería la ventaja de no pigmentar la superficie dental.

II. ANTECEDENTES

A. Esmalte Dental

El esmalte dental es el tejido que rodea a la dentina, alcanza un espesor máximo de 2 a 2.5 mm, aproximadamente, adelgazándose a nivel del cuello del diente. Debido a su elevado contenido en sales minerales y a su disposición cristalina el esmalte es el tejido calcificado más duro del cuerpo humano.¹⁻²

Propiedades físicas

Dureza

Es la resistencia superficial de un material a ser rayado o penetrado. La dureza del esmalte dental se debe al porcentaje elevado de matriz inorgánica y muy bajo de matriz orgánica.^{3,4}

Los valores de dureza del esmalte se han reportado en escala de Knoop (KHN) y en escala de Vickers (VHN), los valores obtenidos con ambos métodos no han mostrado diferencias importantes de acuerdo a un estudio realizado por Ryge.⁵ Los valores que se han reportado por algunos autores son los siguientes: Craig,⁶ entre 292 y 390 KHN, Collys,⁷ los reportó en 354 KHN, en tanto, que en el estudio de Stephen,⁷ fueron de 271 KHN. Palti,⁹ 375-390 KHN. En escala de Vickers, Ryge,⁵ reportó valores entre 254-348 VHN y Gutierrez-Salazar,¹⁰ entre 268 – 375 VHN.

Elasticidad

Es la propiedad mecánica de ciertos materiales de sufrir deformaciones reversibles cuando se encuentran sujetos a la acción de fuerzas exteriores y de recuperar la forma original si estas fuerzas se eliminan.¹¹

Esta propiedad en el esmalte es escasa pues depende de la cantidad de agua y de la sustancia orgánica que posee. Por ello es un tejido muy frágil.¹²

Color y transparencia

El color de la corona cubierta de esmalte varía desde blanco amarillento hasta blanco grisáceo y está determinado por las diferencias en la translucidez.^{1,3,11}

Permeabilidad

Es la capacidad de un material para que un fluido lo atraviese, en el esmalte es escasa y se ha visto mediante marcadores radiactivos o radioisótopos que el esmalte puede actuar como una membrana semipermeable, permitiendo la difusión de agua y de algunos iones presentes en el medio bucal.^{1,2,11}

Se ha sugerido que existen vías submicroscópicas de transporte molecular, donde el agua actúa como agente transportador de iones en la matriz adamantina. Esta propiedad favorece el llevar a cabo el primer nivel de prevención, a través del aporte de fluoruros por topificaciones, geles o pastas fluoradas.²

Las diferencias en la orientación de los cristales pueden producir diminutos espacios en el esmalte, que pueden observarse a gran aumento. También las irregularidades de la superficie, tales como aquellas que se encuentran en las fisuras centrales y cerca de la región cervical, son importantes a favor de la permeabilidad.¹³

Composición química

Está compuesto químicamente por una matriz inorgánica (96%), una matriz orgánica y agua. (4%). El material inorgánico es una apatita, la hidroxiapatita.¹⁻³

Matriz inorgánica

El componente inorgánico corresponde a fosfato cálcico, que se encuentra en forma de cristales de hidroxiapatita. También existen pequeñas cantidades de carbonato, magnesio, potasio, sodio y flúor.¹

La celda unitaria de la hidroxiapatita constituye la unidad estructural más pequeña de su forma en la que se incluyen 10 átomos de calcio (Ca^{+2}), se is

grupos fosfato (PO_4)³⁺ y 2 grupos hidroxilos (OH). La cadena unitaria puede generar un cristal por medio de una repetición indefinida en los ejes del cristal.¹⁴ Los cristales son grandes y alargados, al corte se observan hexagonales cuando se seccionan perpendicularmente al eje longitudinal del cristal y rectangulares cuando se seccionan paralelamente a los ejes longitudinales,³

Grove C A, y cols.,¹⁵ realizaron un estudio para determinar el tamaño de los cristales de hidroxiapatita a través de microscopía electrónica de campo oscuro, encontraron que la longitud promedio fue de $321 \pm 35 \text{ \AA}$ y de $366 \pm 17 \text{ \AA}$ de ancho. La composición del núcleo difiere ligeramente de la observada en la periferia (que es más rica en magnesio y carbonato). Esto favorece que el núcleo del cristal sea más soluble que la periferia. Entre los cristales existen pequeños poros o separaciones que pueden contener agua y material orgánico.¹

Los iones flúor pueden sustituir a los grupos hidroxilos (uno cada cuarenta) en el cristal de fluorhidroxiapatita, lo que provoca que el esmalte sea menos soluble a los ácidos, lo que hace más resistente su superficie externa al ataque de la caries.² Las concentraciones más altas de flúor se encuentran en las 50µm más superficiales del esmalte. En las regiones más profundas la concentración disminuye hasta 20 veces.^{2,16}.

En el esmalte superficial existen dos componentes: el flúor y los carbonatos, que desde el punto de vista clínico son importantes debido a que desempeñan un papel antagónico. El flúor incorporado a los cristales incrementa su resistencia al ataque de caries, mientras que un mayor porcentaje de carbonatos lo torna más susceptible al inicio de la misma.²

Matriz orgánica

En las distintas fases de su formación destacan proteínas como: amelogeninas, amelinas, tuftelina y parvalbúmina, además de estas proteínas existen proteínas séricas, enzimas y pequeños porcentajes de condroitín 4-sulfato, condroitín 6-sulfato y lípidos.²

Agua

Se localiza en la periferia del cristal constituyendo la capa de hidratación, Por debajo y más hacia el interior, en el cristal, se ubica la capa de iones y compuestos adsorbidos, en la que el catión Ca^{2+} puede ser sustituido por Na^+ , Mg^{2+} y H_3O^+ , y el anión OH^- por F^- , Cl^- , etc.²

ESTRUCTURA DEL ESMALTE

Por su naturaleza altamente mineralizada, su estructura es difícil de estudiar. Su unidad histológica es el prisma y cada prisma está formado por un gran número de cristales de hidroxiapatita.^{1,14}

Los prismas fueron descritos por primera vez por Retzius en 1837, tienen aspecto cristalino claro, lo que permite a la luz pasar a través de ellos.¹ El conjunto de prismas del esmalte forma el esmalte prismático que constituye la mayor parte de esta matriz extracelular mineralizada.²

El número de prismas va de los 5 millones en los incisivos inferiores laterales hasta los 12 millones en los primeros molares, están yuxtapuestos miden $4\ \mu\text{m}$ de diámetro y algunos hasta $8\ \mu\text{m}$. Cada prisma se extiende a lo largo en todo el grosor del esmalte, con orientación oblicua y trayectoria ondulada. Los prismas de las cúspides son más largos.¹

Están orientados en ángulo recto hacia la superficie de la dentina. En las partes cervical y central de la corona de un diente deciduo son horizontales. Los prismas cerca del borde incisal cambian gradualmente hacia una dirección cada vez más oblicua hasta que en la región del borde son casi verticales. En los dientes permanentes los prismas son similares en los dos tercios oclusales de la corona, aunque en la región cervical se desvían de la horizontal a una dirección apical. Rara vez son rectos, mayormente siguen una trayectoria ondulada desde la dentina hasta la superficie del esmalte.^{1,3} Figura 1.

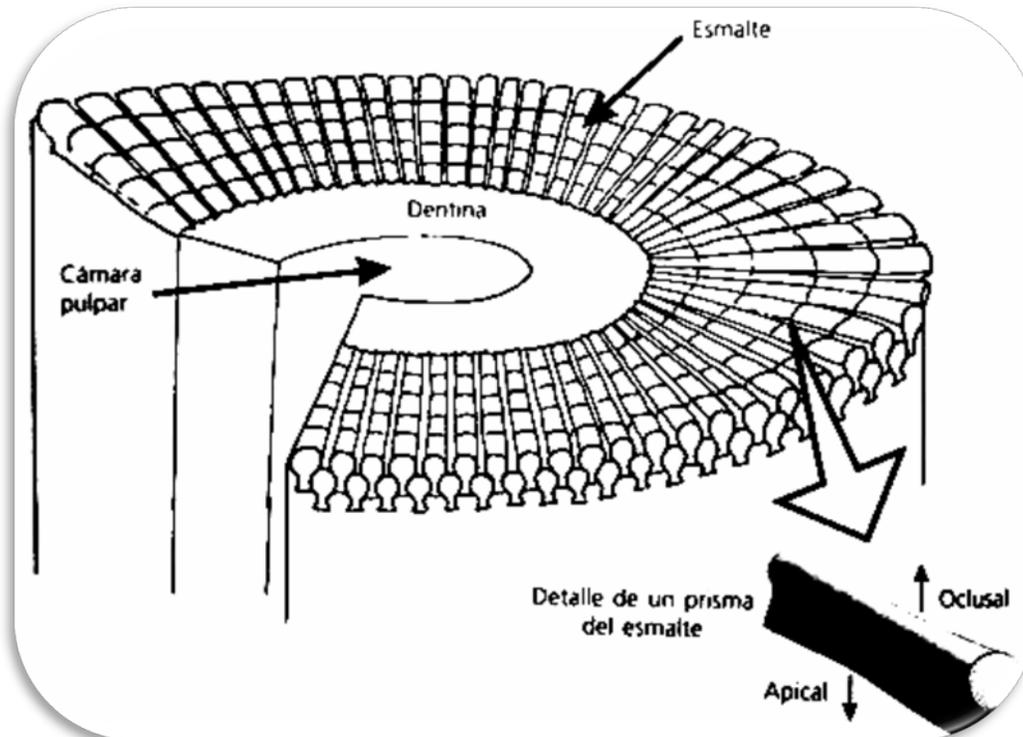


Figura 1. Orientación de los prismas del esmalte.²

A través del microscopio electrónico de barrido (MEB), la morfología de los prismas en cortes longitudinales se observan como bastones irregularmente paralelos y en cortes transversales con morfología en ojo de cerradura de llave antigua.²

Ello permite distinguir en los prismas dos regiones: la cabeza o cuerpo (en forma de cúpula esférica seguida de un cuello estrecho) y la cola con terminación irregular. La cabeza corresponde a la región más ancha y ofrece al corte un contorno irregularmente circular u ovoideo al diámetro de la misma que es de 5 μm ; la región de la cola es la más delgada encontrándose situada debajo de la cabeza. La distancia existente entre la parte media del borde convexo de la cabeza hasta la cola es de 9 μm de longitud.² Figura 2.

El esmalte frente a una injuria, reacciona con pérdida de su sustancia si es incapaz de repararse.²

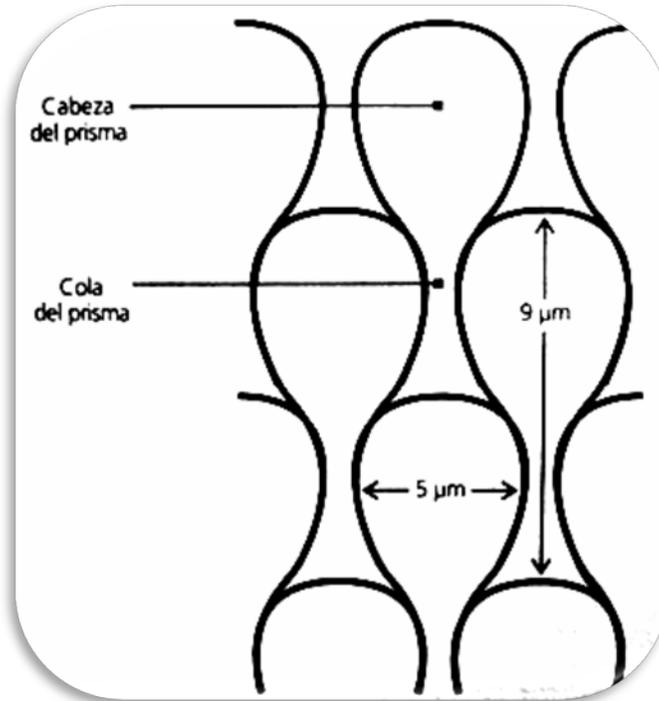


Figura 2. Dimensiones y componentes de los prismas del esmalte.²

B. CARIES DENTAL

La caries dental es una enfermedad compleja y multifactorial de los tejidos duros dentales, que en un inicio se caracteriza por la desmineralización de las porciones inorgánicas del diente. La pérdida del contenido mineral va seguida de una ruptura de la matriz orgánica. Este proceso es resultado del metabolismo de carbohidratos por parte de los microorganismos bucales; como estreptococos y lactobacilos principalmente, que secretan ácidos desmineralizantes.¹⁷⁻²¹

Es un proceso de desmineralización: los cambios morfológicos característicos de las lesiones iniciales pueden producirse en esmalte sano cuando es atacada por ácidos débiles: la matriz de esmalte desmineralizado es tan frágil que se destruye fácilmente por leves traumatismos mecánicos.^{17,18}

Se han propuesto mecanismos para explicar la disolución del esmalte en condiciones ácidas, se ha llegado a la conclusión de que en la caries en desarrollo, el esmalte se vuelve soluble antes de perderse la matriz. Mediciones directas de pH indican que la disolución producida por la caries ocurre en ambiente ácido. Este ácido puede determinarse en todas las etapas y en todas las profundidades de la lesión de caries.²²⁻²⁷

Figura 3.

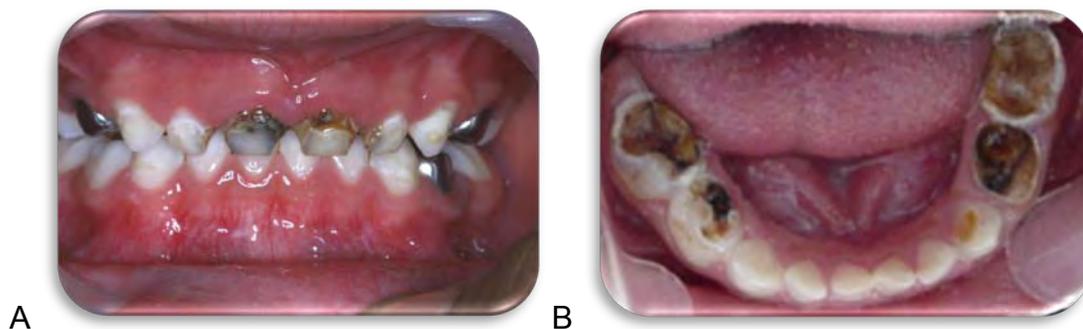


Figura 3. Caries dental. A- Caries en dientes anteriores superiores. B. Caries en molares en un niño de 3 años de edad.

C. DESMINERALIZACIÓN Y REMINERALIZACIÓN

Alrededor de 1940, los fluoruros se convirtieron en la piedra angular para la prevención de caries, siendo hoy considerado el agente más efectivo.²⁶

Mecanismos de acción del fluoruro

La matriz del esmalte tiene grandes canales, a través de los cuales los ácidos, minerales, ion fluoruro y otros iones pueden pasar en ambas direcciones.^{17,19}

En condiciones bucales normales, se establece un equilibrio entre la pérdida y la ganancia mineral. Sin embargo, este equilibrio puede alterarse por factores del medio en la cavidad bucal, como el pH y la presencia o ausencia de fluoruro. La producción de ácido, crea un ambiente de menor pH en la superficie del esmalte, lo cual facilita la disolución de los cristales superficiales. Los iones calcio y fósforo se difunden al exterior a través de la superficie del esmalte, en el proceso conocido como desmineralización, que disminuye la dureza y la superficie se torna rugosa por la pérdida mineral.^{20,22}

La presencia de fluoruro en el ambiente bucal, afecta de manera opuesta el equilibrio de este proceso, y por tanto, permite la remineralización.¹⁸

Durante la remineralización, el fluoruro facilita la difusión de calcio y fósforo, donde los cristales de hidroxiapatita parcialmente disueltos, permiten la formación de fluorapatita. Esta última estructura se torna más resistente a la disolución ácida de lo que eran los cristales originales y permite la recuperación de su dureza y la disminución de la porosidad.^{11,13-15}

El efecto del fluoruro como inhibidor de caries se debe a su concentración relativamente alta en la capa de la superficie del esmalte, esto permite la rápida difusión del fluoruro hacia los espacios intercristalinos y a través de la película orgánica que rodea los cristales de apatita del esmalte.^{18,20,23}

El empleo de una solución de pH bajo ayuda a la velocidad de disolución de los cristales de apatita y formación de fluoruro de calcio. Los productos principales formados con soluciones de fluoruro sobre hidroxiapatita son pequeñas

cantidades de fluorapatita, grandes cantidades de fluoruro de calcio y posiblemente, una cantidad reducida de fosfato dicálcico dihidratado. La formación del fluoruro de calcio provee beneficios cariostáticos, mejora la estabilización de fosfatos y proteínas que provocan una disolución lenta del esmalte dental.^{20,25,26}

Las diversas presentaciones de fluoruros estimulan la salud dental de la población, si n embargo, al igual que todas las sustancias empleadas en la práctica dental pueden producir efectos adversos si se utilizan de manera inadecuada.^{18,23,28}

D. FLUORURO DE PLATA AMONICAL

Nishino, Suzuki, Yamaga referidos por Soto H.²³ y Ramírez Y.²⁴ mencionan que el Fluoruro de plata amoniacal (AGF), cuya fórmula química es $\text{Ag}(\text{NH}_3)_2\text{F}$ es eficaz para detener el proceso carioso en dientes primarios, inhibe caries secundaria, además de desensibilizar dentina cuando existe hipersensibilidad.

Al estar en contacto con el tejido cariado provoca que los dientes se tornen negros, por la formación de sulfuro de plata, por esta razón su uso clínico está limitado a niños, cuyos requerimientos estéticos son inferiores a los adultos.²⁸⁻³⁰
Figura 4.

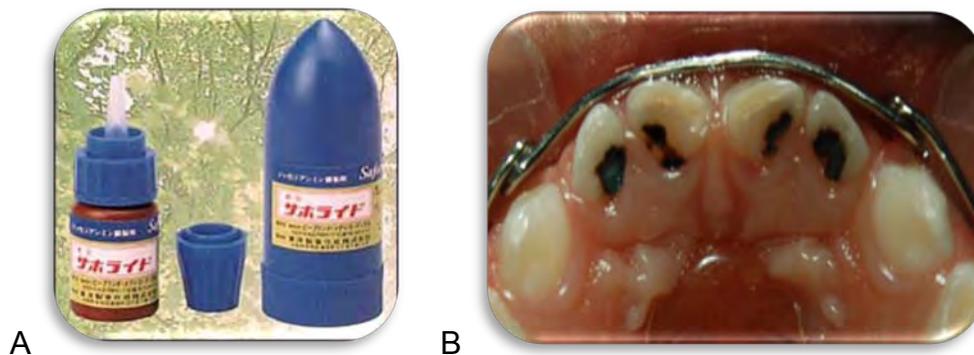


Figura 4. A. Producto comercial a base de Fluoruro de Plata Amoniacal (Saforide®).
B. Pigmentación dental en la zona palatina de los dientes anteriores superiores temporales después de la colocación de AgF

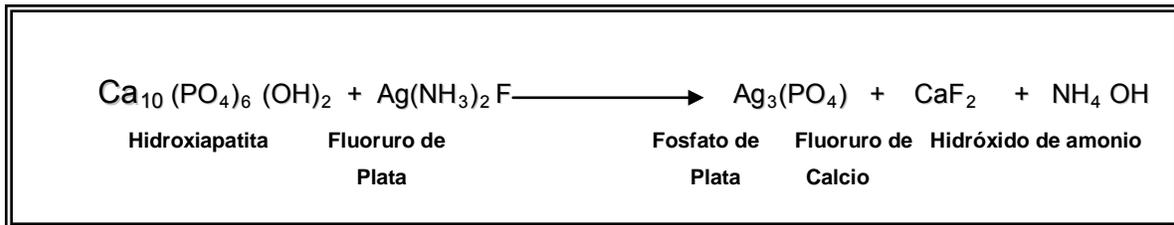
La utilización del AGF como agente cariostático no es nueva. Estudios recientes sobre sus efectos en dentición temporal vienen a reafirmar lo ya conocido en los trabajos de Yamaga et al., 1972; Shimizu and Kawagoe, 1976; Mc Donald and Sheiham, 1994 referidos por Gotjamanos,³⁰ sobre la utilidad de este agente en el tratamiento y prevención de caries.

La plata se ha reportado efectiva en la reducción de caries por actuar como un agente con propiedades antimicrobianas, bactericidas, por la formación de una

barrera de difusión en la placa, precipitando y fijando proteínas bacterianas, además de no ser caústico.^{28,31}

El contenido de iones flúor del AGF provoca disminución de la producción de ácidos a partir de monosacáridos, que al inhibir la glucólisis evita la desmineralización del esmalte.²⁹

Mecanismo de acción del AGF



El AGF reactiva la hidroxiapatita produciendo fluoruro de calcio insoluble y precipitados de fosfato de plata, el fluoruro reacciona con los iones calcio formando una capa de fluoruro de calcio sobre la superficie tratada, la plata reacciona con los fosfatos del tejido dentario y se obtiene fosfato de plata.^{22,23,32}

Los elementos antes mencionados producidos en la lesión, están saturados por saliva y materia orgánica de dentina, donde existen iones fosfato; como el fluoruro de calcio no es estable en presencia de este ion, el fluoruro reacciona con los cristales de apatita circundante, se disuelve y libera el ion flúor y así son sustituidos los hidroxilos por fluoruros formando fluorapatita, logrando que el diente sea más resistente a los ácidos.^{23,24,28}

La plata liberada, reacciona con la sustancia orgánica del diente formando una mezcla de proteinatos de plata y plata reducida la cual ayuda a la prevención de la caries.^{23-24,28-30}

E. HEXAFLUROSILICATO DE AMONIO

El Hexafluorosilicato de amonio ($(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$) también conocido como fluorosilicato de amonio (SIF) es un compuesto inorgánico en forma de polvo blanco, cristalino, inodoro, incapaz de reaccionar en condiciones ambientales.³³ No combustible, con densidad de 2.01 g/mL y solubilidad de 18 g/100g de agua.³³

Riesgos de exposición

El SIF es un compuesto irritante de piel y mucosas, la dosis tóxica es de 100 mg/kg. Los fluoruros en general pueden causar salivación, náuseas, vómito, diarrea y dolor abdominal, seguido de temblores, apnea, convulsiones y coma. Puede causar daño cerebral y hepático. El envenenamiento crónico con fluoruros puede causar severos cambios óseos, pérdida de peso, anorexia, anemia y defectos dentales. No se tienen reportes de carcinogenicidad.³³

Precauciones de uso

Al utilizar este producto se deben portar lentes protectores y guantes de látex. Se debe almacenar en contenedores plásticos.³³

Biocompatibilidad y uso clínico

La biocompatibilidad del SIF se ha probado a través del uso de Na_2SiF_6 , en el agua potable y sustenta su uso clínico como no tóxico en pequeñas cantidades (0.7 ppm). El grupo amonio se incorporó al SIF porque éste hace más favorable la captación de ion flúor en el esmalte.²⁸

El empleo clínico del SIF como producto dental se sustenta en que, si bien la solución terapéutica, a emplear es de 0.476 molar: equivalentes a 8.4 mg / mL, que si son colocados en una persona de 30 kg (dosis tóxica 100 mg/kg) la dosis

a emplear se sitúa muy por debajo de la dosis tóxica del producto, la aplicación clínica requiere menos de 1 mL.

Estudios realizados en Japón, mencionan el valor potencial del SiF para fluorar hidroxiapatita, ésta posee baja solubilidad ante soluciones ácidas y no se presenta cambio de color, algo que es deseable para su uso tópico clínico.²⁸

El silicio se incorpora en lugar de Ag, ya que éste no produce cambio de color y es conocido por inducir la formación de fluorapatita, lo que es útil en el proceso de remineralización.^{34,35}

Cuando el polvo de hidroxiapatita sintética se sumerge en una solución de SiF, la cristalinidad del polvo aumenta significativamente, así mismo, al comparar la cantidad formada de fluorapatita con el SiF es mayor que la formada con otros fluoruros.^{34,35}

Estos hallazgos indican que el tratamiento con SiF tiene potencialmente la habilidad de prevenir la caries dental.³⁴⁻³⁶

El SiF, se ha utilizado en modelos experimentales con éxito para combatir la hipersensibilidad dental, ya que induce la formación de apatita, forma un precipitado de un complejo de fosfato-calcio-sílice ocluyendo túbulos dentinarios expuestos.³⁵

F. DUREZA

La dureza relativa de un material, se basa en la capacidad para resistir el rayado y la indentación.³⁷

Estudios recientes, han mostrado que el esmalte sano es isotrópico desde el punto de vista mecánico e n pruebas de microdureza si emple y cuando, la impresión cubra varios prismas del esmalte. La dureza ha sido relacionada también con el contenido local de calcio y puede ser utilizada como índice de mineralización, desmineralización y remineralización. El esmalte cariado sugiere que los cristales densamente compactados sufrieron disolución ácida o bien, que ocurrió una transformación parcial de la sustancia calcificada normal en una sustancia con la misma composición pero con propiedades físicas diferentes.⁹

En diferentes estudios se ha utilizado microdureza de superficie, o la combinación de liberación de fluoruro y microdureza, no sólo para demostrar cuánto fluoruro se incorpora al diente durante el tratamiento, sino también para reflejar los cambios minerales (remineralización) que ocurren cuando al diente se le aplican soluciones con contenido de fluoruro.¹¹

Prueba de Vickers

La prueba de microdureza de Vickers utiliza como indentador una punta de diamante en forma de pirámide cuadrada. El ángulo entre las caras de la pirámide es de 136° . Figura 5. El número de dureza de Vickers se define como la fuerza dividida entre la superficie de la indentación, por tanto, para una fuerza dada, cuanto menor sea la indentación, mayor será el número y más duro será el material. En la práctica, el área de indentación se calcula por medidas observadas en el microscopio, a través de las longitudes de las diagonales de la impresión.^{37,38}

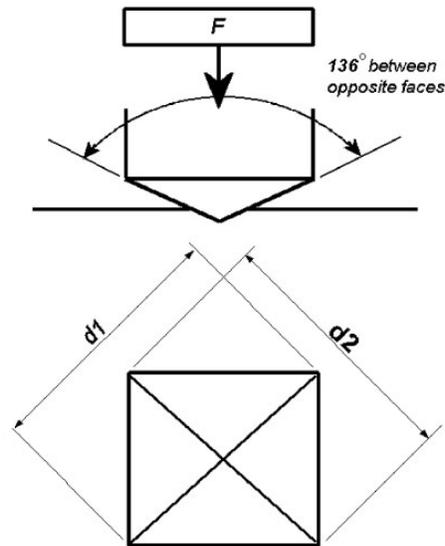


Figura 5. Indentador de Vickers de diamante con forma de pirámide.³⁸

El número de dureza de Vickers se obtiene utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{VHN} = \frac{2P \sin \frac{\theta}{2}}{L^2} = 1.854 P/L^2$$

Donde P es la fuerza aplicada (kg), L es el promedio de la longitud de la diagonal (mm) y θ el ángulo entre las caras opuestas de la punta (136°). La mayoría de las pruebas de microdureza, emplean un indentador simétrico que penetra en la superficie del material a una fuerza dada.³⁸

La prueba de Vickers es adecuada para determinar la dureza de los materiales dentales; se ha empleado para calcular dureza de la estructura dental.^{37,39}

Utiliza fuerzas inferiores a 9.8 N, las muescas resultantes se limitan a una profundidad inferior a 19 μm . Por tanto, son capaces de medir la dureza de regiones pequeñas de objetos finos.³⁷

No se ha descubierto alguna tendencia en la dureza del esmalte desde la unión dentina-esmalte hacia la superficie externa ni desde la corona hacia el margen

cervical. Para la aplicación del microdurómetro sobre esmalte dental se han utilizado 100 gf durante 15 s y 100 gf durante 10 s.³⁹

G. RUGOSIDAD

La rugosidad superficial es el conjunto de irregularidades de la superficie real, definidas convencionalmente en una sección donde los errores de forma y las ondulaciones han sido eliminados.⁴⁰

El esmalte desmineralizado presenta porosidades e irregularidades superficiales, por lo que se torna rugoso.⁴¹

Medición de la rugosidad

Para medir la rugosidad de las piezas se utilizan instrumentos electrónicos de sensibilidad micrométrica llamados rugosímetros que determinan con rapidez la rugosidad de las superficies. Los rugosímetros miden la profundidad de la rugosidad media (R_z) y el valor de la rugosidad media (R_a) expresada en micras.³⁸

Los rugosímetros pueden ofrecer la lectura de la rugosidad directamente en una pantalla o indicarla en un documento gráfico.³⁸

- **Ra:** Valor promedio de rugosidad en μm , es el valor promedio aritmético de los valores absolutos de las distancias del perfil de rugosidad de la línea intermedia de la longitud de medición. El valor promedio de rugosidad es idéntico a la altura de un rectángulo donde su longitud es igual a la longitud total y esto a su vez es idéntico con la superficie de la suma que existe entre el perfil de rugosidad y la línea intermedia.³⁸



Figura 6. Gráfica de R_a .³⁸

H. MICROANÁLISIS POR DISPERSIÓN DE ENERGÍA DE RAYOS X (EDS)

El microanálisis por dispersión de energía de rayos X (EDS), se utiliza para conocer la composición química del material en estado de recepción, así como de los materiales tratados en su interior y en distintas zonas.³⁶

Proporciona información acerca de los elementos que hay en una muestra, o de las moléculas en que están incluidas. Se realiza con el haz de electrones generado en un microscopio electrónico.³⁶

Principio físico

El haz incidente desprende electrones de los orbitales más cercanos al núcleo de un átomo constituyente de la muestra en observación. Al perder un electrón del átomo, un orbital queda vacío. El orbital es ocupado de inmediato por un electrón de una capa superior. Al “caer” un electrón desde una capa superior, se emite un fotón con exceso de energía que emite en forma de rayos X característico a cada elemento químico. La energía de este fotón depende únicamente del tipo de átomo que lo emite, su intensidad depende de la cantidad del elemento presente, de forma que es posible identificar los elementos presentes en una muestra, debido a que emite varios picos de energía característica, de energía conocida. La concentración mínima del elemento que puede ser detectada es de 0.2 al 0.3%.⁴²

Muestra

Al incidir un haz de electrones, las muestras aislantes los acumulan en la superficie, cargándolas negativamente. Ésta carga puede llegar a repeler al propio haz incidente, por ello, es necesario recubrir las muestras con una fina capa de un material conductor como grafito u oro.²⁸

Espectro

La formación de un espectro EDS de Rayos x se obtiene mediante un software (INCA) que recoge durante un tiempo determinado (minutos) los fotones emitidos por la muestra, clasificándolos según su energía. El espectro se presenta como un histograma en donde el eje de las X tiene unidades de energía (Kiloelectrovolts) y el eje de las Y el Número de cuentas o intensidad. En el espectro se realiza de forma automática la identificación y el análisis cualitativo y cuantitativo de los diferentes elementos a través de picos en la campana de Gauss observados en el histograma. En una muestra se elige uno o varios sitios de interés para ver si toda la muestra contiene los mismos elementos o hay variación de estos en un cm^2 .⁴²

I. Espectroscopía Raman

La espectroscopía Raman es una técnica espectroscópica utilizada en física de la materia condensada y también en química para el estudio de los modos vibracionales, rotacionales y otros de baja frecuencia en un sistema. Se basa en la dispersión inelástica, o dispersión Raman, de la luz monocromática, que por lo general procede de un láser en el intervalo visible, infrarrojo cercano, o ultravioleta cercano. La luz láser interactúa con fotones u otras excitaciones en el sistema, por lo que la energía de los fotones láser se desplaza hacia arriba o hacia abajo.⁴³

Normalmente, la muestra se ilumina con un rayo láser. La luz del punto iluminado se recoge con una lente y se envía a través de un monocromador. Las longitudes de onda cercanas a la línea láser, debidas a la dispersión elástica de Rayleigh, son filtradas, mientras que el resto de la luz recogida se dispersa en un detector.⁴³

La dispersión Raman espontánea es generalmente débil, y como resultado la principal dificultad de la espectrometría Raman es separar la luz débil dispersada inelásticamente de la luz intensa láser por dispersión de Rayleigh. Históricamente, los espectrómetros Raman utilizaban rejillas de difracción holográfica y múltiples etapas de dispersión para lograr un alto grado de rechazo láser. En el pasado, los detectores de elección para las configuraciones de dispersión Raman eran los fotomultiplicadores, lo que daba lugar a largos tiempos de adquisición. Sin embargo, la instrumentación moderna en casi todo el mundo emplea filtros de muesca o borde para rechazar el láser, así como espectrógrafos y detectores CCD.^{44,45}

Existen diferentes tipos avanzados de espectroscopía Raman, como la de superficie potenciada, la polarizada, la estimulada, la de transmisión, la compensada espacialmente y la híper-Raman.⁴⁶

TEORÍA BÁSICA

El efecto Raman se produce cuando la luz incide sobre una molécula e interactúa con la nube de electrones de los átomos de esa molécula. El fotón incidente excita uno de los electrones a un estado virtual. La molécula se excita desde el estado basal a un estado de energía virtual, y se relaja a un estado vibracional excitado, lo que genera la dispersión de Raman Stokes. Si la molécula ya se encontraba en un estado elevado de energía vibracional, la dispersión Raman se llama entonces dispersión Raman anti-Stokes.^{43,46}

Para que la molécula exhiba el efecto Raman es necesario un cambio en la polaridad molecular, o cantidad de deformación de la nube de electrones con respecto a la coordenada vibracional. La cantidad del cambio de la polarización determinará la intensidad de la dispersión Raman, siempre que el desplazamiento Raman sea igual al nivel vibracional que está involucrado.⁴⁴

HISTORIA

Aunque la dispersión inelástica de la luz la predijo Smekal en 1923, no fue hasta 1928 cuando se observó en la práctica. El efecto Raman fue nombrado después de que uno de sus descubridores, el científico indio Sir CV Raman, observara el efecto por medio de la luz del sol. Raman ganó el Premio Nobel de Física en 1930 por este descubrimiento, realizado utilizando la luz del sol, un filtro fotográfico de banda estrecha para crear luz monocromática y un filtro "cruzado" para bloquear esta luz monocromática.⁴⁶

Posteriormente, el arco de mercurio se convirtió en la principal fuente de luz, primero con detección fotográfica y a continuación con detección espectrofotométrica. En la actualidad, se utilizan láseres como fuentes de luz.⁴⁴

APLICACIONES

La espectroscopía Raman se utiliza comúnmente en química, y a que la

información vibracional es específica para los enlaces químicos de las moléculas. Por lo tanto, proporciona una huella dactilar de la molécula que puede ser identificada. La región de huella digital de las moléculas orgánicas está en el intervalo de longitud de onda de $500\text{-}2000\text{ cm}^{-1}$.^{44,46}

Al igual que ocurre con moléculas individuales, un material sólido tiene modos de fotón característicos que pueden ayudar a identificarlo. Además, la espectroscopía Raman se puede utilizar para observar otras excitaciones de baja frecuencia en los sólidos, como excitaciones de brecha en superconductores.^{45,46}

La señal Raman espontánea proporciona información sobre la población de un modo fonón determinado en el rango entre la intensidad Stokes (desplazada hacia abajo) y anti-Stokes (desplazada hacia arriba).⁴⁶

La dispersión Raman mediante un cristal anisotrópico da información sobre la orientación del cristal. La polarización de la luz de dispersión Raman en relación con el cristal y la polarización de la luz láser, pueden utilizarse para conocer la orientación del cristal, siempre que la estructura cristalina sea conocida.⁴⁴

MICROESPECTROSCOPIA RAMAN

La espectroscopía Raman ofrece varias ventajas para el análisis microscópico. Dado que se trata de una técnica de dispersión, las muestras no necesitan ser fijadas o seccionadas. Los espectros Raman pueden ser obtenidos a partir de una superficie pequeña ($<1\text{ }\mu\text{m}$ de diámetro); estos espectros permiten la identificación de especies presentes en ese volumen. La espectroscopia Raman es adecuada para el examen microscópico de minerales, materiales como cerámica y polímeros, y células y proteínas. Un micro Raman consiste de un microscopio óptico estándar con un láser de excitación, un monocromador y un detector sensible (como un dispositivo de carga acoplada (CCD), o un tubo fotomultiplicador (PMT)).⁴⁶

En visualización directa, todo el campo de visión se examina por dispersión sobre una pequeña gama de números de onda (Raman).⁴³

Dado que las lentes objetivo de los microscopios enfocan el rayo láser a varios micrómetros de diámetro, el resultado del flujo de fotones es mucho mayor que los que se logran en las configuraciones Raman convencionales. Esto tiene el beneficio añadido de una mayor desactivación de la fluorescencia. Sin embargo, el alto flujo de fotones también puede causar la degradación de la muestra, y por esta razón algunas configuraciones requieren un sustrato que conduzca térmicamente (lo que actúa como un disipador de calor) a fin de mitigar este proceso.⁴³⁻⁴⁶

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la población infantil mexicana el 90% de los niños son afectados por caries dental, por lo que es más frecuente hoy en día el uso de fluoruros para prevenir la caries. El AGF se comenzó a utilizar en Japón como agente preventivo y cariostático, recientemente en México se ha comenzado a utilizar por su gran efectividad en comparación con los fluoruros tópicos convencionales. Sin embargo, presenta la desventaja de pigmentar al diente de color negro, que resulta antiestético, por lo que se deben buscar alternativas efectivas para combatir el problema de caries y no afecten la estética.

¿Cuál es el efecto de las soluciones fluoradas AGF y SIF en el esmalte dental de dientes permanentes sometido a desmineralización?

IV. JUSTIFICACIÓN

El SIF es una sal de reciente experimentación utilizada para el tratamiento de hipersensibilidad dental, que podría tener la misma función que el AGF sobre el esmalte, con la ventaja de que el SIF no pigmente los dientes. De ahí surge la necesidad de comparar los efectos entre estos productos y reconocer si el número de aplicaciones mejora su efecto sobre el esmalte dental de dientes permanentes.

V. OBJETIVO GENERAL

Determinar el efecto de las soluciones fluoradas AGF y SIF en el esmalte dental de dientes permanentes sometido a desmineralización.

VI. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Obtener la dureza y rugosidad del esmalte dental al colocar una, dos y tres aplicaciones de SIF.
- ❖ Obtener la dureza y rugosidad del esmalte dental al colocar una, dos y tres aplicaciones de AGF.
- ❖ Obtener por EDS, la relación Ca/P después de la colocación de AGF y SIF.
- ❖ Obtener por análisis Raman, la banda de PO_4^{3-} de las muestras después de la colocación de AGF y SIF.
- ❖ Determinar si el número de aplicaciones influye en la efectividad de los compuestos.

VII. HIPÓTESIS

Hipótesis de trabajo

- ❖ La aplicación de SIF y AGF tienen efecto en las propiedades del esmalte sometido a proceso de desmineralización.

VIII. MATERIALES Y MÉTODOS

1. Tipo de estudio

Experimental.

2. Población en estudio

Muestras de terceros molares extraídos quirúrgicamente.

3. Tamaño de la muestra

Se utilizaron 124 especímenes de terceros molares extraídos quirúrgicamente.

4. Criterios de inclusión

Muestras de coronas de terceros molares extraídos quirúrgicamente sin líneas de fractura, sin defectos de calcificación y con raíz formada.

5. Criterios de exclusión

Muestras de terceros molares erupcionados, con líneas de fractura, hipomineralizados y/o con hipoplasia del esmalte.

6. Criterios de eliminación

Muestras que se fracturen o se rayen en el desarrollo experimental.

Variable dependiente

- Medición de dureza y rugosidad.
- Relación Ca/P.

Escala de medición: cuantitativa continua

- Presencia de la banda $(\text{PO}_4)^{3+}$.
- **Escala de medición:** cualitativa

Variable independiente

- Aplicaciones de Hexafluorosilicato de Amonio y Fluoruro de plata amoniacal en muestras de dientes permanentes.

MATERIALES

- ❖ Cristalería

Reactivos

- ❖ Ácido láctico
- ❖ Cloruro de calcio (CaCl_2)
- ❖ Fosfato de potasio (K_2HPO_4)
- ❖ Carboximetilcelulosa. ($\text{C}_6\text{H}_9\text{OCH}_2\text{COON}$)

- ❖ Hidróxido de potasio (KOH)
- ❖ Agua bidestilada
- ❖ Acrílico autopolimerizable
- ❖ Fluoruro de plata amoniacal (Saforide. Caries Control / Dentin Desensitizing Agent J. Morita Corp. Osaka, Japón)
- ❖ Hexafluorosilicato de amonio (Sigma Aldrich; cas:16919-19-0; No. 204331-10G)
- ❖ Solución de Hank o HBSS (medio de cultivo celular enriquecido con iones). Tabla 1.

Tabla 1. Componentes de la solución de Hank

Componente	Concentración
KCl	400 mg/L
KH_2PO_4^+	60 mg/L
NaCl	8000 mg/L
Glucosa	1000 mg/L
$\text{Na}_2\text{HCO}_3^+ \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	90 mg/L
NaHCO_3	350 mg/L
CaCl_2	140 mg/L
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	100 mg/L
$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	100 mg/L

Equipo

- Microdurómetro. (MXT30-UL. Matzuzawa Seki Tokio Japón. Serie UL0023)
- Rugosímetro. (Mitutoyo, modelo SJ-201, Japón)
- Microscopio electrónico de barrido. (JEOL. JSM-5600 LV. Japón)
- EDS. (Noran, versión Voyager. USA.)
- Raman (Nicolet Raman espectrómetro dispersivo, Almega XR.)
- Potenciómetro. (Oakton, modelo 510 series, E.U.A)
- Cortadora. (Gillings. Hamco machines incorporated. E.U.A.)
- Pulidora. (Buehler LTD. Alemania)
- Ultrasonido. (Branson 2510R MTH. E.U.A.)
- Paralelómetro. (Leitz Wetzlar. Alemania)

METODOLOGÍA

1. Obtención de la muestra

Se obtuvieron 62 terceros molares humanos extraídos quirúrgicamente de pacientes entre 18 y 35 años de edad, fueron colocados en recipientes de plástico con agua previamente lavados.

2. Preparación de la muestra

Los dientes previamente lavados se cortaron longitudinalmente en 2 partes en la cortadora. Figura 7.



Figura 7. Los dientes fueron seccionados con la cortadora.

a) Prueba de microdureza

Se cortaron 30 molares longitudinalmente, para obtener 60 muestras, las cuales se montaron enacrílico. Figura 8. Se desgastó la superficie en la pulidora con lijas de SiC granos 80, 120, 600, 1500 y 2000 para obtener una superficie expuesta lisa de dimensiones; 2.7 por 2.3 \pm 1mm.

Posterior al lijado, se sometieron al ultrasonido durante 20 min para eliminar los residuos.

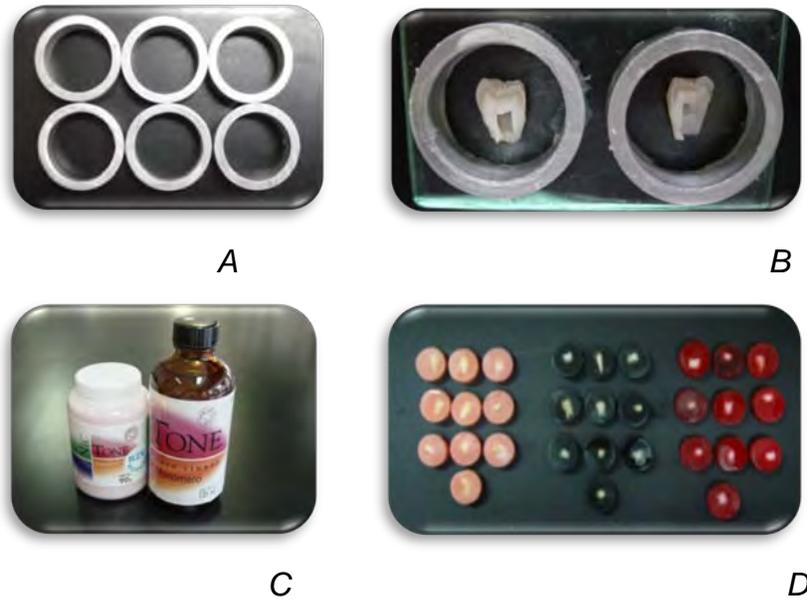


Figura 8. A. Moldes de aluminio. B. Dientes colocados dentro de los moldes de muestras. C. Acrílico autopolidizable. D. Muestras montadas

Las dimensiones del área para devastar, se determinó midiendo las muestras antes y después del desgaste, para asegurar que el trabajo experimental fuera sólo en esmalte. El desvastado resultante fue entre 10-140 μm , quedó un grosor residual de esmalte entre 1150-1800 μm .

b) Prueba de rugosidad

Se cortaron 30 molares longitudinalmente, las muestras se paralelizaron con un paralelómetro y fueron montadas sobre acrílico autopolidizable. (60 muestras) Figura 9.



Figura 9. Se muestran dientes montados sobre acrílico paralelizados para su medición en el rugosímetro.

c) Análisis EDS

Se emplearon 6 dientes cortados longitudinalmente, las muestras empleadas para el análisis de EDS tuvieron la misma preparación que las de microdureza. (12 muestras).

d) Análisis RAMAN

Se cortaron 2 dientes longitudinalmente, las muestras empleadas tuvieron la misma preparación que las de microdureza. (4 muestras).

3. Preparación de disoluciones

1. *Preparación de la disolución fluorada.* Se utilizó SIF al 98% de pureza para preparar una disolución 0.476 mol/L con agua bidestilada.

Se colocaron 840mg de SIF en 100mL de agua bidestilada en un vaso de precipitados, la mezcla se incorporó con un agitador magnético.

El AGF se utilizó sin diluir, Tabla 2.

Tabla 2. Disoluciones fluoradas empleadas

DISOLUCIÓN FLUORADA	CÓDIGO	FÓRMULA	CONCENTRACIÓN	
			TOTAL MOL/L	F ⁻¹ MOL/L
Hexafluorosilicato de amonio	SIF	(NH ₄) ₂ SIF ₆	0.476	2.856
Fluoruro de plata amoniacal	AGF	(NH ₃) ₂ AGF	2.36	2.36
<i>Concentración de F⁻¹ cuando están completamente hidrolizado</i>				

2. *Preparación de la disolución desmineralizante.* Se preparó una disolución desmineralizante de 0.1 mol/L de ácido láctico, 3mmol/L CaCl₂, 1.8mmol/L K₂PO₄ con 1% en peso de carboximetilcelulosa.⁴⁷

En 1000mL de agua desionizada se mezclaron CaCl₂, K₂PO₄ y ácido láctico.

La carboximetilcelulosa fue agregada paulatinamente hasta completa disolución, posteriormente, la mezcla se ajustó a un pH de 4 con KOH 1M,

Esta disolución por el ácido láctico que contiene simula el ácido producido por las bacterias bucales, que provocan la desmineralización del esmalte.³⁸

4. Distribución grupal

- ❖ Los especímenes fueron divididos aleatoriamente en 3 grupos. Tabla 3.

Tabla 3. Distribución grupal

GRUPO	DISOLUCIÓN
C	<i>Control</i>
AGF	<i>Aplicaciones de Fluoruro de plata amoniacal</i>
SIF	<i>Aplicaciones de Hexafluorosilicato de amonio</i>

El grupo control, fue de tipo Control Positivo. Se realizaron mediciones iniciales y posteriormente fue so metido al mismo procedimiento experimental que los otros dos grupos, excepto por la aplicación de AGF y SIF.

5. Experimentación

PRUEBA DE MICRODUREZA

Se realizaron 5 mediciones de microdureza por muestra, con un parámetro de 50gf/30s. Con un microdurómetro (MXT30-UL Matzuzawa Seki Tokio Japón. Serie UL0023). Figura 10.



Figura 10. Microdurómetro (MXT30-UL. Serie UL 0023 Matzuzawa Seki Japón.)

PRUEBA DE RUGOSIDAD

Se realizaron mediciones iniciales de rugosidad con el rugosímetro en una longitud de barrido de 0.25 cm con un promedio de 5 mediciones cada una. Figura 11.



Figura 11. Rugosímetro (Mitutoyo. SJ-201. Japón)

ANÁLISIS EDS

Los análisis se realizaron con el Microscopio electrónico de barrido. (JEOL. JSM-5600 LV. Japón), Se trabajó a 20kV, a este equipo se encuentra acoplada una sonda marca Noran, para realizar en él, el análisis químico por EDS. Se realizaron 3 análisis por muestra a un aumento de 200X. Figura 12.



Figura 12. Microscopio electrónico de barrido (JEOL.JSM-5.600LV. Japón) con aditamento EDS Noran, versión Voyager.USA

ANÁLISIS RAMAN

Se llevaron a cabo 20 mediciones por muestra, se utilizó una muestra por grupo, ésta se escogió de acuerdo a la media obtenida por grupo en la prueba de microdureza. Se utilizó un Raman Nicolet con espectrómetro dispersivo. (Almega XR) el microscopio Olympus objetivo 50X (A.N. = 0.80);-BX51, se utilizó para dar foco al laser sobre la muestra, la luz se dispersó una vez.

El espectro fue registrado durante 25 s con una resolución de 4cm^{-1} . La excitación se realizó con un laser Nd:YVO₄ (532 nm). El poder incidente de la muestra fue de 10mW.

Proceso de experimentación

- ❖ Se midió la microdureza y la rugosidad de las muestras y se analizaron con EDS y Raman.
- ❖ Se aplicó SIF a un grupo y AGF al otro. Transcurridos 3 minutos, se lavaron con agua desionizada durante un minuto.
- ❖ Las muestras fueron sumergidas en la solución desmineralizante durante 1 h simulando la acidez del medio bucal.
- ❖ Transcurrida 1 h, se enjuagaron con agua desionizada durante 1 minuto y se realizaron las mediciones de microdureza y rugosidad de cada una.
- ❖ Este procedimiento se repitió en dos ocasiones más, con intervalo de 24 h entre cada aplicación
- ❖ En el grupo control se empleó el mismo protocolo de aplicación de desmineralización y medición, excepto por el uso de las disoluciones fluoradas.
- ❖ Entre aplicaciones, las muestras fueron sumergidas en solución de Hank como medio conservador de la estructura dental.⁴⁸
- ❖ Se realizó el EDS para cuantificar la relación de Calcio, Fósforo (Ca/P) así como la detección de Ag y Si antes y después de la aplicación de las disoluciones fluoradas.
- ❖ Se realizó el microanálisis Raman para detectar la banda de PO₄³⁻.

Estos dos últimos pasos se hicieron al inicio y al final del experimento.

6. Métodos de registro y procesamiento

Los datos recolectados se anotaron en una bitácora de trabajo.

7. Plan de análisis de datos

Se utilizó el programa de cómputo SPSS ver. 13 para obtener el análisis estadístico de ANOVA con post hoc de Tukey.

IX. RESULTADOS

Se realizaron mediciones iniciales para todas las pruebas experimentales, aunque todavía no habían recibido ningún tratamiento, a los grupos se les nombró desde el inicio como; Control, AGF y SIF.

1.MICRODUREZA

Para poder determinar la fuerza óptima donde se observarían claramente las marcas a medir, se variaron las fuerzas de indentación entre 5 a 50gf.

Se realizaron pruebas iniciales con el microdurómetro a 2 muestras con diferentes gf y tiempo; a cada muestra se realizaron 3 mediciones, se obtuvieron las siguientes medias. Tabla 4.

Tabla 4. Valores obtenidos de la aplicación de diferentes gf y tiempo.

Fuerza. gf	Tiempo. s	Resultado HV
5	10	226 ± 27
10		277 ± 23
25		679 ± 21
50		930 ± 26

La intensidad de la fuerza se varió entre 5 y 50 gf a un tiempo de 10 s, el corto tiempo provocaron una capacidad inferior de recuperación del esmalte. Elegimos como parámetro 50gf para experimentar con diferentes intervalos de tiempo. En la literatura se reportan condiciones de 100gf/15 s y 100gf/10s.³⁹

Se cambió a 50 gf (cantidad máxima de fuerza disponible en el aparato), los resultados entre 20 y 50 segundos fueron similares, por lo tanto, se tomó como punto medio de tiempo 30 s y 50 gf de fuerza a utilizar en el experimento. Tabla 5.

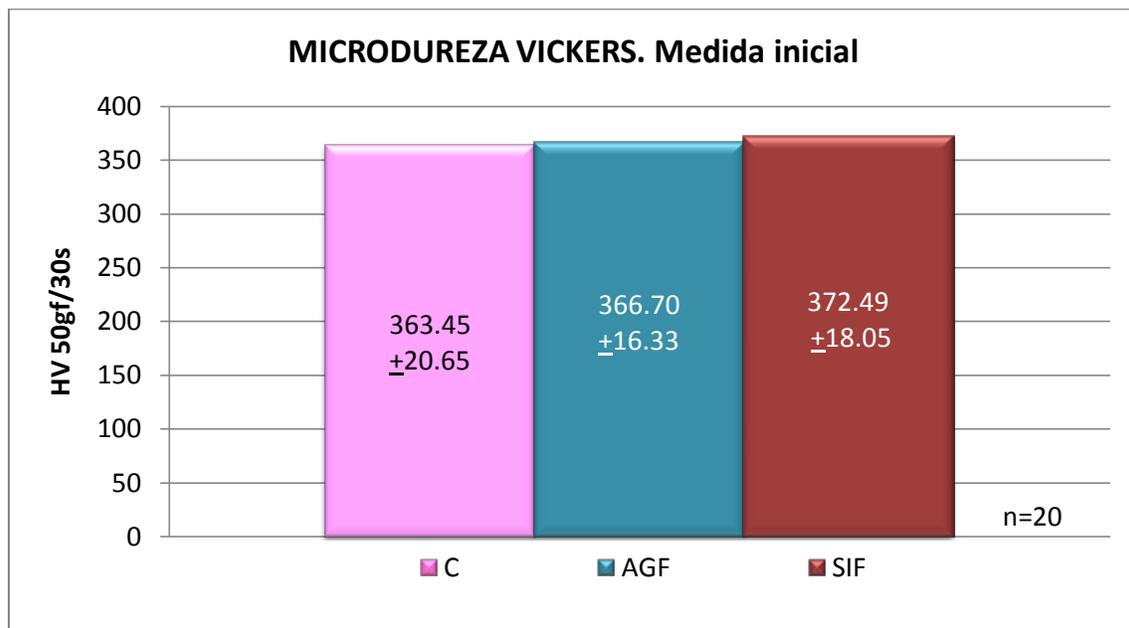
Tabla 5. Variación de intervalos de tiempo.

Fuerza. gf	Tiempo. s	Resultado HV
50	10	930 \pm 24
	20	364 \pm 26
	30	350 \pm19
	40	352 \pm22
	50	355 \pm24

MEDICIÓN INICIAL

Se encontró que los valores entre las muestras fueron homogéneos. El grupo control (C) mostró una media de 363.45 ± 20.65 . El grupo de Fluoruro de Plata amoniacal (AGF) obtuvo un promedio de 366.70 ± 16.33 y el grupo de Hexafluorosilicato de amonio (SIF) obtuvo una media de 372.49 ± 18.05 . Todas las medias correspondientes a la prueba de microdureza están expresados en HV50gf/30s. Gráfica 1.

No se encontró diferencia estadísticamente significativa entre los grupos ($p > 0.05$).



Gráfica 1. Microdureza Vickers inicial.

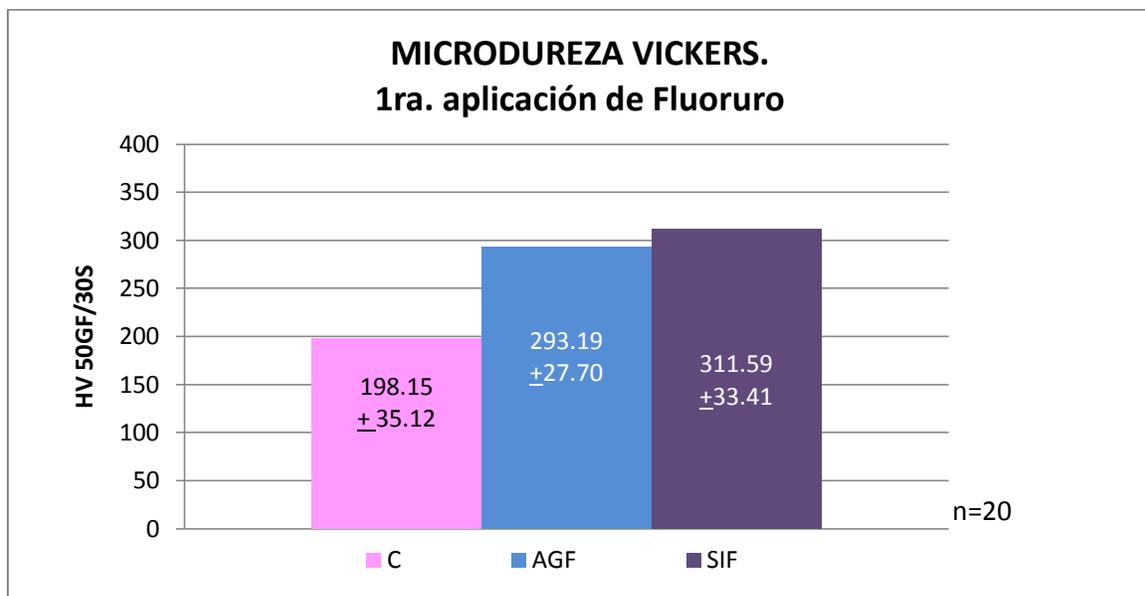
PRIMERA APLICACIÓN DE FLUORUROS

El grupo control no recibió ninguna aplicación de fluoruro, únicamente se sumergió en la disolución desmineralizante. Obtuvo una media de 198.15 ± 35.12 , lo que significó una disminución de la dureza inicial del 45%. Observando una diferencia estadísticamente significativa con su grupo en la medida inicial, ($p < 0.05$).

El grupo AGF obtuvo una media de 293.19 ± 27.70 , con disminución de dureza del 21% comparado con la medida inicial del grupo. Se obtuvo diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) con su grupo inicial y con el control.

Del grupo SIF se obtuvo una media de 311.59 ± 33.41 , con disminución de 16% comparado con la medida inicial del grupo. Se encontró diferencia estadísticamente significativa con el control, ($p < 0.05$).

Al comparar los grupos de AGF y SIF no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, ($p > 0.05$). Gráfica 2.



Gráfica 2. Microdureza Vickers. Primera aplicación de fluoruro.

SEGUNDA APLICACIÓN DE FLUORURO

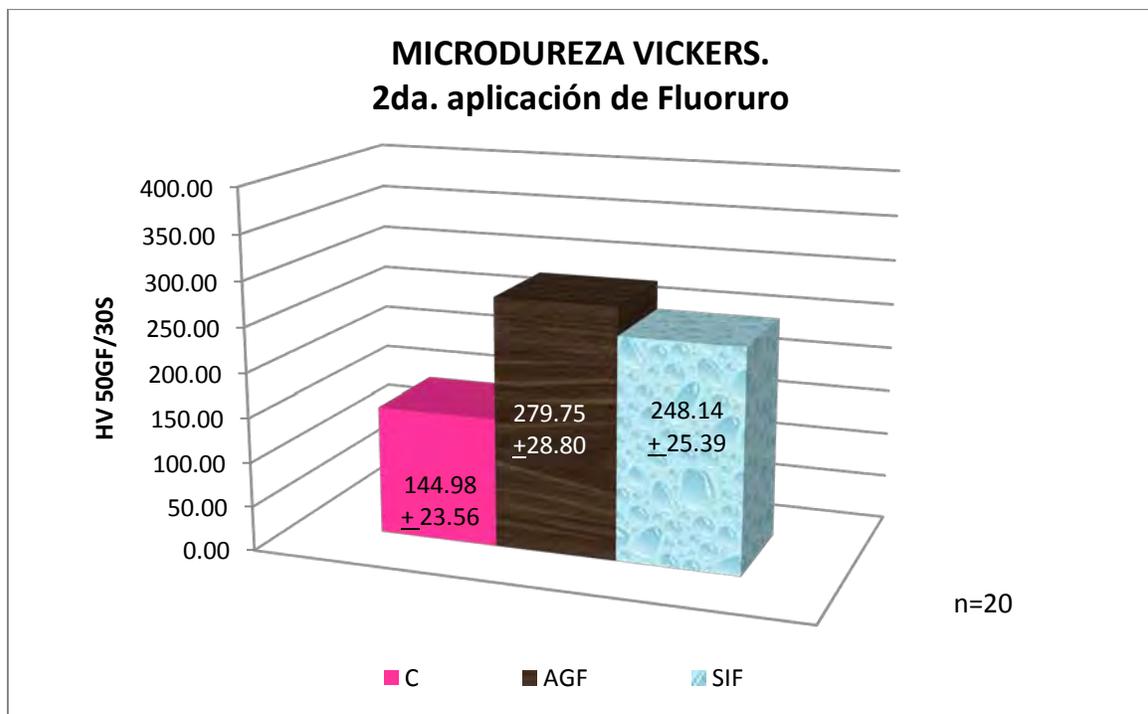
La segunda vez que se sumergieron las muestras en la disolución desmineralizante, el grupo control tuvo una media de 144.98 ± 23.56 con disminución de 60% respecto a la medida inicial. Obteniéndose una diferencia estadísticamente significativa, ($p < 0.05$).

En el grupo AGF la media fue de 279.75 ± 28.80 con disminución de dureza del 24% respecto a la medida inicial del grupo.

La diferencia comparada con el grupo control fue estadísticamente significativa, ($p < 0.05$).

En tanto, del grupo de SIF se obtuvo una media de 248.14 ± 25.39 , con disminución de 33% comparado con la medida inicial del grupo. Se encontró diferencia estadísticamente significativa comparada con el control, ($p < 0.05$).

Al comparar los grupos de AGF y SIF no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, ($p > 0.05$). Gráfica 3.



Gráfica 3. Microdureza Vickers. Segunda aplicación de fluoruro.

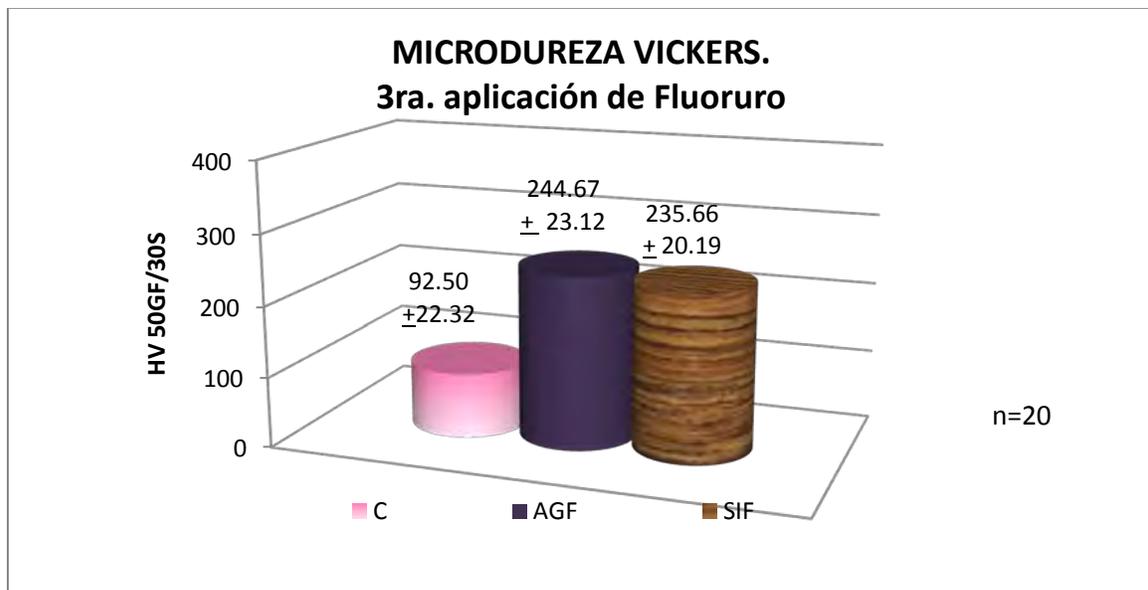
TERCERA APLICACIÓN DE FLUORURO

Después del proceso de desmineralización por tercera ocasión, el grupo control obtuvo una media de dureza de 92.50 ± 22.32 ; 75% menos comparado con el valor inicial.

En el grupo de AGF, su media fue de 244.67 ± 23.12 , equivalente a 33% de disminución de dureza comparado con el valor inicial.

En el grupo de SIF, su media fue 235.66 ± 20.19 , equivalente a 37% de disminución de dureza, comparado con el valor inicial.

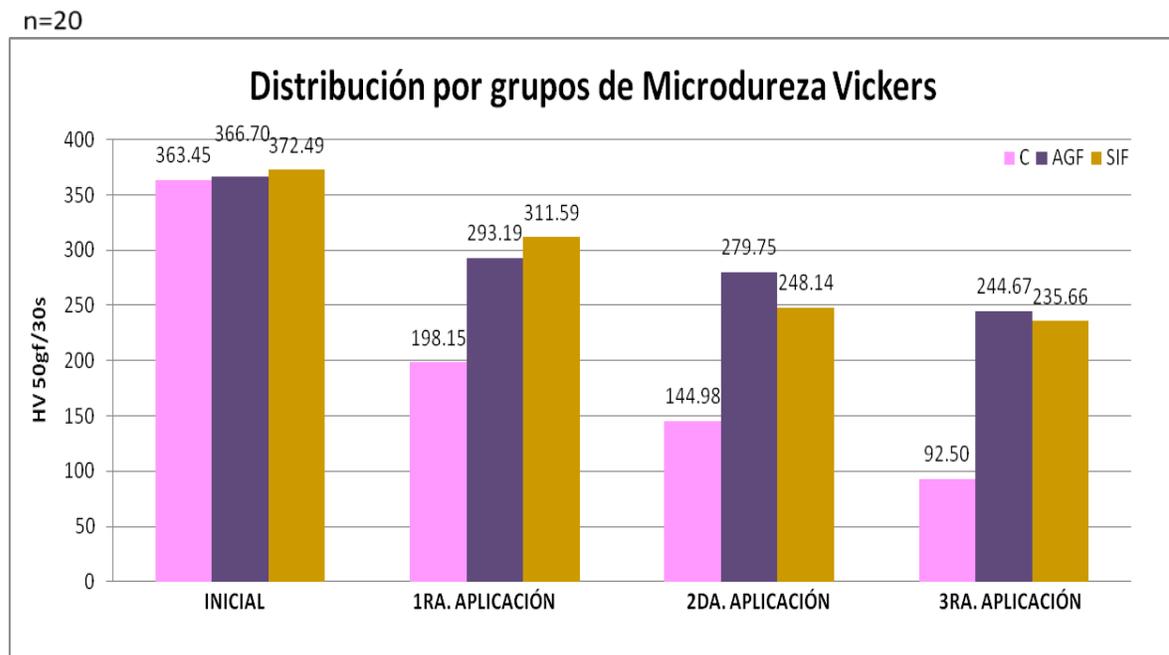
Los grupos de AGF y SIF al compararlos con el control de esta misma etapa mostraron diferencias estadísticamente significativas, ($p < 0.05$). Sin embargo, no hubo diferencias entre el grupo de AGF y SIF ($p > 0.05$). Gráfica 4.



Gráfica 4. Microdureza Vickers. Tercera aplicación de fluoruro.

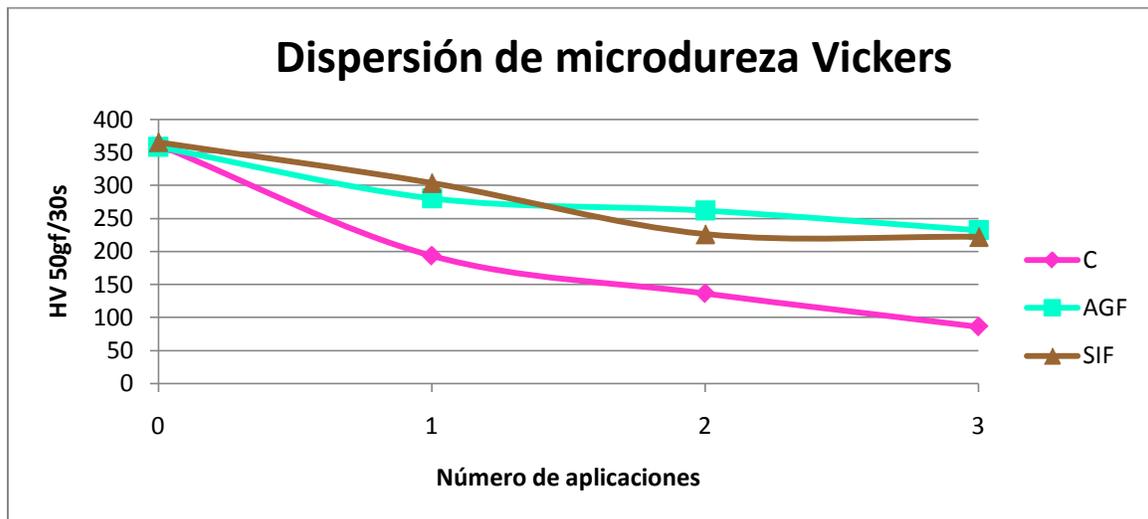
Con el análisis estadístico ANOVA con post hoc de Tukey se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el grupo control y los grupos de AGF y SIF en las diferentes aplicaciones ($p < 0.05$); no hubo diferencias en el número de aplicaciones entre los grupos AGF y SIF ($p > 0.05$). En la gráfica 5 se observa la distribución por grupos de microdureza.

Con el paso de las desmineralizaciones, los valores de dureza del grupo control disminuyen significativamente, en tanto, entre los grupos SIF y AGF, los valores no se ven significativamente afectados entre sí.



Gráfica 5. Distribución por grupos de microdureza Vickers.

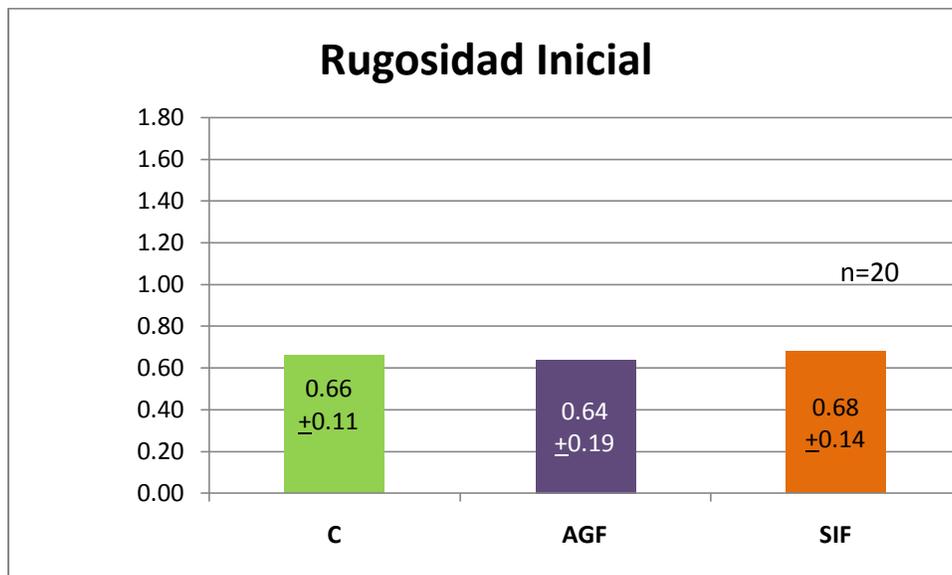
Todas las muestras iniciales partieron de valores similares. Con el número de desmineralizaciones, el grupo control mostró un claro descenso en su microdureza; en cambio, en los grupos de AGF y SIF, aunque también presentaron disminución, ésta fue significativamente menor y en ambos se observó una tendencia a la estabilidad entre la segunda y tercera aplicación de las disoluciones fluoradas. Gráfica 6.



Gráfica 6. Dispersión de microdureza Vickers.

2. RUGOSIDAD

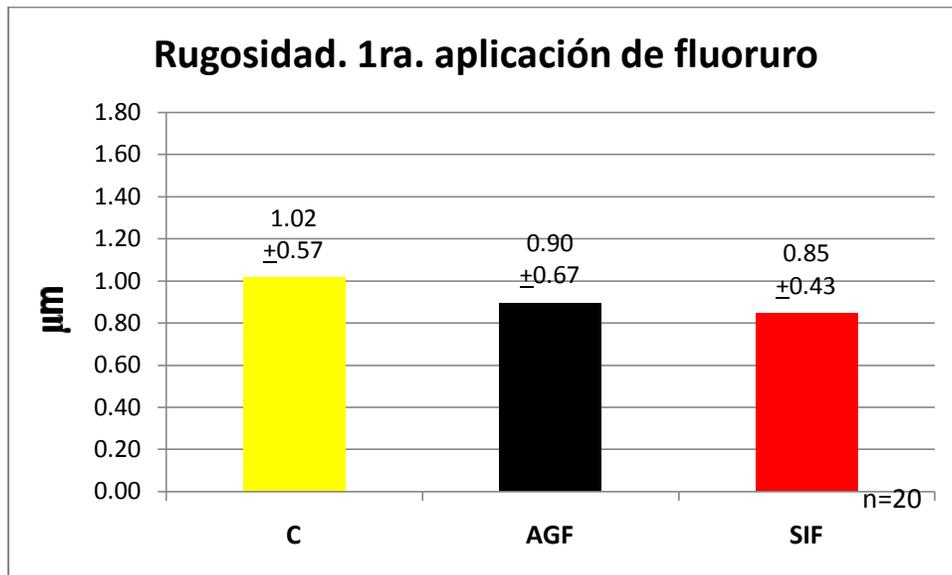
Las muestras presentaron medias para el grupo control de $0.66 \pm 0.11 \mu\text{m}$, el AGF, $0.64 \pm 0.19 \mu\text{m}$ y SIF, $0.68 \pm 0.14 \mu\text{m}$. Estos valores no fueron estadísticamente significativos, ($p > 0.05$). Gráfica 7



Gráfica 7. Rugosidad inicial.

PRIMERA APLICACIÓN DE FLUORURO

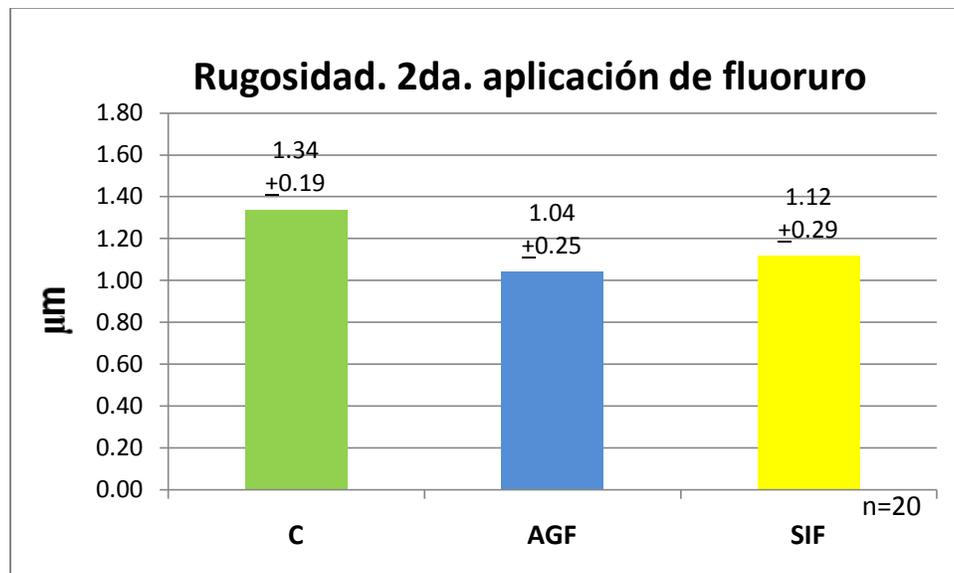
Después de la primera desmineralización y la aplicación de las disoluciones fluoradas en los grupos correspondientes se obtuvo en el grupo control, una media de $1.02 \pm 0.57 \mu\text{m}$; en AGF, $0.90 \pm 0.67 \mu\text{m}$ y en SIF, $0.85 \pm 0.43 \mu\text{m}$. Estos valores no fueron estadísticamente significativos comparados entre sí, ni con los valores iniciales. ($p > 0.05$). Gráfica 8.



Gráfica 8. Rugosidad después de la primera aplicación de fluoruro.

SEGUNDA APLICACIÓN DE FLUORURO

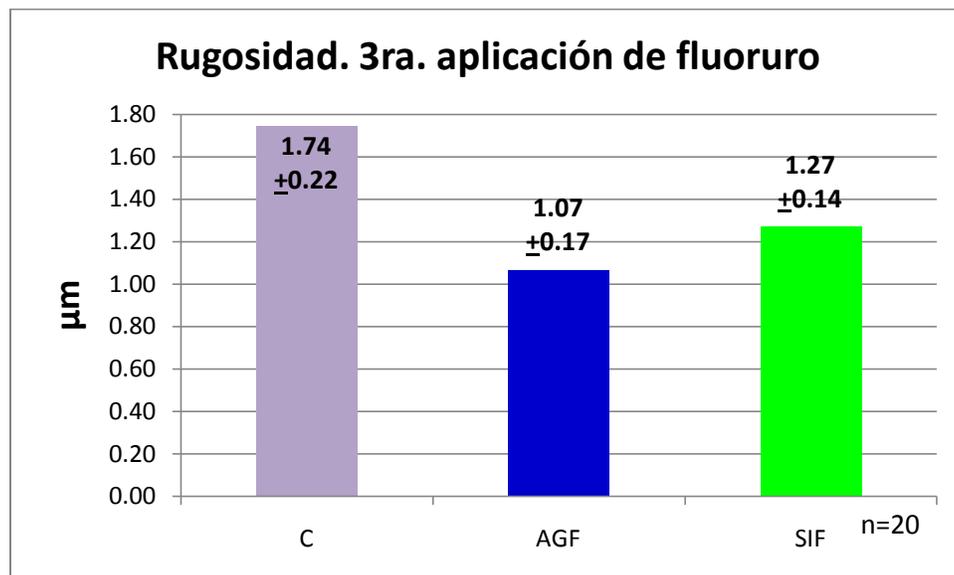
Tras la segunda aplicación de las disoluciones fluoradas en los grupos correspondientes se obtuvo en el grupo control, una media de rugosidad de $1.34 \pm 0.19 \mu\text{m}$; en AGF, $1.04 \pm 0.25 \mu\text{m}$ y en SIF, $1.12 \pm 0.29 \mu\text{m}$. Estos valores no fueron estadísticamente significativos comparados entre sí, ni al compararlos con los grupos de AGF y SIF de las mediciones anteriores, ($p > 0.05$). Se encontró diferencia estadísticamente significativa comparada con la medida inicial del grupo control, ($p < 0.05$). Gráfica 9.



Gráfica 9. Rugosidad segunda aplicación de fluoruro.

TERCERA APLICACIÓN DE FLUORURO

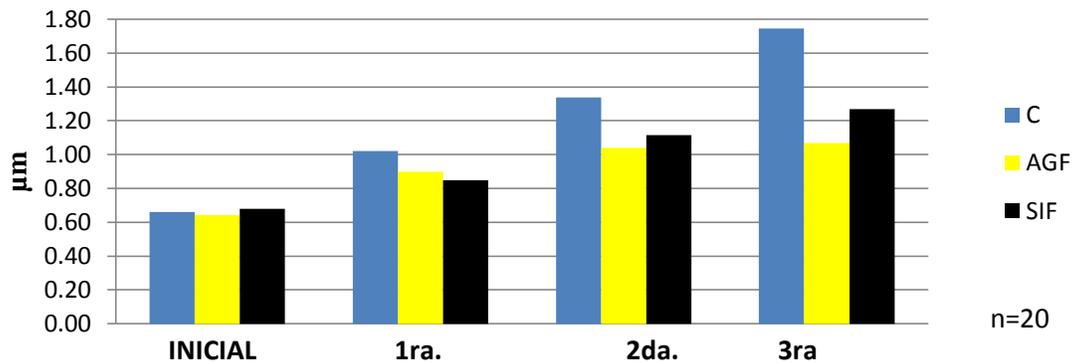
Con la tercera aplicación de las disoluciones fluoradas en los grupos correspondientes se obtuvo en el grupo control, una media de rugosidad de $1.74 \pm 0.22 \mu\text{m}$; en AGF, $1.07 \pm 0.17 \mu\text{m}$ y en SIF, $1.27 \pm 0.14 \mu\text{m}$. El grupo control mostró datos estadísticamente significativos al compararlo con la medida inicial y con los grupos de AGF y SIF de la tercera etapa del experimento, ($p < 0.05$). Gráfica 10.



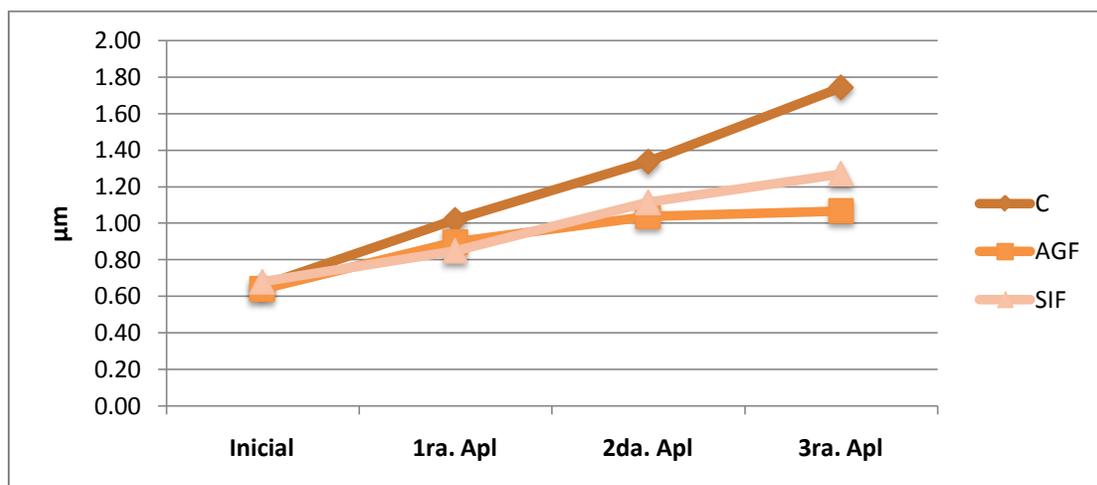
Gráfica 10. Rugosidad posterior a la tercera aplicación de fluoruro.

En la distribución por grupos, el grupo control mostró una tendencia de aumento con el paso de desmineralizaciones obteniéndose resultados estadísticamente significativos, ($p < 0.05$).

Los grupos de AGF y SIF, mostraron un ligero aumento de rugosidad; las comparaciones entre aplicaciones y entre grupos no fueron estadísticamente significativas, ($p > 0.05$). Las rugosidades iniciales se observan homogéneas, en tanto conforme se aplicaron los fluoruros, ésta tiende a la estabilidad, pero la del grupo control aumenta. Se observa como la rugosidad aumenta progresivamente en el grupo control. Gráficas 11 y 12.



Gráfica 11. Distribución por grupos en la prueba de rugosidad.



Gráfica 12. Dispersión de rugosidad.

3. MICROANÁLISIS POR DISPERSIÓN DE ENERGÍA DE RAYOS X. (EDS)

ANÁLISIS INICIAL

El análisis inicial EDS mostró los elementos constituyentes del esmalte dental.

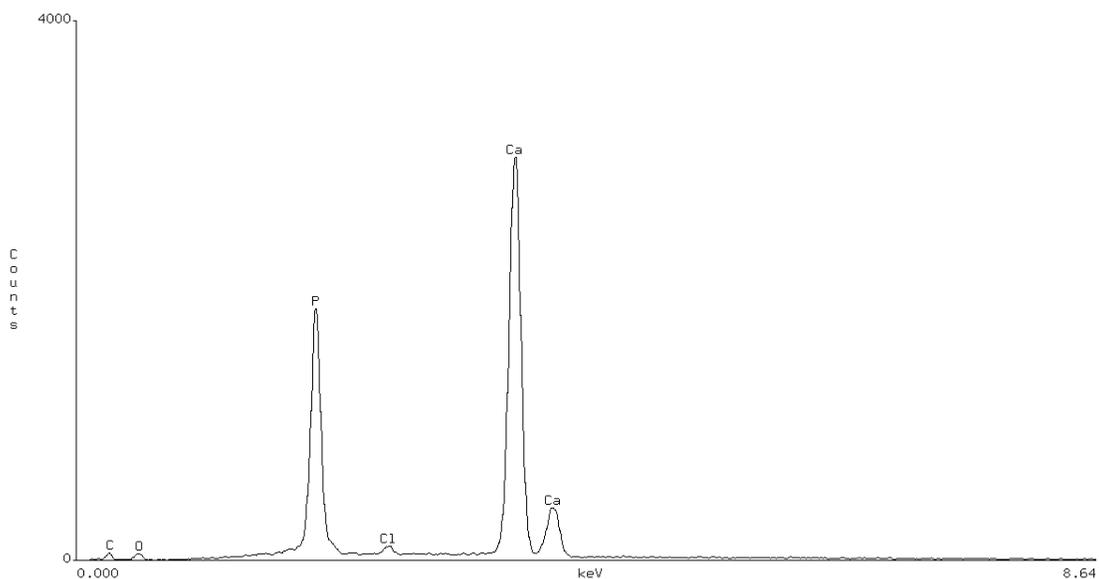
Tabla 6. Gráfica 13.

La modificación de la relación Ca/P, provee información acerca de las propiedades ultraestructurales del esmalte debida a las alteraciones físicas o químicas.

La cantidad de calcio fue superior a la de fósforo, se encontró una relación Ca/P de 2.52 ± 0.02 .

Tabla 6. Elementos contenidos en el esmalte dental sin ningún tratamiento previo

Elemento	Atómico %
C	9.92 ± 0.46
O	15.56 ± 0.94
P	20.91 ± 0.87
Cl	0.71 ± 0.11
Ca	52.80 ± 0.91



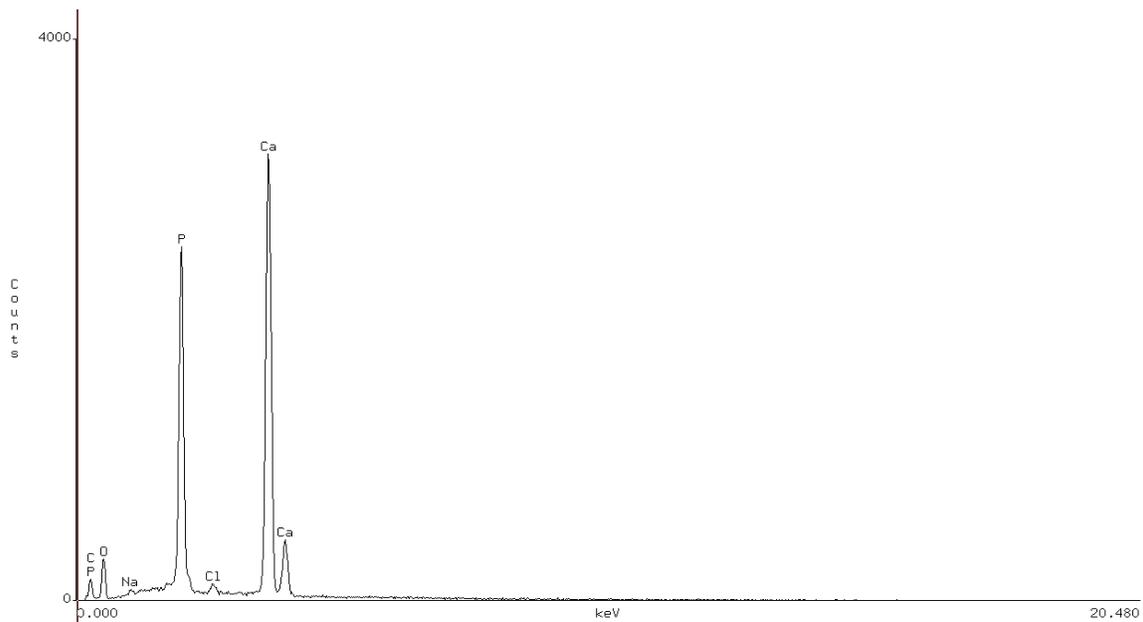
Gráfica 13. Análisis EDS inicial de esmalte.

ANÁLISIS DEL GRUPO CONTROL

Después de haber desmineralizado en tres ocasiones durante un periodo de 1 hora cada uno, el análisis EDS mostró una relación media de Ca/P de 1.93 ± 0.03 . Los picos de calcio y fósforo disminuyeron 23% en comparación con las muestras iniciales. Tabla 7. Gráfica 14.

Tabla 7. Elementos contenidos en el esmalte dental después del tratamiento de desmineralizaciones

Elemento	Atómico %
C	23.54 \pm 3.21
O	35.86 \pm 4.76
P	13.55 \pm 2.26
Cl	0.79 \pm 0.17
Ca	26.16 \pm 3.18



Gráfica 14. Grupo control después del tratamiento de desmineralizaciones.

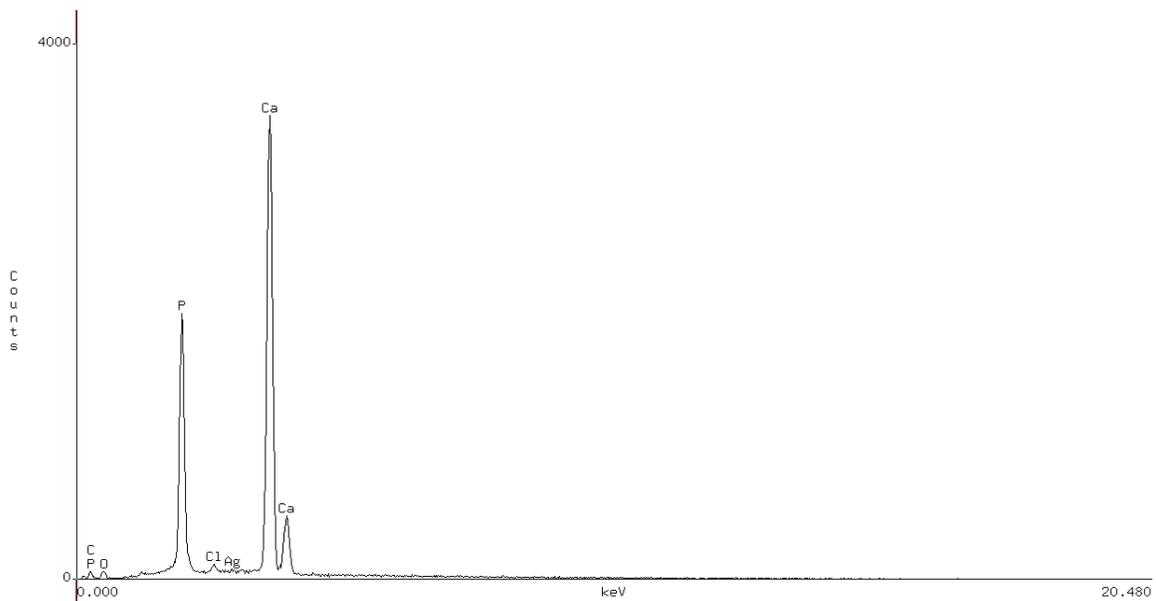
ANÁLISIS DEL GRUPO AGF

Después de haber tratado estas muestras con fluoruro de plata a moniacal, se evaluó la relación Ca / P, la media fue 2.84 ± 0.08 ; 12.3% más que la muestra inicial, debido a que el AGF protegió a las muestras del ataque de la disolución desmineralizante.

Además de los elementos encontrados en la muestra inicial, se registró el pico de Ag con una media de 0.19 ± 0.03 . Tabla 8. Gráfica 15.

Tabla 8. Elementos contenidos en el esmalte dental *tras la colocación de AGF*

Elemento	Atómico %	
C	9.07	± 0.15
O	14.07	± 1.56
P	19.80	± 3.63
Cl	0.56	± 0.17
Ca	56.28	± 2.97
Ag	0.22	± 0.01



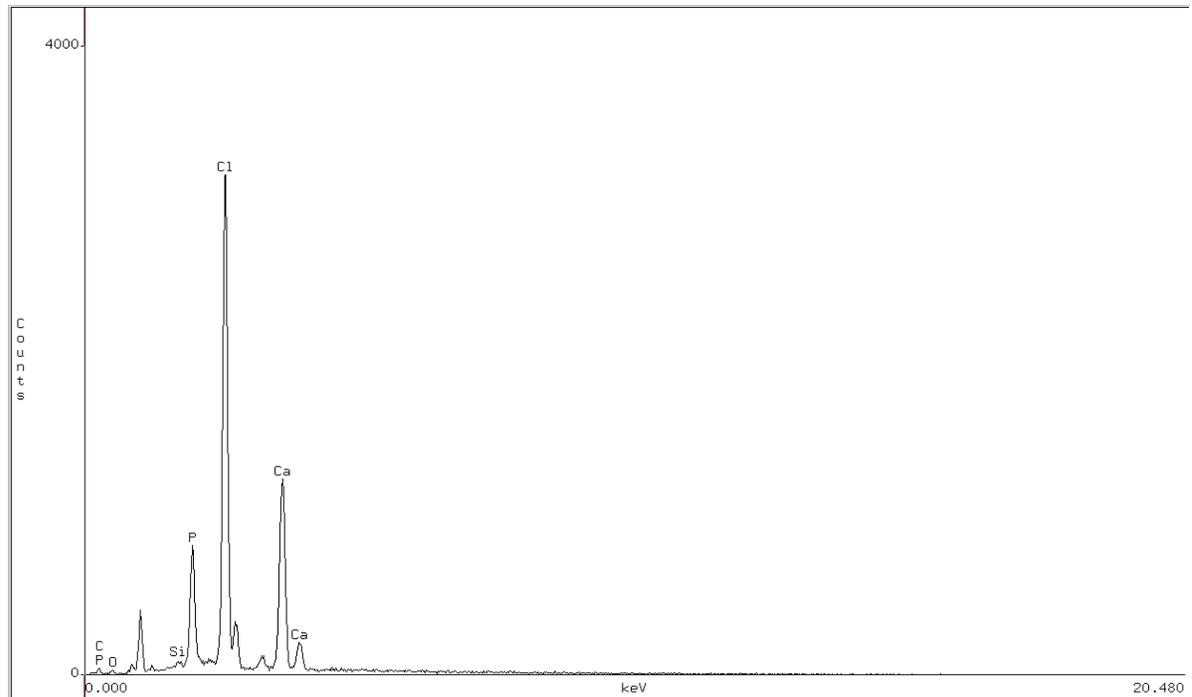
Gráfica 15. Análisis EDS de esmalte tras la colocación de AGF.

ANÁLISIS DEL GRUPO SIF

La relación media de Ca/P encontrada en las muestras del grupo SIF fue de 2.79 ± 0.08 , 23% más que las muestras iniciales. El Si fue hallado en las muestras de este grupo, la media fue de 0.29 ± 0.04 después de la aplicación del SIF en tres diferentes ocasiones. Tabla 9. Gráfica 16.

Tabla 9. Elementos contenidos en el esmalte dental *tras la colocación de SIF*

Elemento	Atómico %
C	6.57 ± 0.23
O	11.62 ± 2.24
P	21.33 ± 3.45
Cl	0.79 ± 0.34
Ca	59.52 ± 6.32
Si	0.17 ± 0.02

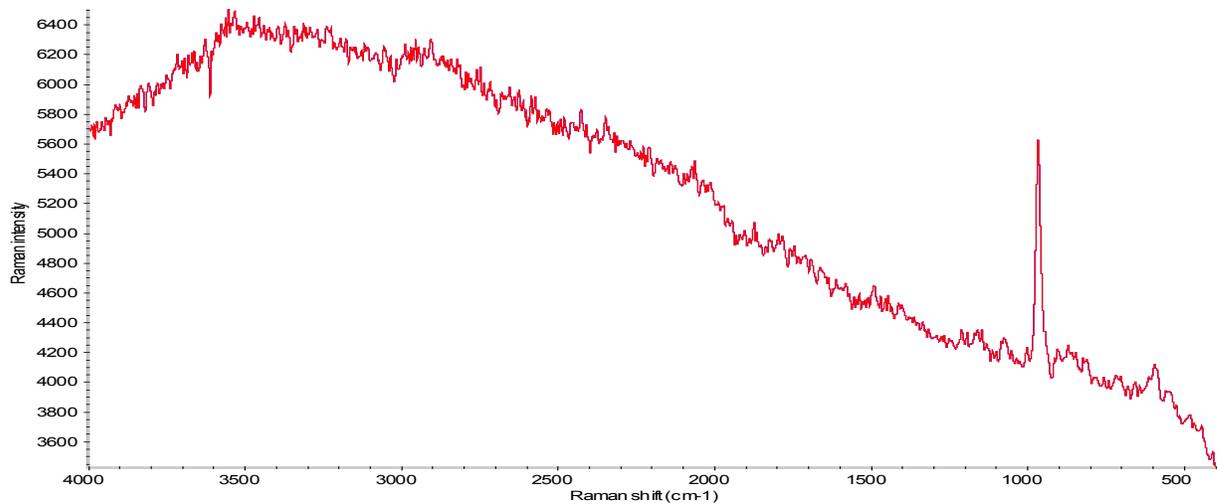


Gráfica 16. Análisis EDS tras la colocación de SIF.

4. ANÁLISIS RAMAN

ANÁLISIS INICIAL

A la muestra de esmalte dental natural que no recibió ningún tratamiento, se le realizó análisis RAMAN. Se obtuvo la banda de $(\text{PO}_4)^{-3}$, a una longitud de onda de 959 cm^{-1} . Gráfica 17.

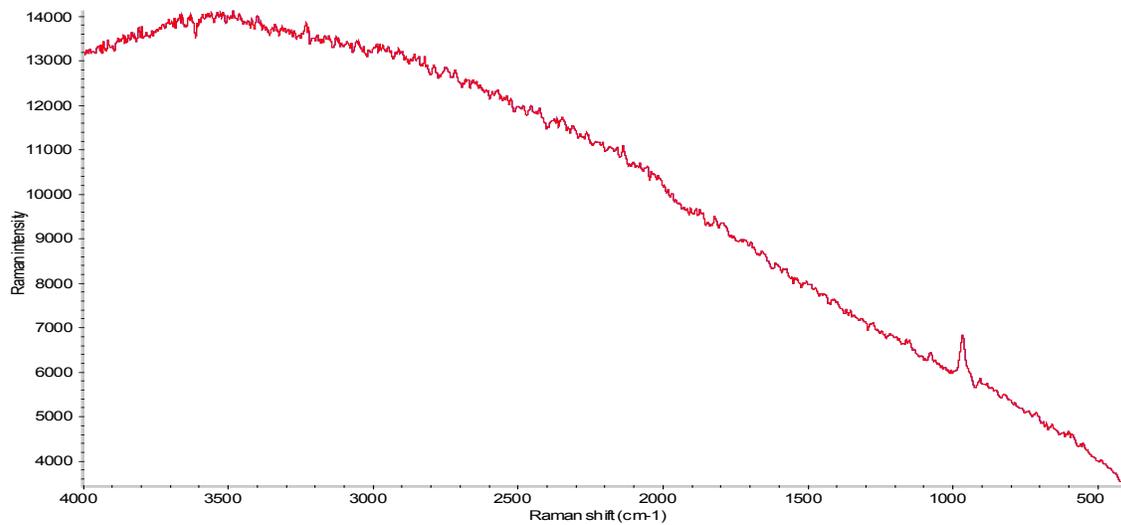


Gráfica 17. Análisis Raman inicial de esmalte dental.

ANÁLISIS DEL GRUPO CONTROL

En las muestras de esmalte desmineralizado en tres ocasiones (grupo C), se realizó el análisis RAMAN.

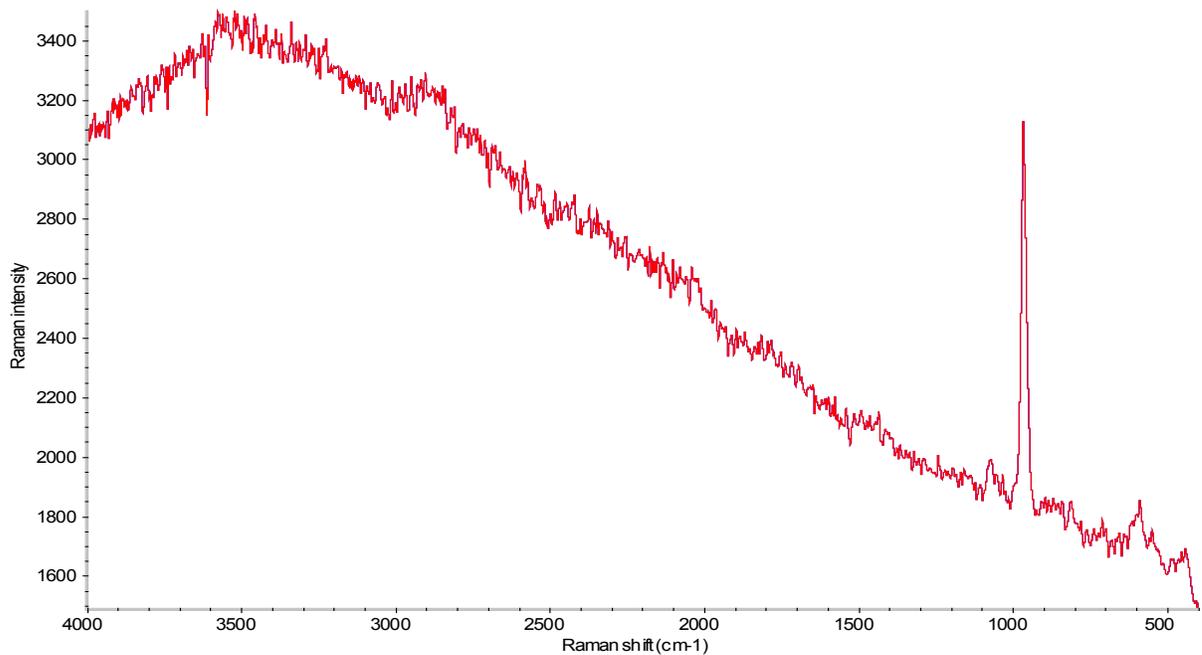
Se obtuvo la presencia de la misma banda, a una longitud de onda de 959 cm^{-1}
Gráfica 18.



Gráfica 18. Análisis Raman del esmalte dental desmineralizado en tres ocasiones.

ANÁLISIS DEL GRUPO AGF

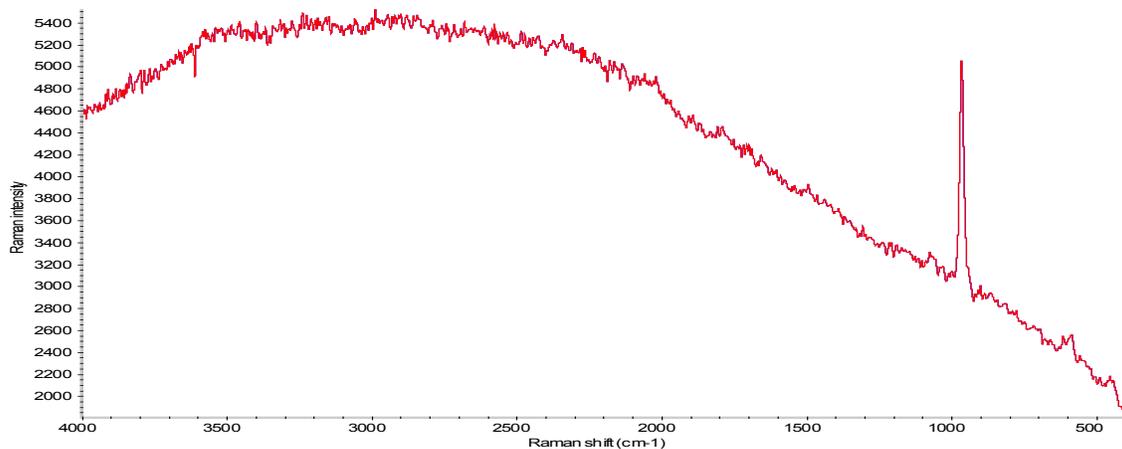
Después de haber desmineralizado y colocado AGF en tres ocasiones, se obtuvo a través del análisis Raman, la banda a 959 cm^{-1} , que corresponde a $(\text{PO}_4)^{3-}$. Gráfica 19.



Gráfica 19. Análisis Raman del esmalte dental después de haber colocado AGF en tres ocasiones.

ANÁLISIS DEL GRUPO SIF

Después de haber desmineralizado y colocado SIF en tres ocasiones, se obtuvo a través del análisis Raman, la banda a 959 cm^{-1} , que corresponde a $(\text{PO}_4)^{3-}$
Gráfica 20.



Gráfica 20. Análisis Raman del esmalte dental después de haber colocado SIF en tres ocasiones.

En todas las muestras se observó la señal a 959 cm^{-1} pero no es posible compararlas cuantitativamente entre sí, debido a que solo se observa la presencia de un solo pico en los espectros.

5. Cambio de color

Los especímenes que tuvieron tratamiento con AGF, mostraron pigmentación en la zona tratada. Figuras 13 y 14.

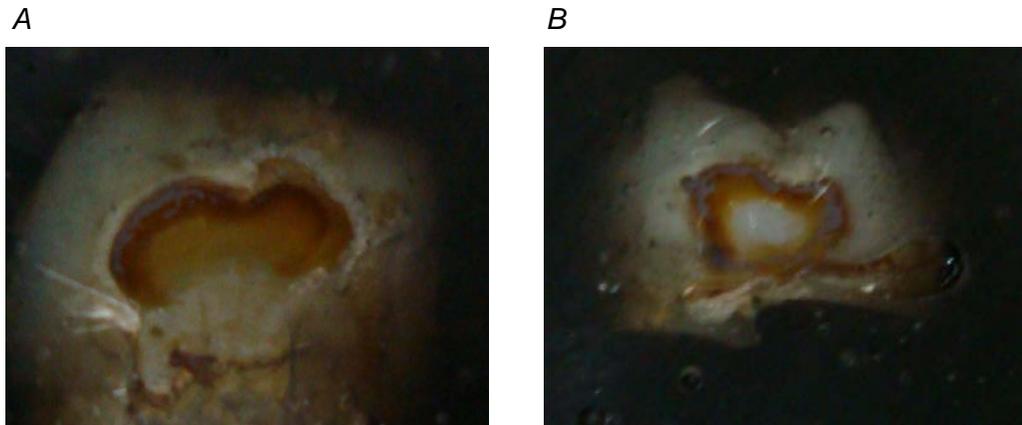


Figura 13. A y B. Fotografías de muestras pulidas tratadas con AGF utilizadas para las pruebas de dureza, EDS y Raman.

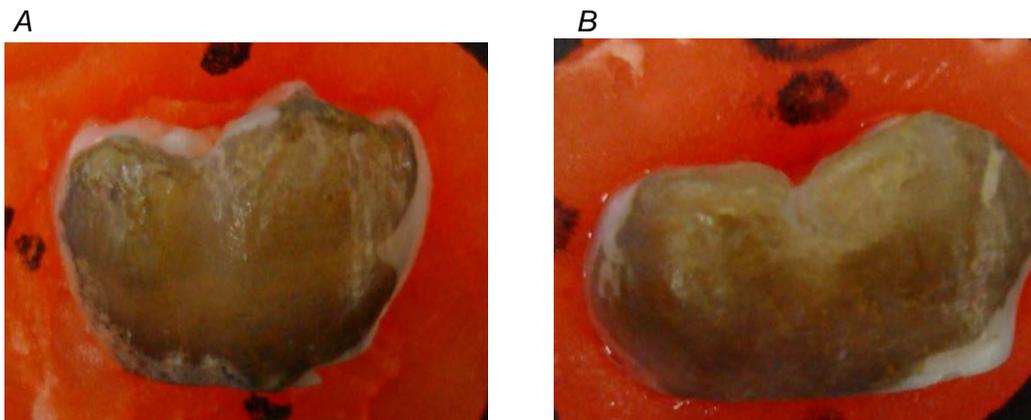
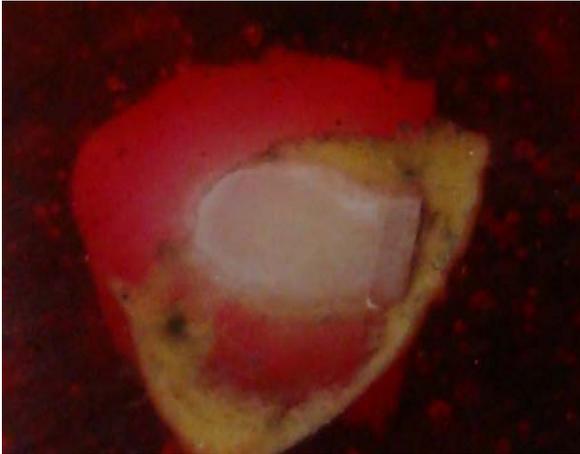


Figura 14. A y B. Fotografías de muestras no pulidas tratadas con AGF utilizadas para la prueba de rugosidad.

Los especímenes que tuvieron tratamiento con SIF, no mostraron pigmentación en la zona tratada. Figuras 15 y 16.

A



B



Figura 15. A y B. Fotografías de muestras pulidas tratadas con SIF utilizadas para las pruebas de dureza, EDS y Raman.

A



B



Figura 16. A y B. Fotografías de muestras no pulidas tratadas con SIF utilizadas para la prueba de rugosidad.

X. DISCUSIÓN

El estudio in vitro realizado sobre muestras de esmalte humano, mostró en sus diferentes fases de pruebas, la modificación de la estructura dental con la aplicación de las soluciones fluoradas, mismas que resultaron ser igualmente eficaces.

Se utilizó SIF al 98% de pureza para preparar una disolución 0.476 mol/L con agua bidestilada. Esta concentración ha sido empleada en modelos experimentales del SIF con éxito. El SIF contiene seis F^{-1} en la molécula, que se liberan gradualmente una vez que se hidroliza.

Aunque la concentración de la AGF al 38% es mayor (2.36 mol/L) a la del SIF (0.436 mol/L), no se modificó la disolución porque las concentraciones de fluoruro cuando éste se hidroliza son similares en ambos productos.^{34,35}

Susuki et al, referido por Garbelini⁴⁹ con la finalidad de verificar la eficacia de la solución de AGF al 38% como agente anticariogénico y cariostático realizó una investigación en molares permanentes recién erupcionados y molares deciduos, observó que después de 18 meses, la incidencia de caries disminuyó en 42.15% en molares deciduos y 24.3% en molares permanentes. En cuanto a la progresión de caries en dentina, fue inhibida en 52.9% en los molares deciduos y en 38.5% en los molares permanentes. Después de 24 meses de control clínico, el mismo autor concluyó que la aplicación tópica de AGF al 38% era eficaz como anticariogénico y cariostático en molares deciduos, mientras que en molares permanentes sólo fue considerado como cariostático. En este estudio únicamente empleamos dientes permanentes.

Moriwaki M, referido por Garbelini⁴⁹, señaló que el AGF es capaz de formar fosfato de plata y fluoruro de calcio (compuestos estables) en la superficie dentaria presentando tanto efecto inhibitorio como de suspensión del proceso carioso. En nuestro caso, se comprobó indirectamente el efecto inhibitorio a la

desmineralización dental con la colocación de este producto, a través de las pruebas de microdureza y EDS, en las que se encontraron diferencias estadísticamente significativas comparadas con el grupo C, (al que no se le aplicaron disoluciones fluoradas) demostrando que el fluoruro contenido en el AGF impidió una desmineralización continua de los dientes.

Por otro lado, una de las pruebas utilizadas fue la microdureza, cuya medida provee información de la resistencia de un cuerpo a ser penetrado o rallado.

Múltiples estudios,^{39,50-54} han utilizado esta prueba para comprobar la influencia sobre el esmalte dental de disoluciones fluoradas de uso tópico *in vitro*, de productos como el Fluoruro de Fosfato Acidulado, Fluoruro neutro de Sodio y Fluoruro estañoso,

En este estudio, se encontró que en todos los casos disminuyeron significativamente los valores de microdureza del esmalte, luego de someterlo a la acción de las disoluciones desmineralizantes, ya que al producirse desmineralización, la dureza adamantina decrece, proceso documentado por Gómez de Ferraris.² Con las tres desmineralizaciones realizadas sobre las muestras control, se observó el descenso en la microdureza. Este fenómeno es debido a la pérdida progresiva e incesante de iones presentes en el diente, principalmente calcio y fósforo, tornando al esmalte más soluble y por lo tanto menos duro.^{52,55-58}

Por otro lado, la colocación del AGF y el SIF sobre las muestras demostraron un efecto protector ante la disolución desmineralizante empleada, dando como consecuencia una menor pérdida de calcio y fósforo, debido a que el contenido de las disoluciones fluoradas utilizadas, provocan que la hidroxiapatita se modifique y sea más resistente al ataque ácido.

Sin embargo, el número de aplicaciones de disoluciones fluoradas utilizadas mostró no tener relevancia estadística ante la prueba de microdureza, ya que el efecto protector a la desmineralización es homogéneo si se colocan una, dos o

tres repeticiones de las sustancias fluoradas. Sin embargo, el no colocar ninguna disolución fluorada sobre el diente y posteriormente desmineralizarlo representó gran disminución de su dureza y por lo tanto, diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$). al compararse con los grupos AGF y SIF de su misma etapa de experimentación.

Kawasaki et al. en 2005,³⁶ realizaron estudios sobre dientes bovinos, sumergiéndolos en una disolución desmineralizante de pH 5 a base de ácido láctico, a los que posteriormente aplicaron disoluciones fluoradas de AGF y SIF en las mismas concentraciones empleadas en el actual estudio; sus resultados mostraron aumento de resistencia a la acidez de las muestras, concluyendo que la aplicación de estas disoluciones fluoradas brindan un efecto cariostático donde el SIF mostró propiedades superiores a las obtenidas por AGF. En el actual estudio, las pruebas se realizaron sobre dientes humanos, sumergiéndolos en una disolución desmineralizante de pH 4 a base de ácido láctico; las disoluciones fluoradas y sus concentraciones fueron las mismas que en el estudio de Kawasaki. Nuestros resultados igualmente mostraron protección a la acidez, sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre AGF y SIF, ambos lograron efectos benéficos sobre las muestras; se demostró que independientemente de la disolución fluorada aplicada, se obtiene protección al ataque ácido y a la desmineralización, provocando que el diente sufra una modificación en la estructura de la patita, siendo más resistente que si no fuera colocada disolución fluorada alguna.

Por otro lado, *Kawasaki A. et al.*³⁶ utilizaron un rugosímetro en su estudio para evaluar la profundidad del esmalte desmineralizado, en la que la rugosidad obtenida del grupo control fue estandarizada al 100% (equivalentes a $200.5 \pm 64.8 \mu\text{m}$), del grupo de AGF se obtuvo $80 \pm 29.1\%$ y del SIF, $91.8 \pm 29.4\%$. Se observó disminución de la rugosidad en estos. Ellos no encontraron diferencias estadísticamente significativas con respecto al grupo control ($p > 0.05$).

En este estudio, la prueba de rugosidad mostró cambios en la superficie. Debido al tratamiento desmineralizante, la rugosidad se modificó conforme se colocó la disolución desmineralizante. La aplicación de las disoluciones fluoradas provocó un cambio en la rugosidad, aunque los cambios no fueron estadísticamente significativos ($p > 0.05$). La presencia de porosidades e irregularidades superficiales en el esmalte desmineralizado son debido a la pérdida de iones; Ca^{+2} y $(\text{PO}_4)^{3-}$.^{39,51,54}

Probablemente, los resultados de la prueba de rugosidad no fueron estadísticamente significativos debido a que la punta utilizada no fue lo suficientemente fina para medir valles pequeños; por lo que en futuros estudios, se sugiere cambiar el instrumento de medición.

El microscopio de fuerza atómica sería de utilidad para este fin, ya que las propiedades estructurales del esmalte dental también pueden ser estudiadas en escala nanométrica, en la que se pueden diferenciar cambios entre las diferentes partes del cristal de hidroxiapatita.⁵⁵ En este estudio, se planteó obtener datos generales del comportamiento del esmalte con las disoluciones fluoradas, por lo que una vez obtenida esta información, no se descarta que en futuros trabajos se investigue el comportamiento del cristal de hidroxiapatita a escala nanométrica.

Se han considerado muchos modelos para explicar las observaciones morfológicas, químicas y ultraestructurales en términos químicos asociados a la caries del esmalte; el principal suceso es la desmineralización del tejido duro por ácidos producidos por bacterias bucales y la subsiguiente remineralización o precipitación de apatitas directamente o a través de la hidrólisis del precursor de fases Ca/P.⁵⁶

Cabe destacar, que los cambios químicos asociados al proceso de caries dental incluyen a) disminución de la densidad mineral, b) menor relación Ca/P, c) disminución de la concentración de Mg y carbonato, d) aumento del contenido HPO_4^{2-} y e) disminución en la concentración de F^- .^{54,56}

En esta investigación se observó que en el grupo control, la densidad mineral se modificó, evento que se infiere indirectamente a través de los resultados obtenidos con las pruebas de microdureza y rugosidad, donde posiblemente hubo pérdida subsecuente de iones, porque la microdureza disminuyó significativamente ($p < 0.05$) y la rugosidad aumentó.

En los grupos de AGF y SIF se observó un efecto protector a la desmineralización, esto pudo ser debido a la incorporación y aumento de la concentración de F^- , estos factores promueven cambios en las propiedades de la apatita del esmalte que están relacionados con los cambios químicos antes mencionados.^{56,57}

Sobre el papel cariostático del fluoruro, se han propuesto algunos mecanismos en estudios *in vitro* e *in vivo*. Estos incluyen: a) inhibir la producción bacteriana y de ácidos; b) inhibir la disolución de los minerales dentales (Ca^{+2} y $(PO_4)^{3-}$ principalmente); c) promover la remineralización (recuperar Ca^{+2} y $(PO_4)^{3-}$ de la saliva); d) favorecer la incorporación de F^- o de cristales (F,OH)-AP que son más resistentes a la disolución con ácidos; e) interactuar sinérgica o antagónicamente con otros iones por ejemplo, CO_3^{2-} , HPO_4^{2-} , Mg^{2+} , Sr^{2+} que afectan la solubilidad del esmalte; f) fomentar el crecimiento y el tamaño de los cristales de apatita y g) cuando se presentan niveles aumentados, promueve la formación de CaF_2 que sirve como reservorio de iones F^- o la subsecuente transformación de apatita (F,OH).^{56,58}

La incorporación o sustitución de fluoruro sobre el esmalte, modifica las propiedades de la hidroxiapatita, dando como resultado aumento de la relación Ca/P, reparación de la lesión y disminución de la progresión de caries.^{52,57}

El resultado de la prueba de EDS mostró que las medidas del grupo que se desmineralizó en tres ocasiones, disminuyeron considerablemente al compararlas con los dos grupos de disoluciones fluoradas, pero los valores obtenidos entre estos fueron similares, mostrando que ambos productos fluorados son igual de eficaces.

En nuestras muestras, con el EDS, se incrementaron las relaciones Ca/P, con estos mismos productos, que sirvió indirectamente para demostrar el papel protector del fluoruro sobre el esmalte.

El esmalte sano en Raman presenta una vibración si métrica a 959 cm^{-1} fuertemente polarizada, correspondiente a PO_4^{3-} , en contraste con las lesiones cariosas cuya banda presenta una polarización débil. Esta diferencia en el grado de polarización anisotrópica de Raman permite la diferenciación entre el esmalte dental sano y el cariado.^{45,58-61}

En este estudio se encontró presencia de la banda de PO_4^{3-} , sin embargo ésta no se analizó cuantitativamente, debido a que en el espectro solo se observó un pico.

Daculsi,⁶⁰ demostró, que la caries es un proceso dinámico de disolución y remineralización de los cristales de hidroxiapatita. Cuando el proceso de remineralización es más lento que el de disolución, la lesión de caries progresa; en cambio, cuando la remineralización es más rápida que el proceso de disolución, el desarrollo de la lesión disminuye o incluso se detiene.

En este trabajo, únicamente se observó indirectamente la disolución; el SIF y AGF protegen la superficie del esmalte de la desmineralización, disminuyéndola; sin embargo, el uso de agentes remineralizantes (que no se emplearon) brindarían un soporte más amplio a la efectividad de los productos.

En estudios previos³⁶ se realizaron análisis de EDS sobre esmalte tratado con AGF y SIF, en donde se localizó a la plata en la superficie mineral, en contraste el silicio estuvo presente dentro de la lesión mineral, este elemento se ha reportado como inductor de precipitación de apatita.

En esta investigación, la plata se detectó en las muestras con AGF y el silicio en las de SIF. Su presencia afirma que la incorporación de estos elementos junto con el flúor, en el esmalte modifican favorablemente la estructura dental sobre la que se colocaron, mostrando una posible influencia en la resistencia a la desmineralización del esmalte dental.

Aunque, en este estudio, no se simuló el proceso de caries, se observaron cambios en propiedades físicas, mecánicas y químicas del esmalte conforme se aplicaron las disoluciones fluoradas y las desmineralizaciones.

El AGF es conocido por teñir de negro la superficie dental desmineralizada por la precipitación de la plata sobre el esmalte dental, en cambio, el SIF no muestra cambio de color en el diente, esta característica se comprobó en este estudio, factor que puede inclinar al profesional a la utilización de SIF sobre AGF en dientes permanentes.^{20,23,24,35,36}

Las pruebas empleadas en el estudio proporcionan información que refuerza el resultado obtenido acerca de la efectividad de las dos disoluciones fluoradas al ser aplicadas en el esmalte dental de dientes permanentes.

XI. CONCLUSIONES

- ❖ La aplicación de AGF Y SIF tienen un efecto benéfico en la estructura del esmalte de los dientes permanentes, esto se ve reflejado en el aumento de la dureza después de la inmersión en la solución desmineralizante, así como en el aumento de la relación Ca/P.
- ❖ La colocación del SIF sobre la superficie del esmalte es igual de efectiva que el colocar AGF.
- ❖ No existe diferencia en la dureza según el número de aplicaciones del AGF y SIF, es decir, la proporción de ésta es constante entre los grupos de disoluciones fluoradas.
- ❖ El SIF se puede utilizar como alternativa cariostática en esmalte de dientes permanentes humanos, ya que mantiene la dureza y por lo tanto, clínicamente se infiere que podría retardar la aparición de caries dental. Además su empleo no compromete la estética del diente, a diferencia del AGF.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Orban Balint J, Bhaskar S.N, Histología y Embriología bucal. Prado, SA de CV. México. 1991:70-100.
2. Gómez de Ferraris. Histología y embriología bucodental. 2da. Ed. España: Panamericana; 2003.
3. Nanci A. Ten Cate's Oral Histology. 6ta. ed. E.U.A: Mosby; 2003. pp145-51.
4. Gaspersic D. Enamel microhardness and histological features of composite enamel pearls of different size. J Oral Pathol Med. 1995;24:153-8.
5. Ryge G, Foley D, Faorhurst CW. Micro-indentation hardness. J Dent Res. 1961;40:1116-26.
6. Craig R.G. Peyton FA. The microhardness of enamel and dentin. J Dent Res., 1958;37:661-68.
7. Collys K, Slop D, Cleymaet R, Coomans D, Michotte Y. Load dependency and reliability of microhardness measurement on acid-etched enamel surfaces. Dent Mater. 1992;8:332-35.
8. Stephen H, Wei Y. K uolorides T. Electron microprobe and microhardness studies of enamel remineralization. J Dent Res. 1972;51:648-51.
9. Palti DG, Machado MA, Silva SM, Abdo RC, Lima JE. Evaluation of superficial microhardness in dental enamel with different eruptive ages. Braz Oral Res. 2008;Oct-Dec;22(4):311-5.
10. Gutierrez-Salazar, M.P y Reyes-Gasga, J. Enamel hardness and caries susceptibility in human teeth. Rev. Lat. Am. Mat. 2001;21(2): 36-40.
11. He LH, Swain MV. Review: Understanding the mechanical behavior of human enamel from its structural and compositional characteristics. J Mech Behav Biomed Mater. 2008;1:18-29.

12. Siang F, Torben S. Gerold A. Determination of the elastic/p. elastic transition of human enamel by nanoindentation. *Dent Mater*. 2009;25:1403–10.
13. Boyd A. Lester KS Martin LB: Basis of the structure and development of mammalian enamel as seen by electron microscopy. *Scanning Microsc*. 1988;2:1479-90.
14. Ichijo T, Yamashita Y. Observations on structural features and characteristics of biological apatite crystals. *Tokyo Med Dent Univ*. 1993;40:193-205.
15. Grove C.A., Judd G and Ansell G.S. Determination of Hydroxyapatite Crystallite Size in Human Dental Enamel by Dark-Field Electron Microscopy. *J Dent Res*. 1972;51:22.
16. David M. Hercules, Norman I. Craig. Composition of Fluoridated Dental Enamel Studied by X-ray Photoelectron Spectroscopy (ESCA). *J Dent Res*. 1976;55(3)September-October:829-835.
17. Pinkham J. R. *Odontología Pediátrica*. 3ra ed. México: Mc Graw Hill; 2001. pp 185–194
18. Zero D T. Dentifrices, mouthwashes, and remineralization/caries arrestment strategies. *BMC Oral Health*. 2006;5(6)Suppl 1:S9
19. Pai N, McIntyre J, Tadic N, Laparidis C. Comparative uptake of fluoride ion into enamel from various topical fluorides in vitro. *Aust Dent J*. 2007 Mar;52(1):41-6.
20. Lo E, Chu C. A Community-based Caries Control Program for Pre-school Children Using Topical Fluorides: 18-month Results. *J Dent Res*. 2001;80(12):2071-2074
21. Watson P S, Pontefract H A, Devine D A, Shore RC. Penetration of Fluoride into Natural Plaque Biofilms. *J Dent Res* 2005; 84(5):451-455
22. Frencken J. Holmgren C. How effective is ART in the management of dental caries. *Community Dent Oral Epidemiol*. 1999;27:423-30

23. Soto H. A. Sánchez F. Abe G. Fluoruro de plata amoniacal Tesis Licenciatura (Cirujano Dentista)-UNAM, Facultad de Odontología UNAM Mexico:1997
24. Ramirez Y. Barceló F. Saforide Tesis Licenciatura (Cirujano Dentista)-UNAM, Facultad de Odontología UNAM. Mexico: 1992
25. Stephen H. Y. Wei. Scanning Electron Microscope Study of Stannous Fluoride-Treated Enamel Surfaces. *J Dent Res.* 1971 January-February 53(1):57-63
26. Øgaard B. The cariostatic mechanism of fluoride. *Compend Contin Educ Dent.* 1999;20(1 Suppl):10-7; quiz 34
27. Briseño JM. Historia de la fluoruración. *Rev ADM.* 2001; 57(5):192-194
28. Murata H, Ishikawa K, Ten Shin S. Fluoridation of Hydroxyapatite powder by ammonium hexafluorosilicate. *Caries Res.* 1996;30:465-470
29. Llodra J C. Rodriguez A. Efficacy of Silver Diamine Fluoride for Caries Reduction in Primary Teeth and First Permanent Molars of Schoolchildren: 36-month Clinical Trial *J Dent Res.* 2005;84(8):721-724
30. Gotjamanos T. Safety issues related to the use of silver fluoride in pediatric dentistry. *Aust Dent J.* 1997;42:166-168
31. Knight JM, McIntyre M. The effect of silver fluoride and potassium iodide on the bond strength of autocure glass ionomer cement to dentine. *Aust Dent J.* 2006;51(1):42-45
32. Chu, E.C.M. Lo, Lin H.C.: Effectiveness of Silver Diamine Fluoride and Sodium Fluoride Varnish in Arresting Dentin Caries in Chinese Pre-school Children. *J Dent Res* 2002; 81(11): 767-770.
33. Safety data GFS Chemicals, Inc. E.U.A: Ammonium Hexsfluorosilicate.
34. Suge T, Kawasaki A, Ishikawa K. Ammonium hexafluorosilicate elicits calcium phosphate precipitation and shows continuous dentin tubule occlusion. *Dental Mater.* 2008; Feb;24(2):192-98

35. Suge T. Kawasaki A. Effect of ammonium hexafluorosilicate en dentin tubule occlusion for the treatment of dentin hypersensitivity. *Am J Dent.* 2006;19:248-252
36. Kawasaki A. Suge T. Ammonium hexafluorosilicate increased acid resistance of bovine enamel and dentine. *J MaterSci Mater M.* 2005;16:461-6
37. Anusavice K. Phillips Ciencia de los Materiales Dentales. 11 ed. España: Saunders; 2004 pp 96-98
38. Sakar-Deliormanli A, Guden M. Microhardness and Fracture Toughness of Dental Materials by Indentation Method. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2006: Feb;76(2):257-64.
39. Reintsema H. Arends J. An in vivo Study of Microhardness and Fluoride Uptake in Partially Demineralized Human Enamel Covered by Plaque. *J Dent Res.* 1988;67(2):471-73
40. Larbáburu N. Máquinas. Prontuario. Técnicas máquinas herramientas. Madrid: Thomson Editores; 2004
41. Heintze S.D, Cavalleri A, Forjanic M, Zellweger G, Rousson V. A comparison of three different methods for the quantification of the in vitro wear of dental materials. *Dental materials.* 2006; 22:1051–1062
42. Poblete V, Pilleux P.M.C. Ciencia De Los Materiales “Microscopia Electrónica de Barrido” Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 2001.
43. Ferraro J. R., Nakamoto K. Introductory Raman Spectroscopy. Primera edición. Academic Press. 1994.
44. Nakamoto K. Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compounds. Tercera Edición. John Wiley and Sons. 1978.
45. Barriol J., Rivail Jean-Louis. Spectroscopies de la Molecule. Presses Universitaires de France. 1970.
46. Chase B. Raman Spectroscopy: From the visible to the infrared. John Wiley & sons. 1990.

47. Langhorst SE, et al. In vitro remineralization of enamel by polymeric amorphous calcium phosphate composite: Quantitative microradiographic study. *Dent Mater.* 2009; Jul;25(7):884-91
48. Habelitz S, Grayson W. Nanoindentation and storage. *J Biomech.* 2002; 35:995-8
49. Garbelini W. Tesis de Maestría en Odontopediatría. Facultad de Odontología de Bauru. Universidad de Sao Paulo. Verificación de los efectos anticariogénicos y cariostáticos del Fluoruro de Diamino Plata al 30% en molares de ratas. 1989
50. Chen HP, Chang CH, Liu JK, Chuang SF, Yang JY. Effect of fluoride containing bleaching agents on enamel surface properties. *J Dent.* 2008 Sep;36(9):718-25.
51. Hyun HK, Kim JW. Thickness and microhardness of deciduous tooth enamel with known DLX3 mutation. *Arch Oral Biol.* 2009 Sep;54(9):830-4.
52. Botazzo A, Cury J. Effect of application time of APF and NaF gels on microhardness and fluoride uptake of in vitro enamel caries. *Am J Dent.* 2002 Jun;15(3):169-172
53. Sasaki RT, Arcanjo AJ, Flório FM, Basting RT. Micromorphology and microhardness of enamel after treatment with home-use bleaching agents containing 10% carbamide peroxide and 7.5% hydrogen peroxide. *J Appl Oral Sci.* 2009 Nov-Dec;17(6):611-6.
54. Sasaki RT, Barbosa MC, Flório FM, Basting RT. Enamel microhardness and shear bond strength after treatment with an 18% carbamide peroxide bleaching varnish. *Am J Dent.* 2007 Oct;20(5):324-8.
55. Arana V, Andia R. Scanning electron microscopy examination of resorbing enamel surfaces in unexfoliated primary molar teeth. *J Dent Child.* 1998; May;182-5.
56. LeGeros Zapanta R. Calcium Phosphates in Oral Biology and Medicine. Suiza: Karger; 1991:83:141-54.

57. Nakagaki H , Koyama Y , Sakakibara Y . et al Distribution of fluoride across human dental enamel, dentine and cementum. Arch Oral Bio. 1987;32(9):651-4.
58. Sonju C, Ogaard B, Duschner H. Caries development in fluoridated and non fluoridated deciduous and permanent enamel in situ examined by microradiography and confocal laser scanning microscopy. Adv Dent Res. 1997; Nov.11(4):442-7
59. Alex C. Ko, Lin-P'ing Choo-S, Hewko Mark. Detection of early dental caries using polarized Raman spectroscopy. Opt Exp. 2006;(14):203-215
60. Daculsi G , LeGeros R.Z. Kerebel B . Possible physico-chemical processes in human dentin caries. J Dent Res. 1987; Aug:66 (8): 1356-9.
61. Habelitz S. Marshall S.J. Marshall G.W. Mechanical properties of human dental enamel on the nanometre scale. Arch Oral Biol. 2001;(46):173-183