



**UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**

**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO-MATEMÁTICAS
“MAT. LUIS MANUEL RIVERA GUTIÉRREZ”**

**“EFECTO DEL ÁCIDO FOSFÓRICO EN LA PRIMERA
DENTICIÓN, ESTUDIO REALIZADO CON
MICROSCOPIA DE FUERZA ATÓMICA”**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADO EN CIENCIAS FÍSICO-MATEMÁTICAS

PRESENTA:

YURITZI RUIZ BARRERA

ASESOR:

DR. LUIS MARIANO HERNÁNDEZ RAMÍREZ

MORELIA MICHOACAN, ENERO 2011

Índice general

| | |
|---|-----------|
| 1. RESUMEN | 3 |
| 2. INTRODUCCIÓN | 5 |
| 3. MARCO TEÓRICO | 9 |
| 3.1. ANATOMÍA DENTARIA | 9 |
| 3.2. ESMALTE DENTAL | 10 |
| 3.2.1. PROPIEDADES FÍSICAS | 11 |
| 3.2.2. PROPIEDADES MICROSCÓPICAS | 12 |
| 3.3. LESIÓN INICIAL DE CARIES | 12 |
| 3.3.1. LESIÓN INICIAL DE CARIES. CARACTERÍSTICAS MACROSCÓPICAS | 14 |
| 3.4. ÁCIDO FOSFÓRICO | 14 |
| 3.5. MICROSCOPIA DE FUERZA ATÓMICA (AFM) | 15 |
| 3.5.1. FUNDAMENTOS DE LA MICROSCOPIA DE FUERZA ATÓMICA | 16 |
| 3.5.2. TÉCNICAS DE MEDIDA TOPOGRÁFICA | 18 |
| 3.5.3. APLICACIONES | 20 |
| 4. DESARROLLO EXPERIMENTAL | 21 |
| 4.1. EQUIPO UTILIZADO | 21 |
| 4.1.1. MICROSCOPIO AFM | 22 |
| 4.2. DETALLES EXPERIMENTALES | 23 |

ÍNDICE GENERAL

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 4.2.1. | PREPARACIÓN DE LAS PIEZAS DENTARIAS | 23 |
| 4.2.2. | EXPOSICIÓN DE LA PIEZA DENTARIA EN EL ÁCI- DO FOSFÓRICO | 23 |
| 4.2.3. | EXPOSICIÓN DE LA PIEZA DENTARIA EN REFRES- COS SIN ÁCIDO FOSFÓRICO | 24 |
| 4.2.4. | CARACTERIZACIÓN POR AFM | 24 |
| 4.2.5. | ANÁLISIS MEDIANTE HISTOGRAMAS DE LA TO- POGRAFÍA DE LA PIEZA DENTARIA | 25 |
| 5. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 27 |
| 5.1. | ANÁLISIS DE LAS IMÁGENES AFM DE LAS PIEZAS DEN- TARIAS | 27 |
| 5.1.1. | PIEZAS DENTARIAS EXPUESTAS A REFRESCO QUE TIENE COMO COMPONENTE EL ÁCIDO FOSFÓRICO | 28 |
| 5.1.2. | PIEZAS DENTARIAS EXPUESTAS A REFRESCO QUE NO CONTIENE ÁCIDO FOSFÓRICO | 34 |
| 5.2. | ANÁLISIS DE HISTOGRAMAS DE LA TOPOGRAFIA DE LAS IMÁGENES DE AFM. | 39 |
| 5.2.1. | EXPOSICIÓN DE LAS PIEZAS DENTARIAS EN RE- FRESCO CON CONTENIDO DE ÁCIDO FOSFÓRICO . | 41 |
| 5.2.2. | PIEZAS DENTARIAS EXPUESTAS A REFRESCO QUE NO CONTIENE ÁCIDO FOSFÓRICO | 50 |
| 6. | CONCLUSIONES | 57 |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| 3.1. Anatomía del diente. | 10 |
| 3.2. Composición de la dentadura de un adulto (media mandíbula). . . | 11 |
| 3.3. (a) Punta de modo de contacto (muestras duras), (b) Punta de modo de no contacto (muestras suaves) | 17 |
| 3.4. componentes básicos del AFM de la parte mecánica. | 18 |
| 3.5. Curva cualitativa que describe el potencial de interacción entre punta-muestra. | 19 |
| 3.6. Modo estático (modo de contacto). | 19 |
| 3.7. Modo dinámico (modo de de no contacto). | 20 |
| 4.1. Microscopio de fuerza atómica(AFM). | 22 |
| 5.1. Imágenes AFM en 2D y en 3D de la pieza dentaria después de 2 horas de exposición al ácido fosfórico | 28 |
| 5.2. Topografía de la pieza dental después de 3 horas de inmersión dentro del refresco de cola. | 29 |
| 5.3. Imágenes AFM del diente sin inmersión dentro del refresco de cola en diferentes regiones, puede verse que incluso en la regiones donde existe daño previo al ataque la superficie esta suavizada. . . | 30 |
| 5.4. Imágenes AFM del diente después de la inmersión durante media hora dentro del refresco de cola, los cambios en la superficie son evidentes. | 31 |
| 5.5. Imágenes AFM del diente después de la inmersión durante hora y media dentro del refresco de cola. | 32 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| 5.6. Imágen AFM de la pieza dentaria antes de ser expuesta al ácido fosfórico. | 32 |
| 5.7. Imágenes AFM de la pieza dentaria después de haber sido expuesta al ácido fosfórico a) 40 segundos, b) 60 segundos, c) 7 minutos y d) 25 minutos. | 33 |
| 5.8. Imágenes AFM de la pieza dentaria en 3D de el diente a) antes de la inmersión al refresco de cola yy b) después de 25 minutos de inmersión. | 34 |
| 5.9. Imágenes AFM del diente antes de ser sumergido en refresco de manzana en diferentes regiones. | 35 |
| 5.10. Imágenes AFM en 3D del diente antes de ser sumergido en el refresco de manzana en diferentes regiones. | 36 |
| 5.11. Imágenes AFM del diente después de 2 horas de inmersión en el refresco de manzana. | 36 |
| 5.12. Imágenes AFM del diente después de 4 horas de inmersión en el refresco de manzana. | 37 |
| 5.13. Imágenes AFM del diente después de 5 horas de inmersión en el refresco de manzana. | 37 |
| 5.14. Imágenes AFM del diente después de 6 horas de inmersión en el refresco de manzana. | 38 |
| 5.15. Imágenes AFM del diente después de 7 horas de inmersión en el refresco de manzana. | 38 |
| 5.16. Imágenes AFM del diente después de 8 horas de inmersión en el refresco de manzana. | 39 |
| 5.17. Imágenes AFM 3D del diente a) antes de ser sumergio en el refresco de manzana. b) después de 2 horas de inmersión en el refresco, c) después de 5 horas de inmersión y d) después de 8 horas de inmersión en el refresco. | 40 |
| 5.18. Corte transversal del diente. | 41 |
| 5.19. Histogramas del diente en diferentes tiempos. | 43 |
| 5.20. Gráficas del comportamiento de la Gaussiana 1. | 44 |
| 5.21. Gráficas del comportamiento de la Gaussiana 2. | 45 |
| 5.22. Gráficas del comportamiento de la Gaussiana 3. | 46 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| 5.23. Gráficas de las funciones exponenciales que componen la curva de ajuste. a) primera parte de la ecuación $y = y_0 + A_1(1 - e^{-t/b_1})$. b) segunda parte de la ecuación $y = A_2(1 - e^{-t/b_2})$. c) resultado de la suma de las dos ecuaciones $y = y_0 + A_1(1 - e^{-t/b_1}) + A_2(1 - e^{-t/b_2})$ | 48 |
| 5.24. Histogramas del diente en diferentes tiempos. | 51 |
| 5.25. Gráficas del comportamiento de la gaussiana. | 52 |
| 5.26. Crecimiento de un valle ocasionado por el refresco de cola | 54 |
| 5.27. Crecimiento de un valle ocasionado por el refresco de manzana . . | 55 |

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 1

RESUMEN

Después de Estados Unidos, México ocupa el segundo lugar en el consumo de refresco en el mundo, esta es la principal razón por la que nos interesa estudiar los efectos nocivos que éstos causan, como caso particular, los daños que causan en la etapa infantil. En esta tesis nos enfocamos al estudio de los refrescos de cola, que además de la desnutrición que producen, contiene niveles elevados de ácido fosfórico, los cuales se ha demostrado producen descalcificación en los huesos, pero ¿sólo descalcifican los huesos o también pueden llegar a descalcificar al esmalte dental?, ¿en realidad el ácido fosfórico contenido en el refresco de cola daña la dentadura o sólo es el azúcar que contiene?, ¿causa el mismo daño en las piezas dentarias ingerir refresco de cola que algún otro refresco?. Nuestro objetivo particular es dar respuesta a estas inquietudes y algunos otros cuestionamientos, además de proporcionar información veraz y fidedigna tanto para el lector como para el consumidor, concientizando acerca del consumo excesivo de estos productos. Entonces, en este trabajo nos enfocamos a analizar los daños provocados por este ácido en la dentición, para lo cual se emplearon piezas dentarias obtenidas en la clínica infantil dental de la Facultad de Odontología. Para su estudio, las piezas se sumergieron en refresco de cola durante periodos de tiempo determinados, inicialmente periodos muy prolongados, después, intentando perfeccionar el experimento, se sumergieron en periodos muy cortos, simulando el tiempo real de una ingesta de refresco. Para asegurarnos de que los resultados obtenidos eran efecto sólo del ácido fosfórico, utilizamos un refresco de manzana el cual no contiene este ácido, de igual manera sumergimos la pieza dentaria en dicho líquido por periodos de tiempo cortos. Después de sumergidas las piezas se analizaron con Microscopía de Fuerza Atómica, los resultados obtenidos muestran un deterioro considerable del esmalte en regiones localizadas, incrementándose con el tiempo de inmersión

dentro del refresco de cola, a diferencia con el de manzana, el deterioro en el esmalte es muy poco.

Es importante resaltar que para este estudio se están empleando técnicas de caracterización de materiales, en nuestro caso mediante microscopía de fuerza atómica. Otro objetivo de este trabajo es dar a conocer la importancia de coadyuvar las actividades que se desarrollan en el laboratorio de películas delgadas con el sector salud y que, mediante la difusión informar a éste la utilidad que representaría el trabajo en conjunto y avanzar en las técnicas de trabajo.

Capítulo 2

INTRODUCCIÓN

Es bien conocido que el consumo de refresco se ha incrementado en las últimas décadas ocupando un lugar importante en la alimentación del niño. Según encuestas, los países con mayor consumo son EU con 201 litros/año, México con 152 litros/año, Reino Unido con 92 litros/año, Suecia con 74 litros/año y Brasil con 66 litros/año, las cifras disponibles señalan que del total del volumen de refrescos consumidos, 72

La visión de este estudio, hacia la etapa infantil es el ser una herramienta útil para contrarrestar las presiones publicitarias de las multinacionales de refresco. Ya que ésta presión degrada sus hábitos alimenticios en la etapa de aprendizaje y tiene repercusiones tanto en su salud como en su formación física.

Decidimos entonces realizar un estudio del daño que pueden ocasionar los refrescos de cola en la dentición, este estudio preliminar lo realizamos en la dentición de infantes, consideramos de primordial importancia la realización de este estudio ya que es un tema de salud pública que concierne a todos, desde la difusión entre la población para la toma de medidas preventivas, hasta los sectores de gobierno y salud pública. Además es importante que los consumidores en especial los padres de familia conozcan algunos otros daños causados por éste, por lo cual se mencionarán algunos otros efectos que el refresco ocasiona.

El problema mas grave que se padece en México es la obesidad, ya que ocupamos el segundo lugar mundial con esta enfermedad y primer lugar en obesidad infantil. Pero ¿de qué manera contribuye el refresco a este problema?. Es un hábito acompañar todas las comidas con una bebida, el problema radica en que en los últimos años se ha elegido el refresco muy por encima de las aguas frescas o los jugos de frutas naturales. Veamos la diferencia, cuando bebemos agua de fruta

estamos consumiendo agua, fruta y azúcar (de una a dos cucharaditas por vaso). Mientras que cuando bebemos un refresco, nuestro consumo de azúcar se eleva a 5 cucharaditas por vaso; es decir, que quien bebe un litro de refresco al día está consumiendo 25 cucharaditas de azúcar (500 kilocalorías). [9]

Además de que un refresco no nos aporta ni las vitaminas ni la fibra que nos proporcionaría el agua de frutas. En consecuencia, el refresco nos aporta gran cantidad de lo que coloquialmente se llama “kilocalorías vacías”, que es el término popular para referirse a una gran cantidad de energía proveniente de un alimento sin un aporte de nutrimentos como proteínas, vitaminas o minerales.

Si una persona consume una dieta adecuada a sus necesidades energéticas, por ejemplo 2,500 Kcal./día; pero además de eso bebe un litro diario de refresco (500 Kcal. más), ésta mayor cantidad de energía hará que la persona aumente 1/2 kilo de grasa la primer semana, dos kilos de grasa en un mes y finalmente 24 kilos de grasa en un año. En esta época, donde la obesidad y las enfermedades crónicas degenerativas (como la diabetes, la aterosclerosis y la hipertensión) están en auge en nuestra población, el exceso en el consumo de azúcar es uno de los factores de riesgo para sufrir dichas enfermedades.

Existe también la otra cara de la moneda, la desnutrición. El consumo exagerado de refresco (un litro al día) puede contribuir a “engañar” al organismo para no tener hambre. Esto se debe a que uno de los tantos mecanismos que tiene nuestro organismo para sentir hambre, se da a través de la cantidad de glucosa que circula en la sangre. Si la concentración sanguínea de glucosa desciende el cerebro (que se alimenta principalmente de glucosa) lo detecta y en consecuencia manda una orden al organismo diciendo que debe comer. Si una persona consume azúcar frecuentemente a lo largo del día o sustituye algunas comidas por dulces y refrescos, el cerebro no va a detectar que la persona necesita comer y por lo tanto no se alimentará, teniendo como consecuencia a la desnutrición. [10]

Esto puede ser muy grave, especialmente en los niños y los adolescentes pues una mala alimentación dañará tanto su crecimiento como su desarrollo.

A demás se ha asociado el comportamiento agresivo destructivo del niño con el consumo de azúcares. Existen evidencias de que en niños hiperactivos al disminuir el consumo de estos elementos en un 50% mejora su comportamiento hasta el 42% de los casos.

Otro problema que ocasiona tomar estos líquidos es la adicción a ellos. Los refrescos carbonatados o refrescos de cola que contienen cantidades muy importantes de cafeína, más que el café o el té, puede provocar problemas de sueño (insomnio) en el pequeño. A demás se habla de que se pueden presentar síntomas

CAPÍTULO 2. INTRODUCCIÓN

de dependencia (adicción). [?]

Los padecimientos antes mencionados son ocasionados por ingerir toda clase de refrescos, no suficiente con ello, existen otros daños provocados específicamente por el consumo de refresco de cola o refresco negro. A continuación hago mención de algunos de ellos:

Dermatológicos: Como ya se mencionó el refresco de cola contiene ácido fosfórico, su función es la de aumentar el efecto antioxidante de otras sustancias. En altas concentraciones éste ácido irrita la piel y las membranas mucosas.

Descalcificación: El ácido fosfórico es dañino también para el calcio de los huesos, porque no permite la adecuada absorción en el organismo, provocando su debilitamiento y por tanto incrementándose la posibilidad de tener fracturas, se dice también que el ácido fosfórico es uno de los mayores contribuyentes al aumento de la osteoporosis.

Anemia: Además, la combinación de este ácido con azúcar refinada y fructuosa dificulta la absorción de hierro, lo que puede generar anemia y mayor facilidad para contraer infecciones, principalmente en niños, ancianos y mujeres embarazadas. [11]

Capítulo 3

MARCO TEÓRICO

Como este estudio se enfoca al daño que pueden ocasionar los refrescos de cola en la dentición infantil, es importante conocer la estructura y anatomía de esta, para con ello, poder entender e interpretar de manera correcta los resultados obtenidos, y así llegar a conclusiones que ayuden a atacar de fondo este problema.

3.1. ANATOMÍA DENTARIA

Los dientes son órganos duros, pequeños, de color blanco amarillento, dispuestos en forma de arco en ambos maxilares, que componen en su conjunto el sistema dentario.

En el ser humano, los dientes están formados por una parte externa denominada corona y una raíz que está inmersa en el maxilar. La capa más externa de la corona esta compuesta por un tejido calcificado que recibe el nombre de esmalte, la sustancia más dura del organismo. Por dentro del esmalte se halla la dentina, una sustancia de tipo óseo que se extiende desde la superficie más interna del esmalte y penetra en el maxilar para formar la raíz. La dentina de la raíz está cubierta por una capa delgada de un tejido duro denominado cemento. Las raíces se mantienen en su posición mediante fibras elásticas que forman la membrana periodontal, la cual se extiende desde el cemento hasta una capa ósea engrosada denominada lámina dura, en el interior del maxilar (véase la figura 3.1)[4].

En una dentición permanente encontramos 32 piezas dentarias, que son: (véase la figura 3.2):

- Incisivo central

3.2. ESMALTE DENTAL

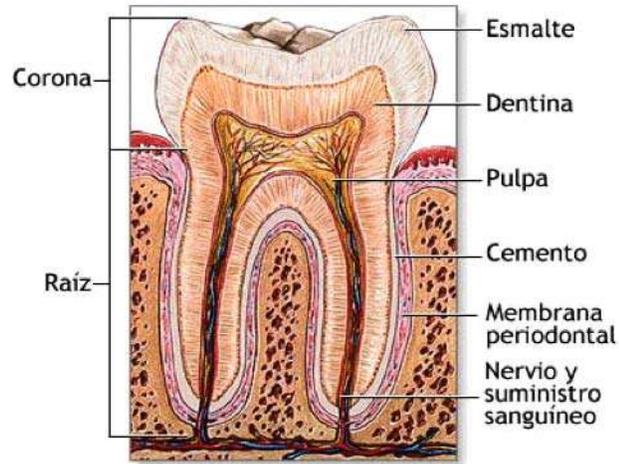


Figura 3.1: Anatomía del diente.

- Incisivo lateral
- Canino
- Primer premolar
- Segundo premolar
- Primer molar
- Segundo molar
- Tercer molar

3.2. ESMALTE DENTAL

Un objeto fundamental con que tratamos en este trabajo son las piezas dentarias. En esta sección haremos hincapié a la cubierta del diente llamada esmalte dental, considerando que es la parte externa de las piezas es fácil pensar que es el primer lugar donde atacará el ácido fosfórico contenido en el refresco. Por tanto, resulta adecuado mencionar las características físicas y propiedades microscópicas de éste.

CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO

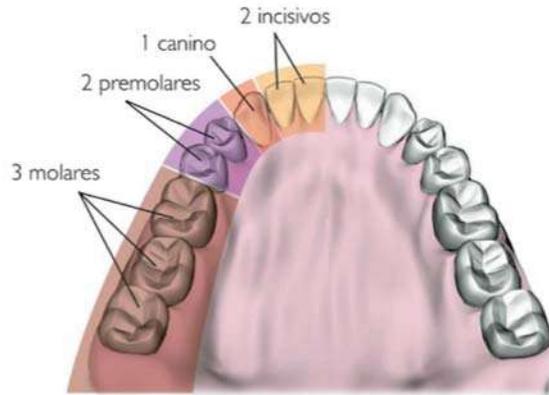


Figura 3.2: Composición de la dentadura de un adulto (media mandíbula).

3.2.1. PROPIEDADES FÍSICAS

El esmalte dental es una cubierta protectora de gran dureza, que se encuentra sobre la superficie completa de la corona del diente, por el cuello tiene relación inmediata con el cemento. Sus principales características son las siguientes:

Dureza: Es un tejido duro (el más duro y mineralizado del cuerpo humano), acelular (por lo tanto no es capaz de sentir estímulos térmicos, químicos o mecánicos). Su dureza y estructura lo tornan quebradizo, lo cual se advierte sobre todo cuando el esmalte pierde su base dentinaria sana. Su dureza es por:

- Elevado contenido de sales minerales
- Su organización cristalina

Espesor: Es delgado por el cuello y aumenta su espesor en las cúspides del diente. El espesor máximo es de 2 a 2.5 mm (en molares y premolares), protegiendo al diente de las acciones abrasivas de masticación.

Color: El esmalte es transparente. El color de nuestros dientes está dado por la dentina, se trasluce a través del esmalte y está determinado genéticamente. El color varía entre un blanco amarillento y blanco grisáceo. Los dientes blancos amarillentos poseen un esmalte delgado y en los dientes grisáceos el grosor del esmalte es mayor. Esta transparencia se debe a las variaciones del grado de calcificación y homogeneidad del esmalte[1][8].

3.3. LESIÓN INICIAL DE CARIES

3.2.2. PROPIEDADES MICROSCÓPICAS

El esmalte es el tejido mas duro del organismo que cubre a manera de casquete a la dentina en su porción coronaria. Estructuralmente esta constituido por millones de prismas (compuestos por cristales de hidroxiapatita) altamente mineralizados que lo recorren en todo su espesor. El esmalte está constituido químicamente por una matriz orgánica (1-2%), una matriz inorgánica (95%) y agua (3-5%).

Los cristales de hidroxiapatita del esmalte se hallan densamente empaquetados miden aproximadamente 0.03 por 0.04 por 0.2 μm y son de mayor tamaño que el de los otros tejidos mineralizados. Estos están dispuestos de manera ordenada formando prismas y espacios interprismáticos. Cada cristal está separado de su vecino por un tenue espacio intercristalino. Estos espacios no se encuentran vacios, sino llenos de agua y material orgánico. Los cristales de hidroxiapatita son susceptibles a la acción de los ácidos constituyendo esta característica el sustrato químico que da origen a la caries y erosión dental. El esmalte frente a una noxa reacciona con pérdida de sustancia siendo incapaz de repararse, es decir no se reconstruye, aunque puede haber remineralización.

3.3. LESIÓN INICIAL DE CARIES

Para poder entender los daños que puede provocar el ácido fosfórico en la dentición, es necesario primeramente conocer la enfermedad más importante que radica en ella, la caries. Entender de qué manera se crea y se desarrolla esta enfermedad, y cómo es su ataque hacia las piezas dentarias. Así que en esta sección hablaremos del significado de la caries, de las causas que la forman, de su desarrollo y clasificación.

El término caries proviene del latín que significa descomponerse o echarse a perder. Se refiere a la destrucción progresiva y localizada de los dientes. Proceso infeccioso, lento e irreversible que mediante un mecanismo quimicobiológico desintegra tejidos del diente.

La formación de la cavidad cariosa es un signo de la enfermedad de la caries dental y debe entenderse como el producto de la serie de cambios ocurridos por el desequilibrio iónico en el proceso dinámico de desmineralización y remineralización de los tejidos duros del diente, resultado del metabolismo de los carbohidratos por parte de las bacterias de la placa y este proceso, en el tiempo puede provocar una pérdida neta de minerales que podría culminar en la formación de una cavidad si no se interfiere a tiempo. El mecanismo de infección se desarrolla de la siguiente

CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO

manera:

- Adhesión de las bacterias a la superficie dental.
- Acumulación en la placa dental y forman colonias.
- Se degrada la sacarosa a ácido lo que ocasiona un descenso en el pH bucal.
- Se disuelve el componente orgánico del diente.
- Se desmineralizan los tejidos duros del diente.

Los factores de riesgo son:

- Predisponentes:
 - Composición química del esmalte.
 - Disposición de los prismas.
 - Malformaciones anatómicas.
 - Abrasión
 - Mal posición dental.
 - Obturaciones mal adaptadas.
 - Higiene deficiente.
 - Composición de la saliva.
- Determinantes:
 - Nutrición
 - Herencia
 - Estrés

La caries se clasifica de acuerdo a sus características y patrones clínicos, sabiendo esto puede ser clasificada de acuerdo a tres factores:

- Morfología: de acuerdo al sitio de la lesión
- Dinámica: de acuerdo a gravedad y velocidad de avance de la lesión

3.4. ÁCIDO FOSFÓRICO

- Cronología: De acuerdo a los patrones de edad en que las lesiones predominan

De acuerdo con cifras de la Organización Mundial de la Salud, el 95 % de la población mexicana padece caries, lo que resalta la importancia de los focos infecciosos en la boca como factores de riesgo para contraer otras enfermedades que ponen en riesgo el estado general de salud de las personas [14] [7]. Además, a diferencia de la mayoría de las enfermedades infecciosas, la caries dental es transmitida verticalmente de la madre al hijo. El principal culpable de la caries es una bacteria llamada *Streptococcus mutans*. Esta bacteria se transmite de la saliva de la madre o cuidadora al niño durante sus 30 primeros meses de vida y reside en la dentición, por lo que al menos el niño debe tener un diente para que se produzca la transmisión efectiva, y entonces la cavidad bucal se hace receptiva a la colonización [13].

La Caries dental se puede considerar como una enfermedad de la civilización moderna, puesto que el hombre prehistórico rara vez sufría de esta forma de destrucción de los dientes.

3.3.1. LESIÓN INICIAL DE CARIES. CARACTERÍSTICAS MACROSCÓPICAS

Una de las características más importantes de la lesión cariosa es la presencia de una capa superficial aparente intacta sobre una subyacente, donde ocurrió una desmineralización importante. Cuando se examinan secciones de esmalte con caries inicial con microscopía de barrido, se observa la superficie con una apariencia lisa sin patrón de periquematis, pero con fisuras irregulares y otros pequeños defectos en su periferia. También se observan innumerables orificios irregulares en la superficie opaca del esmalte, estos en parte representan surcos de los procesos de Tomes profundos. En otras áreas estos surcos parecen fusionarse formando grietas o fisuras irregulares [7] [5].

3.4. ÁCIDO FOSFÓRICO

El ácido fosfórico es parte esencial en este trabajo, por eso la importancia de tener información acerca de él; entender cual es su utilidad y porque este ácido es utilizado en los refrescos de cola. Además daremos a conocer los daños que puede causar no solo en los dientes, si no en muchas otras partes de nuestro cuerpo, entendiendo así, que el ácido fosfórico es dañino para la salud.

CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO

El ácido ortofosfórico o fosfórico es un ácido altamente corrosivo que tiene capacidad de disolver sales de calcio, magnesio y sodio, entre otras. Se encuentra como ingrediente activo en las bebidas cola originando trastornos de desmineralización en las personas que las ingieren. Su nomenclatura comercial (según la U.E.) es Acid 338 y es la forma en que aparece en la lista de ingredientes de las bebidas cola. Este, junto con otros ácidos inorgánicos, es utilizado como alternativa de otros ácidos orgánicos, mucho menos tóxicos, por su menor costo. Se incorpora en productos envasados, ya que la disminución del pH reduce la capacidad de multiplicación de bacterias y hongos, lo que favorece la conservación de los ingredientes. Además las bebidas de cola utilizan este ácido para estabilizar el sabor, junto a gran parte del dióxido de carbono agregado en la gasificación.

En seguida se hará un resumen de acciones negativas más notables sobre los diferentes minerales del cuerpo por el consumo de refresco de cola.

Al ser ingerido, el ácido ortofosfórico afecta el organismo, pues al estar en contacto con los huesos “ataca” el calcio contenido en los mismos, contribuyendo así a la descalcificación rápida y al aumento de la osteoporosis.

Otro efecto de desmineralización que presenta este ácido es la sustracción del Hierro, formando fosfatos de hierro insolubles, que luego son excretados y eliminados del organismo. Es por ello que la ingestión de ácido fosfórico puede ocasionar anemia por la carencia de Hierro. Otro de los principales problemas que origina el déficit de Hierro, es la alteración del sistema inmunológico (disminución de las defensas corporales) facilitando la aparición de enfermedades. En el niño, la carencia de hierro puede provocar, entre otras patologías, detención del crecimiento y dificultades en el aprendizaje.

Entre los minerales que captura el ácido fosfórico se encuentra también el Magnesio. En el organismo, el Magnesio cumple varias funciones importantísimas, como contribuir a la transformación de los alimentos en energía y la transmisión de los impulsos eléctricos a través de los nervios y músculos. Dichos impulsos generan la denominada contracción neuromuscular, que permite la flexión de los músculos. Sin una cantidad suficiente de Magnesio, los músculos (incluso el musculo liso presente en la pared de los vasos sanguíneos) sufrirían calambres, debilidad y anormalidades de su desempeño motriz [12].

3.5. MICROSCOPIA DE FUERZA ATÓMICA (AFM)

Toda esta investigación la realizamos mediante microscopía de fuerza atómica, por esta razón es de suma importancia explicar el funcionamiento de ésta, así

3.5. MICROSCOPIA DE FUERZA ATÓMICA (AFM)

como la constitución del microscopio de fuerza atómica, y mostrar de que manera nos arrojará los resultados del efecto causado por el refresco de cola en la dentición del infante.

De este momento en adelante nos referiremos a Microscopía de fuerza atómica sólo con sus siglas en inglés AFM (Atomic Force Microscopy), esto para un fácil manejo del término.

3.5.1. FUNDAMENTOS DE LA MICROSCOPIA DE FUERZA ATÓMICA

El AFM permite visualizar los materiales y muchas de sus propiedades con una extraordinaria resolución espacial. Su funcionamiento se basa en la detección de las minúsculas fuerzas atómicas o moleculares de interacción entre una punta y la superficie del material a estudiar. Explicado de forma sencilla, se trata de una aguja minúscula que va recorriendo a cierta distancia la superficie de un material y midiendo la fuerza de los átomos del material. El AFM nos proporciona una imagen ampliada de la topografía de la superficie. El mecanismo por el cual el AFM adquiere una imagen de la topografía es manteniendo constante la interacción, entre la punta y la superficie, a medida que la muestra se mueve en la dirección X e Y. Este movimiento de la muestra se realiza mediante un tubo piezoeléctrico, que además del movimiento en XY permite también el movimiento en la dirección Z. La interacción se mantiene constante gracias a un sistema de realimentación que ajusta de manera precisa del valor Z del piezo, aplicando el voltaje apropiado. La representación de estos voltajes constituye la imagen topográfica de la muestra. El AFM es, por tanto, un microscopio de barrido [2].

El AFM pertenece a la familia de la microscopía de proximidad o SPM (Scanning Probe Microscopy). Los microscopios de proximidad se basan en la interacción que existe entre una sonda muy afilada y una superficie, el AFM utiliza una punta muy afilada de radio de curvatura típico de 10 nm que pasa sobre una superficie (véase la figura 3.3). Normalmente, estas puntas están hechas de silicio o de nitruro de silicio mediante técnicas de microfabricación y se encuentran al final de una palanca de magnitudes micrométricas (micropalanca). La constante de fuerza (k) y la frecuencia de resonancia son las características esenciales de las micropalancas y varían entre 0.015 N/m y 100 N/m y entre 5 y 500 kHz respectivamente [3].

La detección del movimiento de la micropalanca se realiza habitualmente haciendo incidir un haz láser sobre el extremo de la misma. El haz reflejado se hace incidir sobre un fotodiodo segmentado en 4 sectores. La señal resultante de la dife-

CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO

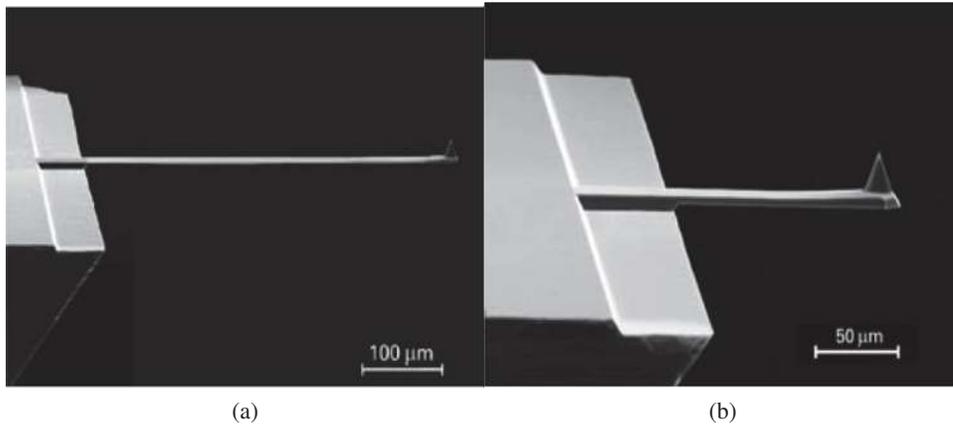


Figura 3.3: (a) Punta de modo de contacto (muestras duras), (b) Punta de modo de no contacto (muestras suaves)

rencia de intensidad entre los cuadrantes superiores e inferiores mide la deflexión de la micropalanca y esta señal es proporcional a la fuerza normal. La diferencia de intensidad entre los cuadrantes laterales mide la torsión de la micropalanca y es proporcional a la denominada fuerza lateral. Los componentes esenciales de la mecánica de un microscopio de fuerzas típico son: la micropalanca, el sistema de detección de la deflexión de la misma, la muestra y el tubo piezoeléctrico que realiza el barrido en XYZ [6]. Un esquema donde se muestra la disposición de estos elementos se puede ver en la figura 3.4.

Otra de las características de un microscopio es la resolución que alcanza. La resolución del microscopio de fuerzas depende de muchos factores: del medio ambiente en el que se trabaje; de la técnica de medida topográfica que se emplee y de la muestra utilizada entre otros. Por estos motivos no es fácil hablar de números absolutos en lo que concierne a la resolución del AFM. Sin embargo algunos números que conviene tener siempre presentes son que en medio ambiente y con técnicas de no contacto (estas son generalmente las condiciones empleadas en la demostración práctica de laboratorio) se alcanza resolución subnanométrica en la dirección Z y del orden del radio de la punta en la dirección X e Y. En cuanto al barrido en XY el tamaño típico varía desde imágenes de pocas decenas de nm hasta de varias decenas de micras.

3.5. MICROSCOPIA DE FUERZA ATÓMICA (AFM)

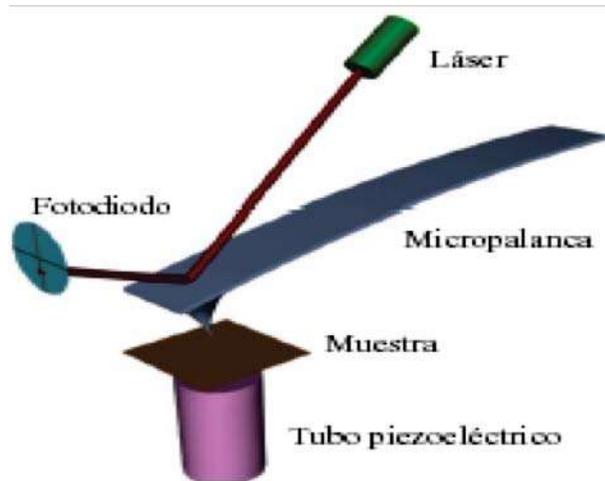


Figura 3.4: componentes básicos del AFM de la parte mecánica.

3.5.2. TÉCNICAS DE MEDIDA TOPOGRÁFICA

El potencial V que describe la interacción entre la punta de un AFM y la superficie de la muestra que se quiere analizar puede tener distintos orígenes y contribuciones, dependiendo del sistema a estudiar una interacción predomina sobre las demás.

De manera general las interacciones más importantes en AFM son: la interacción repulsiva de corto alcance que origina las fuerzas de contacto, en las que se incluye la fuerza normal a la superficie y las fuerzas laterales; la interacción magnética y electrostática que originan las fuerzas magnéticas y electrostáticas de largo alcance y la interacción de van der Waals (vdW) que da origen a las fuerzas de alcance intermedio. Si se trabaja en medio ambiente debemos añadir la interacción capilar que surge de la presencia de la película de agua absorbida en la superficie. Esta película origina las fuerzas de adhesión.

De manera general el potencial que gobierna la interacción punta-muestra en un microscopio de fuerzas viene descrito por la curva de la figura 3.5. Ya que la fuerza es $F=V/r$ se puede definir una región atractiva o de no contacto ($F<0$) y otra repulsiva o de contacto ($F>0$).

Los modos de medida en AFM se pueden dividir en dos grupos: estáticos y dinámicos. Dentro de los modos estáticos el modo de contacto es el más usado. Este modo de medida trabaja en la región repulsiva de la figura. Los modos dinámicos

CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO

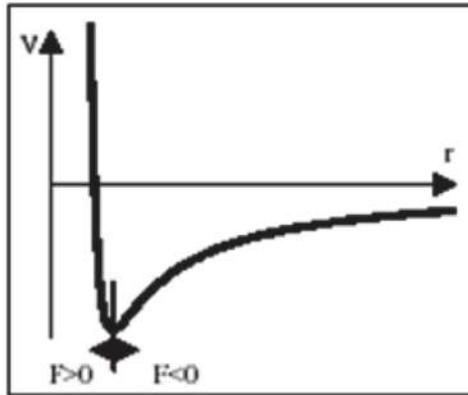


Figura 3.5: Curva cualitativa que describe el potencial de interacción entre punta-muestra.

pueden trabajar tanto en la región repulsiva como en la atractiva.

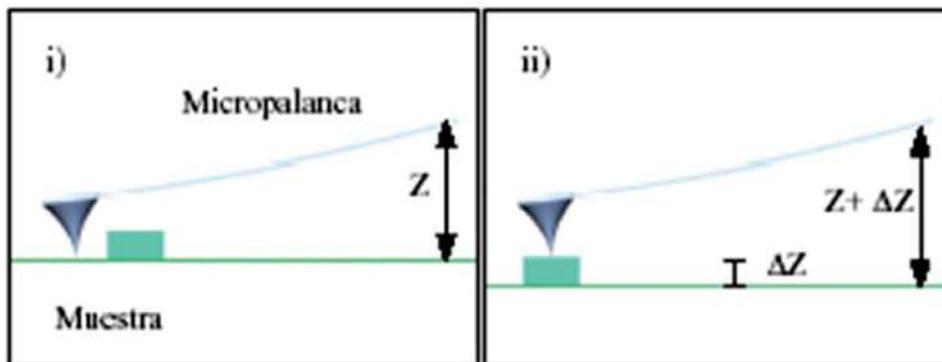


Figura 3.6: Modo estático (modo de contacto).

En el barrido en modo contacto la fuerza entre punta y muestra se mantiene constante, manteniendo una constante de deflexión. La deflexión de la punta estática se utiliza como una señal de retroalimentación (véase la figura 3.6).

En los modos dinámicos se hace vibrar la micropalanca a su frecuencia de resonancia valiéndose para ello del actuador piezoeléctrico. La interacción punta-superficie modifica la amplitud, frecuencia y fase de la resonancia, mientras el lazo de realimentación mantiene constante alguna de estas tres propiedades (véase la

3.5. MICROSCOPIA DE FUERZA ATÓMICA (AFM)

figura 3.7).

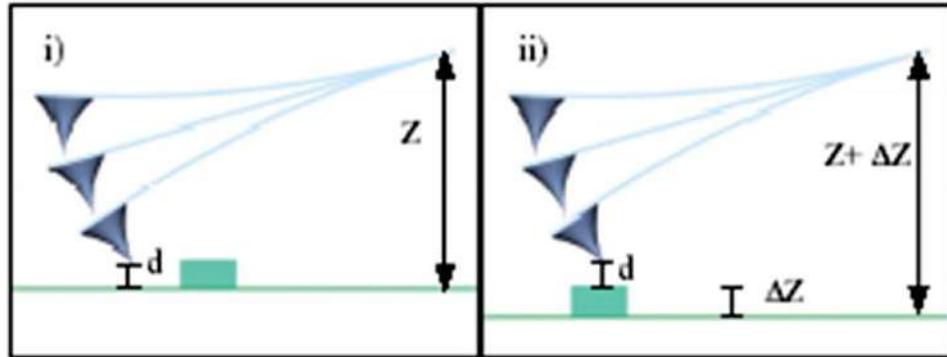


Figura 3.7: Modo dinámico (modo de de no contacto).

3.5.3. APLICACIONES

Las aplicaciones son diversas, van desde las muy conocidas imágenes topográficas de superficies en la ciencia de materiales, recientemente se ha tenido un auge en el empleo de este tipo de técnicas en sistemas biológicos, desde topografía de células, bacterias, etc, hasta el estudio de propiedades de cadenas de ADN, como herramienta en técnicas de nanoindentación, manipulación de moléculas, etc.

Capítulo 4

DESARROLLO EXPERIMENTAL

El desarrollo experimental de esta investigación consistió en los siguientes pasos, los cuales se describen mas adelante:

- Preparación de las piezas dentarias.
- Exposición de la pieza dentaria en el ácido fosfórico.
- Exposición de la pieza dentaria en refrescos sin ácido fosfórico.
- Caracterización por AFM.
- Análisis mediante histogramas de la topografía de la pieza dentaria

4.1. EQUIPO UTILIZADO

El equipo utilizado para el desarrollo de este trabajo se encuentra en el Laboratorio de Películas delgadas de la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Dicho equipo es:

Microscopio de Fuerza Atómica (véase la figura 4.1):

4.1. EQUIPO UTILIZADO



Figura 4.1: Microscopio de fuerza atómica(AFM).

4.1.1. MICROSCOPIO AFM

El AFM proporciona una imagen amplificada de la topografía de la superficie. Se basa en la interacción que existe entre una sonda muy afilada y una superficie. El microscopio AFM utilizado (figura 4.1) permite la adquisición de imágenes usando modos dinámicos y de contacto y la visualización óptica de la superficie simultáneamente. Para nuestro trabajo se utilizó sólo el modo de contacto, ya que el material analizado son de superficie dura (piezas dentarias).

El microscopio utilizado para este trabajo es un easy Scan de la marca nano Surf. Las características principales de este microscopio son los siguientes:

- El rango máximo de escaneo en X-Y es de $110\ \mu\text{m}$ y el mínimo es de $10\ \mu\text{m}$.
- El rango máximo de escaneo en Z es de $22\ \mu\text{m}$ y el mínimo es de $1.8\ \mu\text{m}$.
- La resolución en X – Y va de $0.15\ \text{nm}$ hasta $1.7\ \text{nm}$.
- La resolución en Z va desde $0.027\ \text{nm}$ hasta $0.34\ \text{nm}$.
- Rango de aproximación automática $5\ \text{mm}$.
- Velocidad máxima de aproximación $0.1\ \text{mm/s}$.
- La micropalanca que se utiliza en el modo contacto es de tipo CONTR, la cual es una palanca suave que se fabrica solo en las compañías Nano World y Nano Sensors. La constante de vibración de la micropalanca es de $0.2\ \text{N/m}$ y comienza a trabajar con una carga inicial de $10\ \text{nN}$.

CAPÍTULO 4. DESARROLLO EXPERIMENTAL

4.2. DETALLES EXPERIMENTALES

4.2.1. PREPARACIÓN DE LAS PIEZAS DENTARIAS

Con los primeros dientes utilizados no hubo una preparación previa a la inmersión al refresco, ya que nuestro primer interés y curiosidad fue saber de manera rápida si existía algún daño ocasionado por este líquido.

Para las siguientes piezas se hizo un molde de plastilina (se utilizó plastilina porque se requería retirar el molde después de un tiempo) en forma de caja, de tamaño solo un poco mayor al diente, este molde se rellenó de resina, enseguida se sumergió poco a poco la pieza dentaria en él, de manera que ésta quedaba cubierta de resina a excepción de una pequeña zona de la superficie del diente que quedaba expuesta para poder analizarla cada vez que lo requeríamos. Ya que la resina es líquida, se dieron 24 horas de reposo para permitir la solidificación de ésta y obtener un molde duro en forma de prisma. Por último, habiendo conseguido la solidificación, retiramos la plastilina de éste.

4.2.2. EXPOSICIÓN DE LA PIEZA DENTARIA EN EL ÁCIDO FOSFÓRICO

En esta sección se explica de qué manera se procedió en la inmersión de las piezas dentarias en el refresco de cola el cual, como ya se ha mencionado, es un portador de ácido fosfórico. Se explica también como fue cambiando la metodología del experimento para obtener mejores datos y llegar a un resultado convincente.

Como ya se mencionó, el interés en las primeras piezas dentarias fue el de observar de manera rápida si causaba algún daño ser expuestas al refresco de cola, por lo cual se realizó la inmersión de éstas en el refresco por tiempos prolongados (algunas horas) y así obtener resultados rápidos. Se utilizaron diferentes piezas dentales, cada una durante un tiempo determinado (media hora, hora y media, dos horas y tres horas).

Al terminar el análisis de estas piezas se obtuvieron resultados muy interesantes, sin embargo no se contaba con una metodología apropiada, ya que no se tenía referencia inicial, es decir no podíamos saber que tanto se había dañado el diente si no sabíamos como era la superficie antes de la inmersión en el refresco. Además que cuando ingerimos un refresco no lo mantenemos media hora o una hora en nuestra boca, si no que lo bebemos inmediatamente. Se cambio entonces la metodología, para ello se debía considerar el análisis del diente antes de la exposición al ácido fosfórico; y la inmersión en el refresco de cola se manejó

4.2. DETALLES EXPERIMENTALES

de manera en que se pudiera simular sorbos, como lo hacemos cotidianamente al beber refresco. Para esto se procedió de la siguiente forma:

Primero se colocó refresco de cola en un vaso, enseguida se sumergió el diente dentro de éste durante 5 segundos, transcurrido este tiempo se retiró, se limpió y se analizó la zona libre de resina mediante AFM. Este procedimiento se repitió hasta completar 5 minutos. Después de este tiempo, se procedió de la misma manera, pero en esta ocasión se sumergió la pieza dentaria de minuto en minuto hasta completar 30. La finalidad de cubrir el diente con la resina y dejar sólo una pequeña zona descubierta fue reducir el análisis sólo a esa pequeña parte del diente y no utilizar toda la superficie, para tener una comparación mas clara del cambio de la rugosidad en la superficie del diente.

4.2.3. EXPOSICIÓN DE LA PIEZA DENTARIA EN REFRESCOS SIN ÁCIDO FOSFÓRICO

Para averiguar que el daño ocasionado en el diente es causado por el ácido fosfórico, decidimos repetir el procedimiento de inmersión al refresco, pero en este caso dentro de uno que no es de cola, en nuestro caso particular se utilizó refresco de manzana. Después de sumergir el diente al líquido cada 5 seg fue analizado mediante AFM. Con los resultados obtenidos de la inmersión en el refresco de cola y en el de manzana comparamos la diferencia en el desgaste y rugosidad de la superficie de los diferentes dientes, los resultados se presentan en el siguiente capítulo.

4.2.4. CARACTERIZACIÓN POR AFM

Las piezas dentarias se caracterizaron mediante AFM para determinar la topografía superficial del diente antes y después de ser sometidas al ácido fosfórico y a refrescos que no lo contienen, y de esta manera conocer la rugosidad de la misma. Cabe mencionar que el objetivo principal de esta investigación fue estudiar la rugosidad de las superficies de las piezas dentarias para así mismo conocer el desgaste de éstas, provocadas por el ácido ortofosfórico transcurrido el tiempo de exposición.

CAPÍTULO 4. DESARROLLO EXPERIMENTAL

4.2.5. ANÁLISIS MEDIANTE HISTOGRAMAS DE LA TOPOGRAFÍA DE LA PIEZA DENTARIA

Para obtener un resultado cuantitativo se hizo un análisis más profundo de los resultados que arrojó el AFM, esto fue mediante histogramas que se obtuvieron de la topografía de las piezas dentarias. Después de obtener los histogramas para dientes inmersos tanto en refresco de cola como en refresco de manzana a diferentes tiempos de exposición, le ajustamos gaussianas a cada uno de ellos. Por último se hizo un análisis, también cuantitativo, de la variación de las características de dichas gaussianas conforme transcurrieran las inmersiones.

4.2. DETALLES EXPERIMENTALES

Capítulo 5

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentarán y analizarán los resultados obtenidos mediante AFM de las piezas dentarias expuestas al ácido fosfórico, y serán comparadas con los resultados del análisis de las piezas expuestas al refresco sin ácido fosfórico. El objetivo de estudiar la superficie de las piezas fue conocer su topografía en distintos tiempos de exposición para tener detalle del desgaste de éstas creado por el ácido ortofosfórico. El análisis se hará en dos formas; primero con imágenes AFM de la superficie del diente y para fortalecer los resultados analizaremos también los histogramas que se obtuvieron utilizando los datos de la topografía de la superficie obtenidos con el AFM.

5.1. ANÁLISIS DE LAS IMÁGENES AFM DE LAS PIEZAS DENTARIAS

En esta sección se muestran imágenes de AFM de las piezas dentarias, con las cuales se hará un análisis del cambio de la rugosidad de la superficie en función del tiempo de exposición, en primera instancia al refresco de cola y posteriormente al refresco de manzana. Este cambio en la rugosidad implica un cambio en la topografía de la superficie, la cual se origina por un desgaste del esmalte dental.

5.1. ANÁLISIS DE LAS IMÁGENES AFM DE LAS PIEZAS DENTARIAS

5.1.1. PIEZAS DENTARIAS EXPUESTAS A REFRESCO QUE TIENE COMO COMPONENTE EL ÁCIDO FOSFÓRICO

La idea de este estudio surgió inicialmente cuando nos trajeron diferentes piezas dentales que habían sido expuestas al refresco de cola conteniendo ácido fosfórico. Cada pieza contaba con un tiempo de exposición diferente, el objetivo era determinar si se producía un daño en la superficie del diente aplicando técnicas de caracterización de materiales. Analizando las muestras mediante AFM obtuvimos las imágenes 5.1 y 5.2.

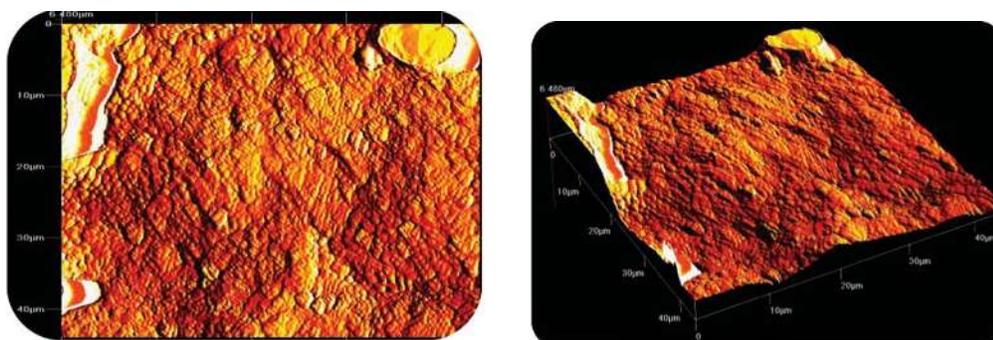


Figura 5.1: Imágenes AFM en 2D y en 3D de la pieza dentaria después de 2 horas de exposición al ácido fosfórico

Los colores de las imágenes AFM nos muestran como es la rugosidad de la superficie; entre más clara más alta es la zona, por consiguiente entre más oscura, más baja es la zona.

Podemos apreciar que en las imágenes del diente inmerso en el refresco de cola existe contraste de colores, con lo cual se interpreta una superficie irregular, de hecho el estudio fue complicado, ya que a nivel microscópico la superficie no es plana y tiene deprecaciones muy pronunciadas, por esto se dificultó encontrar una zona en condiciones adecuadas para que el barrido pudiera darse y ser analizada mediante microscopía de fuerza atómica. Con estos resultados pudimos concluir que se produjo un daño con la inmersión al refresco, pero aún así se tenía un inconveniente, no se contaba con una metodología experimental apropiada para el estudio, la cual tuviera una referencia inicial para entender la magnitud del daño, es decir una imagen del diente antes de ser expuesta al ácido fosfórico como referencia para poder comparar el cambio de la rugosidad de la superficie del diente antes y después de la inmersión al refresco de cola.

CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

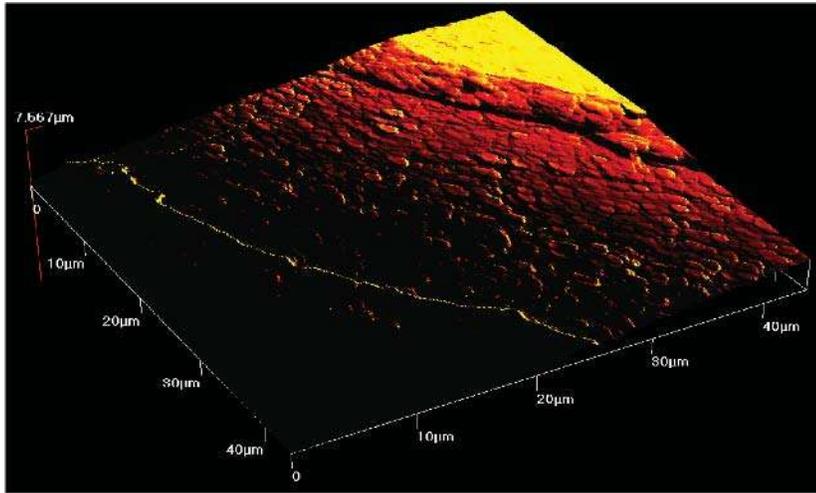


Figura 5.2: Topografía de la pieza dental después de 3 horas de inmersión dentro del refresco de cola.

Entonces continuamos nuestro estudio bajo las condiciones mencionadas anteriormente. Se obtuvieron las siguientes imágenes (Véase las figuras 5.3, 5.4 y 5.5)

Haciendo un análisis cualitativo comparando las imágenes antes de la inmersión y después de la inmersión es claro el cambio en la rugosidad en la superficie del diente. A la hora y media la rugosidad de la superficie del diente cambió completamente, se observan crestas y valles muy pronunciados. Esto indica que, sin duda, el refresco causa un daño severo e irreparable a las piezas dentarias.

Con media hora de inmersión en el refresco de cola se aprecia que el diente ya presenta daño, por lo que la rugosidad en su superficie crece. Pero realmente ¿cuánto tiempo es suficiente para ocasionar un daño significativo en el diente? Para contestar esta pregunta modificaremos nuestra metodología de una manera mas apegada a la realidad, es decir, en tiempos mas cortos, como lo dijimos anteriormente, simulando ingestas reales de refresco.

Utilizamos entonces, una nueva pieza dentaria para este nuevo experimento. La imagen 5.6 corresponde a la pieza analizada antes de ser expuesta al ácido fosfórico

En las imágenes 5.7 se muestra el cambio de la rugosidad superficial de la pieza dentaria a distintos intervalos de tiempo, en los cuales es sumergido en el

5.1. ANÁLISIS DE LAS IMÁGENES AFM DE LAS PIEZAS DENTARIAS

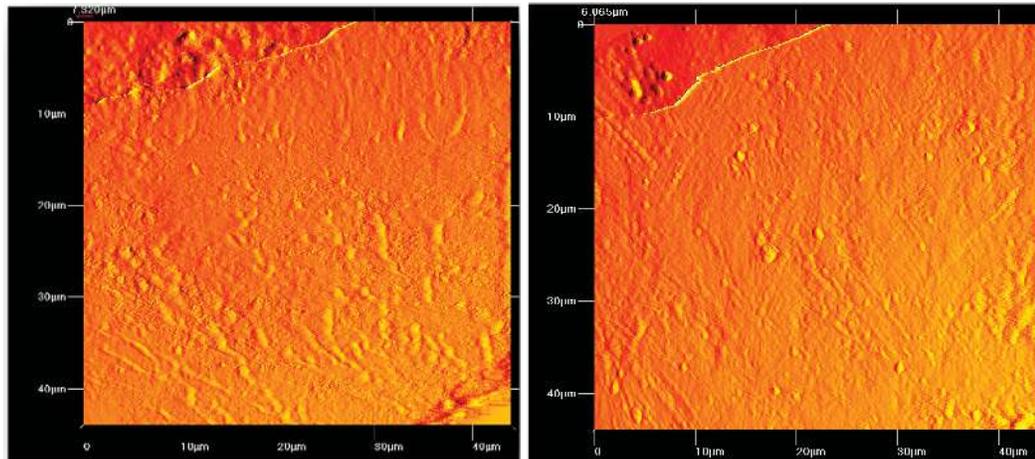


Figura 5.3: Imágenes AFM del diente sin inmersión dentro del refresco de cola en diferentes regiones, puede verse que incluso en la regiones donde existe daño previo al ataque la superficie esta suavizada.

refresco de cola.

Las imágenes AFM que obtuvimos como resultado de la caracterización no son exactamente de la misma zona de la superficie del diente, esto porque el área de la superficie del diente que esta fuera del molde de resina es aproximadamente de 4mm^2 y en nuestro estudio el barrido de la punta del microscopio fue sólo de un área que varía entre 8 y $16\ \mu\text{m}$, además la colocación del diente en el microscopio es a mano y es complicado encontrar la misma zona para analizarla dos veces distintas. Pero esto no afecta el estudio porque nuestro interés no es solo el desgaste de una zona específica de la superficie, sino el cambio en la rugosidad de toda la superficie del diente

En la figura 5.7a se puede observar que el diente si bien tiene zonas estructuralmente dañadas, aún así se muestra que la superficie no presenta alta rugosidad. Esta rugosidad comienza a cambiar de manera muy ligera a partir de los 60 segundos de inmersión en el refresco de cola (figura 5.7 b). El cambio es evidente a partir de los 7 minutos de inmersión (figura 5.7 c). A los 25 minutos de que la pieza es expuesta al ácido fosfórico se aprecia claramente el cambio abrupto en su rugosidad que la superficie sufrió (figura 5.7 d).

La figura 5.8 nos muestran la forma 3D del diente antes de ser sumergido en el ácido y después de 25 minutos de inmersión

CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

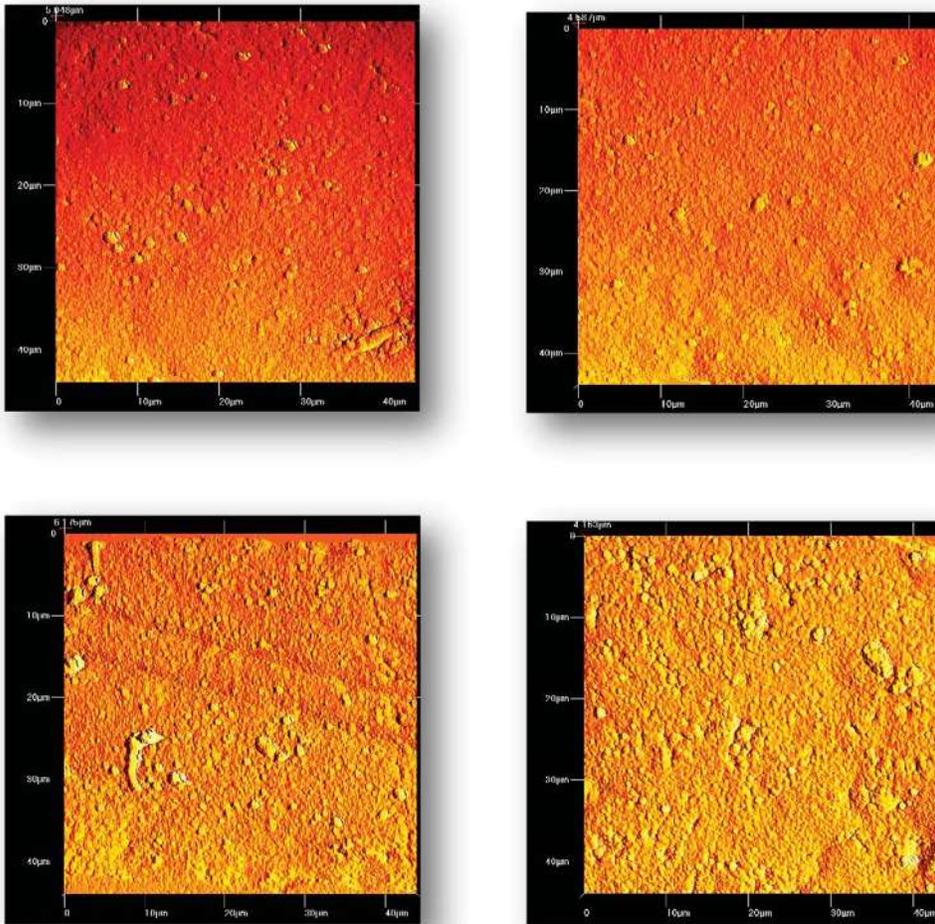


Figura 5.4: Imágenes AFM del diente después de la inmersión durante media hora dentro del refresco de cola, los cambios en la superficie son evidentes.

5.1. ANÁLISIS DE LAS IMÁGENES AFM DE LAS PIEZAS DENTARIAS

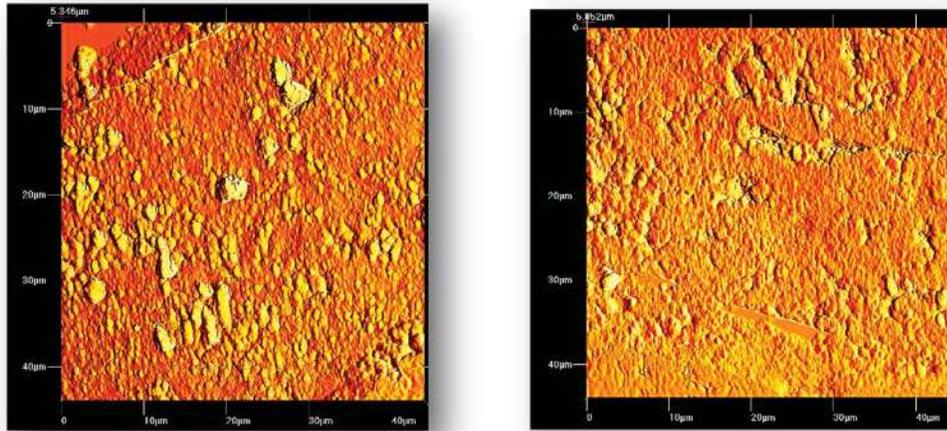


Figura 5.5: Imágenes AFM del diente después de la inmersión durante hora y media dentro del refresco de cola.

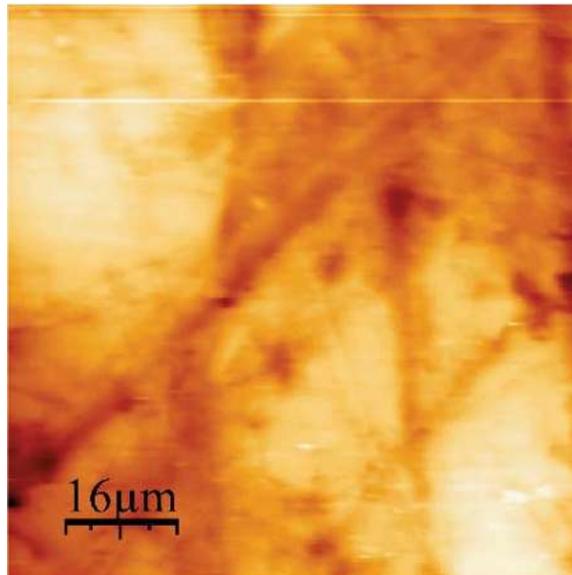


Figura 5.6: Imágen AFM de la pieza dentaria antes de ser expuesta al ácido fosfórico.

CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

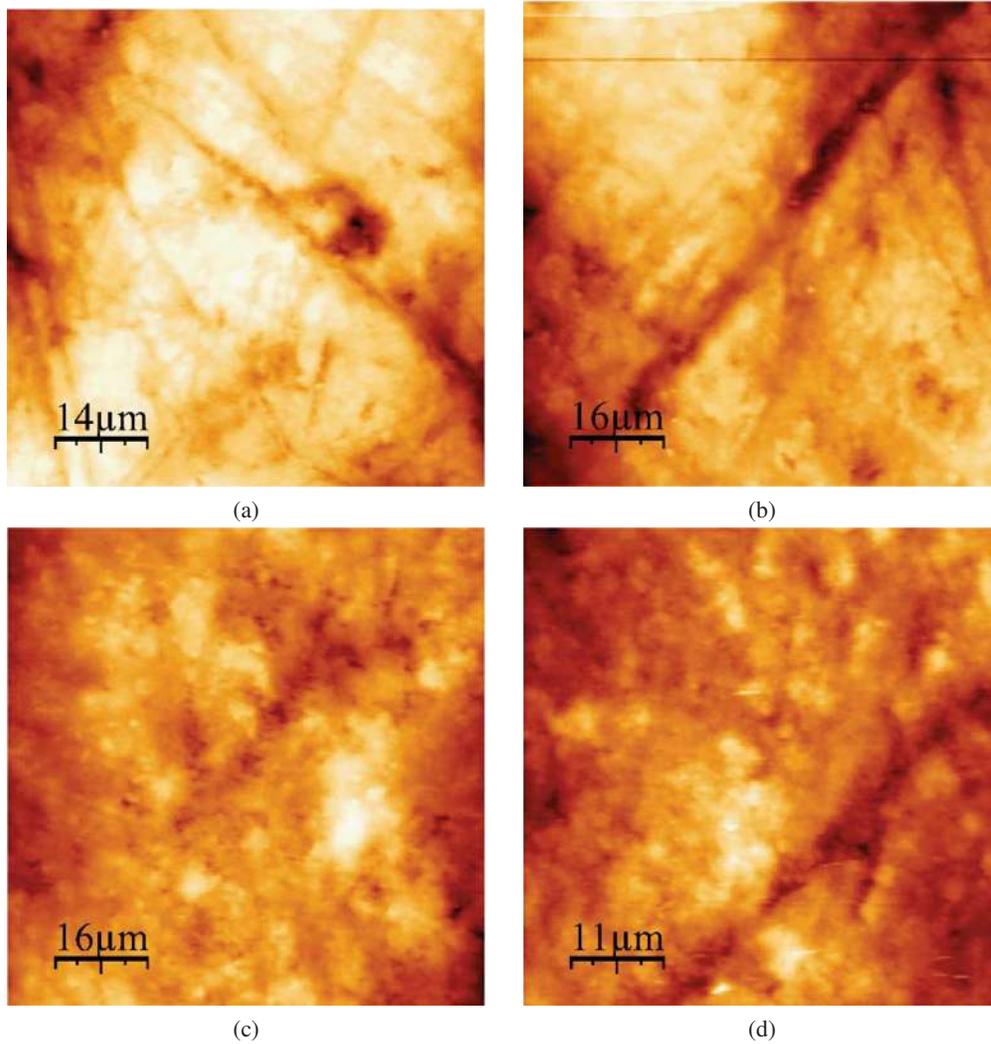


Figura 5.7: Imágenes AFM de la pieza dentaria después de haber sido expuesta al ácido fosfórico a) 40 segundos, b) 60 segundos, c) 7 minutos y d) 25 minutos.

5.1. ANÁLISIS DE LAS IMÁGENES AFM DE LAS PIEZAS DENTARIAS

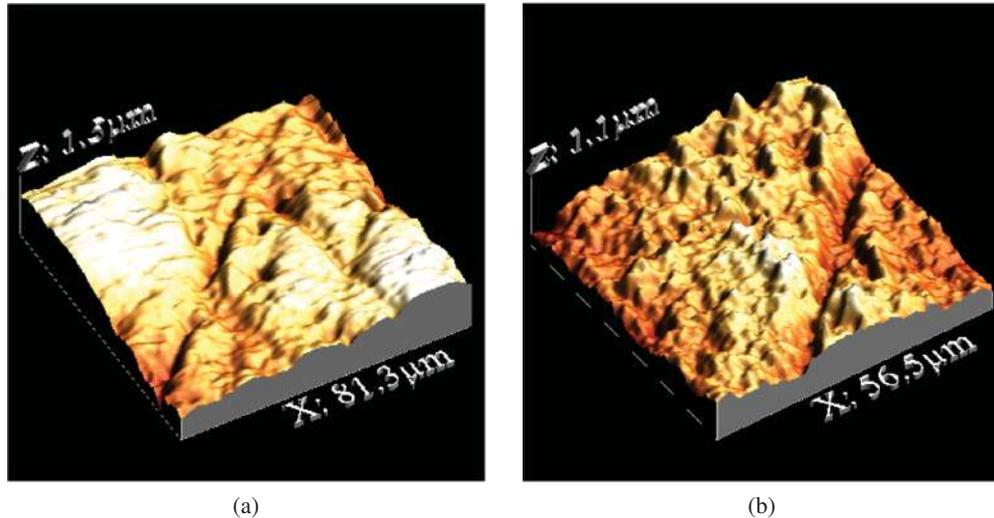


Figura 5.8: Imágenes AFM de la pieza dentaria en 3D de el diente a) antes de la inmersión al refresco de cola y b) después de 25 minutos de inmersión.

Con estas imágenes 3D podemos reafirmar las apreciaciones anteriores acerca del cambio en la rugosidad en el esmalte dental. En la primera imagen 3D del diente antes de ser inmerso en el refresco de cola observamos que la superficie no es plana, muestra ya un daño pero con poca rugosidad en comparación con la segunda imagen 3D, donde después de 25 minutos de exposición al refresco en la superficie se aprecia un aumento en la rugosidad, creando una mayor cantidad de valles sobre ella, también se aprecia que los valles ya existentes aparecen con mayor profundidad.

5.1.2. PIEZAS DENTARIAS EXPUESTAS A REFRESCO QUE NO CONTIENE ÁCIDO FOSFÓRICO

En esta sección se muestra el análisis mediante AFM de la pieza dentaria que fue sumergida en refresco de manzana, es decir un refresco sin contenido de ácido fosfórico, esto para poder comparar los efectos causados por estos dos líquidos.

Para este análisis no nos interesó simular sorbos de refresco en nuestra boca, lo importante fue comparar el daño causado transcurrido el tiempo de inmersión

CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

en los refrescos, por ello las pruebas no se hicieron cada 5 segundos como en la última pieza dentaria sumergida en el refresco de cola, si no que los tiempos de inmersión fueron en horas.

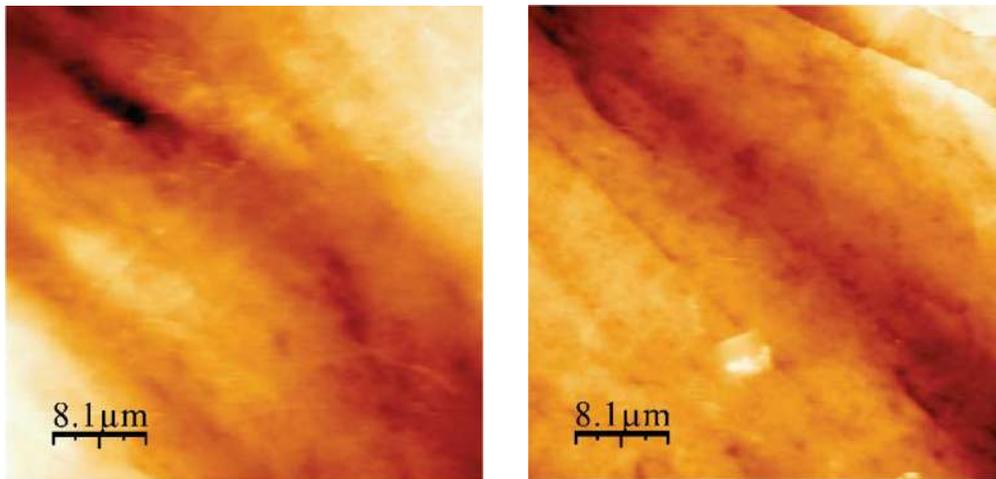


Figura 5.9: Imágenes AFM del diente antes de ser sumergido en refresco de manzana en diferentes regiones.

En las figuras de la 5.9 a 5.16 se observa el incremento del daño en la pieza dentaria causada por el refresco de manzana. A diferencia de las primeras piezas (expuestas al ácido fosfórico), el daño se da a mayores tiempos, es decir, mientras que el refresco de cola comienza a dañar al diente a los 60 segundos de inmersión y a ser evidente, en las imágenes, a los 7 minutos, el refresco de manzana comienza a dañar al diente a las 2 horas de inmersión y a ser evidente a las 4 horas.

A partir de las 5 horas de inmersión en el refresco de manzana, la pieza dentaria comienza a sufrir cambios notables en la rugosidad de su superficie.

Estos resultados los podemos observar en la figura 5.17 con mayor claridad; a las 2 horas de inmersión la rugosidad de la superficie del diente comienza a incrementar y a las 5 y 8 horas la rugosidad es mayor.

5.1. ANÁLISIS DE LAS IMÁGENES AFM DE LAS PIEZAS DENTARIAS

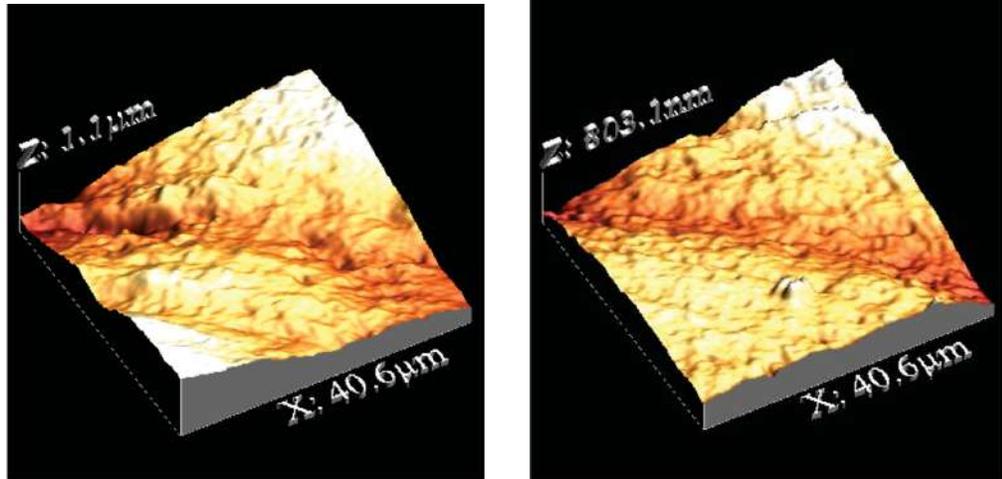


Figura 5.10: Imágenes AFM en 3D del diente antes de ser sumergido en el refresco de manzana en diferentes regiones.

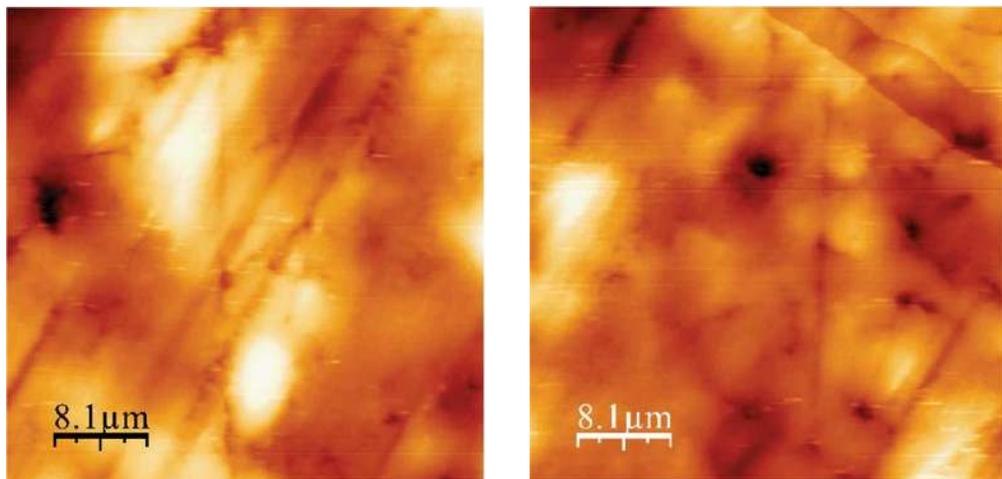


Figura 5.11: Imágenes AFM del diente después de 2 horas de inmersión en el refresco de manzana.

CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

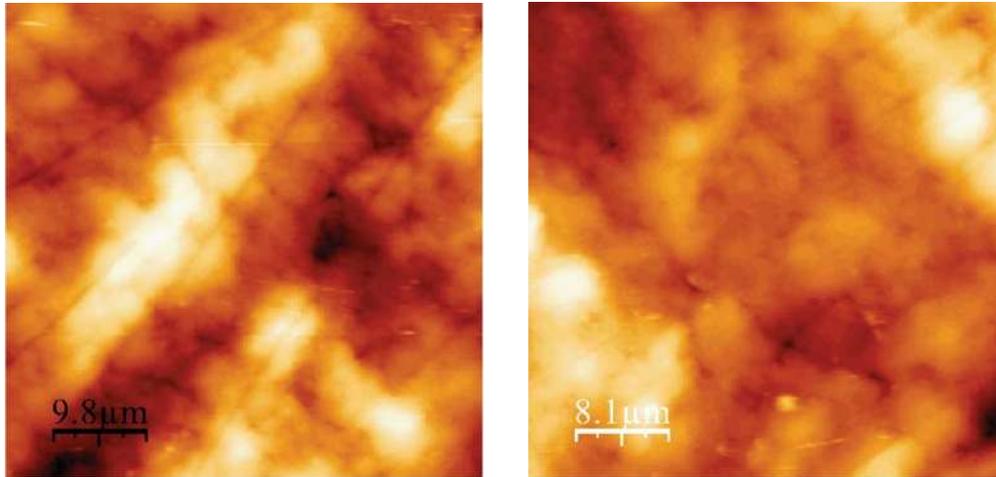


Figura 5.12: Imágenes AFM del diente después de 4 horas de inmersión en el refresco de manzana.

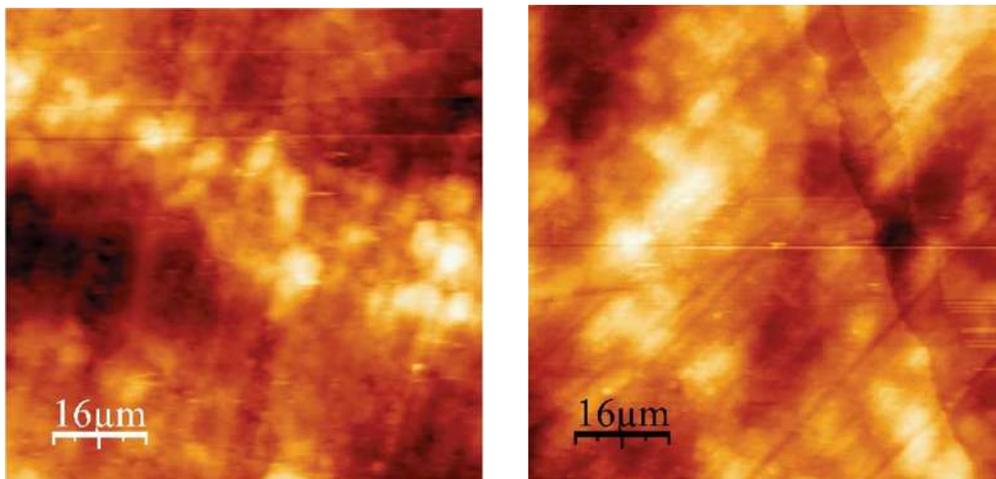


Figura 5.13: Imágenes AFM del diente después de 5 horas de inmersión en el refresco de manzana.

5.1. ANÁLISIS DE LAS IMÁGENES AFM DE LAS PIEZAS DENTARIAS

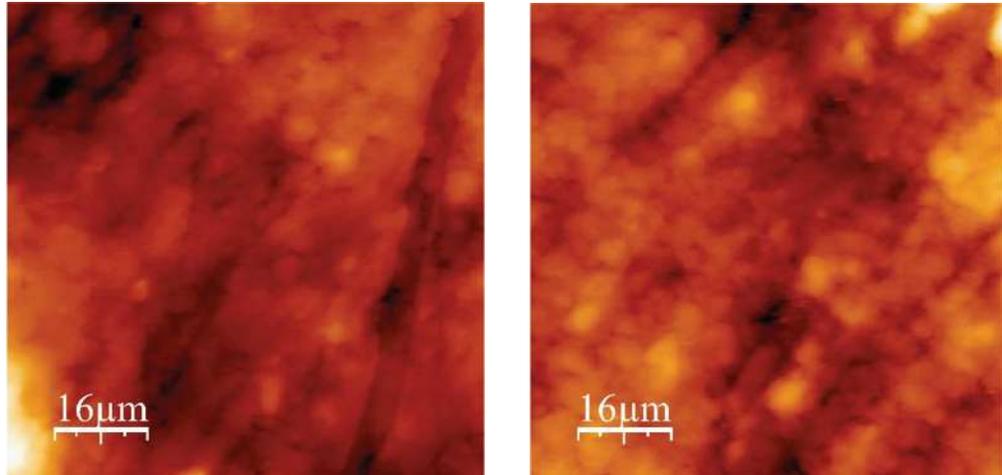


Figura 5.14: Imágenes AFM del diente después de 6 horas de inmersión en el refresco de manzana.

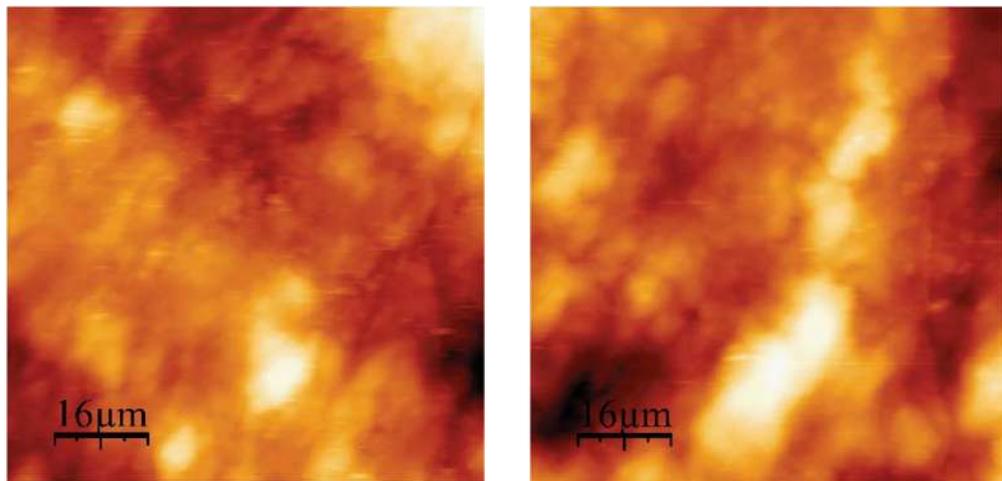


Figura 5.15: Imágenes AFM del diente después de 7 horas de inmersión en el refresco de manzana.

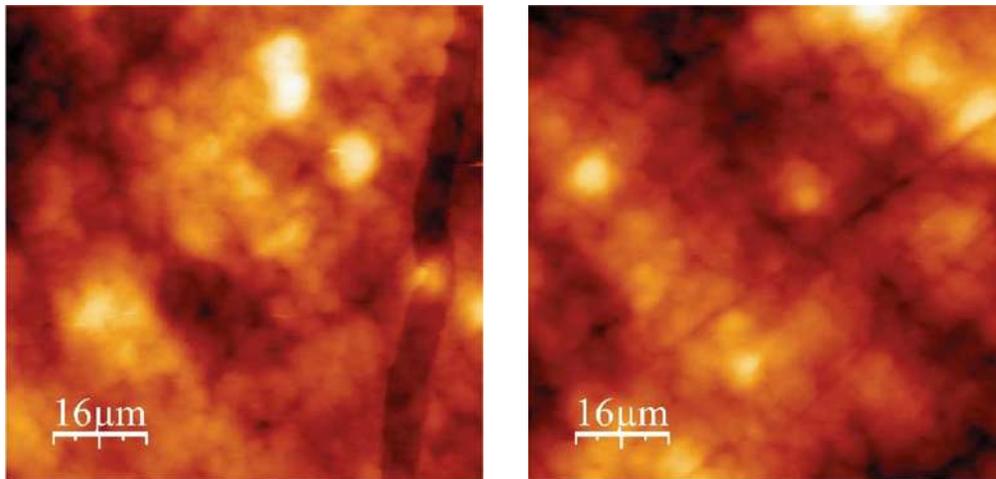


Figura 5.16: Imágenes AFM del diente después de 8 horas de inmersión en el refresco de manzana.

5.2. ANÁLISIS DE HISTOGRAMAS DE LA TOPOGRAFÍA DE LAS IMÁGENES DE AFM.

En esta sección analizaremos histogramas que se obtuvieron de la topografía de las piezas dentarias obtenidas por AFM, esto es para hacer un análisis cuantitativo para sustentar y complementar los resultados anteriores acerca del deterioro del esmalte dental.

Los parámetros que se grafican en los histogramas son altura contra el número de eventos, es decir son gráficas donde plasmamos el cambio de rugosidad del diente conforme pasa el tiempo de exposición al refresco.

Las alturas se empiezan a medir desde el lugar más bajo de la superficie, es decir el valle más profundo, siendo este el origen de los valores de la ordenada. En la figura 5.18 se muestra con una línea amarilla el valle más profundo sobre la superficie del diente, y con líneas blancas y negras se ejemplifican algunas alturas.

Para poder definir un “evento” es necesario recordar que el AFM es un microscopio de barrido, y como su nombre lo dice su función es barrer o recorrer por medio de un punta afilada la superficie de la muestra que se esta analizando. Mediante ese barrido, la punta hace un cierto número de mediciones de alturas. A cada una de estas mediciones son a las que llamamos “evento”.

5.2. ANÁLISIS DE HISTOGRAMAS DE LA TOPOGRAFIA DE LAS IMÁGENES DE AFM.

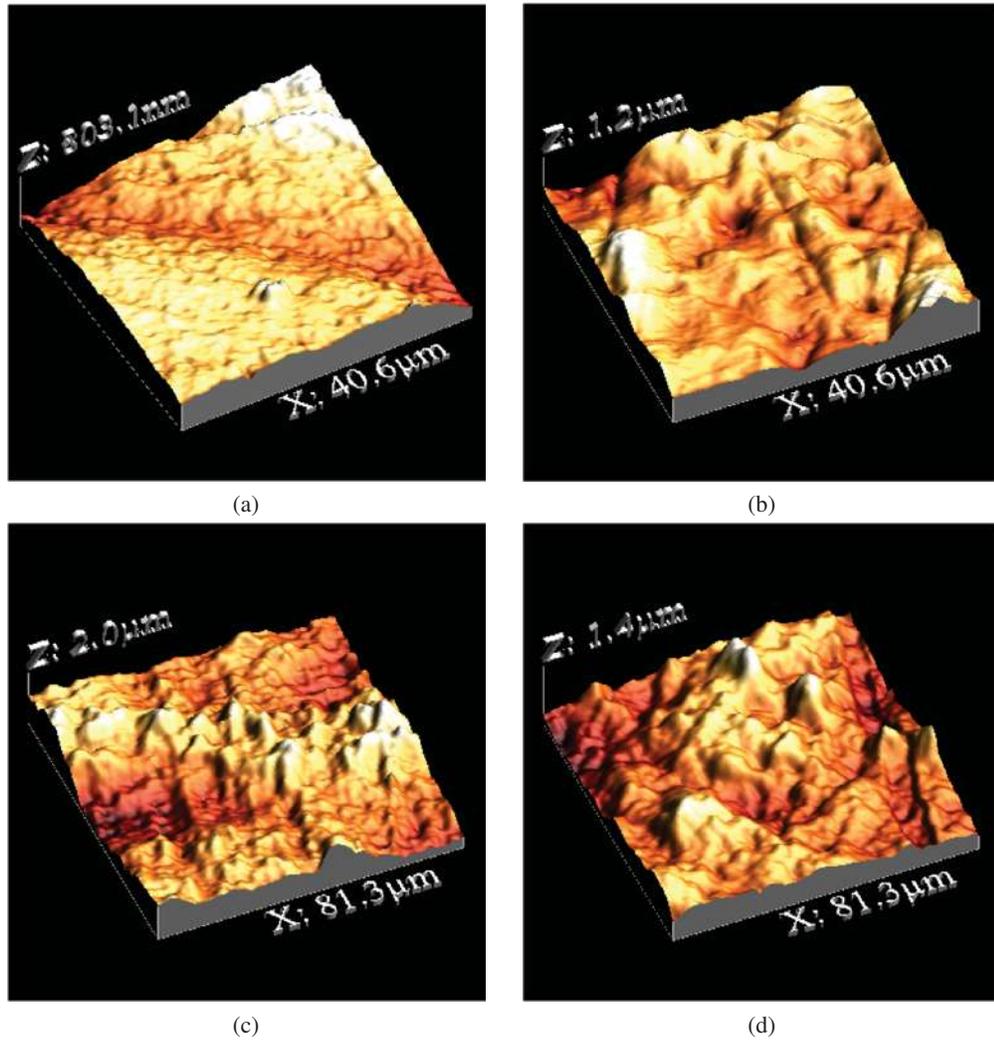


Figura 5.17: Imágenes AFM 3D del diente a) antes de ser sumergido en el refresco de manzana. b) después de 2 horas de inmersión en el refresco, c) después de 5 horas de inmersión y d) después de 8 horas de inmersión en el refresco.

CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Llamamos “número de eventos” al total o la suma de las ocasiones que se presentan la misma altura sobre el área de la superficie estudiada. En la figura 5.18 vemos como ejemplos el evento h_1 y el evento h_2 . Entonces al decir “cuantos eventos se tienen de $5\mu\text{m}$,” nos referimos al número de ocasiones que presentan o tienen una altura de $5\mu\text{m}$ en el caso de la figura que es un corte transversal.

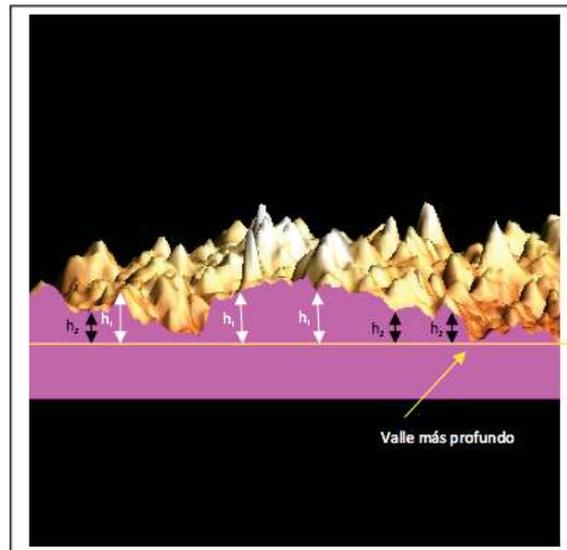


Figura 5.18: Corte transversal del diente.

En las siguientes secciones se hará un análisis metódico de los histogramas de piezas dentarias expuestas en refresco con contenido de ácido fosfórico y sin ácido fosfórico, para ello emplearemos herramientas matemáticas de ajuste de curvas que se utilizan en el análisis de datos obtenidos en ciencias de materiales, por ejemplo la fotoluminiscencia de semiconductores. Estas herramientas serán de mucha ayuda para el análisis de los datos obtenidos por AFM de las piezas dentarias.

5.2.1. EXPOSICIÓN DE LAS PIEZAS DENTARIAS EN REFRESCO CON CONTENIDO DE ÁCIDO FOSFÓRICO

Para los histogramas de esta sección únicamente utilizamos los datos de la última pieza dentaria que se estudió más meticulosamente en la sección 5.1.1, en diferentes tiempos de inmersión en el refresco de cola. Utilizamos esta pieza por

5.2. ANÁLISIS DE HISTOGRAMAS DE LA TOPOGRAFÍA DE LAS IMÁGENES DE AFM.

que la metodología que se empleó para su análisis fue la más apropiada ya que se apega más a la situación real o cotidiana de ingesta de refresco.

La figura 5.19a nos confirma que, el diente antes de interactuar con el refresco de cola ya tenía una topografía inicial a pesar de eso se tiene una superficie lisa, no plana, porque en ese caso el histograma sería una recta horizontal.

Realizamos un ajuste del histograma empleando adición de gaussianas de ajuste. Se hicieron múltiples intentos, empleando desde una hasta cinco gaussianas, sin embargo determinamos que el mínimo a emplear era 3 para todos los histogramas aún transcurriendo el tiempo de inmersión en el refresco. Con lo anterior queda claro que hay una tendencia, es decir hay una correlación de las gaussianas con el tiempo.

Para entender esta tendencia analizaremos las variaciones que obtuvimos en algunas características de las gaussianas como el centro, área, desviación estándar y altura. Basándonos en estos cambios obtuvimos las gráficas de la figuras 5.20, 5.21, 5.22.

Para el análisis de estas gráficas, enumeramos las gaussianas de cada histograma de 1 al 3 en orden de izquierda a derecha. Donde la primera gaussiana representa los lugares más bajos de la superficie, es decir las alturas más pequeñas en referencia al punto más bajo. La segunda gaussiana representa las alturas medias y la tercera gaussiana representa los lugares más altos de la superficie, es decir las alturas más grandes.

Vemos que todas las curvas tienen un comportamiento creciente. En la primera parte su crecimiento es muy rápido y después de ello el crecimiento es más lento, casi lineal. Para entender que el comportamiento se da en dos fases distintas hay que recordar el modo de inmersión del diente en el refresco: primero se sumergió cada 5 segundos hasta completar 5 minutos, en seguida la inmersión fue de minutosuto en minutosuto hasta completar 25 minutos. Entonces esta metodología influyó para el comportamiento de las curvas, ya que crece con mayor rapidez en los primeros 3 ó 4 minutos aproximadamente, y en el tiempo restante crece más lento. Además el refresco en el que fue emergido el diente no se renovó en ningún momento del experimento, por lo que creemos que fue perdiendo efecto sobre la pieza dentaria pero sin dejar de causar daño.

El comportamiento de las curvas están estrictamente relacionadas con el crecimiento de los valles que están sobre la superficie del diente; el hecho de que la gráfica de los centros de las gaussianas sea creciente quiere decir que la superficie se va deteriorando cada vez más, ya que la profundidad de los valles va aumentando; el crecimiento de la curva representando a las alturas de las gaussiana-

CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

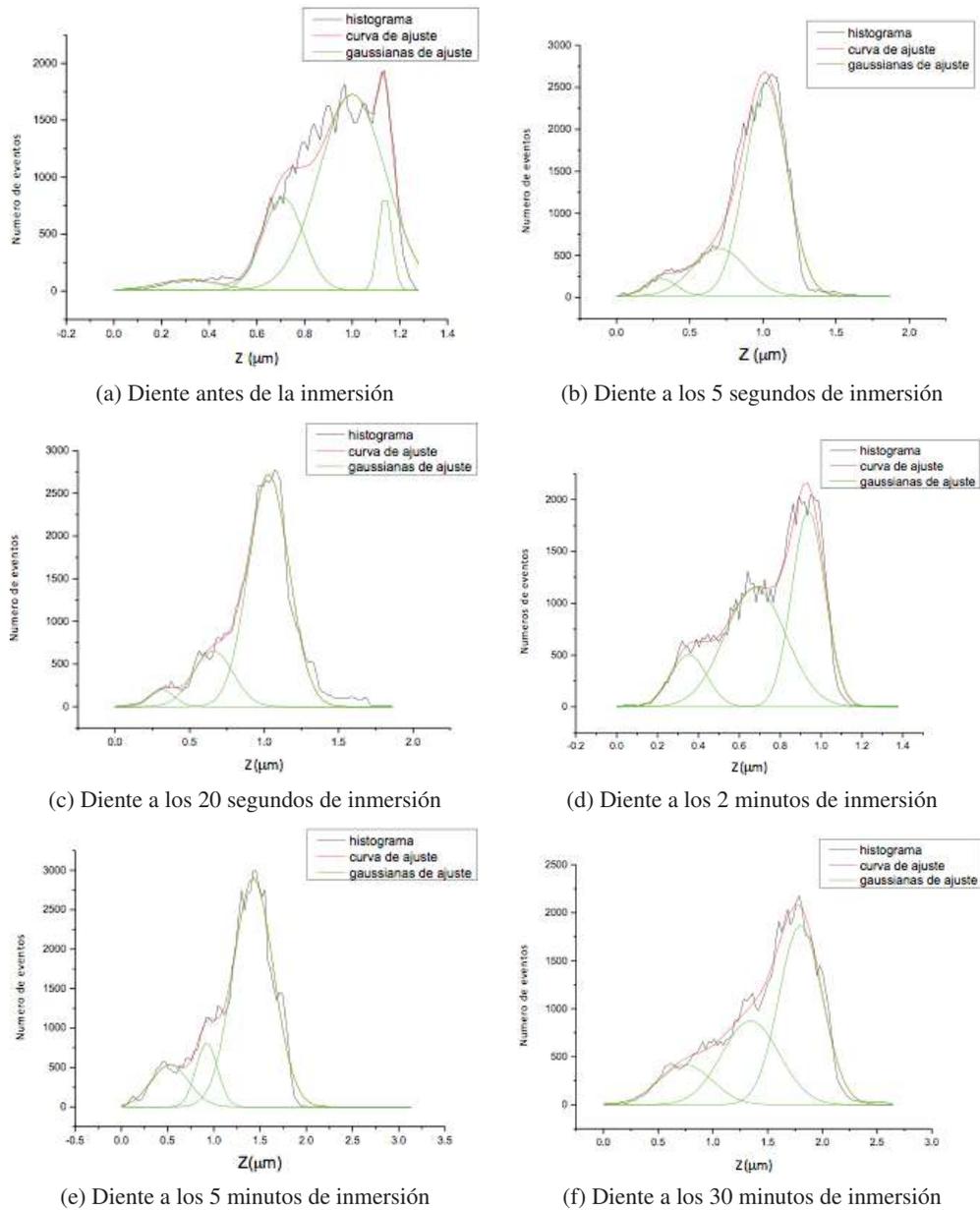


Figura 5.19: Histogramas del diente en diferentes tiempos.

5.2. ANÁLISIS DE HISTOGRAMAS DE LA TOPOGRAFIA DE LAS IMÁGENES DE AFM.

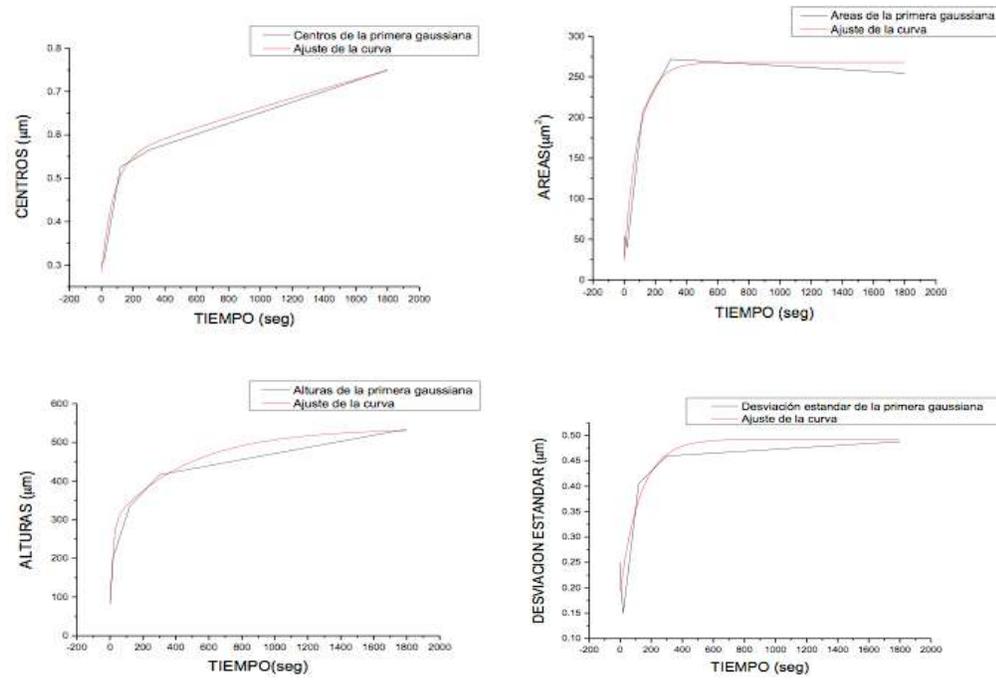


Figura 5.20: Gráficas del comportamiento de la Gaussiana 1.

CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

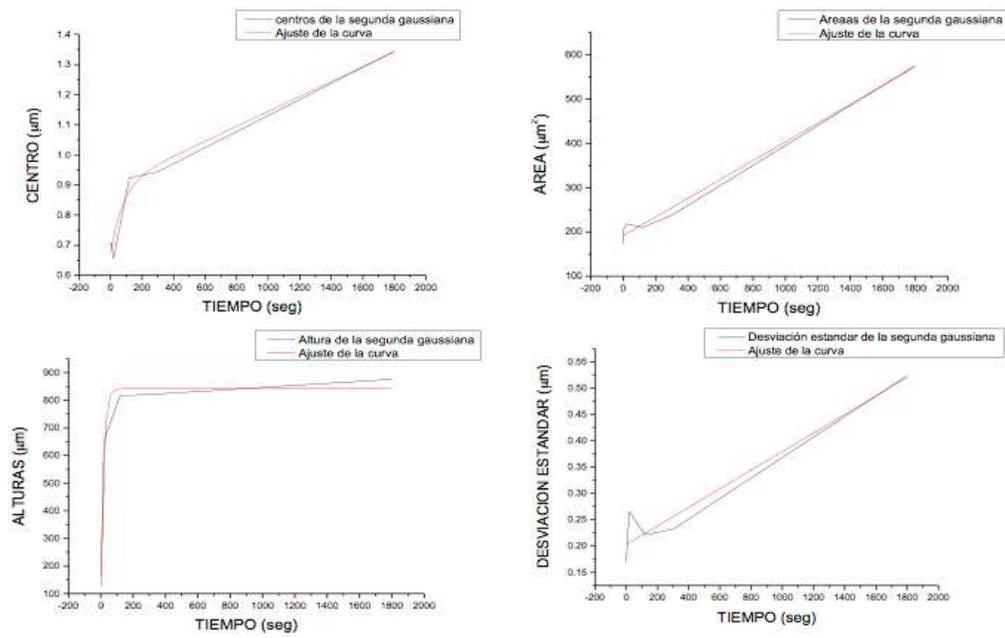


Figura 5.21: Gráficas del comportamiento de la Gaussiana 2.

5.2. ANÁLISIS DE HISTOGRAMAS DE LA TOPOGRAFIA DE LAS IMÁGENES DE AFM.

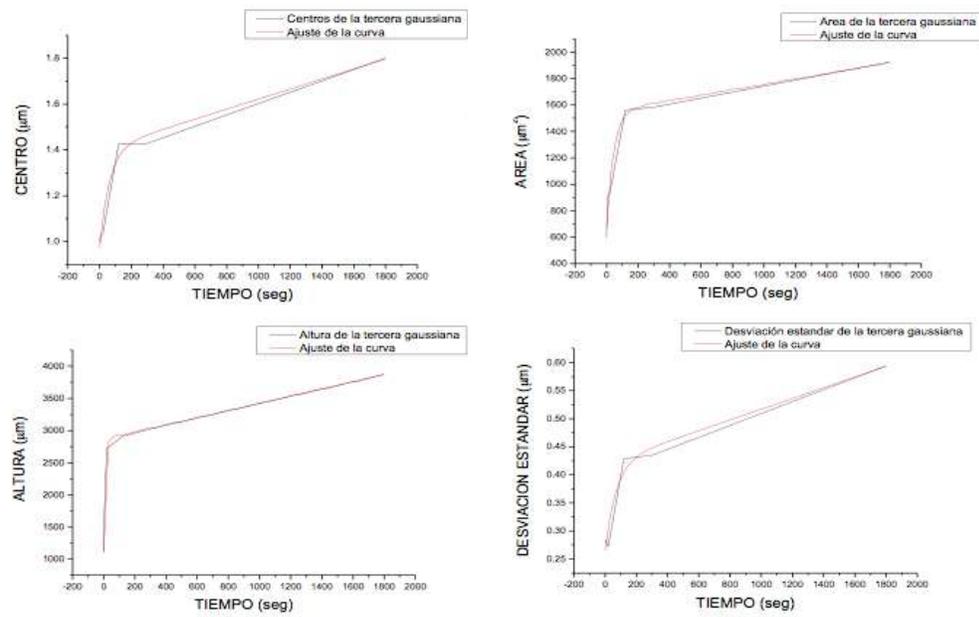


Figura 5.22: Gráficas del comportamiento de la Gaussiana 3.

CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

nas nos muestra el alargamiento de los valles que se encuentran en la superficie, y con el crecimiento de la desviación estándar se muestra que la anchura del valle también se vuelve mayor. Como resultado del cambio de estas tres características obtenemos el cambio del área de las gaussianas, que nos dan el crecimiento general de los valles de la superficie y con ello un cambio en la topografía del diente.

Notemos que las gráficas de la segunda gaussiana tiene un comportamiento diferente al de las otras dos, su crecimiento es casi lineal en la mayor parte de la curva, entendamos entonces la razón de este comportamiento: el crecimiento de la tercera gaussiana, que representa los lugares más altos, esta relacionada con el crecimiento de la primera gaussiana que representa los lugares más bajos de la superficie, de manera que al momento de sumergir el diente al refresco, en los lugares mas bajos de su superficie se acumula este líquido y los desgasta haciéndolos más profundos aún, y entonces la distancia con los lugares más altos de la superficie crece, es decir las alturas son mayores; con lo anterior decimos que el comportamiento de la tercera gaussiana depende del comportamiento de la primera. Esto no pasa con la segunda gaussiana, es decir, ésta no depende de ninguna de las otras dos, para los lugares medios de la superficie se tienen un desgaste uniforme, haciendo que el crecimiento de las gráficas de la segunda gaussiana sean casi lineales.

Haciendo un resumen de la explicación de los histogramas anteriores decimos que los valles existentes sobre la superficie del diente aumentaron su tamaño, es decir se volvieron mas profundos y su anchura aumentó con forme transcurrió el tiempo de inmersión en el refresco de cola, diciendo con esto que el esmalte dental sufrió daño.

La curva de ajuste empleada esta dada por la siguiente ecuación:

$$y = y_0 + A_1(1 - e^{-t/b_1}) + A_2(1 - e^{-t/b_2})$$

La ecuación esta compuesta por la suma de dos funciones exponenciales, donde y_0, A_1, A_2, b_1 y b_2 son valores constantes y diferentes para cada gráfica (véase cuadro 5.1); para conocer el comportamiento de la función, graficaremos por separado cada exponencial(véase la figura 5.23); para el ejemplo tomaremos las constantes del comportamiento de los centros de la gaussiana 3.

Observamos (figura 5.23) que una función exponencial con tales parámetros nos describe la primera parte de la curva, en donde el crecimiento es más rápido, la otra función nos describe la parte de la curva donde el crecimiento es lento.

En la cuadro 5.1 se muestran los valores de las constantes para la ecuación de cada una de la gráficas 5.20, 5.21 y 5.22.

5.2. ANÁLISIS DE HISTOGRAMAS DE LA TOPOGRAFIA DE LAS IMÁGENES DE AFM.

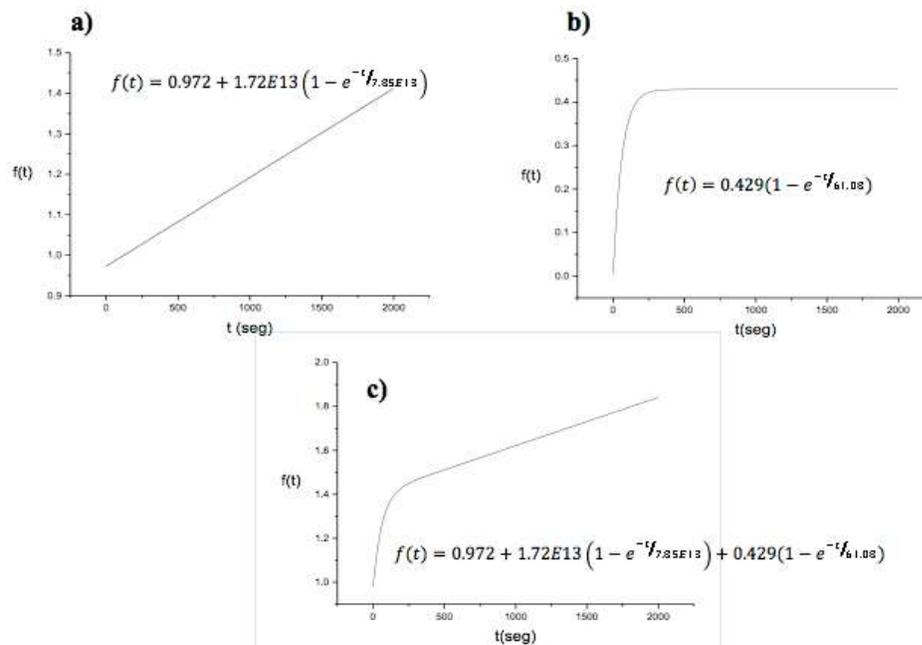


Figura 5.23: Gráficas de las funciones exponenciales que componen la curva de ajuste. a) primera parte de la ecuación $y = y_0 + A_1(1 - e^{-t/b_1})$. b) segunda parte de la ecuación $y = A_2(1 - e^{-t/b_2})$. c) resultado de la suma de las dos ecuaciones $y = y_0 + A_1(1 - e^{-t/b_1}) + A_2(1 - e^{-t/b_2})$

CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cuadro 5.1: Valores de las constantes para las funciones de ajuste de las gráficas de características de las gaussianas

| | | Gaussiana 1 | Gaussiana 2 | Gaussiana 3 |
|---------------------|-------|-------------|-------------------|-------------------|
| Centro | y_0 | 0.28385 | 0.6735 | 0.97266 |
| | A_1 | 0.25998 | 0.22332 | 1.7242E13 |
| | b_1 | 76.45045 | 77.90106 | 7.8513E16 |
| | A_2 | 1.2024 | 3045.01796 | 0.42921 |
| | b_2 | 9640.65982 | 12301395.54774 | 61.08238 |
| Alturas | y_0 | 77.39956 | 124.30066 | 101.20838 |
| | A_1 | 177.85804 | 358.72671 | 1.8093E17 |
| | b_1 | 21.54279 | 17.50026 | 3.2753E17 |
| | A_2 | 280.65387 | 358.72671 | 1767.41868 |
| | b_2 | 353.58007 | 17.49856 | 9.40722 |
| Areas | y_0 | 23.83319 | 191.17708 | 678.0883 |
| | A_1 | 122.11465 | 56441478966.23463 | 54157.65423 |
| | b_1 | 94.14607 | 1.3304E12 | 279855.39258 |
| | A_2 | 122.11757 | 224312194867.0558 | 881.14188 |
| | b_2 | 94.14973 | 1.323E12 | 44.52191 |
| Desviación Estándar | y_0 | 0.19207 | 0.2032 | 0.26508 |
| | A_1 | 0.1503 | -604859.98706 | 2180747.61094 |
| | b_1 | 129.80945 | 91267320032.92738 | 22814816746.95425 |
| | A_2 | 0.1503 | 17996324.4869 | 0.15622 |
| | b_2 | 129.78612 | 98326902828.79051 | 70.19209 |

5.2. ANÁLISIS DE HISTOGRAMAS DE LA TOPOGRAFIA DE LAS IMÁGENES DE AFM.

5.2.2. PIEZAS DENTARIAS EXPUESTAS A REFRESCO QUE NO CONTIENE ÁCIDO FOSFÓRICO

Al igual que con el refresco de cola, mostraremos los histogramas del cambio de rugosidad del diente al ser emergido en refresco de manzana, esto es para obtener una mejor comparación de los daños ocasionados por uno y otro refresco en el diente. El análisis de estos histogramas se hizo de manera análoga a la sección anterior: suavizamos la curva, ajustamos gaussianas y estudiamos las propiedades de estas.

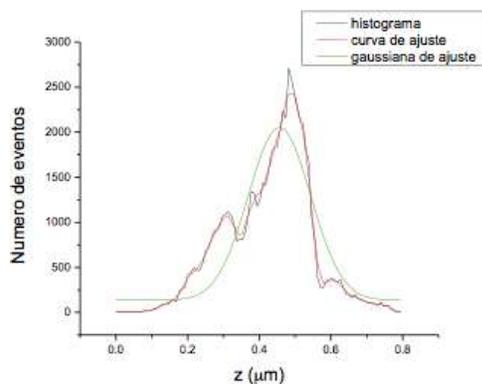
Con las figuras anteriores podemos hacer una comparación cuantitativa del cambio de la rugosidad en el esmalte causado por el refresco de cola y el refresco de manzana. En las figuras 5.19a y 5.19e de la sección anterior vemos que los valores máximos alcanzados en el eje z fue de $1.3 \mu\text{m}$ y $2.3 \mu\text{m}$ respectivamente, esto nos da un cambio en las alturas máximas de $1 \mu\text{m}$ en 5 minutos de inmersión en el refresco de cola, mientras que en las figuras 5.24a y 5.24b los valores máximos tomados fueron $0.8 \mu\text{m}$ y $1.2 \mu\text{m}$ respectivamente, es decir un cambio de $0.4 \mu\text{m}$ en 2 horas de inmersión en el refresco de manzana. Es claro que el daño reflejado por la inmersión es mayor para el refresco con contenido de ácido fosfórico que para el que no lo contiene. A continuación analizaremos más afondo este último resultado mediante ajuste de curvas, en nuestro caso gaussianas. La primera comparación que se hará es el número de gaussianas que se ajustaron a las gráficas, a diferencia de las gráficas del diente inmerso en el refresco de cola, a las cuales se le ajustaron tres gaussianas, a las gráficas del diente inmerso en el refresco de manzana se pudo ajustar solo una gaussiana.

De manera análoga que al diente inmerso al refresco de cola, se muestran las gráficas que representan el cambio en las características de las gaussianas conforme transcurrió el tiempo de inmersión de la pieza dentaria al refresco de manzana. Recordemos que dichas características que analizaremos a continuación son: centro, desviación estándar, área y altura de la gaussiana.

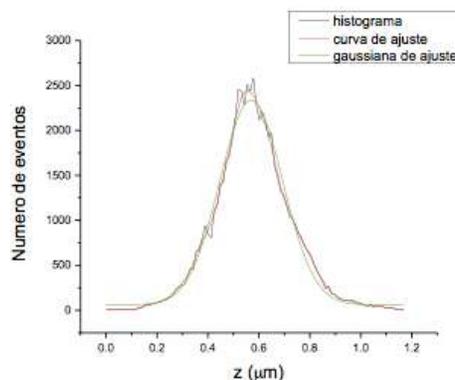
Como vemos la curva del área de las gaussianas es creciente, lo cual nos indica que los valles iniciales fueron aumentando su tamaño conforme ocurría la inmersión al refresco de manzana, este mismo resultado lo obtuvimos con el refresco de cola, pero a continuación analizaremos la diferencia de este crecimiento para ambos refrescos.

Comparamos entonces la 5.20, 5.21 y 5.22, que son del diente inmerso en el refresco de cola, con la gráfica 5.25 del diente inmerso en el refresco de manzana, obtuvimos los siguientes resultados:

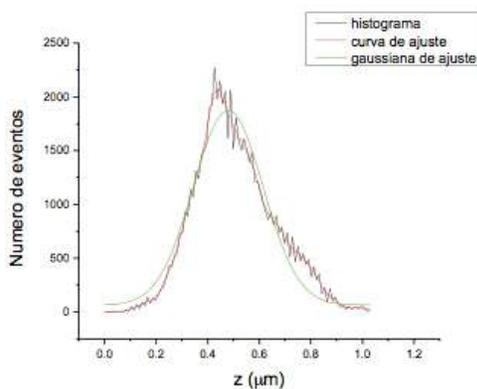
CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN



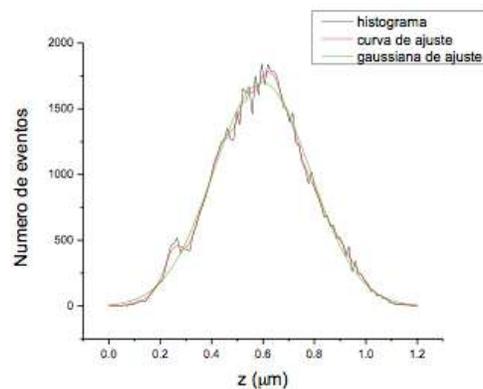
(a) Diente antes de la inmersión



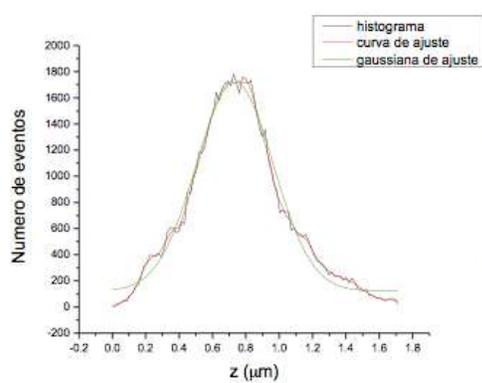
(b) Diente a las 2 horas de inmersión



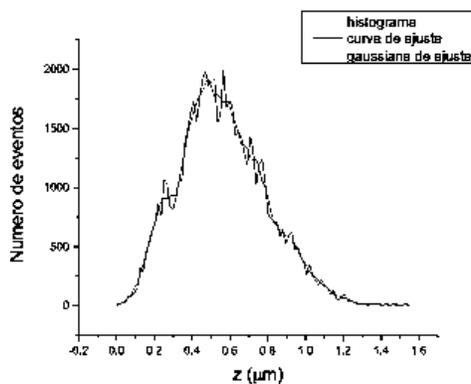
(c) Diente a las 4 horas de inmersión



(d) Diente a las 5 horas de inmersión



(e) Diente a las 7 horas de inmersión



(f) Diente a las 8 horas de inmersión

Figura 5.24: Histogramas del diente en diferentes tiempos.

5.2. ANÁLISIS DE HISTOGRAMAS DE LA TOPOGRAFIA DE LAS IMÁGENES DE AFM.

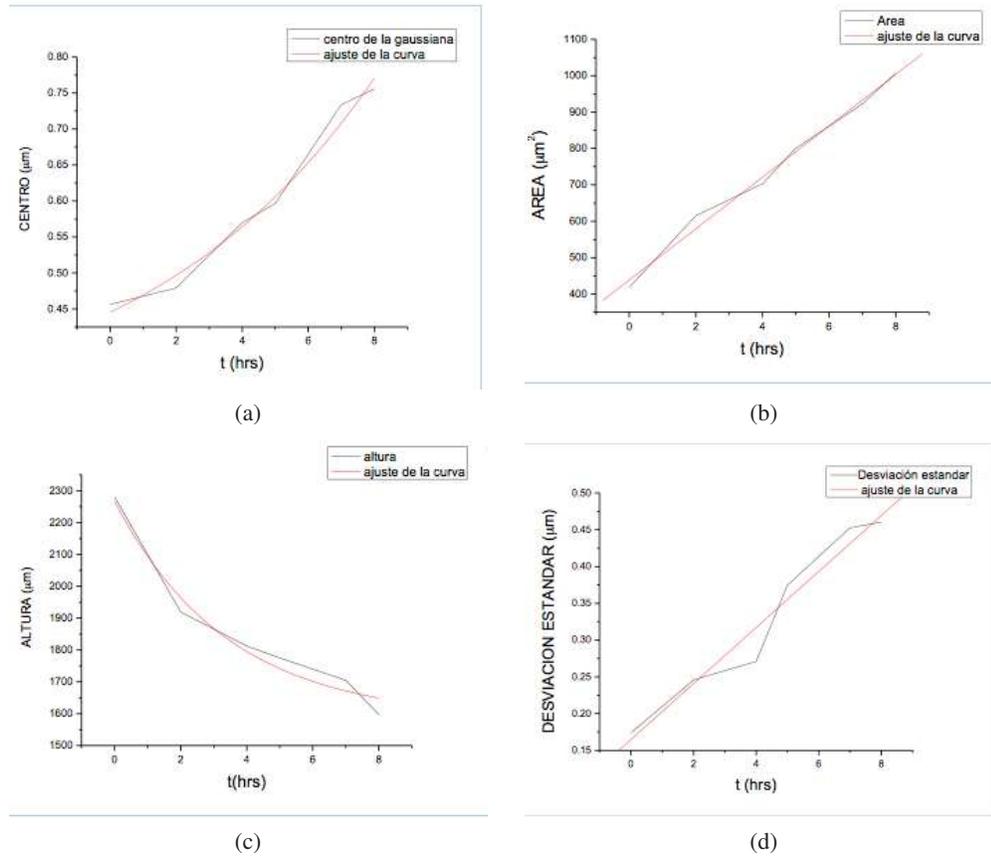


Figura 5.25: Gráficas del comportamiento de la gaussiana.

CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- En la gráfica del centro de la gaussiana vemos que, el valor que puede tomar este parámetro aproximadamente varía de $0.45\mu\text{m}$ a $0.8\mu\text{m}$; es decir que aumentó su profundidad $0.45\mu\text{m}$ en 8 horas de inmersión al refresco de manzana. En las gráficas de los centros de las gaussianas del diente inmerso en el refresco de cola durante 30 minutos los valores fueron mayores, para la primera gaussiana el parámetro varió de $0.3\mu\text{m}$ a $0.8\mu\text{m}$, una diferencia de $0.5\mu\text{m}$; para la segunda gaussiana varió de $0.7\mu\text{m}$ a $1.3\mu\text{m}$, una diferencia de $0.6\mu\text{m}$; y para la tercera gaussiana varió de $1\mu\text{m}$ a $1.8\mu\text{m}$; una diferencia de $0.8\mu\text{m}$, entonces se entiende que los valles de la superficie de éste diente crecieron más en comparación con los de la pieza dentaria inmersa en el refresco de manzana, aún cuando el tiempo de inmersión al refresco de manzana fue mucho mayor que en el refresco de cola. Además el resultado arrojó una diferencia mayor para la tercera gaussiana que para la segunda y para ésta mayor que para la primera, con esto se entiende que el valor de las alturas más grandes crecen más rápido que el de las alturas pequeñas, es decir que el daño que causa el refresco de cola es mayor en el fondo de los valles en comparación con la superficie de estos.
- En la gráfica de la desviación estándar vemos que es mínima la diferencia entre los valores de este parámetro para el diente inmerso en un refresco u otro. Para el inmerso en el refresco de manzana los valores varían de $0.17\mu\text{m}$ a $0.5\mu\text{m}$, una diferencia de $0.33\mu\text{m}$. Para el inmerso en el refresco de cola, para la primera gaussiana varió de $0.15\mu\text{m}$ a $0.5\mu\text{m}$, una diferencia de $0.35\mu\text{m}$; para la segunda gaussiana varió de $0.17\mu\text{m}$ a $0.52\mu\text{m}$, una diferencia de $0.35\mu\text{m}$; para la tercera gaussiana varió de $0.27\mu\text{m}$ a $0.6\mu\text{m}$, una diferencia de $0.33\mu\text{m}$. Esto implica que los valles en la superficie van aumentando de anchura de manera similar para ambos refrescos, la diferencia es casi insignificante, pero tomando en cuenta el tiempo de inmersión entre un refresco y otro, entonces se vuelve significativa.
- Con las observaciones anteriores se entiende que el área de los valles que se encuentran en la superficie del diente que fue inmerso en el refresco de cola aumentó más por el crecimiento de su profundidad que por el crecimiento de su anchura, es por esto que la gráfica de las alturas de las gaussianas para este diente es creciente. En comparación del diente inmerso en el refresco de manzana, en el cual, los valles igual aumentaron su tamaño pero en este caso influyó más el aumento en la anchura que el aumento en la profundidad, por este motivo la gráfica de la altura de la gaussiana es decreciente. Esta explicación la interpretamos en las figuras 5.26 y 5.27 donde mostramos cómo ocurre el ataque al esmalte dental provocado por la inmersión a los

5.2. ANÁLISIS DE HISTOGRAMAS DE LA TOPOGRAFIA DE LAS IMÁGENES DE AFM.

dos tipos de refresco.

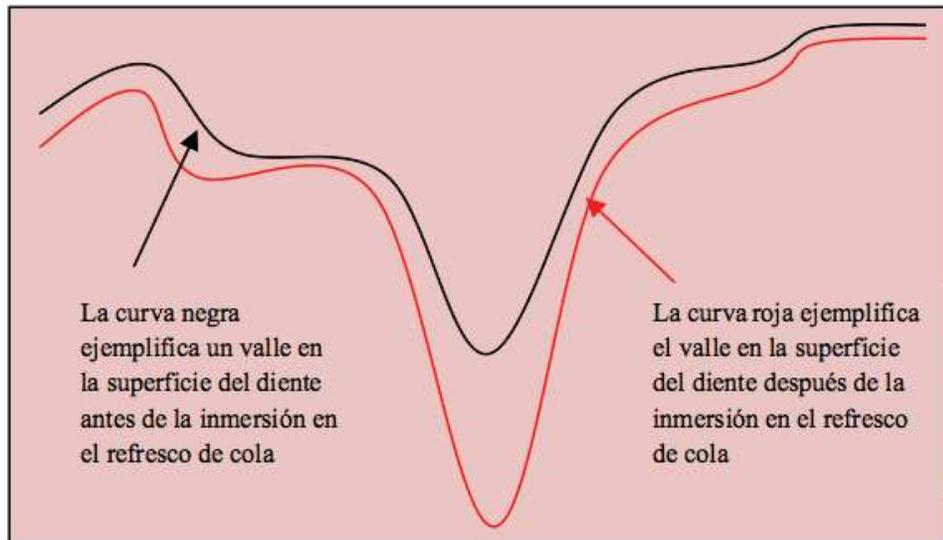


Figura 5.26: Crecimiento de un valle ocasionado por el refresco de cola

- En esta última observación vimos la diferencia más grande en el desgaste de la superficie de los dientes expuestos a los dos diferentes refrescos, ya que nos muestra como es el ataque al esmalte dental causado por cada uno de ellos. Podemos decir entonces que a diferencia del refresco de manzana, el refresco de cola se acumula en los valles ya existentes en la superficie. Cabe remarcar que estos resultados son en tiempos muy diferentes para cada refresco, es decir los resultados obtenidos para el diente inmerso en el refresco de cola fueron en pocos minutos, y los resultados obtenidos para el inmerso en el refresco de manzana fueron en horas.

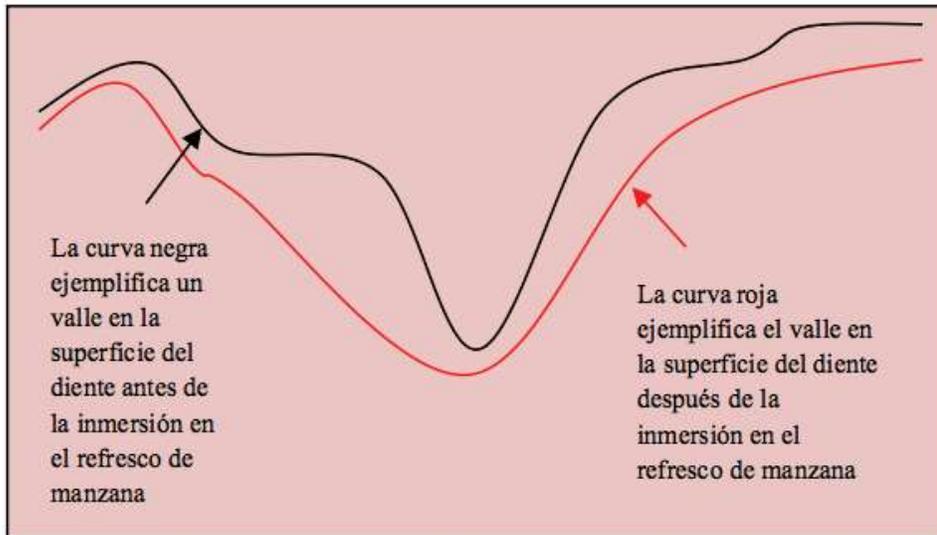


Figura 5.27: Crecimiento de un valle ocasionado por el refresco de manzana

5.2. ANÁLISIS DE HISTOGRAMAS DE LA TOPOGRAFIA DE LAS IMÁGENES DE AFM.

Capítulo 6

CONCLUSIONES

De acuerdo al análisis de los resultados obtenidos en este trabajo, podemos concluir lo siguiente:

- Determinamos que en las regiones de los dientes que estudiamos donde existe daño previo al ataque con cualquiera de los refrescos, la superficie esta suavizada.
- Se analizaron diferentes piezas dentales expuestas a diferentes tiempos de inmersión en refresco de cola y en refresco de manzana, en base a los histogramas arrojados por AFM, se mostró que existía un daño evidente por la inmersión, esto se concluyó por el comportamiento creciente de las gaussianas de ajuste de estos histogramas. También se pudo observar en las imágenes AFM este daño, manifestándose con un aumento en la rugosidad y zonas altamente erosionadas.
- El daño ocasionado por el refresco de manzana es menor al ocasionado por el refresco de cola, puesto que el daño en la estructura superficial de las primeras piezas dentarias tratadas se realizó en minutos de inmersión en el refresco de cola, mientras que la pieza expuesta al refresco de manzana tardó horas. Específicamente, los valles existentes en el diente expuesto al ácido fosfórico aumentaron su profundidad $1 \mu\text{m}$ en 5 minutos, en cambio para el diente inmerso en refresco de manzana la profundidad en los valles aumentó $0.4 \mu\text{m}$ en 2 horas.
- El desgaste en el diente causado por la inmersión en el refresco de cola no es homogéneo, es decir, en algunas zonas de la pieza el daño es mayor que

en otras zonas, esto se concluyó en base al comportamiento de la segunda y tercera gaussiana; mientras que la segunda gaussiana nos muestra un desgaste uniforme en las zonas medias de la superficie, la tercera gaussiana nos muestra un aumento notable en las alturas y con ello un desgaste muy rápido en las zonas más bajas, siendo así estos los lugares más dañados del diente. Lo anterior lo podemos expresar numéricamente de la siguiente manera: con la primera gaussiana se mostró que el aumento después de 30 min de inmersión en el refresco de cola en las zonas más bajas fue de $0.5 \mu\text{m}$, con la segunda gaussiana obtuvimos un aumento de $0.6 \mu\text{m}$ y con la tercera gaussiana el aumento más grande de $0.8 \mu\text{m}$. En la figura 5.26 se mostró la interpretación del ataque por el refresco de cola; se acumula refresco en los valles haciéndolos profundos rápidamente.

- El desgaste en el diente causado por la inmersión en el refresco de manzana es homogénea ya que el crecimiento de las características de la gaussiana de ajuste es casi lineal, entonces el refresco de manzana no se acumula en ciertas zonas a diferencia del refresco de cola que se acumula en los valles. Con la figura 5.27 se mostró la explicación anterior interpretando el crecimiento de un valle de la superficie de un diente después de ser inmerso en el refresco de cola.
- Las dos fases en el comportamiento de las gráficas de las características de las gaussianas nos hace concluir que el ácido fosfórico pierde efecto después de cierto tiempo, haciendo el daño más lento pero sin dejar de dañar el esmalte.
- Con lo anterior se concluye que además del ácido fosfórico existen otros componentes en los refrescos que dañan las piezas dentarias pero en definitiva este ácido es el componente más dañino para los dientes.

Bibliografía

- [1] ABRAMOVICH. *Abraham Histología y embriología dentaria*. El Ateneo S.A., 1999.
- [2] D.A. Bonnell. *Scanning Probe Microscopy and Spectroscopy*. Wiley VCH, 2001.
- [3] R. Wresendanger H. J. Guentherodt. *Scanning bTunneling Microscopy I*. Springer-Verlag, 1992.
- [4] ESCUELA NACIONAL DE MEDICINA Y HOMEOPATIA. *estomatología. diapositivas de un curso*.
- [5] Fejerkov O. Igram G. *A scanning electron microscopic study of artificial caries lesion formation*. Res, 1985.
- [6] J. D. Jacson. *Classical Electrodynamicsl*. New York, 1998.
- [7] Gordon Nikiforuk. *Caries Dental Aspectos Básicos y Clínicos*. Mundi s.a., 1986.
- [8] Orbán. *Histología y Embriología Bucal de Orban*. El Ateneo S.A., 1986.
- [9] pagina web. http://horusol.multiply.com/video/item/83/MEXICO_PRIMER_LUGAR_EN_OBESIDAD_INFAN
- [10] pagina web. http://www.cronica.com.mx/nota.php?id_notas=292810.
- [11] pagina web. http://www.clubplaneta.com.mx/cocina/datos_que_provoca_elrefresco.htm.
- [12] pagina web. <http://www.monografias.com/trabajos12/sini/sini2.shtml>.
- [13] Long SM. *Caries Dentaria:transmisión*. Rev Odontopediatr, 1992.
- [14] Anders Thylstrup y Ole Fejerskov. *Caries*. Doyma s.a., 1986.