



**UNIVERSIDAD MICHOACANA  
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**



**FACULTAD DE ODONTOLOGÍA**

**CENTRO UNIVERSITARIO DE ESTUDIOS DE  
POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

**TESIS**

**VALORACIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL ESMALTE  
POSTERIOR AL GRABADO CON ÁCIDO  
FOSFÓRICO A DIFERENTES CONCENTRACIONES**

**PARA OBTENER EL GRADO DE**

**ESPECIALISTA EN ORTODONCIA**

**PRESENTA:**

**C.D. GUSTAVO BORJA CORTÉS**

**ASESOR DE TESIS: C.D.E.O. VIDAL ALMANZA ÁVILA  
ASESOR METODOLOGICO: M. C. HÉCTOR RUÍZ REYES**

**MORELIA, MICHOACÁN  
MÉXICO  
2012**

**ÍNDICE GENERAL**

	PÁGINA
<b>RESUMEN.</b>	<b>6</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.</b>	<b>8</b>
<b>2. ANTECEDENTES.</b>	<b>10</b>
2.1. ANTECEDENTES GENERALES.	<b>10</b>
2.1.1. PROPIEDADES FÍSICAS Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ESMALTE.	<b>10</b>
2.1.2. APLICACIONES DEL ÁCIDO FOSFÓRICO EN ODONTOLOGÍA.	<b>13</b>
2.1.3. APLICACIONES DEL ÁCIDO FOSFÓRICO EN ORTODONCIA.	<b>15</b>
2.1.4. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO.	<b>16</b>
2.1.5. MICROSCOPIA DE FUERZA ATÓMICA.	<b>17</b>
2.2. ANTECEDENTES ESPECÍFICOS.	<b>20</b>
2.2.1. ATOMIC FORCE MICROSCOPY OBSERVATION OF THE ENAMEL ROUGHNESS AND DEPTH PROFILE AFTER PHOSPHORIC ACID ETCHING.	<b>20</b>
2.2.2. VARIATIONS IN ACID-ETCH PATTERNS WITH DIFFERENT ACIDS AND ETCH TIMES.	<b>21</b>
2.2.3. IN SITU QUANTITATIVE ANALYSIS OF ETCHING PROCESS OF HUMAN TEETH BY ATOMIC FORCE MICROSCOPY.	<b>22</b>
2.2.4. ACID-ETCH PATTERNS ON THE BUCCAL SURFACE OF HUMAN PERMANENT TEETH.	<b>23</b>
<b>3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.</b>	<b>24</b>
3.1. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	<b>24</b>
<b>4. JUSTIFICACIÓN.</b>	<b>25</b>
<b>5. HIPÓTESIS.</b>	<b>27</b>

---

---

**VALORACIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL ESMALTE POSTERIOR AL GRABADO CON ÁCIDO  
FOSFÓRICO A DIFERENTES CONCENTRACIONES**

---

---

5.1. HIPÓTESIS DE TRABAJO.	27
5.2. HIPÓTESIS NULA.	27
<b>6. OBJETIVOS.</b>	<b>28</b>
6.1. OBJETIVO GENERAL.	28
6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	28
<b>7. MATERIAL Y MÉTODOS.</b>	<b>29</b>
7.1. UNIVERSO DE ESTUDIO.	29
7.2. CLASIFICACIÓN DEL ESTUDIO.	29
7.3. CRITERIOS DE ELEGIBILIDAD.	29
7.3.1. CRITERIOS DE INCLUSIÓN.	29
7.3.2. CRITERIOS DE NO INCLUSIÓN.	29
7.4. METODOLOGÍA.	30
7.5. ANÁLISIS BIOESTADÍSTICO.	34
<b>8. RESULTADOS.</b>	<b>35</b>
<b>9. DISCUSIÓN.</b>	<b>66</b>
<b>10. CONCLUSIONES.</b>	<b>69</b>
<b>11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.</b>	<b>70</b>
<b>12. ANEXOS.</b>	<b>73</b>

## RESUMEN.

**Introducción:** Con la introducción en 1955 por Michael Buonocore de la técnica de grabado ácido, el uso de brackets unidos directamente a los dientes se volvió una técnica rutinaria, que se basa en la unión mecánica de un adhesivo a las irregularidades del esmalte superficial de los dientes creadas por medio del grabado ácido y las uniones mecánicas en la base del bracket.

El grabado con ácido fosfórico al 37% actúa desmineralizando el esmalte dental, creando microporos que permiten una mayor adhesión de los materiales, es el método más común utilizado en ortodoncia, pero este resulta ser muy agresivo con el tejido por su porcentaje de concentración y tiempo de aplicación.

Uno de los principales objetivos en ortodoncia es mejorar el procedimiento de adhesión reduciendo al mínimo la pérdida de esmalte en la unión y remoción de los brackets sin comprometer la fuerza de adhesión.

**Objetivo:** Valorar los cambios de Rugosidad sobre la superficie del esmalte en 27 premolares superiores e inferiores, después de grabar con ácido fosfórico a diferentes concentraciones (5, 10, 15, 20, 25, 30 y 37 %), mediante el análisis de microscopía de fuerza atómica.

**Material y Métodos:** Se utilizaron 27 premolares superiores e inferiores sanos, conservados en proporción 1:1 de agua bidestilada y solución fisiológica, a temperatura ambiente, extraídos de pacientes de la Clínica de la Especialidad en Ortodoncia del Centro Universitario de Estudios de Posgrado e Investigación de la Facultad de Odontología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Se realizó la aplicación del ácido fosfórico a diferentes concentraciones (5, 10, 15, 20, 25, 30%) en un área de 4 mm<sup>2</sup> que su presentación es en un gel transparente en jeringas de 3 ml. Se utilizaron dos ácidos fosfóricos a 37% de las marcas Prodensa y 3M ESPE (Scotchbond Etchant) para la comparación del daño producido. El ácido grabador se aplicó durante 15 segundos, se enjuagó 15 segundos y se secó por 15 segundos con jeringa triple y aire a presión.

---

---

**VALORACIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL ESMALTE POSTERIOR AL GRABADO CON ÁCIDO FOSFÓRICO A DIFERENTES CONCENTRACIONES**

---

---

**Resultados:** Las piezas dentales en las cuales se aplicó el ácido fosfórico a una concentración de 30% presentaron una rugosidad superficial del esmalte de  $1310.69 \pm 354.05$ , por otra parte las muestras de ácido fosfórico al 5 % presentaron una rugosidad del esmalte de  $477.85 \pm 49.63$ . Sin embargo, con la marca comercial Prodensa al 37% de concentración de ácido fosfórico presentan una rugosidad del esmalte de  $1748 \pm 478.16$ , siendo esta la que induce mayor daño al tejido.

**Conclusión:** El MFA permite valorar la rugosidad del esmalte cuando es expuesto a diferentes concentraciones de  $H_3PO_4$  proporcionando datos más precisos, ya que los valores que arroja es a nivel de nanómetros.

Se comprobó que es suficiente la aplicación por 15 segundos y una baja concentración del ácido grabador para obtener un patrón de grabado uniforme sin tanto daño en el esmalte, además de que cumple con los estándares de fuerza de resistencia a la adhesión.

## **1. INTRODUCCIÓN.**

Durante los últimos años en el área de ortodoncia existe una demanda constante y creciente, de tratamientos estéticos, por parte de nuestros pacientes, esto ha motivado la investigación y aparición de nuevos materiales e instrumental, con el fin de facilitar y simplificar el trabajo del ortodoncista. Los sistemas adhesivos son de los materiales odontológicos más estudiados e interesantes para los investigadores y casas comerciales, pues constituyen un grupo del que dependen la mayoría de los procedimientos restauradores relacionados con la estética dental. Los estudios sobre adhesión al esmalte, dentina y cemento constituyen una gran parte de las investigaciones realizadas en el campo de la Odontología, en donde las principales variables que se evalúan son la microfiltración y la resistencia adhesiva producidas en los distintos substratos dentarios utilizando todo tipo de materiales restauradores (Gomes Moreira, 2004).

Con la introducción en 1955 por Michael Buonocore de la técnica de grabado ácido, el uso de brackets unidos directamente a los dientes se volvió una técnica rutinaria, que se basa en la unión mecánica de un adhesivo a las irregularidades del esmalte superficial de los dientes creadas por medio del grabado ácido y las uniones mecánicas en la base del bracket.

El grabado con ácido fosfórico al 37% actúa desmineralizando el esmalte dental y creando microporos que permiten una mayor adhesión de los materiales, es el método más común utilizado en ortodoncia, pero este resulta ser muy agresivo con el tejido por su porcentaje de concentración y tiempo de aplicación. (Scougall Vilchis, 2010).

La pérdida de esmalte durante el grabado depende del tipo de ácido empleado, siendo el ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) al 37% de uso más común, con un tiempo de aplicación de 15 segundos por diente (según sea el Fabricante), en cuyo caso la pérdida de esmalte puede diferir ampliamente desde un mínimo de  $10\mu m$  hasta un máximo de  $170\mu m$ . La profundidad de penetración de la resina puede alcanzar  $50\mu m$  y el procedimiento de limpieza del adhesivo remanente después de retirar la aparatología puede remover

hasta 55.6 $\mu$ m de esmalte. De tal suerte, la cantidad de esmalte perdido durante el proceso completo de adhesión puede ser de 120.6 a 189.98 $\mu$ m, mientras que el grosor total del esmalte se ha estimado entre 1500 a 2000 $\mu$ m. (Scougall Vilchis, 2010).

Se estima que la superficie del esmalte perdido durante el grabado antes de la unión de los brackets es de entre 10 y 30 micras. Mientras que la eliminación de los restos de adhesivo en la superficie del esmalte después de los resultados de pérdida de adherencia es una reducción de esmalte de aproximadamente 55,6 micras (Bishara y Cols, 2000).

Un grabado corriente elimina 3-10  $\mu$ m de esmalte superficial. Otras 25  $\mu$ m revelan sutiles alteraciones histológicas, que crean las necesarias imbricaciones mecánicas. Las disoluciones localizadas más profundas suelen producir una penetración hasta una profundidad de 100  $\mu$ m o más. A pesar de que los estudios de laboratorio indican que las alteraciones del esmalte son reversibles en su mayor parte (aunque no por completo), puede afirmarse que el efecto general de la aplicación de soluciones para grabado sobre esmalte sano no es perjudicial. Esto queda corroborado por el hecho de que el espesor normal del esmalte es de 1.000-2.000  $\mu$ m excepto donde se adelgaza, hacia el margen cervical (Graber, 2003).

Uno de los principales objetivos en ortodoncia es mejorar el procedimiento de adhesión reduciendo al mínimo la pérdida de esmalte en la unión y remoción de los brackets sin comprometer la fuerza de adhesión (Bishara y Cols, 2001).

Por lo tanto, el presente estudio de investigación va enfocado a la valoración de los cambios en el esmalte así como la cantidad de pérdida de este en piezas dentales después de grabar con ácido fosfórico a diferentes concentraciones, utilizando microscopía de fuerza atómica para su análisis.

## 2. ANTECEDENTES.

### 2.1. ANTECEDENTES GENERALES.

#### 2.1.1. PROPIEDADES FÍSICAS Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ESMALTE.

Embriológicamente deriva del órgano del esmalte de naturaleza ectodérmica, sus células secretoras los ameloblastos. Presenta su mínimo espesor a nivel de la conexión amelocementaria (CAC) donde termina en un borde afilado, también en los surcos intercuspídeos y fosas. Su espesor máximo (2 a 3 mm) se da en las cúspides de molares y premolares en el borde incisal de incisivos y en caninos superiores.

Los cristales de hidroxiapatita son susceptible (solubles) a la acción de los ácidos constituyendo esta característica el sustrato químico que da origen a la caries dental.

#### PROPIEDADES FÍSICAS

- **DUREZA:** Es la resistencia superficial de una sustancia a ser rayada o a sufrir deformaciones de cualquier índole, motivadas por presiones. Presenta una dureza que corresponde a cinco en la escala de Mohs y equivale a la apatita. Los valores promedios de dureza del esmalte en dientes permanentes entre 3.1 y 4.7 GPa.
- **ELASTICIDAD:** Es muy escasa pues depende de la cantidad de agua y de sustancia orgánica que posee. Por ello es un tejido frágil, con tendencia a las macro y microfracturas, cuando no tiene un apoyo dentinario elástico. Los valores medios del modulo elástico de Young (capacidad elástica de un material o deformación que sufre al incidir sobre él una fuerza), son de  $87.5 \pm 2.2$  y  $72.7 \pm 4.5$  GPa.
- **COLOR Y TRANSPARENCIA:** Es translucido, el color varía entre un blanco amarillento a un blanco grisáceo, pero este color no es propio del esmalte, sino que depende de las estructuras subyacentes, en especial de la dentina.
- **PERMEABILIDAD:** Es extremadamente escasa y se ha visto mediante marcadores radioactivos 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. Se ha sugerido que existen vías submicroscópicas

de transporte molecular, el agua actuaría como agente transportador de iones en la matriz adamantina. Se aprovecha este sistema submicroscópico de poros para llevar a cabo el primer nivel de prevención, con el aporte de fluoruros por topificaciones, geles o pastas fluoradas. Los iones flúor sustituyen los grupos hidroxilos del cristal de apatita y lo tornan menos soluble a los ácidos, lo que hace más resistente la superficie externa del esmalte al ataque de la caries.

- **RADIOOPACIDAD** (oposición al paso de los rayos Roentgen): Es muy alta en el esmalte, ya que es la estructura más radiopaca del organismo humano por su alto grado de mineralización.

### COMPOSICIÓN QUÍMICA

El esmalte está constituido químicamente por una matriz orgánica (1-2%), una matriz inorgánica (95%) y agua (3%).

**MATRIZ ORGÁNICA:** el componente orgánico más importante es de naturaleza proteica, y constituye un complejo sistema de multiagregados polipeptídicos. Entre las proteínas presentes en mayor o menor medida en la matriz orgánica del esmalte, en las distintas fases de su formación, destacan:

1. Las **Amelogeninas**, moléculas hidrofóbicas, fosforiladas y glicosiladas de 25 kDa, ricas en prolina, glutámico, histidina y leucina que son las más abundantes (90%). Se denominan proteínas del esmalte inmaduro y se localizan entre los cristales de las sales minerales, sin estar ligadas a ellos.
2. Las **Enamelinas**, moléculas hidrofílicas, glicosiladas de 70 kDa, ricas en serina, aspártico y glicina, que se localizan en la periferia de los cristales formando las proteínas de cubierta. Representan el 2-3% de la matriz orgánica del esmalte.
3. Las **Ameloblastinas o Amelinas** que inmunohistoquímicamente se localizan en las capas más superficiales del esmalte y en la periferia de los cristales. Representan el 5% del componente orgánico.
4. La **Tuftelina** (proteína de los flecos) de 50-70 kDa, que se localiza en la zona de unión amelodentinaria al comienzo del proceso de formación del esmalte. Representa el 1-2% del componente orgánico.

5. La **Parvalbúmina** proteína identificada en el polo distal del proceso de Tomes del ameloblasto secretor. Su función está asociada al transporte de calcio del medio intracelular al extracelular.

**MATRIZ INORGÁNICA:** está constituida por sales minerales cálcicas básicamente de fosfato y carbonato. Dichas sales, de acuerdo con estudios realizados con difracción de rayos X, muestran una organización apatítica que responde, al igual que ocurre en hueso, dentina y cemento, a la formula general  $\text{Ca}_{10} (\text{PO}_4)_6 (\text{OH})_2$ . Dichas sales se depositan en la matriz del esmalte, dando origen rápidamente a un proceso de cristalización que transforma la masa mineral en cristales de hidroxiapatita. En el esmalte, a diferencia de lo que ocurre en la dentina y el tejido óseo, no parece existir fosfato cálcico amorfo. Existen también sales minerales de calcio como carbonatos y sulfatos, y oligoelementos como potasio, magnesio, hierro, flúor, manganeso, cobre, etc.

Los cristales de sales minerales en el esmalte son más voluminosos que los que existen en la dentina y el tejido óseo, estos alcanzan una longitud de 100-1000 nm, un ancho de 30-70 nm y una altura de 10-40 nm. En relación con la morfología de los cristales del esmalte se ha admitido clásicamente desde Nylen, que estos presentan una morfología de hexágonos elongados cuando se seccionan perpendicularmente al eje longitudinal del cristal y una morfología rectangular cuando se seccionan paralelamente a los ejes longitudinales.

**AGUA:** se localiza en la periferia del cristal constituyendo la denominada capa de hidratación, o capa de agua adsorbida. Por debajo y más hacia el interior, en el cristal, se ubica la denominada capa de iones y compuestos adsorbidos. El porcentaje de agua en el esmalte disminuye progresivamente con la edad. (Gomez Ferraris, 2002).

### 2.1.2. APLICACIONES DEL ÁCIDO FOSFÓRICO EN ODONTOLOGIA.

El ácido fosfórico y sus derivados fueron utilizados para tratar superficies metálicas para adherir las pinturas, las resinas, etc. Basados en este hecho, Buonocore (1955) encontró un aumento en la adherencia de los materiales de acrílico usados en aquel tiempo cuando la superficie del esmalte había sido tratada previamente con una solución de ácido fosfórico al 85% por 30 segundos. Este procedimiento dio lugar a uno de los avances más importantes de la odontología, de mejorar la naturaleza de adhesión de la resina al esmalte y de generar nuevos usos clínicos tales como selladores de fosas y fisuras, restauraciones de resina, adhesión de brackets ortodónticos, puentes, etc. (Hasshimoto y Cols, 2003).

La técnica del acondicionamiento con ácido fosfórico propuesta por **Buonocore en 1955** revolucionó la odontología restauradora e hizo que se pudieran obtener mejores resultados durante los procedimientos adhesivos. Esta técnica se basa en el tratamiento ácido del esmalte, transformando su superficie lisa y suave en una superficie acentuadamente irregular y con mayor energía superficial (Gomes Moreira, 2004).

El grabado es uno de los pasos más fundamentales de la restauración de dientes por adhesión de resina compuesta en clínicas dentales (Watari, 2005).

Sin embargo, en este proceso, la superficie microporosa del esmalte creada por el grabado ácido con el ácido fosfórico desempeña un papel principal en la fuerza de adhesión de los materiales dentales restaurativos para los dientes primarios y permanentes (Loyola Rodriguez y Cols, 2009).

La superficie del esmalte tratado por el ácido fosfórico es la llave para proporcionar éxito clínico transformando la superficie lisa del esmalte en una superficie irregular. Esta técnica remueve ~10  $\mu\text{m}$  de la superficie de esmalte y crea una capa microporosa según varios estudios (Loyola Rodriguez y Cols, 2009).

Al grabar el esmalte con ácido fosfórico, se aumenta la retención de los materiales restaurativos de resina y se mejora en grado considerable la integridad marginal.

Desde entonces el ácido fosfórico tiene una gran variedad de usos en odontología así como en sus diferentes especialidades: para grabar la superficie de esmalte que requiere de una restauración, condiciones para la odontología restaurativa directa e

---

---

**VALORACIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL ESMALTE POSTERIOR AL GRABADO CON ÁCIDO  
FOSFÓRICO A DIFERENTES CONCENTRACIONES**

---

---

indirecta, grabar antes de colocar los selladores de fosas y fisuras, puede ser utilizado para condicionar la preparación del canal en procedimientos endodónticos antes de sellar el poste, etc.

### 2.1.3. APLICACIONES DEL ÁCIDO FOSFÓRICO EN ORTODONCIA.

El gran avance tecnológico ocurrido en los últimos años ha traído un gran número de ventajas a la odontología y particularmente a la ortodoncia. Los resultados basados en Investigación han llevado constantemente al desarrollo de los nuevos materiales y técnicas que se dirigen a simplificar los procedimientos clínicos.

El acondicionamiento del esmalte dental con la técnica de grabado ácido, introducida por **M.G. Buonocore en 1955**, revolucionó la odontología en todas sus ramas, incluyendo a la ortodoncia. Diez años más tarde, la adhesión directa de brackets Ortodóncicos utilizando resina compuesta fue descrita por **G.V. Newman**.

Dicha técnica ha sido considerada como uno de los progresos más significativos de la ortodoncia durante las últimas décadas debido a las ventajas que ofrece; entre ellas destacan la mayor comodidad para el paciente, fácil higiene oral, mejor estética y menor tiempo de consulta.

El agente grabador suele ser ácido fosfórico al 37% en forma de gel o líquido. Los autores prefieren un gel que se distribuye con una jeringa. La ventaja del gel es que la colocación puede controlarse, en tanto que el grabador líquido tiende a extenderse por un área mayor que la necesaria. El tiempo de grabación debe ser de 15 a 30 segundos, aumenta con la edad en los dientes primarios y en casos en que el esmalte tiene un alto contenido de fluoruro.

Para eliminar por completo el grabador del diente se usa un aerosol de agua a baja presión, combinado con aspiración de alto volumen. Después de limpiar en su totalidad la superficie del esmalte debe usarse una fuente de aire, libre de aceite y humedad, para secar por completo la superficie grabada, la cual debe tener un aspecto ligeramente glacial, mate, opaco o blanquecino (Bishara, 2004).

Un condicionamiento apropiado del esmalte produce una disolución selectiva, dando por resultado uno de tres patrones de grabado. El grabado de ácido fosfórico remueve aproximadamente 10  $\mu\text{m}$  de la superficie del esmalte, creando una capa porosa y aumentando la energía superficial (SHINOHARA y Cols, 2006).

#### **2.1.4. MICROSCOPIA ELECTRONICA DE BARRIDO.**

Últimamente, todos los materiales, orgánicos o inorgánicos, tienen sus orígenes en el montaje colectivo de una pequeña cantidad de átomos o moléculas. El mundo interior ha fascinado a los seres humanos: los secretos de células y la estructura de la materia. Desde entonces varios tipos de microscopios fueron descubiertos, han sido los instrumentos primarios para ayudarnos a observar, a entender, y a manipular directamente la materia o las células en una escala muy pequeña. Entendiendo cuáles estructuras y cómo se juntan para formar las arquitecturas que poseen características únicas o exhiben funciones específicas, esperamos modificar, manipular, y esculpir la materia en las dimensiones nanoscópicas para los propósitos deseados. Para entender las características fundamentales de varios nanosistemas, es necesario caracterizar sus estructuras en un nanómetro o un nivel atómico e integrar los componentes de la nanoescala que proporcionan funciones o características de la macroescala. Esto, alternadamente, permite que entendamos las relaciones de la síntesis, estructura y característica de los nanosistemas, así alcanzando el objetivo último de la ingeniería molecular de sistemas funcionales.

El Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) es indudablemente el más ampliamente utilizado de todos los instrumentos de haz electrónico. El renombre de los SEM se puede atribuir a muchos factores: la flexibilidad de sus varios modos de proyección de imagen, la resolución espacial excelente ahora realizable, el requisito muy modesto en la preparación y la condición de la muestra, la interpretación relativamente directa de las imágenes adquiridas, la accesibilidad de la espectroscopia asociada y técnicas de la difracción. Y más importante su facilidad de manejo, los niveles de la automatización, y el alto rendimiento de procesamiento hacen accesible a la mayoría de los científicos de la investigación. Con la generación reciente de instrumentos de los SEM, las imágenes de alta calidad se pueden obtener con una ampliación de la imagen tan bajo como 5x y tan alto como >1,000,000x; esta amplia gama de resoluciones de la imagen tiende un puente sobre nuestra visualización y capacidad de los ojos a las dimensiones del nanómetro, la resolución de la imagen es cerca de 0.5 nanómetros. (NAN YAO, ZHONG LIN WANG. 2005).

### 2.1.5. MICROSCOPIA DE FUERZA ATÓMICA.

La microscopia de fuerza atómica (AFM) también se conoce como microscopia de fuerza de exploración (SFM). El AFM es una técnica básica e inevitable para toda la investigación nanoscópica. El primer microscopio de fuerza atómica fue hecho en 1986. Virtualmente todas las superficies sólidas a partir de las ramas de la ciencia, industria, medicina, día con día son accesibles a la investigación nanoscópica con la información sin precedente. La resolución aquí es mucho más alta que con un microscopio y la información tridimensional es otra característica de distinción más importante del AFM. Complementa y aumenta las posibilidades, pues no requiere el tratamiento superficial y puede medir en las condiciones ambiente. Como el resto de los microscopios de punta de prueba de exploración (SPM), el AFM trabaja explorando con una extremidad (o más general una punta de prueba) muy cerca a la superficie de la muestra. Funciona midiendo fuerzas atractivas o repulsivas entre la extremidad y la muestra en altura constante o en modo de la fuerza constante. Lo espectacular es la resolución y manipulación atómicas, pero la mayoría de los usos prácticos se ocupan de micrómetro x/y y el nano registro z. (Kaupp 2006).

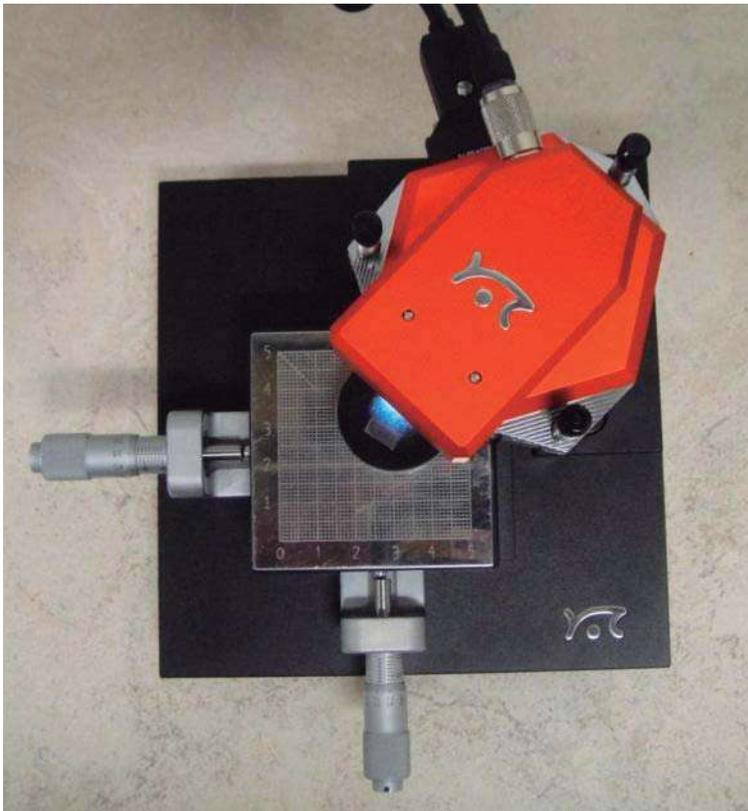
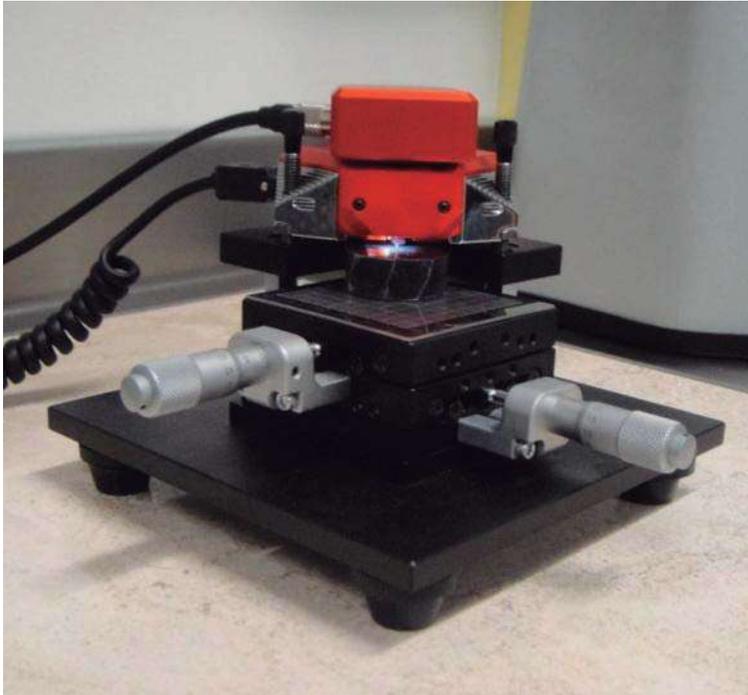
Recientemente, la microscopia de fuerza atómica (AFM) se ha utilizado para estudiar la topografía estructural de los cristales de esmalte sano y el desarrollo de esmalte afectado. Las variaciones en la morfología y rugosidad también se han reportado en el esmalte dental sano tratado con diferentes agentes de acondicionamiento usando el AFM.

Además, el AFM y la nano-indentación son técnicas útiles para estudiar la estructura y realizar las pruebas mecánicas en sitios específicos de los tejidos dentales. La tecnología del AFM representa un avance significativo en la proyección de imagen de alta resolución de materiales biológicos, puesto que las muestras de tejidos suaves o duros pueden ser reflejadas debajo de los líquidos o en estados embebidos o cubiertos. La ventaja principal del AFM es su capacidad de proveer datos cuantitativos a nivel de nanómetros en las tres dimensiones con sus imágenes respectivas y no necesita preparación de la muestra. Una desventaja del AFM es el tamaño del área explorada; comúnmente no puede ser mayor de  $100\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$ . (Loyola-Rodriguez y Cols, 2009).

---

**VALORACIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL ESMALTE POSTERIOR AL GRABADO CON ÁCIDO FOSFÓRICO A DIFERENTES CONCENTRACIONES**

---



**Microscopio de Fuerza Atómica Nanosurf Easyscan 2 Centro de Investigación de Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA) Unidad Querétaro.**

El Microscopio de Fuerza Atómica (MFA) es un instrumento mecano-óptico capaz de detectar fuerzas del orden de los nanonewton. Al analizar una muestra, se registra continuamente la altura sobre la superficie de una sonda o punta cristalina de forma piramidal. La sonda va acoplada a un listón microscópico, muy sensible al efecto de las fuerzas, de sólo unos 200  $\mu\text{m}$  de longitud.

La fuerza atómica se puede detectar cuando la punta se aproxima a la superficie de la muestra. Se registra la pequeña flexión del listón mediante un haz láser reflejado en su parte posterior. Un sistema auxiliar piezoeléctrico desplaza la muestra tridimensionalmente, mientras que la punta recorre ordenadamente la superficie. Todos los movimientos son controlados por una computadora.

La resolución del instrumento es de menos de 1 nm, y la pantalla de visualización permite distinguir detalles en la superficie de la muestra con una amplificación de varios millones de veces.

El MFA, puede realizar dos tipos de medidas: imagen y fuerza. En la modalidad de imagen, la superficie es barrida en el plano de la superficie por la punta. Durante el barrido la fuerza interatómica entre los átomos de la punta y los átomos en la superficie de la muestra, provoca una flexión del listón. Esta flexión es registrada por un sensor adecuado (normalmente balanza óptica) y la señal obtenida se introduce en un circuito o lazo de realimentación. La fuerza interatómica se puede detectar cuando la punta está muy próxima a la superficie de la muestra. En medidas de fuerza la punta se hace oscilar verticalmente mientras se registra la flexión del listón. Las medidas de fuerza son útiles en estudios de fuerzas de adhesión y permiten estudiar a nivel de una sola molécula interacciones específicas entre moléculas (ej. interacción antígeno-anticuerpo, interacción entre hebras complementarias de ADN) o interacciones estructurales de las biomoléculas (plegado de proteínas) así como caracterizar la elasticidad de polímeros. También es útil en estudios de indentación de materiales blandos (polímeros) que permitan caracterizar propiedades elásticas de la muestra como el módulo de elasticidad o visco elásticas. (Nature Nanotechnology 2, 507 - 514 2007 publicado online: 29 July 2007.doi:10.1038/nnano.2007.226).

## 2.2. ANTECEDENTES ESPECÍFICOS.

**2.2.1. Loyola Rodriguez J P, Zavala Alonso V, Reyes Vela E, Patiño Marin N, Ruiz F and Anusavice K J. (2009). Atomic force microscopy observation of the enamel roughness and depth profile after phosphoric acid etching. Journal of Electron Microscopy. Pág: 1-6.**

**Propósito:** Comparar la aspereza superficial del esmalte (ESR) y la profundidad absoluta del perfil (ADP) por microscopia de fuerza atómica (MFA) antes y después de utilizar cuatro distintas marcas de ácido fosfórico.

**Material y Métodos:** 40 primeros premolares superiores sanos extraídos para tratamiento de ortodoncia de sujetos de SLP, México. Se limpiaron y desinfectaron en tina de ultrasonido y almacenados en agua destilada. Seccionados para obtener cuatro muestras de 3 mm de ancho de cada diente para un total de 160 muestras. Divididos en 4 grupos: **Grupo 1 Etch-37** (Bisco Dental Products, Richmond, BC, Canada; 37% phosphoric acid in water/polymer, silica free), **Grupo 2 Ultra Etch 35%** (Ultradent, South Jordan, UT, USA; 35% phosphoric acid in water), **Grupo 3 Scotchbond Etching Gel 35%** (3M ESPE, St Paul, MN, USA; 35% phosphoric acid in water/zirconium silica fillers) y **Grupo 4 Total Etch 37%** (Ivoclar-Vivadent, Schaan, Liechtenstein; 37% phosphoric acid in water/inorganic fillers/14% water-soluble polymer/0.2% pigments).

**Resultados:** El Etch-37 y el Scotchbond Etching Gel mostraron perfiles más altos después de grabar ( $P \leq 0.05$ ). El MFA es una herramienta útil para estudiar cambios estructurales de sitios específicos de la topografía del esmalte después de grabar con ácido fosfórico.

**2.2.2. Gardner Alastair and Hobson Ross. (2001). Variations in acid-etch patterns with different acids and etch times. American Journal of Orthodontics & Dentofacial Orthopedics. Jul; 120(1):64-7.**

**Propósito:** Es determinar el tiempo optimo de aplicación del acido grabador para el área de bondeo ortodóntico (OBA) del esmalte bucal de premolares mandibulares con el uso de ácido fosfórico al 37% y ácido nítrico al 2.5%.

**Material y Métodos:** Sesenta premolares mandibulares extraídos de adolescentes hombres y mujeres blancos entre 10 y 18 años antes del tratamiento ortodóntico. Los pacientes eran residentes de regiones no fluoradas del noreste de Inglaterra y el sureste de Escocia. Los dientes fueron almacenados en cloraminas-T acuosa al 0.5%. Los dientes extraídos se lavaron con agua destilada, la superficie bucal se limpio con pasta de profilaxis y agua corriente con el uso de un cepillo y una pieza de mano, se lavaron otra vez con agua a partir de una jeringa triple por 30 segundos y se secaron con aire a presión por 30 segundos. Los dientes se dividieron en 6 grupos de 10 y se grabaron con ácido fosfórico al 37% (Right-On Etchant; TP Orthodontics, Leeds, UK) y ácido nítrico al 2.5% (Mirage Bond; Chameleon International, Kansas City, Kant) por 15, 30 y 60 segundos. Después del grabado, los dientes se lavaron por 30 segundos y secados por 30 segundos con una jeringa triple. Los dientes después fueron colocados en resguardos de los SEM y disecados en horno de aire caliente a 37°C por 24 horas. Finalmente, los dientes eran oro cubierto a una profundidad de 15 nm y examinados en el microscopio SEM a 10 kV y una ampliaciones de 1820x; la imagen fue exhibida en un monitor de 14 pulgadas.

**Resultados:** El ácido fosfórico al 37% es más efectivo al producir un mejor grabado en el esmalte que el ácido nítrico al 2.5% cuando se aplica en el área de bondeo ortodóntica de premolares mandibulares por 15, 30 y 60 segundos.

El tiempo optimo para la aplicación del ácido fosfórico al 37% en el área de bondeo ortodóntico de premolares mandibulares es 30 segundos.

**2.2.3. Watari Fumio. (2005). In situ quantitative analysis of etching process of human teeth by atomic force microscopy. Journal of Electron Microscopy. 54(3): 299-308.**

**Propósito:** Medir la profundidad absoluta del nivel inicial antes de grabar y correlacionar la altura superficial entre los cambios de las imágenes obtenidas del AFM por medio de observación in situ del proceso de grabado del esmalte humano, dentina e hidroxiapatita sintética en los tres diferentes agentes ácidos, ácido fosfórico al 2%, ácido cítrico al 10% y ácido poliacrílico al 10%.

**Material y Métodos:** La superficie labial de incisivos centrales superiores e inferiores conservados en agua después de la extracción fueron cortados en cuatro pedazos de 3 x 3 mm<sup>2</sup> de tamaño y fueron utilizados para la comparación de diversos agentes de grabado y la rugosidad superficial.

**Resultados:** La profundidad grabada aumentó de manera lineal con tiempo de grabado arriba de 3 Minutos.

La rugosidad superficial producida por el pulido mecánico afectó el grueso de la capa manchada, pero tiene poco efecto sobre la frecuencia del grabado.

La disolución de la capa manchada se podría reconocer claramente en el perfil de profundidad cronológicamente consecutivo y su grueso era estimado.

Los agentes ácidos demostraron diferente energía de la desmineralización, cantidad de grabado, frecuencia de grabado y también diferente morfología de grabado. La desmineralización más grande el ácido fosfórico 2% seguido por el ácido cítrico 10% y el más pequeño el ácido poliacrílico 10%.

**2.2.4. Hobson RS, Rugg-Gunn AJ, Booth TA. (2002). Acid-etch patterns on the buccal surface of human permanent teeth. Arch oral Boil. 47(5):407-12.**

**Propósito:** Analizar de manera sistemática la calidad y cantidad de patrones de grabado encontrados en las superficies bucales de diferentes dientes permanentes humanos.

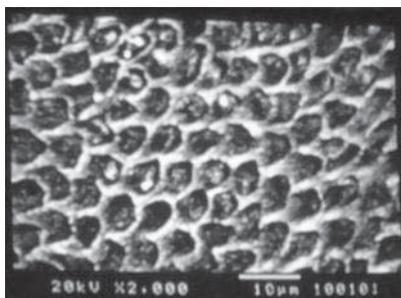
**Material y Métodos:** En la metodología empleada en este estudio, se acondiciono la superficie bucal de los dientes: incisivo, canino, premolar y molar, superior e inferior, se grabaron por 30 segundos con ácido fosfórico 37% (n=266), las cuales fueron examinadas bajo un microscopio electrónico de barrido de alta resolución. Para cuantificar la calidad de los patrones del grabado en la superficie del esmalte, se utilizo una modificación de la clasificación de Galil y Wright, con técnicas histométricas.

**Resultados:** Indican la presencia de 3 tipos de grabado:

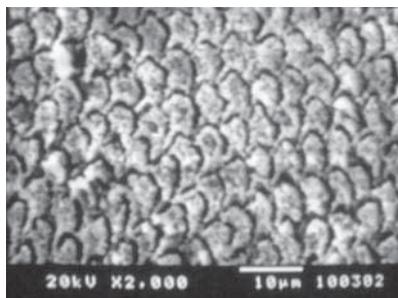
Tipo 1: Disolución de los prismas de la cabeza del esmalte.

Tipo 2: Disolución de la substancia interprismática.

Tipo 3: Disolución superficial.



TIPO 1 o A



TIPO 2 o B



TIPO 3 o C

El grabado tipo A y B se encontraron ocupando el área más pequeña en la superficie de esmalte bucal grabado.

La cantidad más grande de grabado tipo A “ideal” fue encontrada en los incisivos inferiores, ocupando menos del 5% del esmalte superficial bucal grabado.

El área más grande de la superficie grabada del esmalte fue ocupada por el grabado tipo C, pero los prismas del esmalte no son evidentes.

### 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Cotidianamente, la superficie del esmalte dental debe ser acondicionada con algún tipo de ácido para poder adherir aparatología ortodóntica fija. Este procedimiento desmineraliza el esmalte creando microretenciones necesarias para unir los anclajes mediante un adhesivo de resina compuesta y en algunos casos de ionómero de vidrio. Desafortunadamente, el mayor efecto adverso de dicho método, es la pérdida irreversible del esmalte.

La pérdida de esmalte durante el grabado depende del tipo de ácido empleado, siendo el ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) al 37% de uso más común, con un tiempo de aplicación de 15 segundos por diente, en cuyo caso la pérdida de esmalte puede diferir ampliamente desde un mínimo de  $10\mu m$  hasta un máximo de  $170\mu m$ . Algunos estudios han reportado el daño estructural del esmalte al emplear  $H_3PO_4$  al 37% con aplicaciones de 30 y 60 segundos. (Scougall Vilchis, 2010).

El uso de  $H_3PO_4$  al 37%, aplicado durante 15 segundos presenta condiciones óptimas para grabar la superficie del esmalte, proporcionando adhesión adecuada del bracket, sin embargo, algunos estudios han reportado el daño estructural al esmalte al emplear dichas concentraciones de  $H_3PO_4$ .

Cuando el ácido grabador no es efectivo sobre el esmalte resulta una reducción en la penetración de la resina y proporciona una adhesión más débil, lo cual nos lleva al fracaso del bondeado. Uno de los principales problemas del grabado ácido es que no se conoce la profundidad con que el  $H_3PO_4$  pueda penetrar el esmalte, causando daño en el tejido. Por lo que sería de gran importancia realizar estudios con microscopía de fuerza atómica para obtener imágenes en 3D lo que nos proporciona datos más precisos sobre la pérdida de tejido.

#### 3.1. Pregunta de Investigación.

¿Cuáles son las características de la superficie del esmalte después de grabar con ácido fosfórico a diferentes concentraciones al analizarlas mediante microscopía de fuerza atómica?

#### **4. JUSTIFICACIÓN.**

Se estima que la superficie del esmalte perdido durante el grabado antes de la unión de los brackets es de entre 10 y 30 micras. Por otro lado, la eliminación de los restos de adhesivo en la superficie del esmalte después de los resultados de pérdida de adherencia es una reducción de esmalte de aproximadamente 55,6 micras (Bishara y Cols, 2000).

Por lo que, al grabar el esmalte para realizar la mecánica de adhesión sería importante analizar si las diferentes concentraciones de ácido fosfórico (5, 10, 15, 20, 25 y 30%) inducen menor daño en el tejido del esmalte.

Ya que se ha comprobado que a concentraciones más bajas de ácido fosfórico se obtienen las mismas condiciones óptimas de fuerza de resistencia de adhesión que aun porcentaje de 37% (Zamudio, 2010). Y podría causar un menor daño en el tejido del esmalte.

El acondicionamiento con ácido grabador es un procedimiento fundamental y necesario en la práctica diaria en ortodoncia por lo que debemos darle más importancia a la investigación de los daños que produce sobre el esmalte según el tiempo de grabado y porcentaje de concentración. Además de otros factores como son el pH, la composición ácida (orgánico-inorgánico), la morfología del esmalte, la concentración del fosfato de calcio, el sitio del esmalte, la viscosidad y el tiempo de enjuague; ya que todos estos afectan la fuerza de adhesión entre las superficies del esmalte y el material dental adhesivo.

La mayoría de estos estudios se han realizado en microscopio electrónico de barrido, pero recientemente, la microscopia de fuerza atómica (AFM) se ha utilizado para estudiar la topografía estructural de los cristales de esmalte sano y el desarrollo de esmalte afectado.

Además, el AFM y la nano-indentación son técnicas útiles para estudiar la estructura y realizar las pruebas mecánicas en sitios específicos de los tejidos dentales. La tecnología del AFM representa un avance significativo en la proyección de imagen de

---

---

**VALORACIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL ESMALTE POSTERIOR AL GRABADO CON ÁCIDO  
FOSFÓRICO A DIFERENTES CONCENTRACIONES**

---

---

alta resolución de materiales biológicos, puesto que las muestras de tejidos suaves o duros pueden ser reflejadas debajo de los líquidos o en estados embebidos o cubiertos. La ventaja principal del AFM es su capacidad de proveer datos cuantitativos a nivel de nanómetros en las tres dimensiones con sus imágenes respectivas, no necesita preparación de la muestra. Una desventaja del AFM es el tamaño del área explorada; comúnmente no puede ser mayor de 100  $\mu\text{m}$   $\times$  100  $\mu\text{m}$ . (Loyola Rodriguez y Cols, 2009).

## 5. HIPÓTESIS

### 5.1. HIPÓTESIS DE TRABAJO.

**H<sub>1</sub>:** Al grabar el esmalte con concentraciones más bajas de ácido fosfórico, se reduce el daño en el esmalte.

### 5.2. HIPÓTESIS NULA.

**H<sub>0</sub>:** Al grabar con ácido fosfórico a concentraciones de 5, 10, 15, 20, 25, 30 y 37 % se produce el mismo daño en el esmalte.

## **6. OBJETIVOS.**

### **6.1. Objetivo General.**

Valorar los cambios de Rugosidad sobre la superficie del esmalte en 27 premolares superiores e inferiores, después de grabar con ácido fosfórico a diferentes concentraciones (5, 10, 15, 20, 25, 30 y 37 %), mediante el análisis de microscopía de fuerza atómica.

### **6.2. Objetivos Específicos.**

- Analizar la rugosidad de la superficie integra del esmalte de premolares superiores e inferiores, por medio de MFA antes de grabar con ácido fosfórico.
  
- Analizar la rugosidad de la superficie del esmalte de premolares superiores e inferiores, por medio de MFA después del grabado con  $H_3PO_4$  a diferentes concentraciones (5, 10, 15, 20, 25, 30 y 37 %).

## **7. MATERIAL Y MÉTODOS.**

### **7.1. Universo de estudio**

Se utilizaron 27 premolares superiores e inferiores sanos, conservados en proporción 1:1 de agua bidestilada y solución fisiológica, a temperatura ambiente, extraídos de pacientes de la Clínica de la Especialidad en Ortodoncia del Centro Universitario de Estudios de Posgrado e Investigación de la Facultad de Odontología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

### **7.2. Clasificación del estudio.**

- Prospectivo
- Longitudinal
- Comparativo
- Experimental

### **7.3. Criterios de elegibilidad**

#### **7.3.1. Criterios de inclusión.**

- Consentimiento del paciente
- Premolares superiores e inferiores sanos.
- Que no presenten caries en cara vestibular, endodoncia, fractura coronaria, fluorosis, amelogénesis imperfecta.

#### **7.3.2. Criterios de no inclusión.**

- Piezas fracturadas en superficie vestibular.
- Piezas con endodoncia.
- Piezas con lesiones de caries en superficie vestibular.
- Piezas con fluorosis.
- Piezas con amelogénesis imperfecta.

---

---

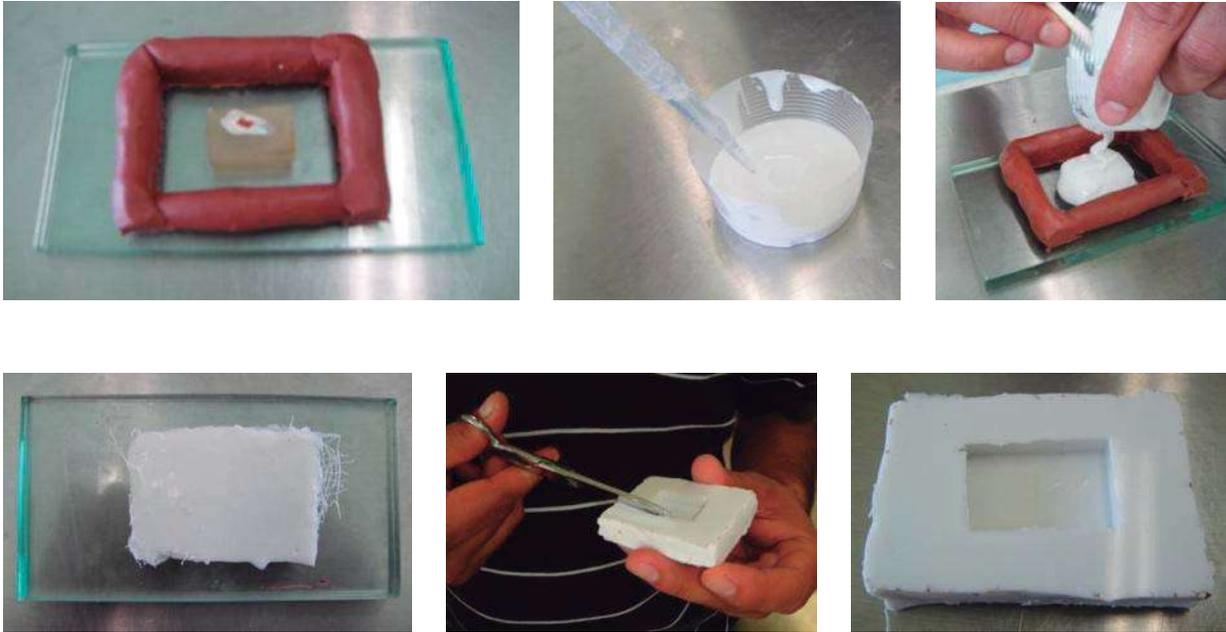
**VALORACIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL ESMALTE POSTERIOR AL GRABADO CON ÁCIDO FOSFÓRICO A DIFERENTES CONCENTRACIONES**

---

---

**7.4. Metodología.**

Se fabricaron moldes de silicón blanco 490, utilizando una loseta de vidrio, plastilina epóxica, un dado de acrílico, gasa y tijeras.



Posteriormente las piezas se embebieron en resina dejando libre la cara vestibular.



---

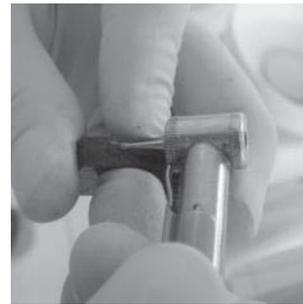
---

**VALORACIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL ESMALTE POSTERIOR AL GRABADO CON ÁCIDO FOSFÓRICO A DIFERENTES CONCENTRACIONES**

---

---

Se procede a marcar las muestras con una pieza de mano de alta velocidad de la marca Concentrix II y fresa de cono invertido de carburo en un costado de la resina.



Posteriormente se les realizo la profilaxis a cada una de las piezas dentales utilizando una pieza de mano de baja velocidad de la marca MTI, cepillos de tallo largo con cerdas suaves y piedra pómez individual.



Después se realizo la aplicación del ácido fosfórico a diferentes concentraciones (5, 10, 15, 20, 25, 30%) en un área de 4 mm<sup>2</sup> que su presentación es en un gel transparente en jeringas de 3 ml. Se utilizaron dos ácidos fosfóricos a 37% de las marcas Prodensa y 3M ESPE (Scotchbond Etchant) para la comparación del daño producido. El ácido grabador se aplico durante 15 segundos, se enjuago 15 segundos y se seco por 15 segundos con jeringa triple y aire a presión.

---

---

VALORACIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL ESMALTE POSTERIOR AL GRABADO CON ÁCIDO FOSFÓRICO A DIFERENTES CONCENTRACIONES

---

---

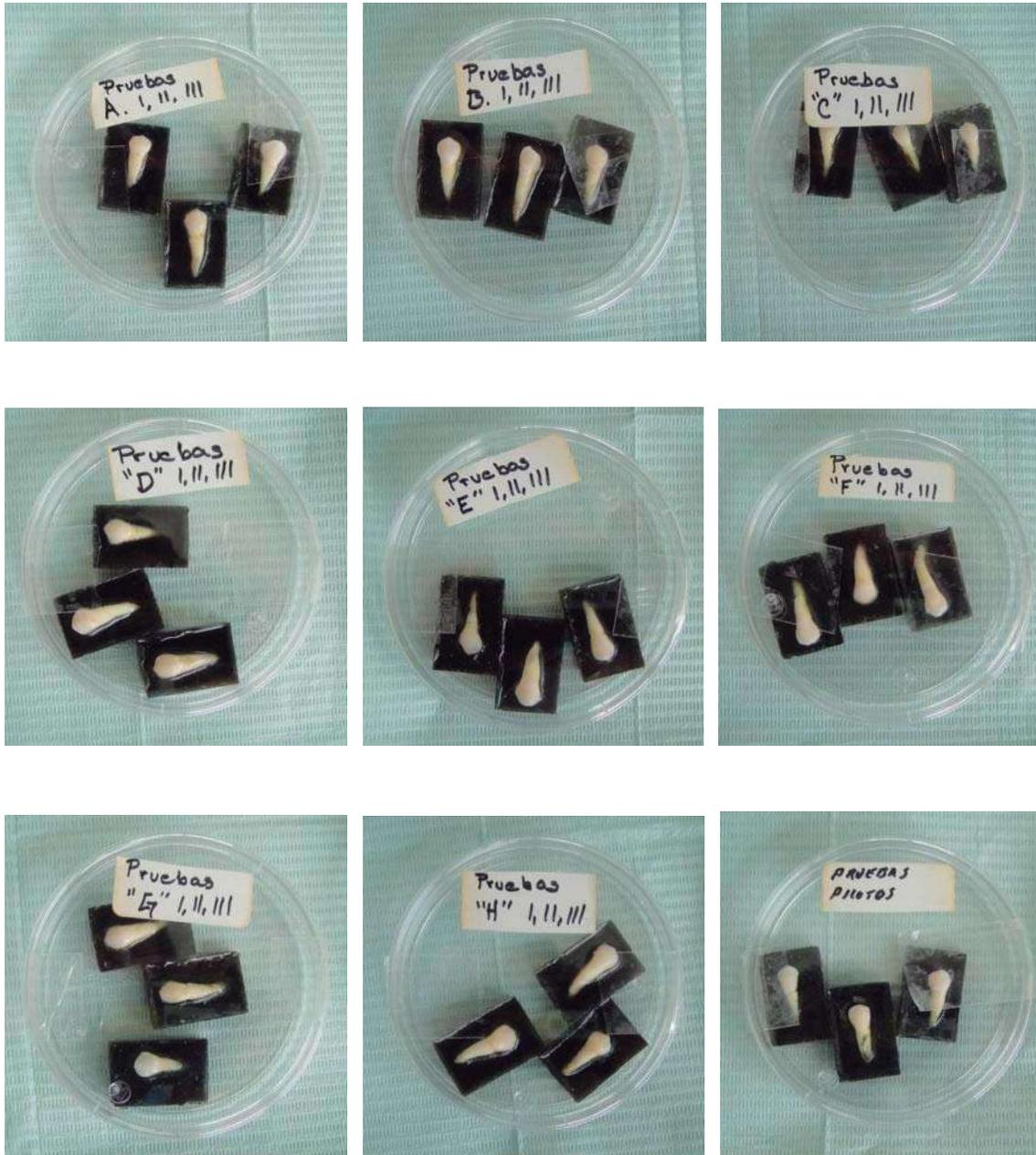


---

VALORACIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL ESMALTE POSTERIOR AL GRABADO CON ÁCIDO FOSFÓRICO A DIFERENTES CONCENTRACIONES

---

Por último las piezas se colocaron en cajas de petri estériles para trasladarse al microscopio de fuerza atómica modelo Nanosurf Easyscan 2 del Centro de Investigación de Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada (CICATA) Unidad Querétaro del Instituto Politécnico Nacional donde iban a ser analizadas.



---

---

**VALORACIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL ESMALTE POSTERIOR AL GRABADO CON ÁCIDO FOSFÓRICO A DIFERENTES CONCENTRACIONES**

---

---

Con el MFA Analizamos la Rugosidad de la superficie del esmalte tratado con  $H_3PO_4$  a diferentes concentraciones para obtener los siguientes datos:

**Sa** = promedio de rugosidad del área.

**Sq** = raíz cuadrática media.

**Sy** =  $sp - sv$  (Rango).

**Sp** = pico más alto.

**Sv** = valle más profundo.

**Sm** = la media del área.

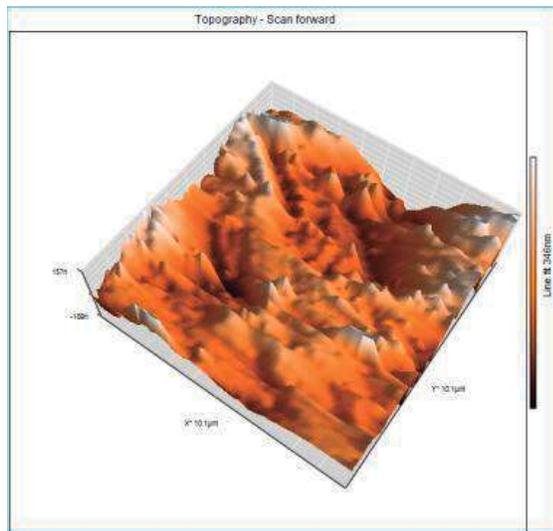
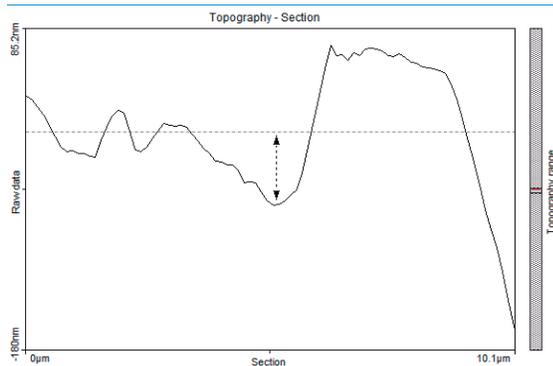
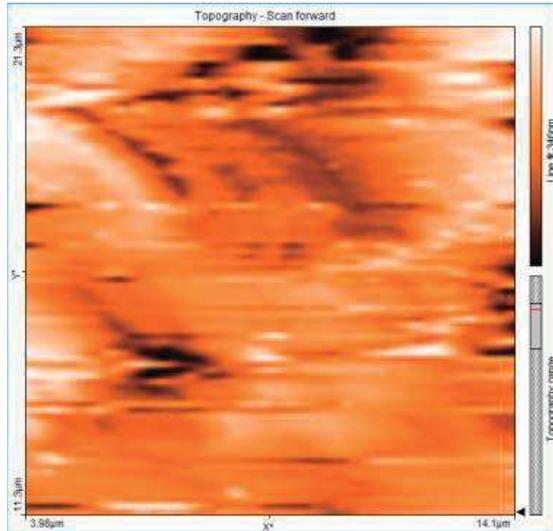


### **7.5. Análisis Bioestadístico.**

Se calcularán medidas de tendencia central (media aritmética) y medidas de dispersión (desviación estándar) para cada una de las muestras, ya que las muestras se hicieron por triplicado.

## 8. RESULTADOS.

### PRUEBA CONTROL 1.

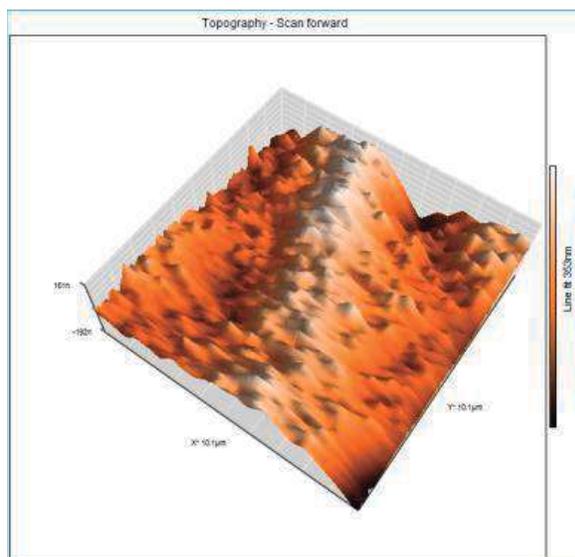
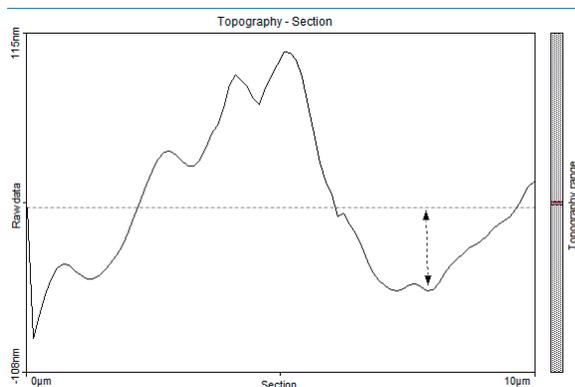
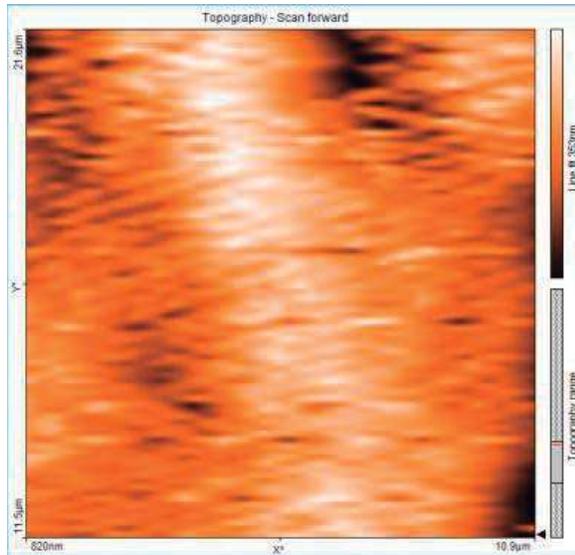


**FIGURA 1.** Imagen de Topografía de una pieza sin ataque de ácido grabador. Se puede observar algunos valles (zonas oscuras). En este caso el tamaño de los valles dependen de la edad del paciente, hábitos alimenticios, composición del esmalte, higiene, etc.

**FIGURA 2.** Grafica para medir la profundidad de los valles tomando la media de los picos. Además de medir el ancho del valle de una pieza sin ataque de ácido grabador.

**FIGURA 3.** Imagen en 3D de una pieza sin ataque de ácido grabador. Se puede observar las zonas blancas (Picos) y zonas oscuras (Valles).

PRUEBA CONTROL 2.

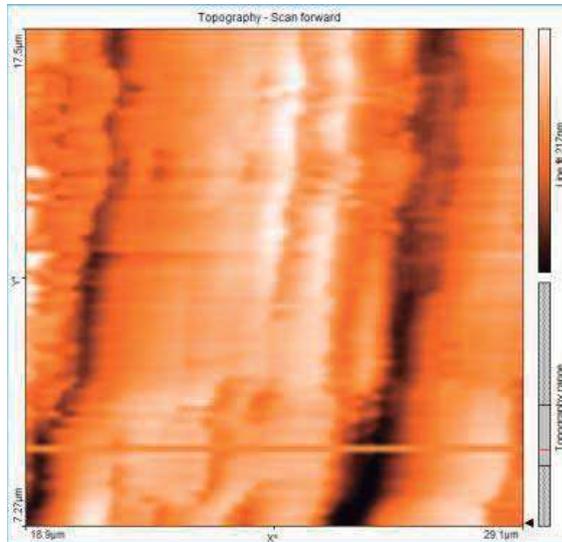


**FIGURA 1.** Imagen de Topografía de una pieza sin ataque de ácido grabador. Se puede observar algunos valles (zonas oscuras). En este caso el tamaño de los valles dependen de la edad del paciente, hábitos alimenticios, composición del esmalte, higiene, etc.

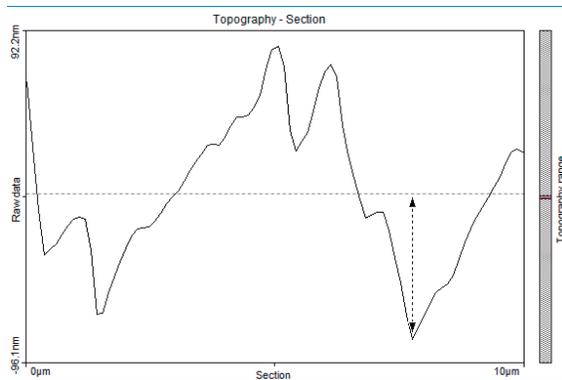
**FIGURA 2.** Grafica para medir la profundidad de los valles tomando la media de los picos. Además de medir el ancho del valle de una pieza sin ataque de ácido grabador.

**FIGURA 3.** Imagen en 3D de una pieza sin ataque de ácido grabador. Se puede observar las zonas blancas (Picos) y zonas oscuras (Valles).

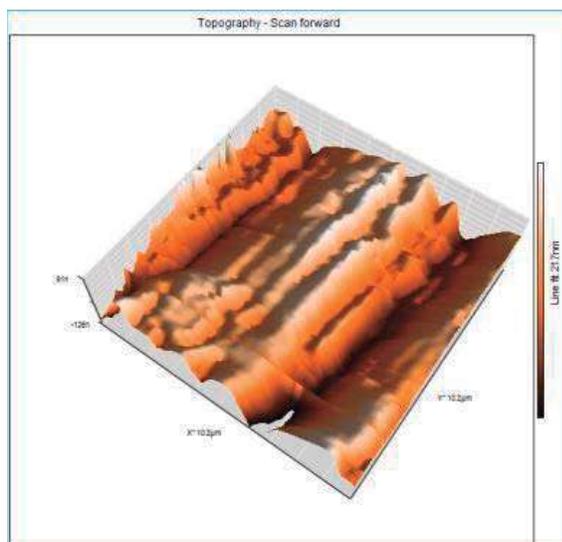
PRUEBA CONTROL 3.



**FIGURA 1.** Imagen de Topografía de una pieza sin ataque de ácido grabador. Se puede observar algunos valles (zonas oscuras). En este caso el tamaño de los valles dependen de la edad del paciente, hábitos alimenticios, composición del esmalte, higiene, etc.

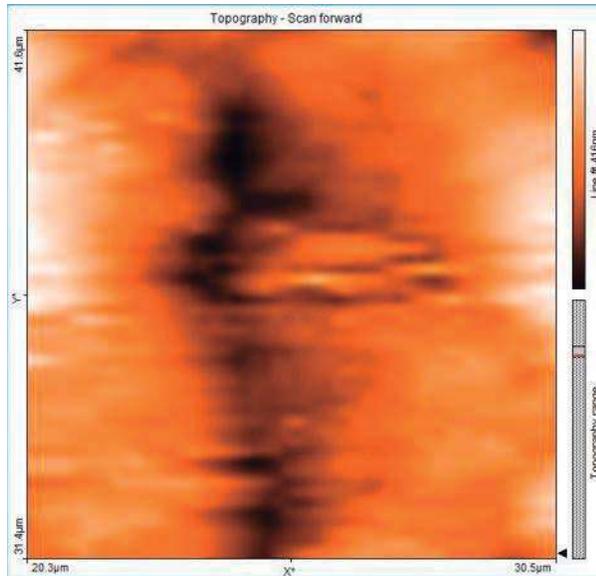


**FIGURA 2.** Grafica para medir la profundidad de los valles tomando la media de los picos. Además de medir el ancho del valle de una pieza sin ataque de ácido grabador.

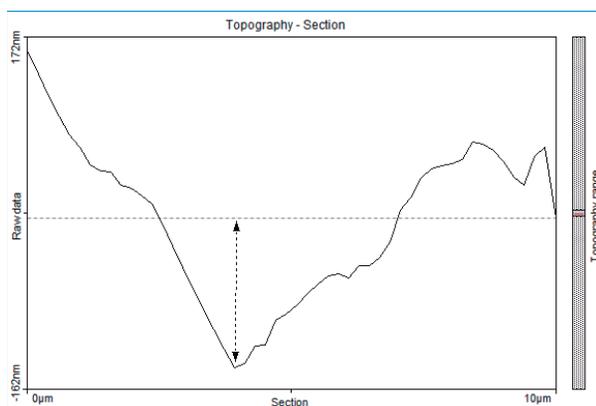


**FIGURA 3.** Imagen en 3D de una pieza sin ataque de ácido grabador. Se puede observar las zonas blancas (Picos) y zonas oscuras (Valles).

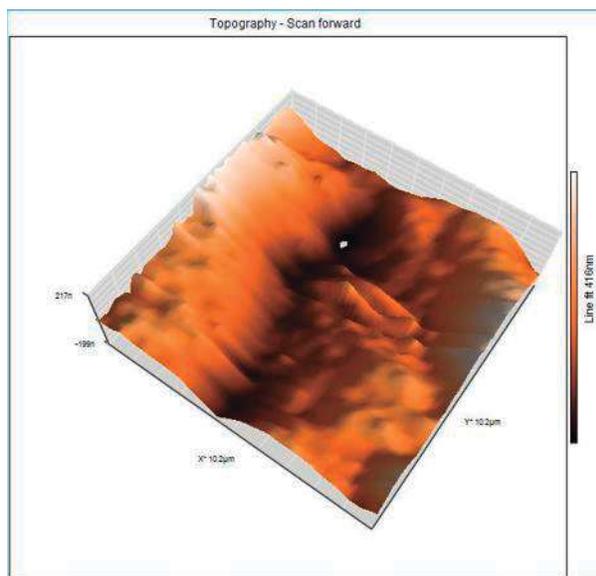
PRUEBA A1 (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 5%)



**FIGURA 1.** Imagen de Topografía de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 5% de concentración. Se puede observar algunos valles ya más grandes, claros y definidos (zonas oscuras).

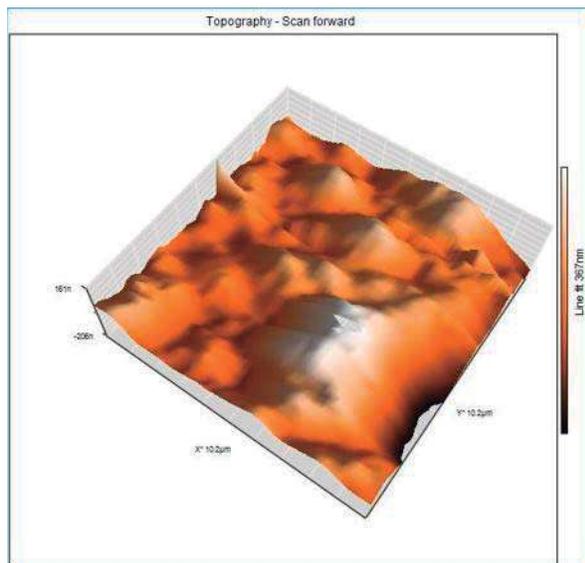
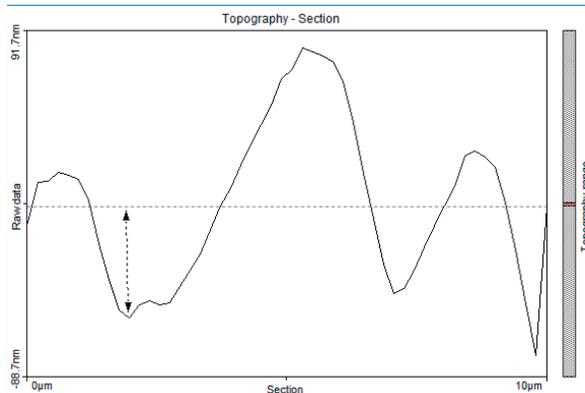
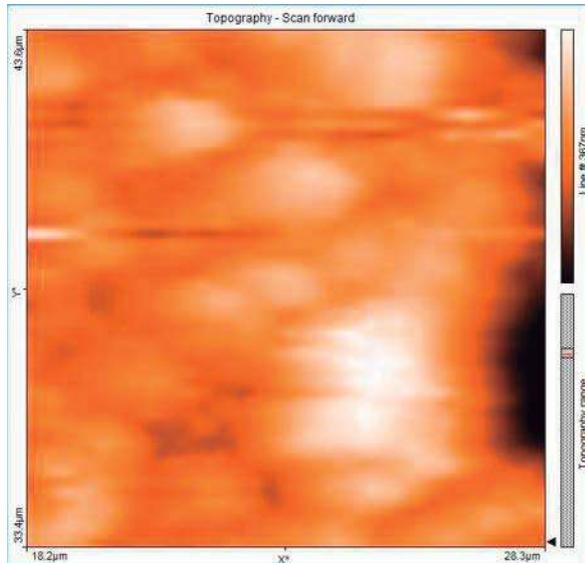


**FIGURA 2.** Grafica para medir la profundidad de los valles tomando la media de los picos. Además de medir el ancho del valle de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 5% de concentración.



**FIGURA 3.** Imagen en 3D de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 5% de concentración. Se puede observar las zonas blancas (Picos) y zonas oscuras (Valles). El punto blanco en la imagen es un valle muy profundo mayor a las 7 micras que es la máximo que puede bajar el cantiláver por protección del MFA.

PRUEBA A2 (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 5%)

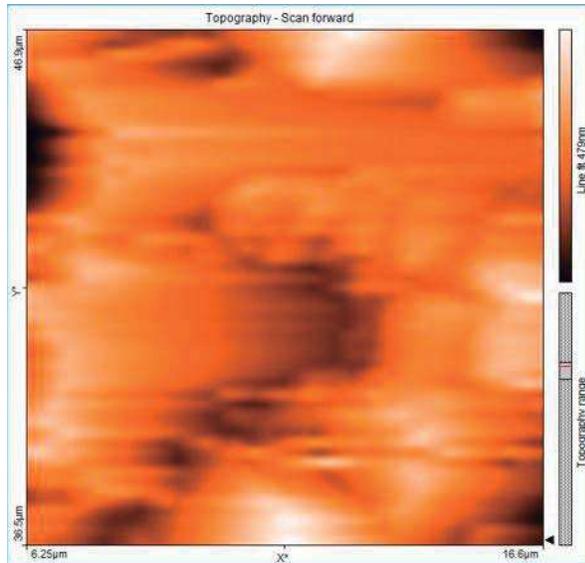


**FIGURA 1.** Imagen de Topografía de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 5% de concentración. Se puede observar un valle muy grande que no aparece por completo en la imagen (zona oscura).

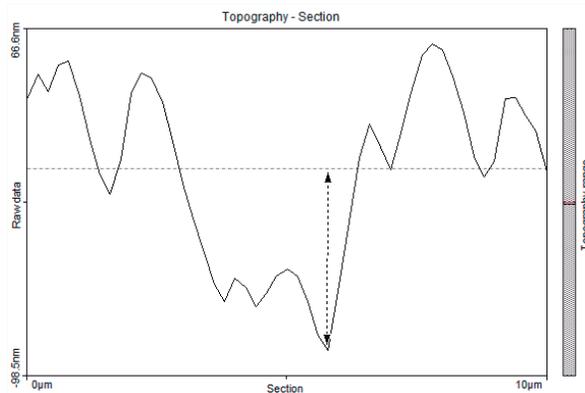
**FIGURA 2.** Grafica para medir la profundidad de los valles tomando la media de los picos. Además de medir el ancho del valle de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 5% de concentración.

**FIGURA 3.** Imagen en 3D de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 5% de concentración. Se puede observar las zonas blancas (Picos) y las zonas oscuras (Valles). La zona en blanco en la orilla de la imagen es un valle muy profundo mayor a las 7 micras que es lo máximo que puede bajar el cantiléver del MFA. Se desconoce con precisión la profundidad.

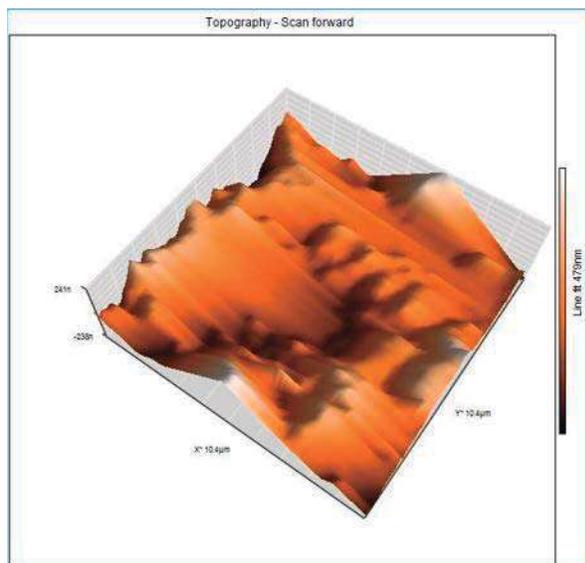
PRUEBA A3 (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 5%)



**FIGURA 1.** Imagen de Topografía de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 5% de concentración. Se pueden observar los valles (zonas oscuras).

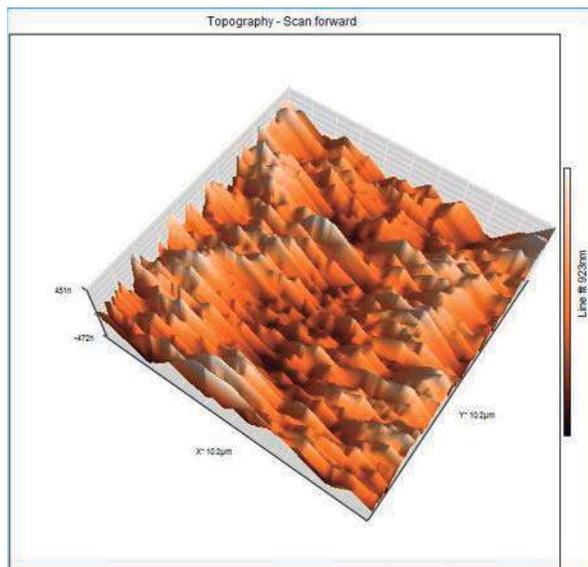
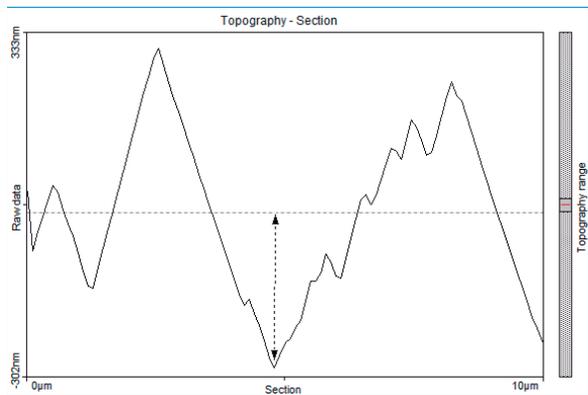
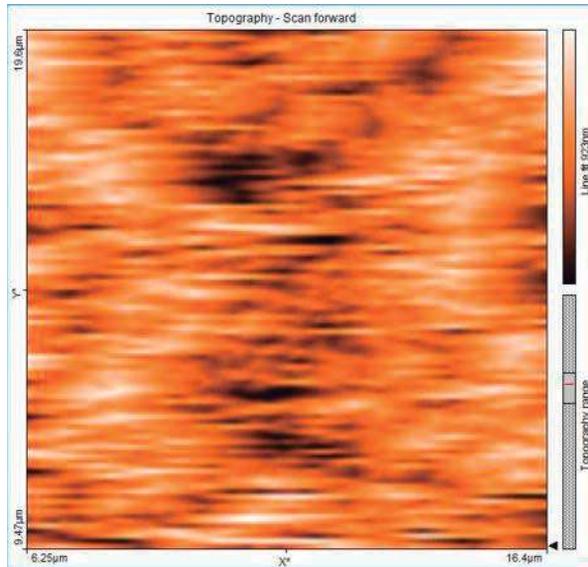


**FIGURA 2.** Grafica para medir la profundidad de los valles tomando la media de los picos. Además de medir el ancho del valle de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 5% de concentración.



**FIGURA 3.** Imagen en 3D de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 5% de concentración. Se puede observar las zonas blancas (Picos) y las zonas oscuras (Valles).

PRUEBA B1 (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 10%)

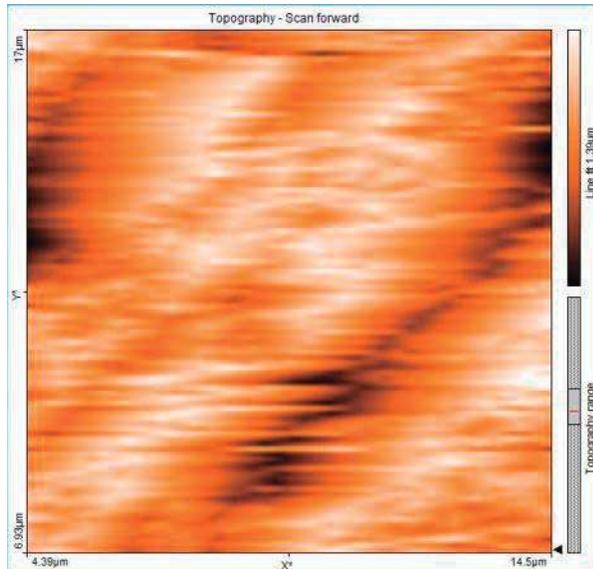


**FIGURA 1.** Imagen de Topografía de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 10% de concentración. Se pueden observar los valles (zonas oscuras). En esta figura se puede observar un grabado muy uniforme y con un menor daño.

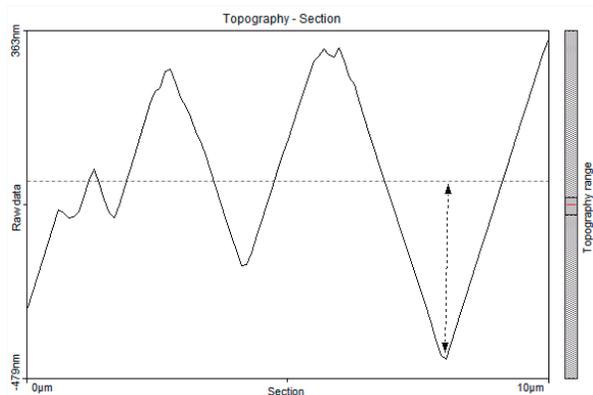
**FIGURA 2.** Grafica para medir la profundidad de los valles tomando la media de los picos. Además de medir el ancho del valle de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 10% de concentración.

**FIGURA 3.** Imagen en 3D de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 10% de concentración. Se puede observar las zonas blancas (Picos) y las zonas oscuras (Valles). Se puede observar un grabado muy uniforme y con un menor daño al esmalte.

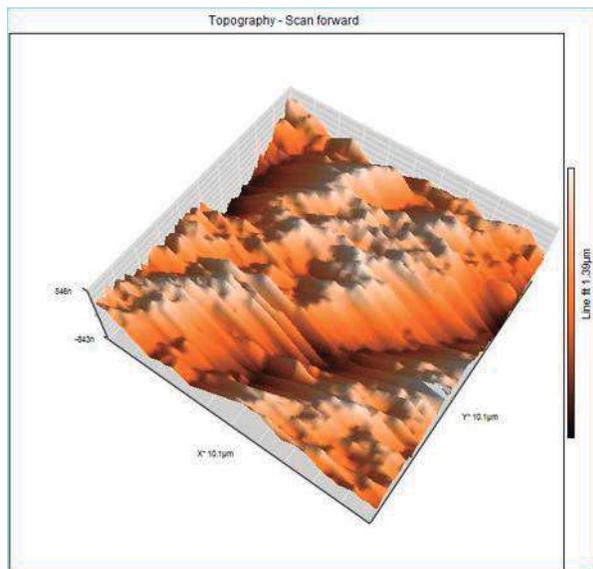
PRUEBA B2 (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 10%)



**FIGURA 1.** Imagen de Topografía de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 10% de concentración. Se pueden observar los valles (zonas oscuras).

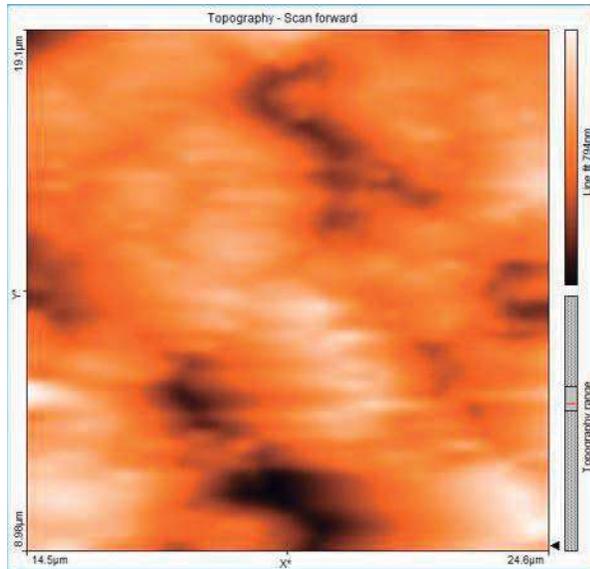


**FIGURA 2.** Grafica para medir la profundidad de los valles tomando la media de los picos. Además de medir el ancho del valle de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 10% de concentración.

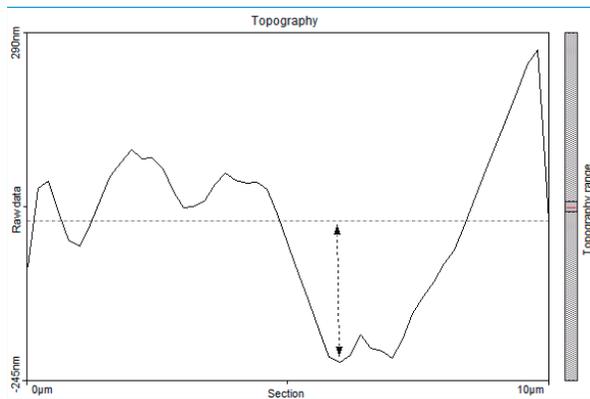


**FIGURA 3.** Imagen en 3D de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 10% de concentración. Se puede observar las zonas blancas (Picos) y las zonas oscuras (Valles). En esta figura se puede observar un grabado muy uniforme y con un menor daño.

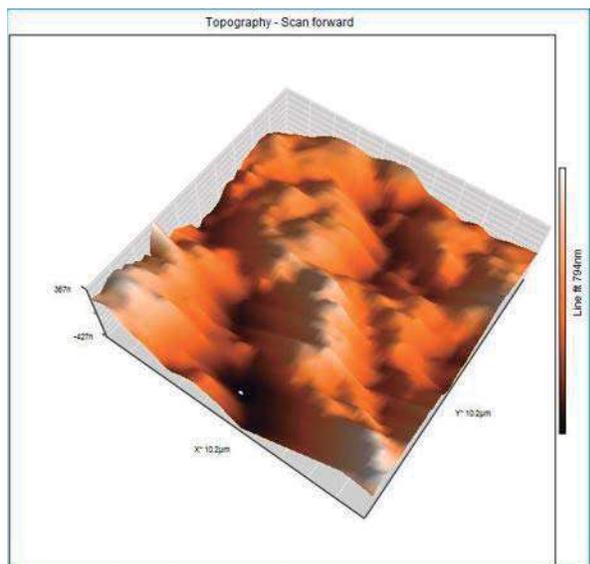
PRUEBA B3 (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 10%)



**FIGURA 1.** Imagen de Topografía de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 10% de concentración. Se pueden observar los valles (zonas oscuras).

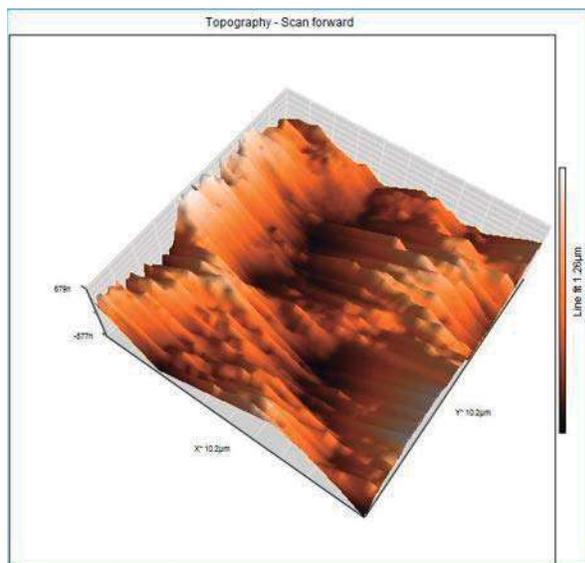
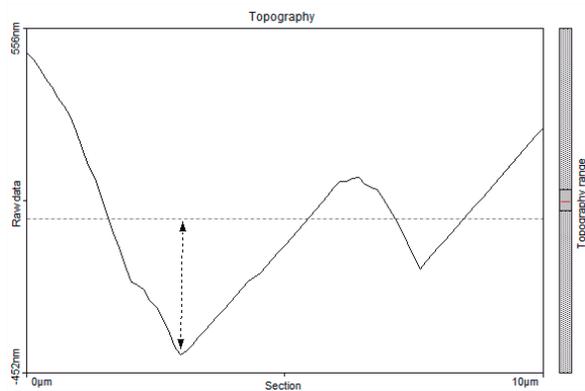
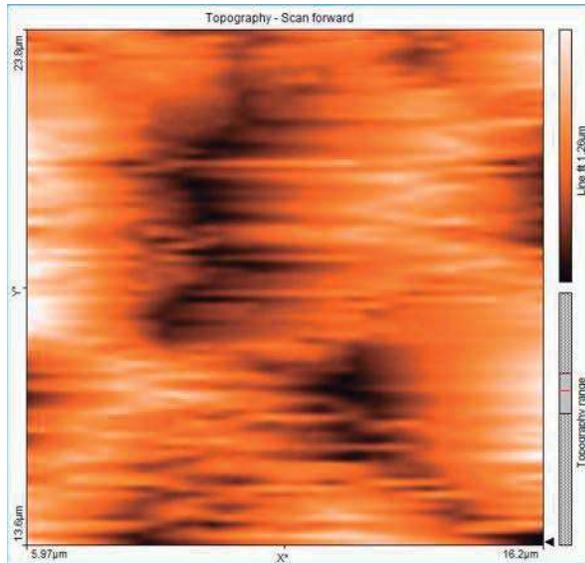


**FIGURA 2.** Grafica para medir la profundidad de los valles tomando la media de los picos. Además de medir el ancho del valle de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 10% de concentración.



**FIGURA 3.** Imagen en 3D de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 10% de concentración. Se puede observar las zonas blancas (Picos) y las zonas oscuras (Valles). En esta figura se puede observar un grabado muy uniforme y con un menor daño, a pesar del punto blanco que es un valle muy profundo.

PRUEBA C1 (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 15%)

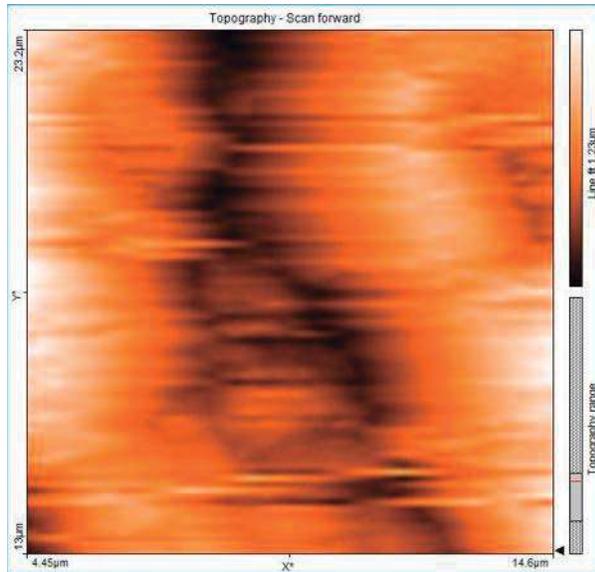


**FIGURA 1.** Imagen de Topografía de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 15% de concentración. Se pueden observar los valles (zonas oscuras) y un grabado más uniforme y con menor daño al esmalte.

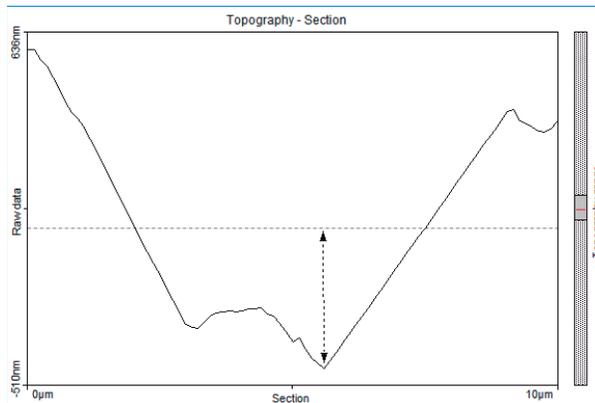
**FIGURA 2.** Grafica para medir la profundidad de los valles tomando la media de los picos. Además de medir el ancho del valle de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 15% de concentración.

**FIGURA 3.** Imagen en 3D de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 15% de concentración. Se puede observar las zonas blancas (Picos) y las zonas oscuras (Valles). En esta figura se puede observar un grabado muy uniforme y con un menor daño al esmalte.

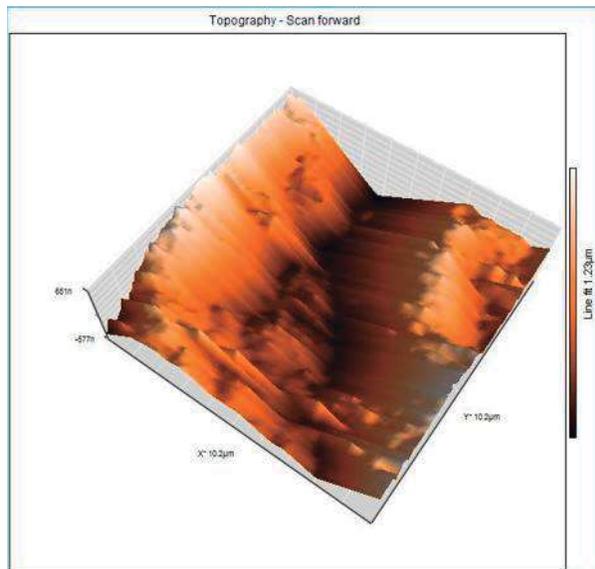
PRUEBA C2 (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 15%)



**FIGURA 1.** Imagen de Topografía de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 15% de concentración. Se pueden observar los valles (zonas oscuras).

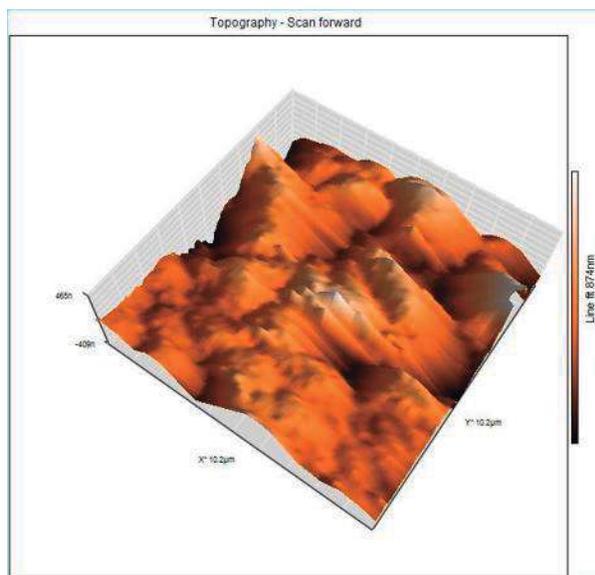
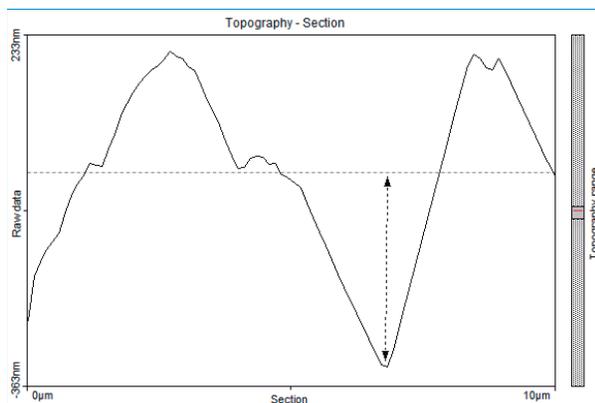
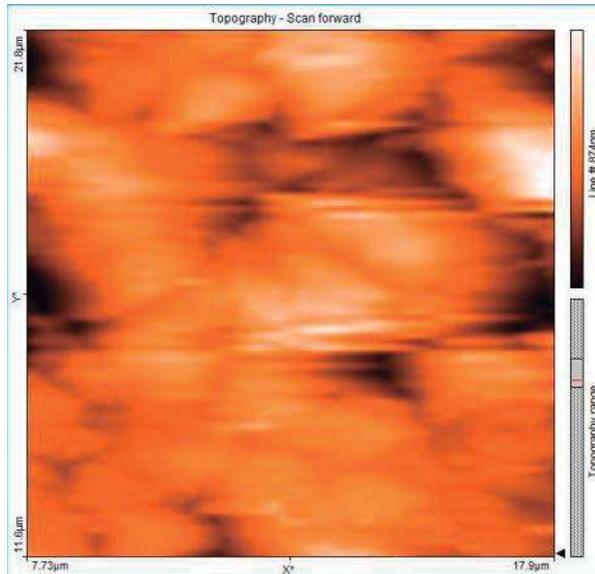


**FIGURA 2.** Grafica para medir la profundidad de los valles tomando la media de los picos. Además de medir el ancho del valle de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 15% de concentración.



**FIGURA 3.** Imagen en 3D de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 15% de concentración. Se puede observar las zonas blancas (Picos) y las zonas oscuras (Valles).

PRUEBA C3 (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 15%)

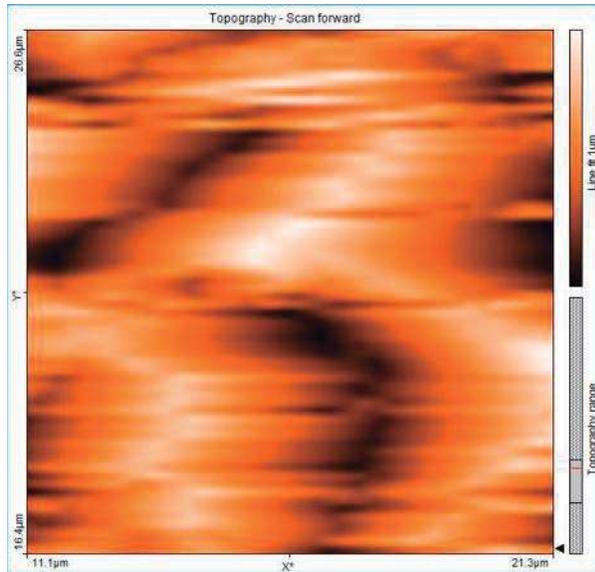


**FIGURA 1.** Imagen de Topografía de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 15% de concentración. Se pueden observar los valles (zonas oscuras).

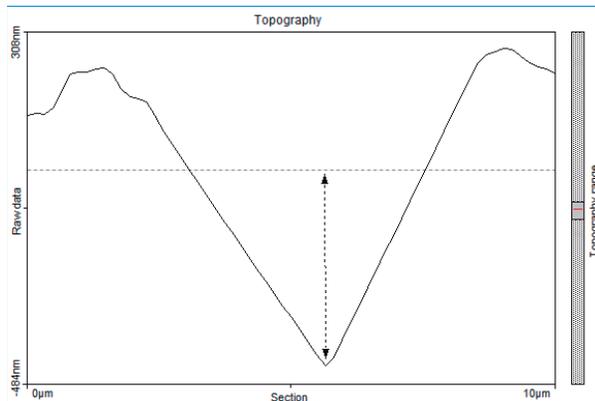
**FIGURA 2.** Grafica para medir la profundidad de los valles tomando la media de los picos. Además de medir el ancho del valle de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 15% de concentración.

**FIGURA 3.** Imagen en 3D de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 15% de concentración. Se puede observar las zonas blancas (Picos) y las zonas oscuras (Valles). Esta imagen muestra una zona sin ataque y el inicio de la zona donde se aplicó el grabador ácido.

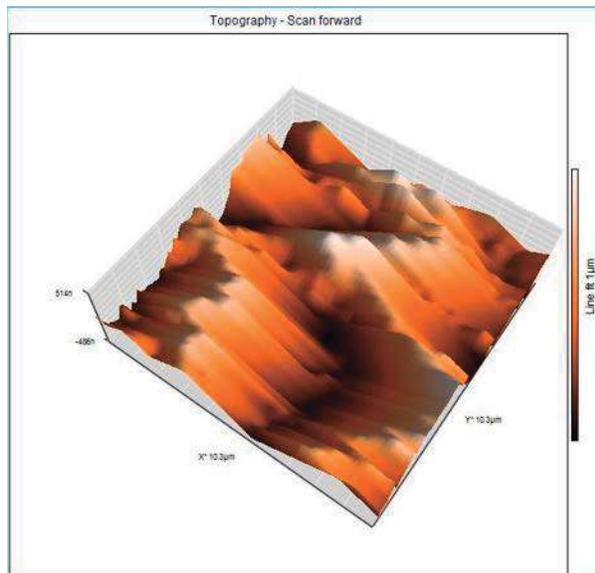
PRUEBA D1 (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 20%)



**FIGURA 1.** Imagen de Topografía de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 20% de concentración. Se pueden observar los valles (zonas oscuras).

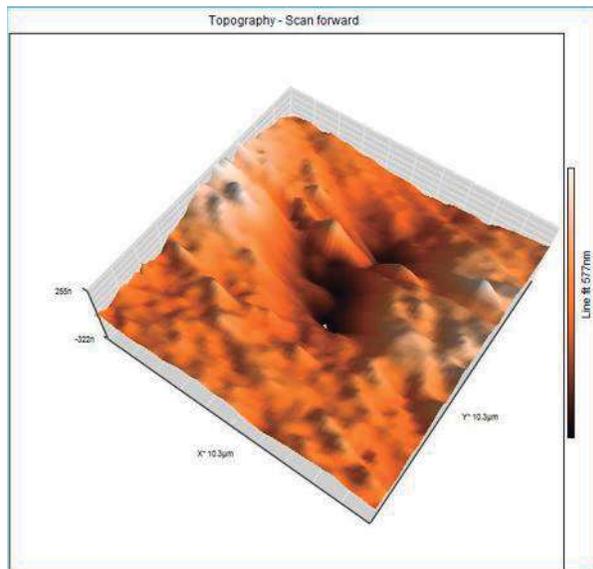
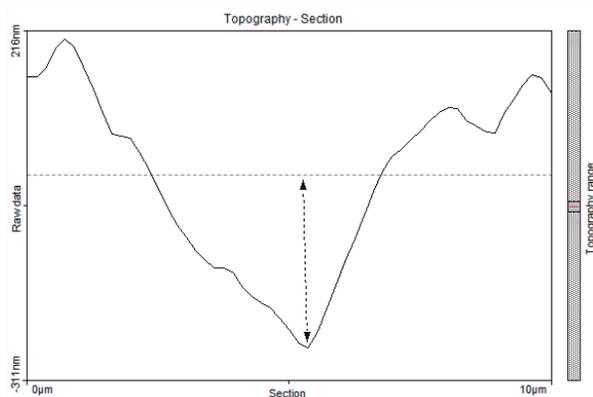
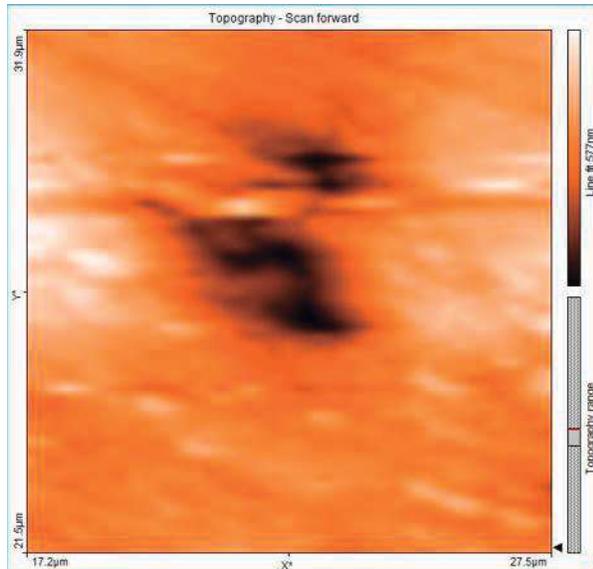


**FIGURA 2.** Grafica para medir la profundidad de los valles tomando la media de los picos. Además de medir el ancho del valle de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 20% de concentración.



**FIGURA 3.** Imagen en 3D de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 20% de concentración. Se puede observar las zonas blancas (Picos) y las zonas oscuras (Valles).

PRUEBA D2 (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 20%)

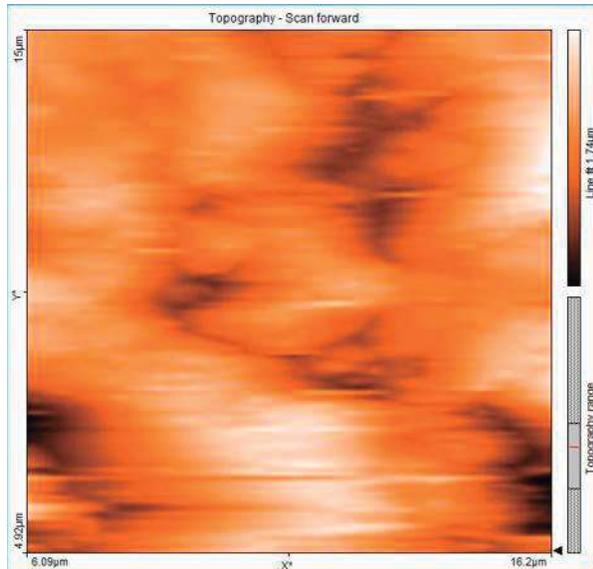


**FIGURA 1.** Imagen de Topografía de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 20% de concentración. Se pueden observar valles muy grandes (zonas oscuras).

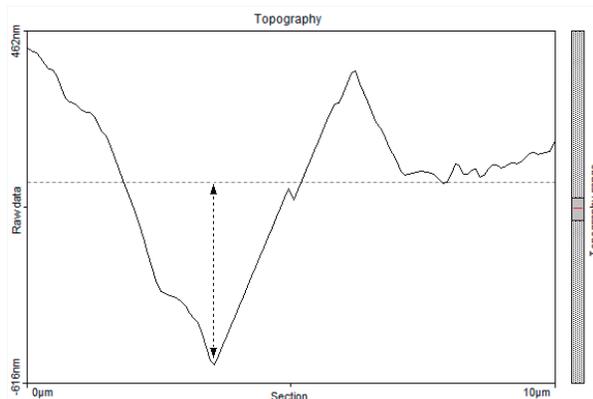
**FIGURA 2.** Grafica para medir la profundidad de los valles tomando la media de los picos. Además de medir el ancho del valle de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 20% de concentración.

**FIGURA 3.** Imagen en 3D de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 20% de concentración. Se puede observar las zonas blancas (Picos) y las zonas oscuras (Valles). La imagen muestra que el grabado ácido no es uniforme ya que se concentro sobre una sola área creando un valle muy profundo.

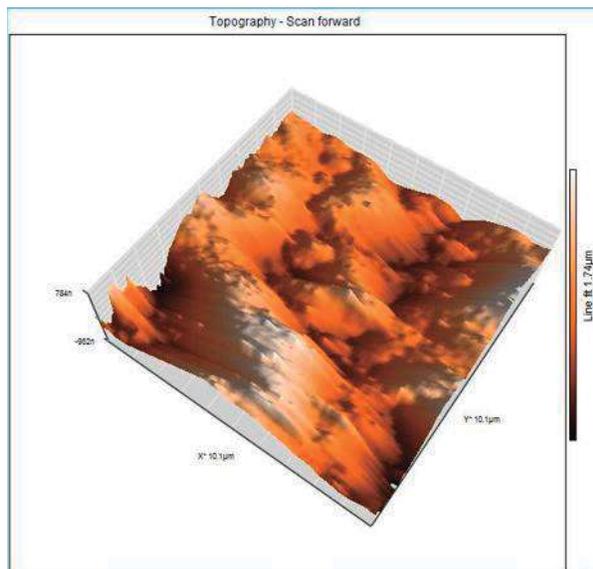
PRUEBA D3 (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 20%)



**FIGURA 1.** Imagen de Topografía de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 20% de concentración. Se pueden observar los valles (zonas oscuras).

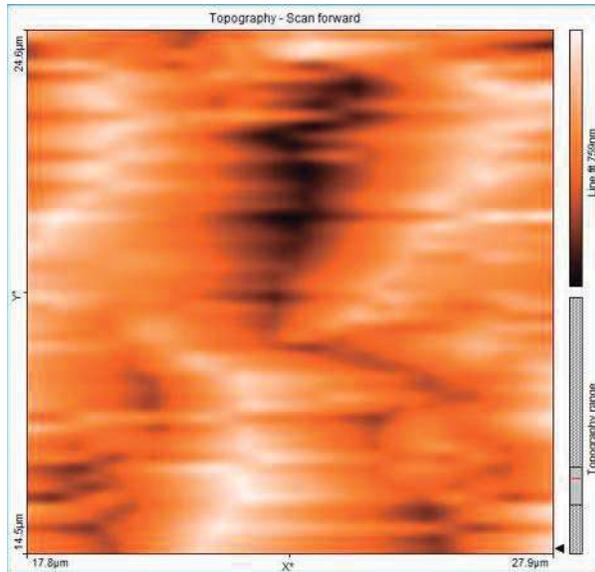


**FIGURA 2.** Grafica para medir la profundidad de los valles tomando la media de los picos. Además de medir el ancho del valle de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 20% de concentración.

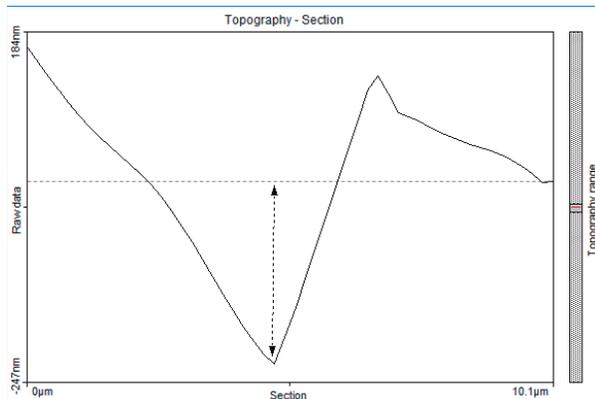


**FIGURA 3.** Imagen en 3D de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 20% de concentración. Se puede observar las zonas blancas (Picos) y las zonas oscuras (Valles).

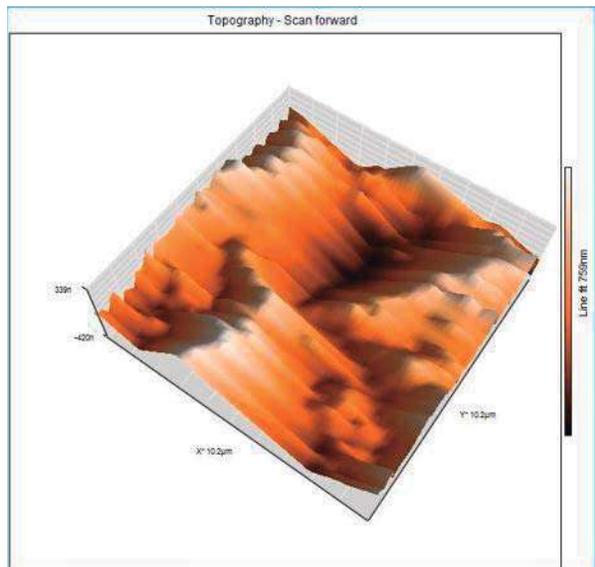
PRUEBA E1 (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 25%)



**FIGURA 1.** Imagen de Topografía de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 25% de concentración. Se pueden observar los valles (zonas oscuras).

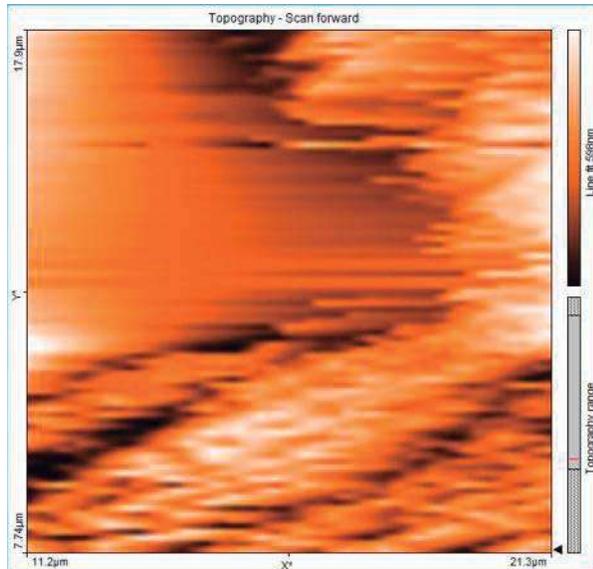


**FIGURA 2.** Grafica para medir la profundidad de los valles tomando la media de los picos. Además de medir el ancho del valle de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 25% de concentración.

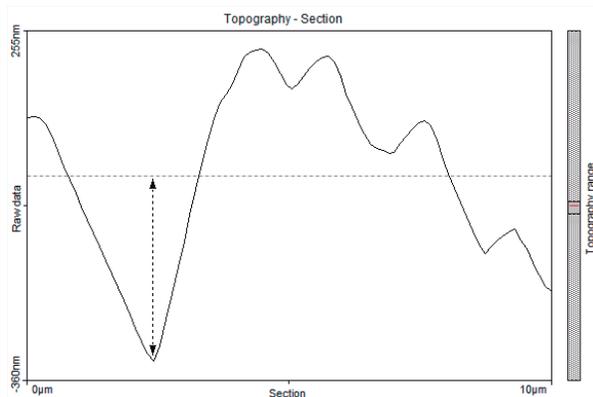


**FIGURA 3.** Imagen en 3D de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 25% de concentración. Se puede observar las zonas blancas (Picos) y las zonas oscuras (Valles). La imagen muestra que los valles son muy anchos.

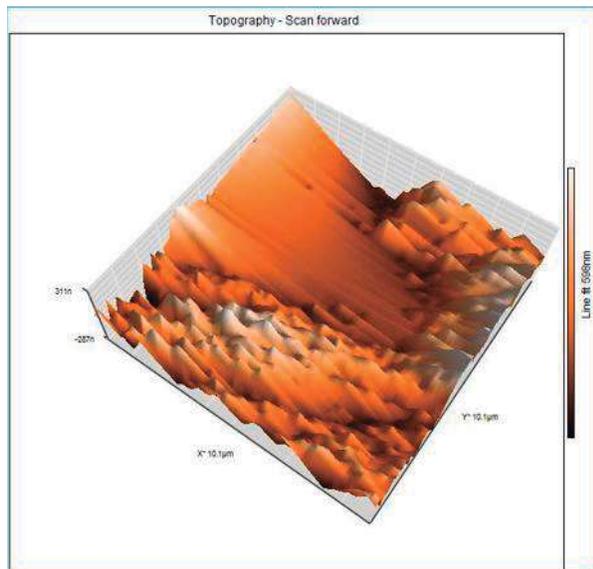
PRUEBA E2 (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 25%)



**FIGURA 1.** Imagen de Topografía de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 25% de concentración. Se pueden observar algunos valles (zonas oscuras) y un relieve muy grande.

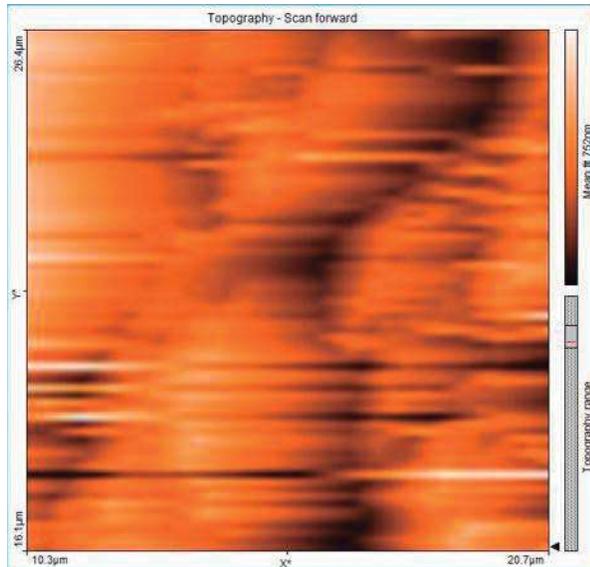


**FIGURA 2.** Grafica para medir la profundidad de los valles tomando la media de los picos. Además de medir el ancho del valle de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 25% de concentración.

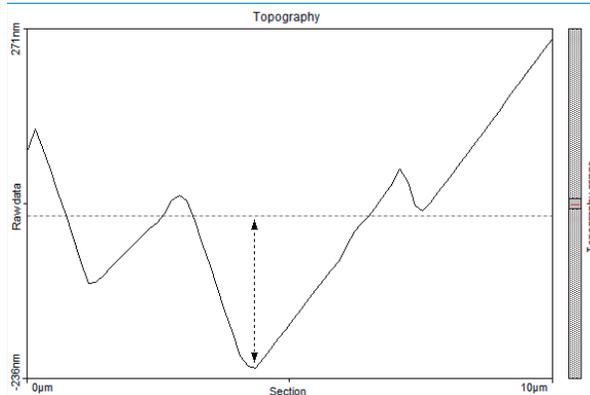


**FIGURA 3.** Imagen en 3D de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 25% de concentración. Se puede observar las zonas blancas (Picos) y las zonas oscuras (Valles). Se observa en la imagen un relieve muy grande.

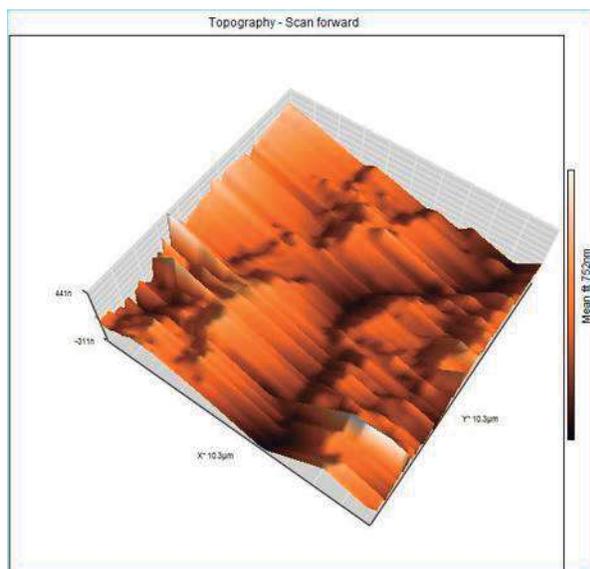
PRUEBA E3 (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 25%)



**FIGURA 1.** Imagen de Topografía de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 25% de concentración. Se pueden observar los valles (zonas oscuras).

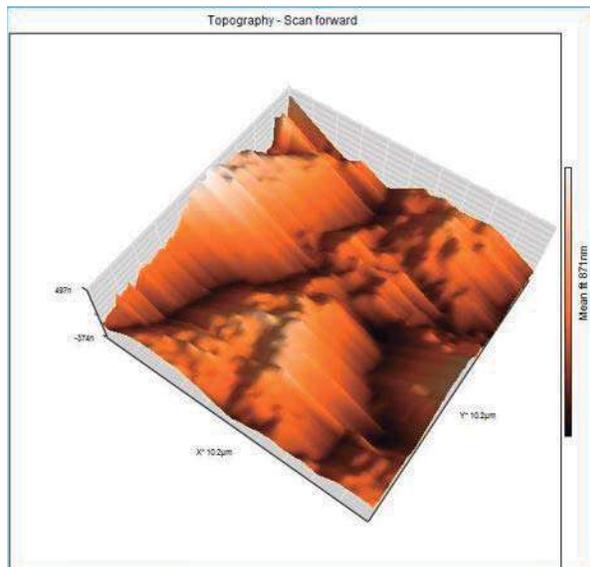
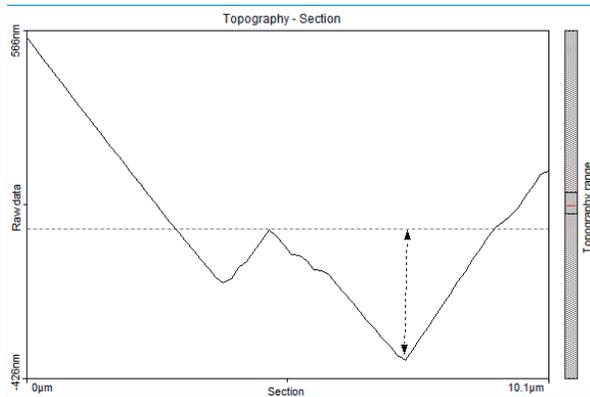
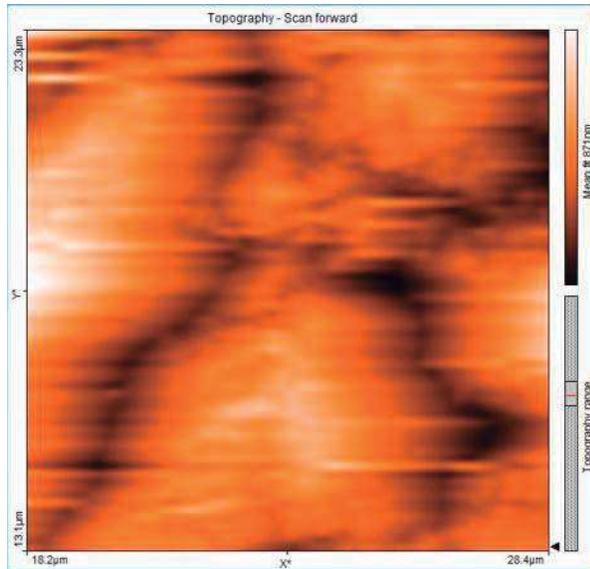


**FIGURA 2.** Grafica para medir la profundidad de los valles tomando la media de los picos. Además de medir el ancho del valle de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 25% de concentración.



**FIGURA 3.** Imagen en 3D de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 25% de concentración. Se puede observar las zonas blancas (Picos) y las zonas oscuras (Valles). Se observa en la imagen que los valles son muy anchos.

PRUEBA F1 (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 30%)

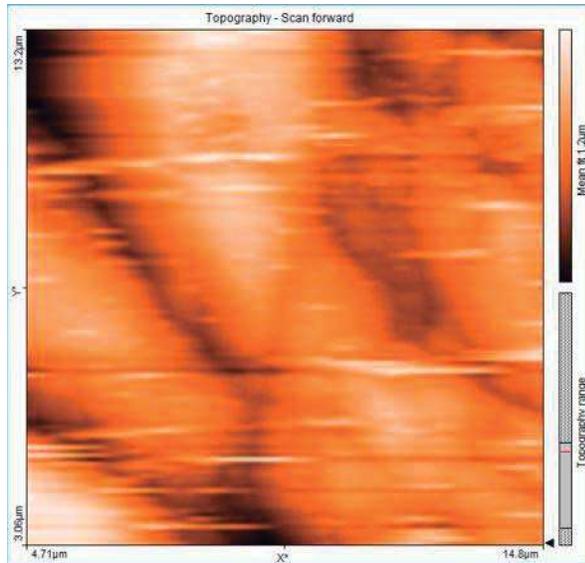


**FIGURA 1.** Imagen de Topografía de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 30% de concentración. Se pueden observar valles demasiado grandes, claros y definidos (zonas oscuras).

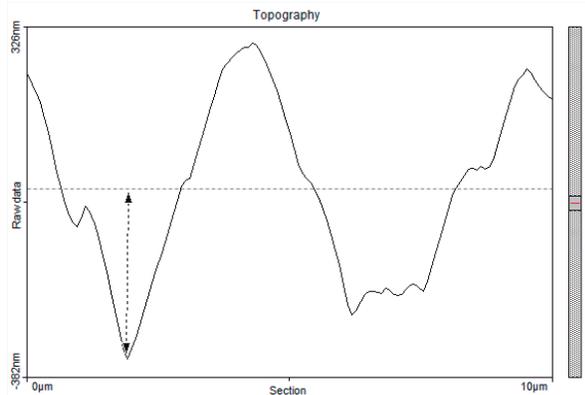
**FIGURA 2.** Grafica para medir la profundidad de los valles tomando la media de los picos. Además de medir el ancho del valle de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 30% de concentración.

**FIGURA 3.** Imagen en 3D de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 30% de concentración. Se puede observar las zonas blancas (Picos) y las zonas oscuras (Valles). Se observa en la imagen que los valles son muy amplios y profundos.

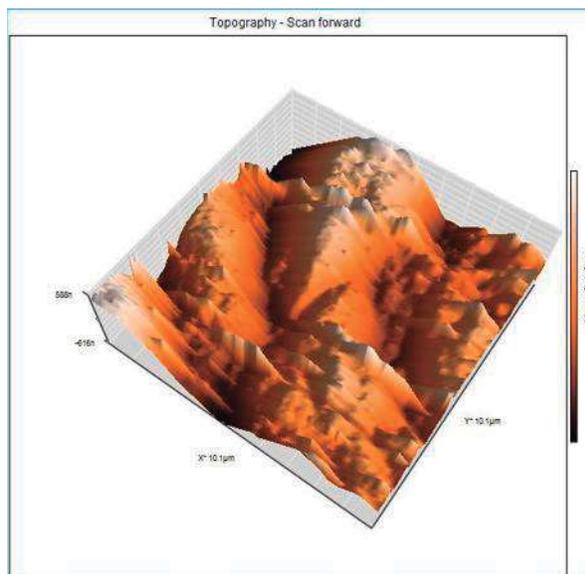
PRUEBA F2 (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 30%)



**FIGURA 1.** Imagen de Topografía de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 30% de concentración. Se pueden observar valles demasiado grandes, claros y definidos (zonas oscuras).

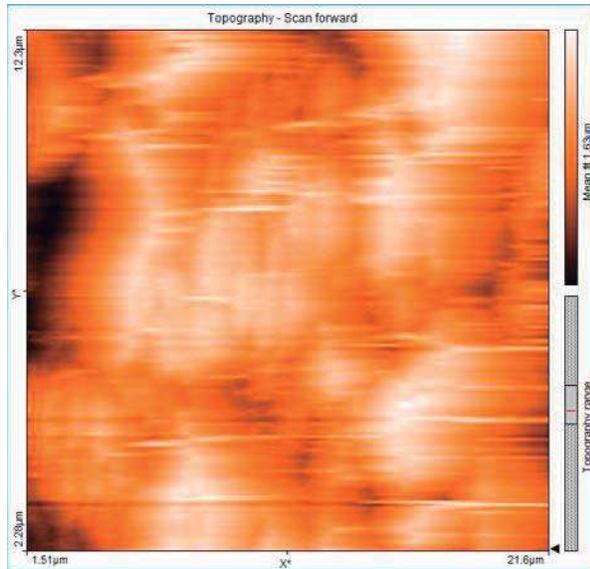


**FIGURA 2.** Grafica para medir la profundidad de los valles tomando la media de los picos. Además de medir el ancho del valle de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 30% de concentración.

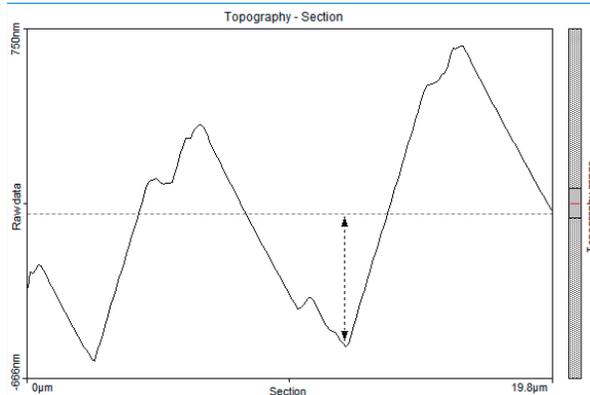


**FIGURA 3.** Imagen en 3D de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 30% de concentración. Se puede observar las zonas blancas (Picos) y las zonas oscuras (Valles). Se observa en la imagen que los valles son muy amplios y profundos.

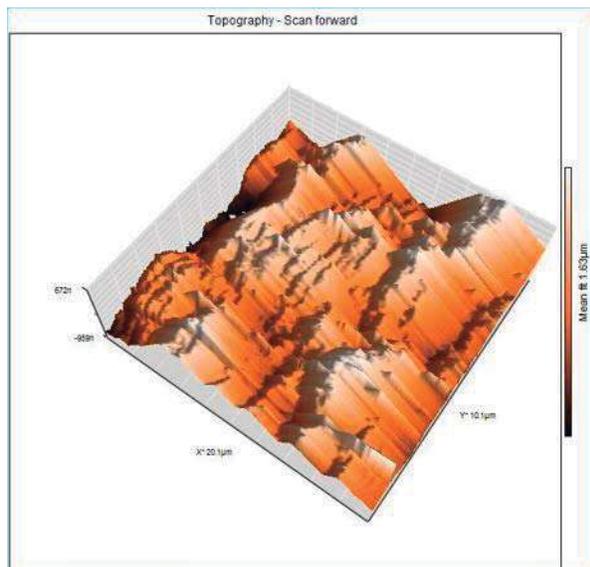
PRUEBA F3 (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 30%)



**FIGURA 1.** Imagen de Topografía de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 30% de concentración. Se pueden observar los valles (zonas oscuras).

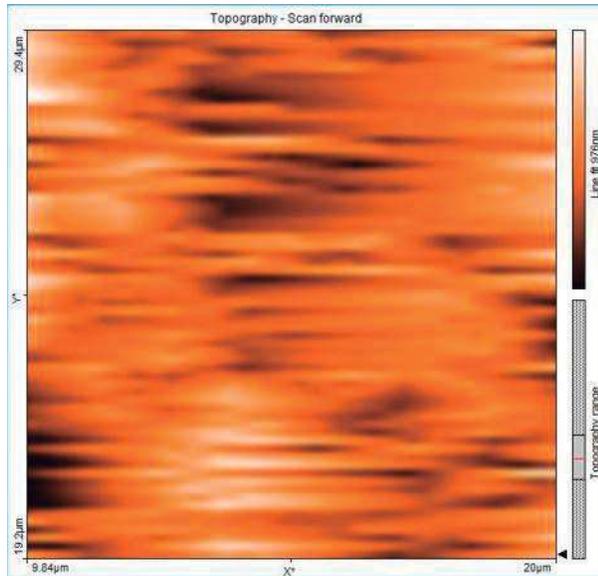


**FIGURA 2.** Grafica para medir la profundidad de los valles tomando la media de los picos. Además de medir el ancho del valle de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 30% de concentración.

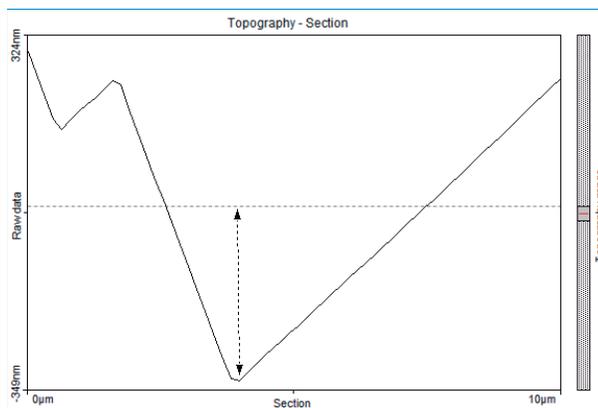


**FIGURA 3.** Imagen en 3D de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 30% de concentración. Se puede observar las zonas blancas (Picos) y las zonas oscuras (Valles).

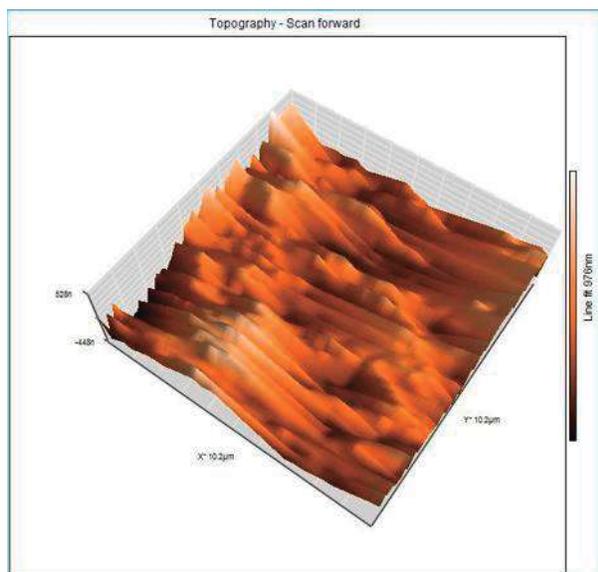
PRUEBA G1 3M (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 37%)



**FIGURA 1.** Imagen de Topografía de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 37% de concentración. Se pueden observar los valles (zonas oscuras).

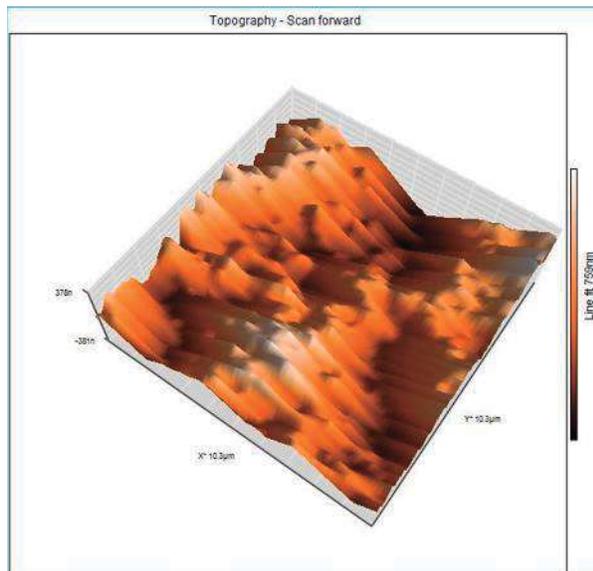
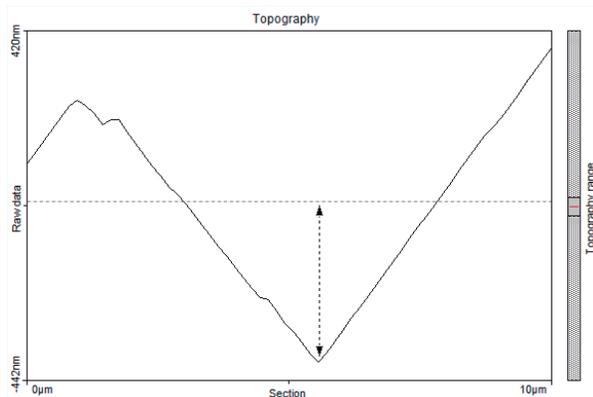
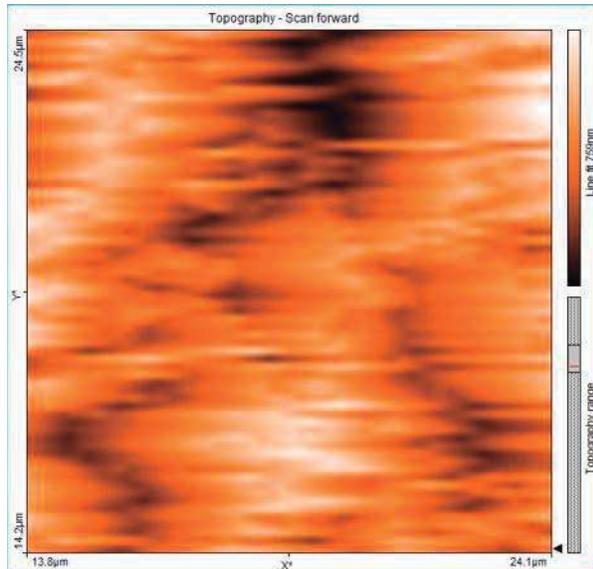


**FIGURA 2.** Grafica para medir la profundidad de los valles tomando la media de los picos. Además de medir el ancho del valle de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 37% de concentración.



**FIGURA 3.** Imagen en 3D de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 37% de concentración. Se puede observar las zonas blancas (Picos) y las zonas oscuras (Valles). La imagen muestra unos valles demasiado amplios lo que indica un elevado daño al esmalte.

PRUEBA G2 3M ( $H_3PO_4$  37%)

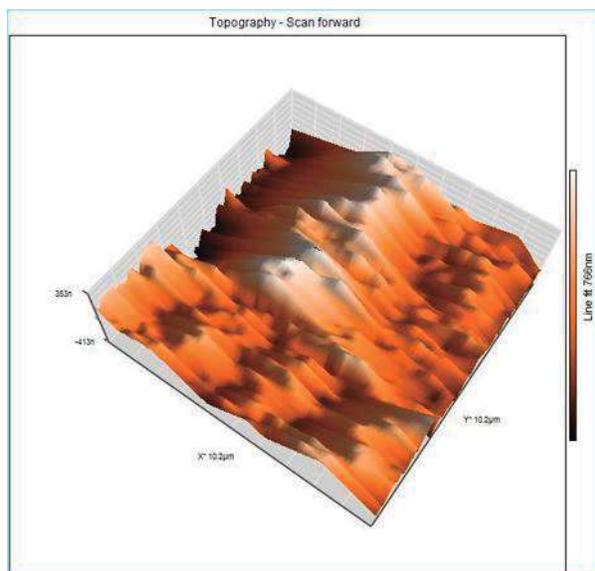
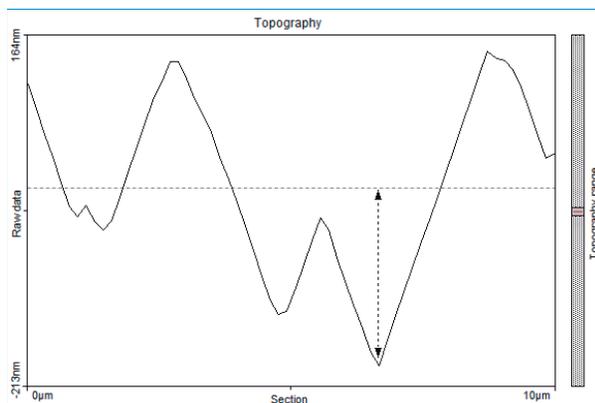
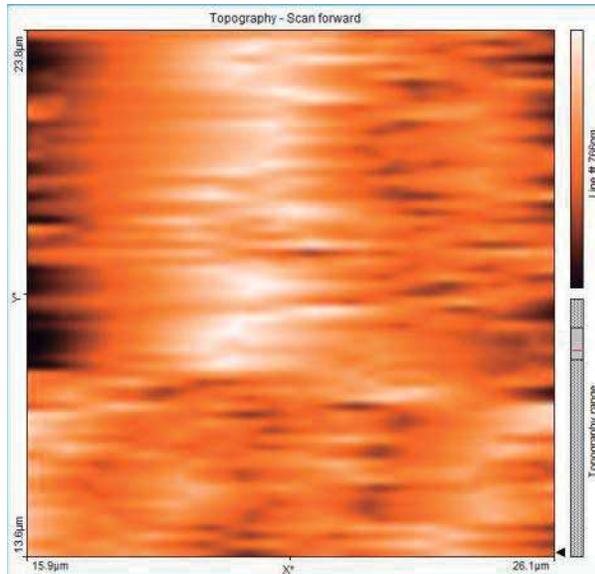


**FIGURA 1.** Imagen de Topografía de una pieza con ataque de  $H_3PO_4$  al 37% de concentración. Se pueden observar los valles (zonas oscuras).

**FIGURA 2.** Grafica para medir la profundidad de los valles tomando la media de los picos. Además de medir el ancho del valle de una pieza con ataque de  $H_3PO_4$  al 37% de concentración.

**FIGURA 3.** Imagen en 3D de una pieza con ataque de  $H_3PO_4$  al 37% de concentración. Se puede observar las zonas blancas (Picos) y las zonas oscuras (Valles). La imagen muestra unos valles demasiado amplios y profundos lo que indica un mayor daño al esmalte.

PRUEBA G3 3M ( $H_3PO_4$  37%)

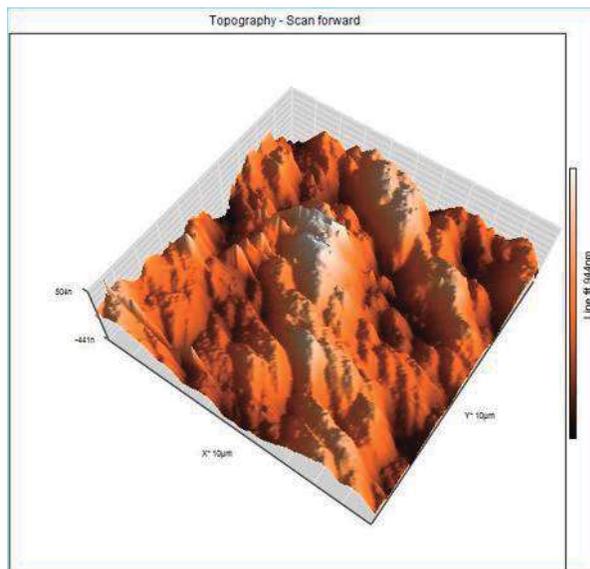
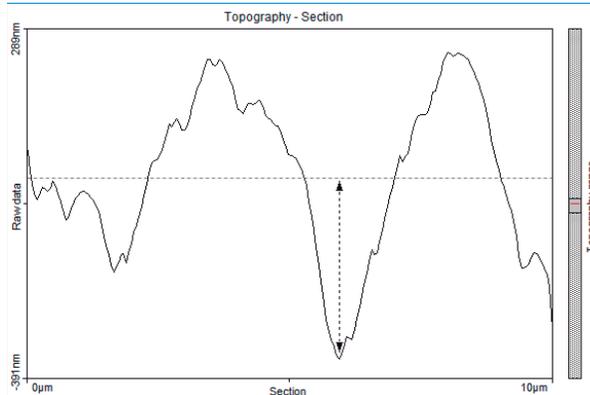
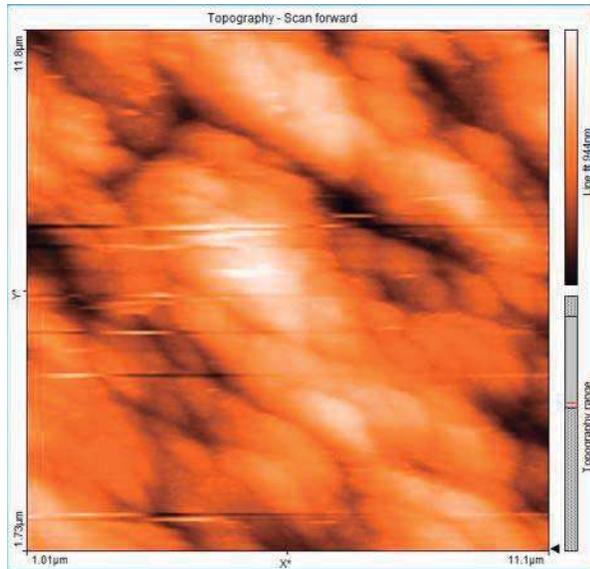


**FIGURA 1.** Imagen de Topografía de una pieza con ataque de  $H_3PO_4$  al 37% de concentración. Se pueden observar los valles (zonas oscuras).

**FIGURA 2.** Grafica para medir la profundidad de los valles tomando la media de los picos. Además de medir el ancho del valle de una pieza con ataque de  $H_3PO_4$  al 37% de concentración.

**FIGURA 3.** Imagen en 3D de una pieza con ataque de  $H_3PO_4$  al 37% de concentración. Se puede observar las zonas blancas (Picos) y las zonas oscuras (Valles). La imagen muestra unos valles muy amplios.

PRUEBA H1 PRODENSA (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 37%)

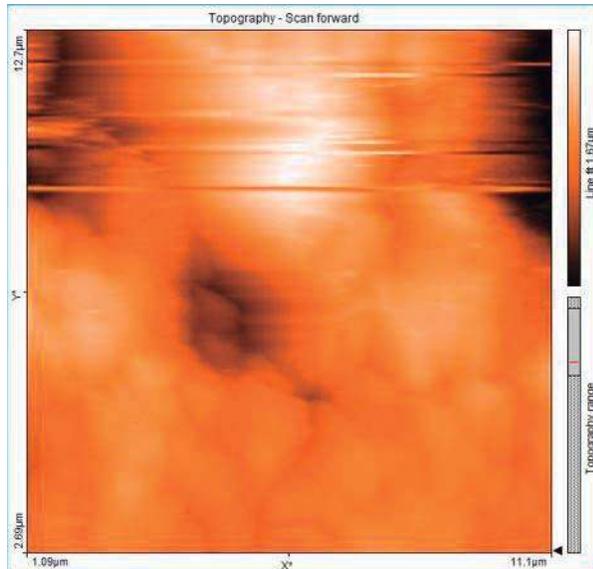


**FIGURA 1.** Imagen de Topografía de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 37% de concentración. Se pueden observar los valles (zonas oscuras).

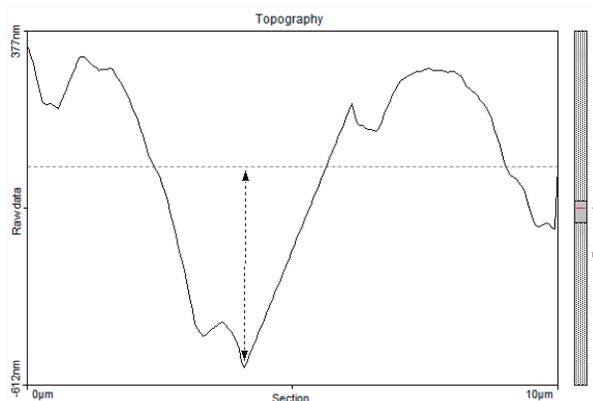
**FIGURA 2.** Grafica para medir la profundidad de los valles tomando la media de los picos. Además de medir el ancho del valle de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 37% de concentración.

**FIGURA 3.** Imagen en 3D de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 37% de concentración. Se puede observar las zonas blancas (Picos) y las zonas oscuras (Valles).

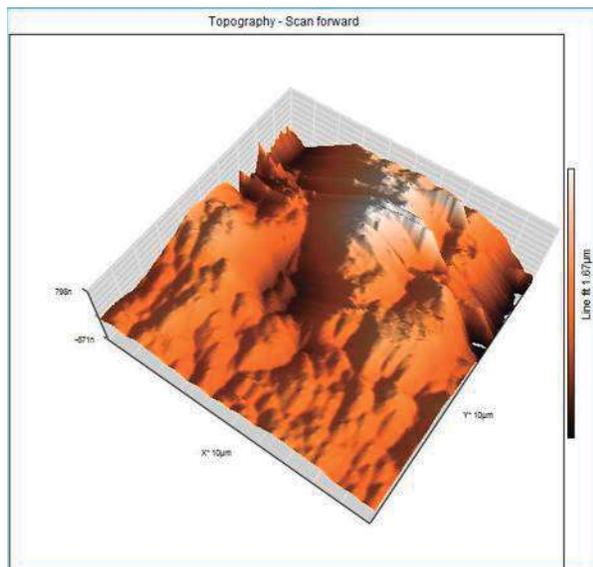
PRUEBA H2 PRODENSA (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 37%)



**FIGURA 1.** Imagen de Topografía de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 37% de concentración. Se pueden observar los valles (zonas oscuras). La imagen presenta unos valles incompletos pero demasiado grandes.

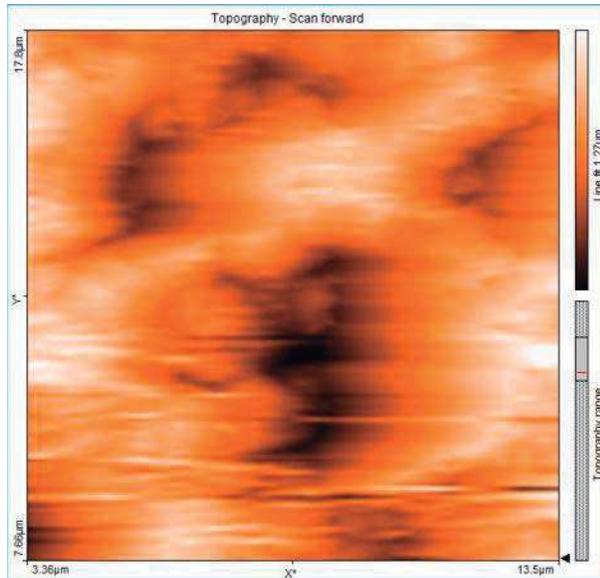


**FIGURA 2.** Grafica para medir la profundidad de los valles tomando la media de los picos. Además de medir el ancho del valle de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 37% de concentración.

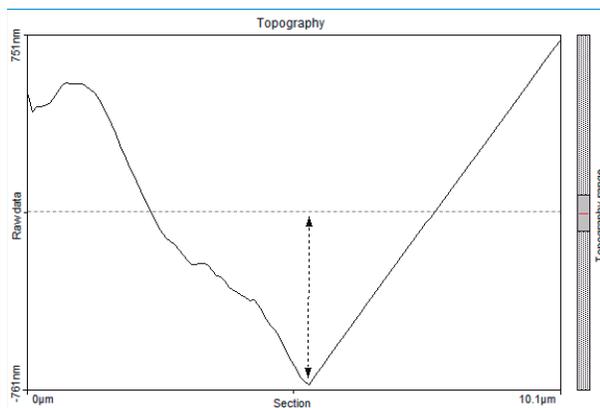


**FIGURA 3.** Imagen en 3D de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 37% de concentración. Se puede observar las zonas blancas (Picos) y las zonas oscuras (Valles). La imagen muestra unos valles incompletos debido a su gran tamaño y muy profundos.

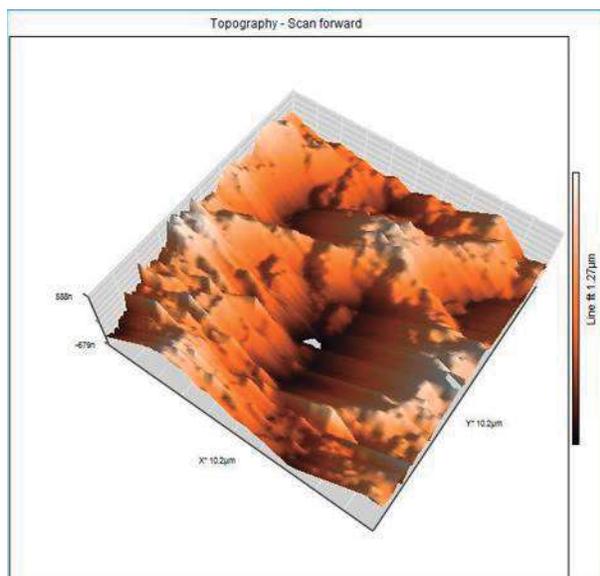
PRUEBA H3 PRODENSA (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 37%)



**FIGURA 1.** Imagen de Topografía de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 37% de concentración. Se pueden observar los valles (zonas oscuras). La imagen presenta unos valles demasiado grandes.



**FIGURA 2.** Grafica para medir la profundidad de los valles tomando la media de los picos. Además de medir el ancho del valle de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 37% de concentración.



**FIGURA 3.** Imagen en 3D de una pieza con ataque de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> al 37% de concentración. Se observan las zonas blancas (Picos) y las zonas oscuras (Valles). En el centro un punto blanco es un valle muy profundo, y se desconoce con exactitud la profundidad ya que el cantiléver solo baja hasta 7µm por protección del microscopio.

**VALORACIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL ESMALTE POSTERIOR AL GRABADO CON ÁCIDO FOSFÓRICO A DIFERENTES CONCENTRACIONES**

**TABLA 1. Valores obtenidos con el MFA al Calcular la Rugosidad del Área.**

	Área pm <sup>2</sup>	Sa nm	Sq nm	Sy nm	Sp nm	Sv nm	Sm
CONTROL 1	102	46.529	60.611	479.53	232.33	-247.2	218.31 pm
CONTROL 2	102	53.092	64.641	395.35	185.95	-214.4	-885.29 fm
CONTROL 3	104.4	34.249	42.539	340.46	170.45	-170.01	940.58 fm
A1 5%	103.6	63.953	79.114	452.2	240.2	-212	216.24 pm
A2 5%	103.6	45.202	60.826	446.3	182.48	-263.82	216 pm
A3 5%	107.6	60.721	76.425	535.07	246.11	-288.97	218.08 pm
B1 10%	103.6	129.59	160.77	1144.5	646.92	-497.57	220.22 pm
B2 10%	101.6	207.53	256.33	1525.2	685.62	-839.56	219.23 pm
B3 10%	103.6	104.21	132.8	808.4	372.06	-436.35	219.31 pm
C1 15%	104.2	191.55	234.35	*1.394 μm	798.89	-595.1	218.02 pm
C2 15%	104.2	213.29	254.74	1273.1	691.53	-581.54	-619.46 fm
C3 15%	104.2	105.09	134.47	1038.9	562.3	-476.58	218.65 pm
D1 20%	105.7	166.5	200.17	996.24	513.97	-482.27	-425.41 fm
D2 20%	107.2	64.054	89.369	602.86	266.44	-336.42	-2919.3 fm
D3 20%	102	230.16	288.67	1994.9	883.74	-1111.1	-280.84 fm
E1 25%	103.6	116.29	141.66	756.14	338.17	-417.98	648.61 fm
E2 25%	103	91.522	112.67	926.7	442.47	-484.23	164.32 pm
E3 25%	107.4	89.945	115.09	929.33	536.28	-393.05	215.59 pm
F1 30%	104.4	120.58	148.96	926.27	547.65	-378.62	213.27 pm
F2 30%	103	175.43	216.06	1382.4	636.42	-745.98	-1805.1 fm
F3 30%	107.8	210.19	252.8	1623.4	986.07	-637.3	95.509 nm
G1 3M	103.6	112.06	141.76	1061.8	529.93	-531.9	-904.05 fm
G2 3M	106.8	108.02	132.69	808.62	409.89	-398.74	218.57 pm
G3 3M	103.6	110.72	137.93	840.77	374.25	-466.72	218.07 pm
H1 PD	101.3	135.48	168.43	1418.3	869.74	-548.52	218.5 pm
H2 PD	101.1	196.83	275.79	2296.4	1048.8	-1247.6	218.81 pm
H3 PD	103.6	199.18	242.53	1529.3	760.19	-769.15	219.27 pm

---

---

**VALORACIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL ESMALTE POSTERIOR AL GRABADO CON ÁCIDO FOSFÓRICO A DIFERENTES CONCENTRACIONES**

---

---

**TABLA 2. Observamos el aumento en  $S_y$  de acuerdo al porcentaje de concentración del ácido grabador ( $H_3PO_4$ ).**

<b>MUESTRAS</b>	<b><math>S_y</math> MEDIA <math>\pm</math> DESVEST</b>
CONTROL	405.11 $\pm$ 70.04
A 5 %	477.85 $\pm$ 49.63
B 10%	1159.36 $\pm$ 358.63
C 15 %	1156 $\pm$ 165.60
D 20 %	1198 $\pm$ 717.61
E 25 %	870.72 $\pm$ 99.24
F 30 %	1310.69 $\pm$ 354.05
G 37 % 3M	903.73 $\pm$ 137.83
H 37 % PD	1748 $\pm$ 478.16

**NOTA: VALORES DADOS EN NANOMETROS (nm).**

Las muestras que rompen el ciclo son E 25% y G 37% 3M que puede ser debido a factores como: la edad del paciente, composición del esmalte, hábitos de alimentación, higiene bucal, área de la muestra analizada. En el caso de la muestra G 37% 3M puede ser debido a los componentes de su fórmula más exacta y controlada, incluso este grabador cuenta con fecha de caducidad a diferencia de otros, ya que es una marca de reconocida calidad y prestigio en el área de la ortodoncia.

---



---

**VALORACIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL ESMALTE POSTERIOR AL GRABADO CON ÁCIDO FOSFÓRICO A DIFERENTES CONCENTRACIONES**

---



---

**TABLA 3. Valores que nos proporciona el MFA al analizar la Profundidad del valle (nanómetros) y Ancho del valle (micras).**

<b>MUESTRA</b>	<b>Height nm</b>	<b>Length <math>\mu\text{m}</math></b>
CONTROL 1	56.05	2.417
CONTROL 2	51.67	3.549
CONTROL 3	78.49	2.587
A1 5%	137.4	4.45
A2 5%	55.09	2.431
A3 5%	83.87	3.401
B1 10%	275.6	2.745
B2 10%	417.7	2.211
B3 10%	208.6	3.502
C1 15%	384.3	3.793
C2 15%	440.5	5.426
C3 15%	320.1	2.919
D1 20%	425.3	4.326
D2 20%	250.4	4.322
D3 20%	543.5	3.268
E1 25%	214.8	3.523
E2 25%	317.8	2.444
E3 25%	212.9	3.353
F1 30%	366.8	4.302
F2 30%	332.2	2.228
F3 30%	519.1	5.387
G1 3M	321.9	4.783
G2 3M	381.7	4.761
G3 3M	184.6	3.913
H1 PD	341.5	1.622
H2 PD	542.2	3.195
H3 PD	705.1	5.264

---



---

**VALORACIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL ESMALTE POSTERIOR AL GRABADO CON ÁCIDO FOSFÓRICO A DIFERENTES CONCENTRACIONES**

---



---

**TABLA 4. Análisis de la pérdida de Rugosidad superficial del esmalte de las piezas tratadas con H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> a diferentes concentraciones en relación a las muestras de control.**

<b>MUESTRAS</b>	<b>Sy MEDIA</b>	<b>PERDIDA DE RUGOSIDAD RESPECTO AL CONTROL</b>	<b>DIFERENCIA</b>
<b>CONTROL</b>	<b>405.11</b>		
<b>A 5 %</b>	<b>477.85</b>	<b>477.85 - 405.11</b>	<b>72.74</b>
<b>B 10%</b>	<b>1159.36</b>	<b>1159.36 - 405.11</b>	<b>754.25</b>
<b>C 15 %</b>	<b>1156</b>	<b>1156 - 405.11</b>	<b>750.89</b>
<b>D 20 %</b>	<b>1198</b>	<b>1198 - 405.11</b>	<b>792.89</b>
<b>E 25 %</b>	<b>870.72</b>	<b>870.72 - 405.11</b>	<b>465.61</b>
<b>F 30 %</b>	<b>1310.69</b>	<b>1310.69 - 405.11</b>	<b>905.58</b>
<b>G 37 % 3M</b>	<b>903.73</b>	<b>903.73 - 405.11</b>	<b>498.62</b>
<b>H 37 % PD</b>	<b>1748</b>	<b>1748 - 405.11</b>	<b>1342.89</b>

## 9. DISCUSIÓN.

En la actualidad la estética y los efectos nocivos en las piezas dentales son factores de gran importancia para los pacientes al momento de tomar la decisión de iniciar un tratamiento de ortodoncia con aparatología fija. Ya que es muy común escuchar rumores de sensibilidad durante y después del tratamiento debido a los métodos utilizados. El ortodoncista a diario se enfrenta a este problema debido al procedimiento de acondicionamiento del esmalte con  $H_3PO_4$  al 37% provocando una desmineralización en la superficie dental previa a la adhesión del bracket.

Por este motivo los investigadores así como las casas comerciales se han enfocado a estudiar y analizar el tipo de ácido grabador, la concentración del ácido grabador y su tiempo de aplicación para evitar mayores daños en el esmalte durante y después del tratamiento sin afectar la resistencia a la fuerza de adhesión del bracket con el esmalte.

La adhesión de los brackets directamente a la superficie de los dientes se ha convertido en la práctica común; desafortunadamente, entre 0.5% y el 16% de la adhesión es fallida. Las numerosas causas han sido propuestas, incluyendo si la profilaxis de la superficie del diente fuera realizada antes del grabado (aunque Barry no reporto ninguna diferencia en porcentaje de fallas cuando la profilaxis fue excluida); el tipo de grabador usado y el tiempo de aplicación; el adhesivo usado; el sistema de brackets utilizado; la destreza manual del clínico; y la fuerza de ligado empleada. Todos estos factores pueden afectar el índice de fallas de la adhesión; Cada uno de estos factores se ha investigado extensivamente (Hobson 2002).

En este estudio el principal objetivo es analizar la pérdida de Rugosidad del esmalte después de grabar con  $H_3PO_4$  a diferentes concentraciones, conservando la fuerza de resistencia a la adhesión sin afectar demasiado el esmalte, ya que el principio básico de nuestra disciplina nos compromete a conservar los dientes lo más natural y estético posibles (Hipócrates: ejercer mi profesión dignamente y a conciencia, ante todo no dañar).

En la tabla 2 observamos el aumento en  $S_y$  de acuerdo al porcentaje de concentración del ácido fosfórico. Las muestras que rompen el ciclo son E ( $H_3PO_4$  25%) y G ( $H_3PO_4$

37%) 3M pero esto se puede deber a los siguientes factores como: la edad del paciente, composición del esmalte, hábitos de alimentación, higiene bucal, área de la muestra analizada, el tiempo de grabado, pH, composición del ácido (orgánico-inorgánica), concentración del ácido, morfología del esmalte, concentración del fosfato de calcio, sitio del esmalte, viscosidad y el tiempo de enjuague.

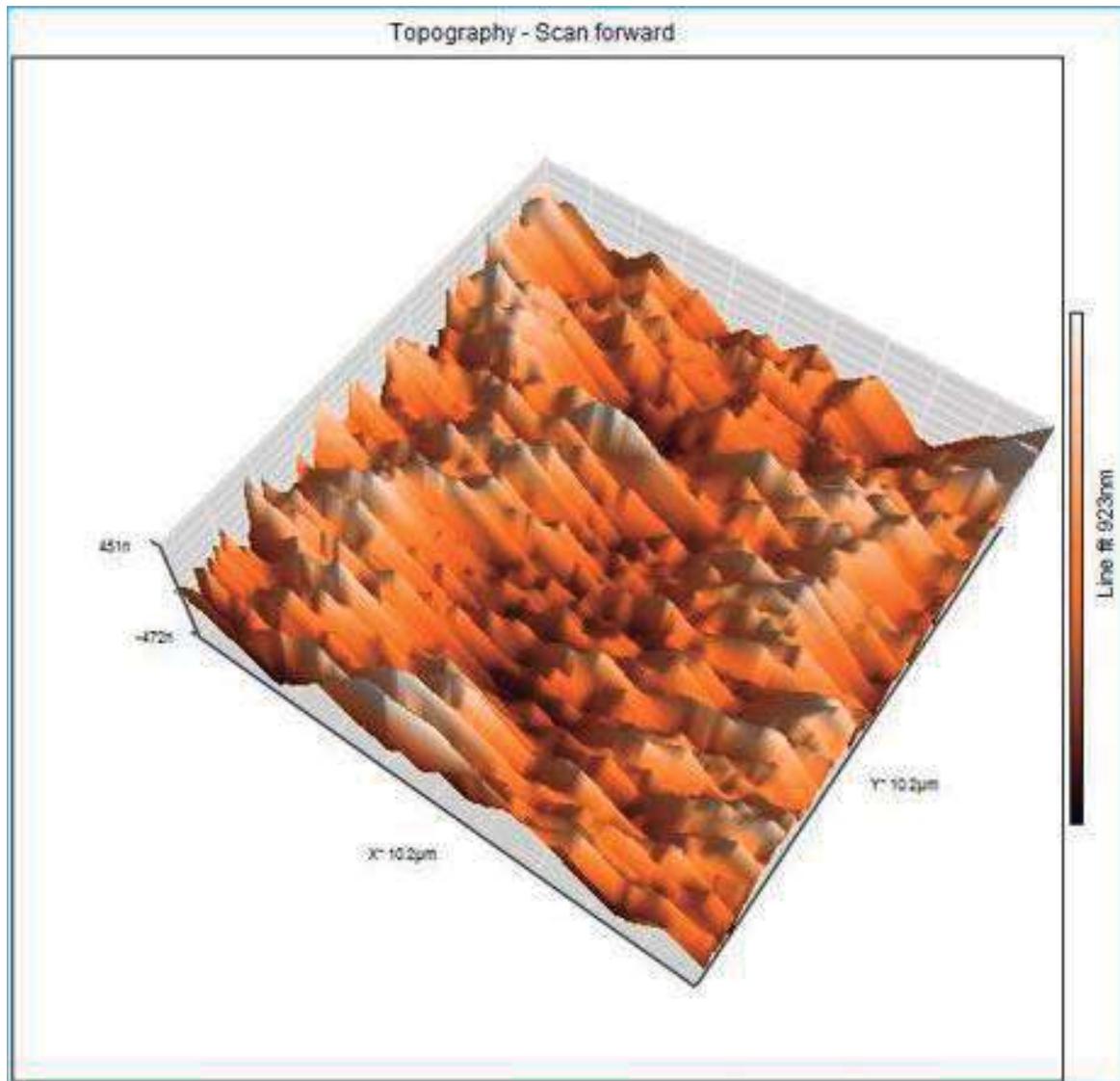
Ya que estos factores influyen también en la fuerza de adhesión entre las superficies del esmalte y el material dental restaurativo. Sin embargo, en este proceso, los microporos de la superficie del esmalte creada por el grabado ácido con el ácido fosfórico desempeñan un papel principal en la fuerza de adhesión de los materiales dentales restaurativos para los dientes temporales y permanentes. (Loyola Rodriguez y Cols, 2009).

En el caso de la muestra G 37% 3M puede ser debido a los componentes de su fórmula más exacta y controlada, incluso este grabador cuenta con fecha de caducidad a diferencia de otros, ya que es una marca de reconocida calidad y prestigio en el área de la ortodoncia.

En la Prueba B1 en una Imagen en 3D de una pieza con ataque de  $H_3PO_4$  al 10% de concentración, se puede observar las zonas blancas (Picos) y las zonas oscuras (Valles), con un grabado regular y uniforme además de ocasionar un menor daño al esmalte. Esto se ve reflejado en el ancho de los valles siendo más angostos y menos profundos cumpliendo con las expectativas del clínico para un buen grabado ya que esto permite una mejor adhesión de la resina en una mayor área de la superficie sin profundizar demasiado en el esmalte, sólo lo necesario para mantener niveles óptimos en relación a la fuerza de adhesión para ser utilizados en la práctica diaria y a su vez que sean retirados del esmalte dentario una vez concluido el tratamiento ortodóntico con la menor afectación posible a dicho tejido.

Las piezas dentales en las cuales se aplicó el ácido fosfórico a una concentración de 30% presentaron una rugosidad superficial del esmalte de  $1310.69 \pm 354.05$  nm, por otra parte la muestra de ácido fosfórico al 5 % presentó una rugosidad del esmalte de  $477.85 \pm 49.63$  nm. Sin embargo, con la marca comercial Prodensa al 37% de concentración del ácido fosfórico presenta una rugosidad del esmalte de  $1748 \pm 478.16$  nm, siendo esta la que induce mayor daño al tejido.

### Prueba B1 ( $H_3PO_4$ 10%) en una Imagen en 3D



En base a los resultados obtenidos se demostró que el uso de concentraciones menores de  $H_3PO_4$ , la calidad de la adhesión no disminuye; conservando niveles de resistencia a la tensión y compresión óptimos para el tratamiento ortodóncico. Queda demostrado también que se observa una menor pérdida de estructura dentaria lo que repercute en un esmalte con un grado mayor de integridad, a su vez es menos susceptible a retener cantidades excesivas de restos de adhesivo como parte de su estructura final al término del tratamiento. Siempre y cuando se respete el protocolo de grabado ácido para el acondicionamiento del esmalte.

## **10. CONCLUSIONES.**

1.- El MFA permite valorar la rugosidad del esmalte cuando es expuesto a diferentes concentraciones de  $H_3PO_4$  proporcionando datos más precisos, ya que los valores que arroja es a nivel de nanómetros.

2.- El analizar imágenes en 3D de la topografía del esmalte cuando es expuesto a bajas concentraciones de  $H_3PO_4$ , permite apreciar de mejor forma las diferencias de rugosidad del esmalte y así poder establecer un nivel de daño en el tejido comparándolo con el producido al utilizar el  $H_3PO_4$  de las marcas establecidas en el mercado.

3.- Existen diferencias entre las concentraciones de  $H_3PO_4$  en la calidad y uniformidad de grabado, así como en la pérdida de esmalte.

4.- Comprobamos que es suficiente la aplicación por 15 segundos y una concentración baja del ácido grabador para obtener un patrón de grabado uniforme, sin tanto daño en el esmalte, además de que cumple con los estándares de fuerza de resistencia a la adhesión.

## 11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Belloni F, Lazo G, Durso G, Lazo S Ivanov M. Abal A, Tanevich A, Pazos F, Perez P, “Multidireccionalidad de las varillas del esmalte. Estudio al Microscopio Electrónico de Barrido (S.E.M). Implicancias Clínicas”, Facultad De Odontología - UNLP - Argentina.
2. Bishara S E, VonWald L, Laffoon J F, Jackobsen J R 2000 Effect of altering the type of enamel conditioner on the shear bond strength of a resin reinforced glass ionomer adhesive. American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics 118: 288 – 294.
3. Bishara S E, Laffoon J F, VonWald L, Warren J J 2001 a Evaluation of nonrinse conditioning solution and a compomer as an alternative method of bonding orthodontic brackets. Angle Orthodontist 71: 461 – 465.
4. BISHARA E. SAMIR. Ortodoncia. MieGraw-Hill Interamericana. Primera edición. México 2004. Capitulo 14 pág. 211.
5. Buonocore MG. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. J Dent Res 1955; 34:849-53.
6. Espinosa E, Valencia R, Uribe M, Ceja I, Saadia M. Enamel deproteinization and its effect on Acid Etching: An in vitro study. J Clin Pediatr Dent, 2008; 33(1): 13–20.
7. Espinosa R, Valencia R, Uribe M, Ceja I, Cruz J, Saadia M. Resin Replica in Enamel Deproteinization and its Effect on Acid Etching. J Clin Pediatr Dent, 2010; 35(1): 47–52.
8. Gardner Alastair and Hobson Ross. (2001). Variations in acid-etch patterns with different acids and etch times. American Journal of Orthodontics & Dentofacial Orthopedics. Jul; 120(1):64-7.
9. GOMEZ FERRARIS M.E. Histología y Embriología Bucal. Editorial Médica Panamericana. Segunda edición. Madrid, España 2002. Capitulo 10 pág. 271-280.

10. Gomes Moreira M.A. Sistemas adhesivos autograbadores en esmalte: ventajas e inconvenientes. *Avances en Odontoestomatología* 2004; 20-4: 193-198.
11. Graber TM, Vanarsdall RL. *Ortodoncia principios generales y técnicas*. Editorial Médica Panamericana. Segunda edición. Buenos Aires 1999: 520-21, 533.
12. Graber TM, Vanarsdall RL. *Ortodoncia principios generales y técnicas*. Editorial Médica Panamericana. Tercera edición. Buenos Aires 2003: 546.
13. Hashimoto M, Ohno H, Yoshida E, Hoiri M, Kaga M, Oguchi H 2003 Resin-enamel bonds made with self-etching primers on ground enamel. *European Journal of Oral Science* 111: 447 – 453.
14. Hobson Ross S, McCabe John F, Rugg-Gunn Andrew J. The relationship between acid-etch patterns and bond survival in vivo. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2002; 121(5): 502-509.
15. Hobson RS, Rugg-Gunn AJ, Booth TA. (2002). Acid-etch patterns on the buccal surface of human permanent teeth. *Arch oral Boil*. 47(5):407-12.
16. Kaupp Gerd 2006 *Atomic Force Microscopy, Scanning Nearfield Optical Microscopy and Nanoscratching*. Springer.
17. Lazo G, Abal A, Lazo S, Durso G, Belloni F, Ivanov M, Tanevich A, Pazos F, Perez, Cagliada N, "Alteraciones de las varillas del esmalte ante la aplicación de ácidos fosfórico, axálico y maleico al SEM", Facultad de Odontología - UNLP – Argentina.
18. Loyola Rodriguez J P, Zavala Alonso V, Reyes Vela E, Patiño Marin N, Ruiz F and Anusavice K J. (2009). Atomic force microscopy observation of the enamel roughness and depth profile after phosphoric acid etching. *Journal of Electron Microscopy*. Pag: 1-6.
19. NAN YAO, ZHONG LIN WANG. 2005 *HANDBOOK OF MICROSCOPY FOR NANOTECHNOLOGY* Cap. II pag; 325-326.
20. Nature Nanotechnology 2, 507 - 514 2007 publicado online: 29 July 2007. doi:10.1038/nnano.2007.226
21. Newman GV. Epoxy adhesives for orthodontic attachments: progress report. *Am J Orthod* 1965; 51:901-12.

- 22.Scougall Vilchis Rogelio José. Evidencia científica para la aplicación de los agentes de autograbado en ortodoncia clínica. REVISTA ADM. ENERO - FEBRERO. VOL. LXVII. NÚMERO 1. Pag. 8 -12.
- 23.SHINOHARA M S, OLIVEIRA M T de, HIPÓLITO V D, GIANNINI M, GOES M F de. SEM ANALYSIS OF THE ACID-ETCHED ENAMEL PATTERNS PROMOTED BY ACIDIC MONOMERS AND PHOSPHORIC ACIDS. J Appl Oral Sci. 2006; 14(6):427-435.
- 24.Watari Fumio. (2005). In situ quantitative analysis of etching process of human teeth by atomic force microscopy. Journal of Electron Microscopy. 54(3): 299-308.
- 25.WILLIAM R. PROFFIT. ORTODONCIA CONTEMPORANEA Teoría y práctica. Harcourt. TERCERA EDICIÓN. Madrid, España 2001. 398.
- 26.ZAMUDIO BUCIO JOSÉ LUIS. Valorar el grado de Resistencia al desprendimiento de brackets ortodónticos *in vitro*, utilizando diferentes concentraciones del ácido grabador. TESIS 2010.

VALORACIÓN DE LA RUGOSIDAD DEL ESMALTE POSTERIOR AL GRABADO CON ÁCIDO FOSFÓRICO A DIFERENTES CONCENTRACIONES

12. ANEXOS.



Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo  
División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Odontología  
CUEPI

Dependencia
N° de Of.

ASUNTO:

Morelia Michoacán a 16 de Mayo del 2011

Dr. Eduardo Hurtado Delgado

Profesor e Investigador del Posgrado de Metalurgia

Instituto Tecnológico de Morelia

Presente:

Por medio de este conducto nos dirigimos a usted con la finalidad de solicitar apoyo para el uso del Microscopio de Fuerza Atómica, para llevar a cabo el proyecto de Tesis titulado "Cambios en el esmalte dentario posterior al grabado con ácido fosfórico a diferentes concentraciones". Mismo que será realizado de manera conjunta con el Posgrado de Metalurgia del Instituto Tecnológico de Morelia y la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Odontología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Sin otro particular reciba un cordial saludo quedando a sus órdenes y esperando una respuesta favorable.

DR. GUSTAVO BORJA CORTÉS

Alumno de la Especialidad

De Ortodoncia 4° Semestre

Responsable de la Tesis



DR. VIDAL ALMANZA AVILA

Asesor de Tesis

Coordinador de la Especialidad de Ortodoncia

*Eduardo Hurtado  
Recibi original  
27/05/2011*

1/2



Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo  
División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Odontología

CUEPI

Dependencia \_\_\_\_\_

Nº de Of. \_\_\_\_\_

ASUNTO:

### PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

1. Analizar el esmalte de las piezas dentales por medio de MFA antes del grabado con ácido fosfórico.
2. Analizar la superficie del esmalte de las piezas dentales por MFA después del grabado con ácido fosfórico a diferentes concentraciones.
3. Valoración del tipo de patrón de grabado a diferentes concentraciones del ácido grabador.
4. Determinar la cantidad de esmalte perdido después de grabar con ácido fosfórico a diferentes concentraciones por medio del análisis de MFA.



2/2