

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

EFFECTO DE TRATAMIENTOS DE SUPERFICIE SOBRE LA  
CRISTALOGRAFÍA DE LA ZIRCONIA DENTAL

Trabajo final de investigación aplicada sometido a la consideración de la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Odontología para optar por el grado y título de Maestría Profesional en Odontología con énfasis en Prostodoncia

JORGE ANDRÉS SANTAMARÍA VILLALOBOS

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2022

## **Dedicatoria**

Este trabajo final de tesis es la conclusión de un hermoso proceso de formación profesional que ha sido posible por muchísimas personas que han estado a mi alrededor. Dedico, en primer lugar, este trabajo a Dios, quien me dio la vida y también a mi familia: mamá, hermanos y abuelos, que con su esfuerzo y trabajo fue posible que yo estudiara, ellos hicieron todo por darme las herramientas y condiciones para poder desarrollar esta parte de mi vida.

Dedico también esto a todos mis pacientes, quienes creyeron en mi trabajo y mis condiciones para ofrecerles tratamientos dentales y así mejorar su calidad de vida.

## **Agradecimientos**

En este camino de formación profesional he estado rodeado de personas increíbles que me han ayudado y dado la mano para lograr ser quien soy hoy. Agradezco, en primer lugar, a Dios por darme la oportunidad que muchísimas personas desearían; a la Universidad de Costa Rica por ayudarme a hacer realidad mi sueño; a mi familia: mamá, hermanos y abuelos, quienes nunca me dejaron solo y me impulsaron hacia adelante sin miedo a lo que tendría el futuro.

Agradezco a mis compañeros/amigos Ester, Melissa, Diana, Daniela y Adrián, que se convirtieron en hermanos prostodónticos de la familia ProstoUCR. Con ellos desarrollé muchas habilidades y conocimiento, fueron de gran ayuda y guía en momentos difíciles y los mejores compañeros que la vida me pudo dar.

Además, quiero agradecer a mis profesores por nunca darme la espalda y siempre exigirme y tratar de dar lo mejor, ellos con su sabiduría me formaron y yo traté de aprender de ellos lo más que pude. Definitivamente, quiero ser como ellos, porque son los mejores.

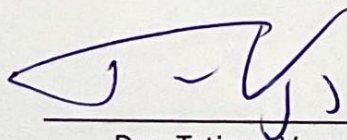
También, deseo agradecer en general a todas las personas que estuvieron conmigo desde asistentes, misceláneos, amigos, administrativos, todos fueron muy importantes en esto y les quiero decir que, sin ellos, esto no hubiese sido posible.

«Este trabajo final de investigación aplicada fue aceptado por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Odontología de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado y título de Maestría Profesional en Odontología con énfasis en  
Prostodoncia»



---

Dr. Adrián Gómez Fernández  
**Representante de la Decana  
Sistema de Estudios de Posgrado**



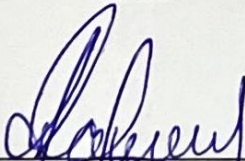
---

Dra. Tatiana Vargas Koudriavtsev  
**Profesora Guía**

AUSENCIA POR ESCUSA

---

Dr. Óscar Andrey Herrera Sancho  
**Lector**



---

Dr. David Lafuente Marín  
**Lector**



---

Dra. Evelyn Loaiza Azofeifa  
**Representante del Director del Programa de Posgrado en Odontología**



---

Jorge Andrés Santamaría Villalobos  
**Sustentante**

## Tabla de Contenido

Dedicatoria .....	ii
Agradecimientos.....	iii
Hoja de aprobación.....	iv
Tabla de Contenido.....	v
Lista de Tablas.....	vii
Lista de Figuras .....	xi
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del problema .....	4
1.3 Justificación.....	5
1.4 Pregunta de investigación.....	5
1.5 Objetivo general .....	6
1.6 Objetivos específicos .....	6
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....	7
2.1 Modificaciones superficiales de las restauraciones en zirconia.....	7
2.2 Tratamiento con fresas de desgaste .....	8
2.3 Métodos experimentales para análisis superficial.....	8
CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO .....	15
3.1 Hipótesis diferencia de grupos .....	15
3.2 Definición conceptual .....	15
3.3 Definición operacional .....	16
3.4 Variables .....	16
3.5 Aspectos bioéticos .....	17
3.6 Lugar de realización .....	17
3.7 Materiales y métodos .....	17

3.7.1	Fabricación de los especímenes .....	17
3.7.2	Difracción de rayos X (DRX) .....	21
3.7.3	Perfilometría.....	22
3.7.4	Microscopía Electrónica de Barrido (MEB).....	22
3.8	Diseño estadístico .....	23
CAPÍTULO IV RESULTADOS.....		24
4.1	Difracción de rayos X .....	24
4.2	Perfilometría .....	39
4.3	Análisis cristalográfico .....	40
4.4	Análisis con microscopía electrónica de barrido (MEB).....	44
CAPÍTULO V DISCUSIÓN .....		48
5.1	Discusión .....	48
CAPÍTULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		53
6.1	Conclusiones .....	53
6.2	Recomendaciones.....	53
Referencias Bibliográficas .....		54
APÉNDICE.....		58
ANEXO.....		84
Carta de la filóloga .....		84

## Lista de Tablas

Tabla 1. Tabla de materiales .....	17
Tabla 2. Distribución de frecuencia según FWHM y ángulo de máxima altura del pico por en promedio por grupo .....	25
Tabla 3. Resumen de prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes para la ubicación del ángulo de máxima altura del IM (111).....	27
Tabla 4. Resumen de prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes para FWHM del índice de Miller (111) .....	28
Tabla 5. Resumen de la prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes para la ubicación del ángulo de máxima altura del IM (200).....	29
Tabla 6. ANOVA para área del índice de Miller (200).....	30
Tabla 7. ANOVA para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (220) .....	31
Tabla 8. Resumen de contrastes de hipótesis para FWHM del índice de Miller (220).....	32
Tabla 9. Prueba de Kruskal-Wallis resumen de contrastes de hipótesis para FWHM del índice de Miller (311) .....	33
Tabla 10. Resumen de prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (222) .....	35
Tabla 11. Prueba de Kruskal-Wallis resumen de contrastes de hipótesis para FWHM del índice de Miller (222) .....	36
Tabla 12. Resumen de prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (400) .....	37
Tabla 13. Prueba de Kruskal-Wallis resumen de contrastes de hipótesis para FWHM del índice de Miller (400) .....	38
Tabla 14. Rugosidad promedio en micras, por grupo experimental .....	46
Tabla 15. Análisis de rugosidad promedio de la zirconia utilizada en odontología, por grupo experimental .....	47
Tabla 16. Resumen de generalidades de las zirconias más utilizadas en la actualidad (6) .....	58

Tabla 17. Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wild para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (111), según los grupos.....	59
Tabla 18. Prueba post hoc de comparación por parejas de grupo para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (111), según los grupos .....	59
Tabla 19. Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wild para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (111), según los grupos.....	60
Tabla 20. Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (111) .....	60
Tabla 21. Análisis de comportamiento para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (111) .....	61
Tabla 22. Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wild para FWHM del IM (111) .....	61
Tabla 23. Análisis de comportamiento para FWHM del índice de Miller (111), según los grupos.....	62
Tabla 24. Prueba post hoc de comparación por parejas de grupo del FWHM del índice de Miller (111)...	62
Tabla 25. Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas del FWHM del índice de Miller (111) .....	63
Tabla 26. Análisis de comportamiento para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (200), según los grupos .....	63
Tabla 27. Resumen de prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes para índice de Miller (200) ...	64
Tabla 28. Prueba post hoc de comparación por parejas de grupo para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (200) .....	64
Tabla 29. Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (200) .....	65
Tabla 30. Prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wild para FWHM del IM (200), según grupos .....	65
Tabla 31. Análisis de comportamiento para FWHM del índice de Miller (200), según los grupos.....	66
Tabla 32. Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas del FWHM del índice de Miller (200) .....	66
Tabla 33. Prueba post hoc de comparación por parejas de grupo del FWHM del índice de Miller (200)...	67



Tabla 34. Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wild para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (220), según los grupos.....	67
Tabla 35. Análisis de comportamiento para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (220), según los grupos .....	68
Tabla 36. Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (220). .....	68
Tabla 37. Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wild para FWHM del índice de Miller (220), según los grupos .....	69
Tabla 38. Análisis de comportamiento para FWHM del índice de Miller (220), según los grupos.....	69
Tabla 39. Prueba post hoc de comparación por parejas de grupo del FWHM del índice de Miller (220)...	70
Tabla 40. Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas del FWHM del índice de Miller (220) .....	70
Tabla 41. Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wild para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (311), según los grupos.....	71
Tabla 42. Análisis comparativo para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (311), según los grupos.....	71
Tabla 43. Prueba post hoc de comparación por parejas de grupo del ángulo de máxima altura del índice de Miller (311).....	72
Tabla 44. Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (311) .....	72
Tabla 45. Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wild para FWHM del índice de Miller (311), según los grupos .....	73
Tabla 46. Análisis de comportamiento para FWHM del índice de Miller (311), según los grupos.....	73
Tabla 47. Prueba post hoc de comparación por parejas de grupo del FWHM del índice de Miller (311)...	74
Tabla 48. Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas del FWHM del índice de Miller (311) .....	74
Tabla 49. Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wild para la ubicación del ángulo de máxima altura del IM (222), según los grupos .....	75

Tabla 50. Análisis para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (222), según los grupos .....	75
Tabla 51. Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas para el ángulo de máxima altura del índice de Miller (222).....	76
Tabla 52. Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wild para FWHM del índice de Miller (222), según los grupos .....	76
Tabla 53. Análisis de comportamiento para FWHM del índice de Miller (222), según los grupos.....	77
Tabla 54. Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas del FWHM del índice de Miller (222) .....	77
Tabla 55. Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wild para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (400), según los grupos.....	77
Tabla 56. Prueba post hoc de comparación por parejas de grupo del ángulo de máxima altura del índice de Miller (400).....	78
Tabla 57. Análisis comparativo para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (400), según los grupos.....	79
Tabla 58. Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (400) .....	79
Tabla 59. Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wild para FWHM del índice de Miller (400), según los grupos .....	80
Tabla 60. Prueba post hoc de comparación por parejas de grupo del FWHM del índice de Miller (400)...	80
Tabla 61. Análisis de comportamiento para FWHM del índice de Miller (400), según los grupos.....	81
Tabla 62. Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas del FWHM del índice de Miller (400) .....	81
Tabla 63. Distribución de Frecuencias por número de grupo, nombre y cantidad de especímenes .....	82
Tabla 64. Muestra la rugosidad media (Ra) por grupo UNIDAD.....	82
Tabla 65. Pruebas de los efectos intersujetos. Variable dependiente: rugosidad medida .....	82
Tabla 66. Comparaciones múltiples y prueba de Bonferroni de comparaciones múltiples.....	83

## Lista de Figuras

Figura 1. Esquema de sinterización para la marca Kuraray.....	18
Figura 2. Esquema del dispositivo portátil para el arenado de las muestras de zirconia.....	19
Figura 3. Esquema del dispositivo portátil para el desgaste de las muestras de zirconia.....	20
Figura 4. Difractograma de la lectura de uno de los especímenes del grupo control (C-5).....	24
Figura 5. Porcentaje de ensanchamiento del FWHM según grupo por IM .....	25
Figura 6. Cambio del ángulo de lectura del pico principal con respecto al control por IM.....	26
Figura 7. Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (111), según los grupos. $p \leq 0.05$ .....	27
Figura 8. Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes para FWHM del índice de Miller (111), según los grupos. $p \leq 0.05$ .....	28
Figura 9. Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (200), según los grupos. $p \leq 0.05$ .....	29
Figura 10. Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes para FWHM del índice de Miller (200), según los grupos. $p \leq 0.05$ .....	30
Figura 11. Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (220), según los grupos. $p \leq 0.05$ .....	31
Figura 12. Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes para FWHM del índice de Miller (220), según los grupos. $p \leq 0.05$ .....	32
Figura 13. Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (311), según los grupos. $p \leq 0.05$ .....	33
Figura 14. Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes para FWHM del índice de Miller (311), según los grupos. $p \leq 0.05$ .....	34
Figura 15. Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (222), según los grupos. $p \leq 0.05$ .....	35
Figura 16. Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes para FWHM del índice de Miller (222), según los grupos. $p \leq 0.05$ .....	36
Figura 17. Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (400), según los grupos. $p \leq 0.05$ .....	37
Figura 18. Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes para FWHM del índice de Miller (222), según los grupos. $p \leq 0.05$ .....	38
Figura 19. Análisis de rugosidad promedio en micras, según grupo.....	39
Figura 20. Muestra la dependencia lineal entre las variables estableciendo $4 \cdot \sin(hkl)$ en el eje (x) y $\beta \cdot \cos(hkl)$ en el eje (y) para el grupo 5.....	40

Figura 21. Muestra la dependencia lineal entre las variables estableciendo $4 \cdot \sin(hkl)$ en el eje (x) y $\beta \cdot \cos(hkl)$ en el eje (y) para el grupo 1 .....	41
Figura 22. Muestra la dependencia lineal entre las variables estableciendo $4 \cdot \sin(hkl)$ en el eje (x) y $\beta \cdot \cos(hkl)$ en el eje (y) para el grupo 2 .....	41
Figura 23. Muestra la dependencia lineal entre las variables estableciendo $4 \cdot \sin(hkl)$ en el eje (x) y $\beta \cdot \cos(hkl)$ en el eje (y) para el grupo 3 .....	42
Figura 24. Muestra la dependencia lineal entre las variables estableciendo $4 \cdot \sin(hkl)$ en el eje (x) y $\beta \cdot \cos(hkl)$ en el eje (y) para el grupo 4 .....	42
Figura 25. Espécimen arenado con partículas de óxido de aluminio de $50 \mu\text{m}$ .....	44
Figura 26. Espécimen arenado con partículas de óxido de aluminio de $110 \mu\text{m}$ .....	44
Figura 27. Espécimen desgastado con fresa de diamante con irrigación .....	45
Figura 28. Espécimen desgastado con fresa de diamante sin irrigación .....	45
Figura 29. Espécimen del grupo experimental 5 que no recibió tratamiento de superficie .....	46



UNIVERSIDAD DE  
COSTA RICA

SEP Sistema de  
Estudios de Posgrado

**Autorización para digitalización y comunicación pública de Trabajos Finales de Graduación del Sistema de Estudios de Posgrado en el Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica.**

Yo, Jorge Andrés Santamaria Villelobos, con cédula de identidad 206720617, en mi condición de autor del TFG titulado Efecto de tratamientos de superficie sobre la Cristalografía de la Zircona Dental

Autorizo a la Universidad de Costa Rica para digitalizar y hacer divulgación pública de forma gratuita de dicho TFG a través del Repositorio Institucional u otro medio electrónico, para ser puesto a disposición del público según lo que establezca el Sistema de Estudios de Posgrado. SI  NO

\*En caso de la negativa favor indicar el tiempo de restricción: \_\_\_\_\_ año (s).

Este Trabajo Final de Graduación será publicado en formato PDF, o en el formato que en el momento se establezca, de tal forma que el acceso al mismo sea libre, con el fin de permitir la consulta e impresión, pero no su modificación.

Manifiesto que mi Trabajo Final de Graduación fue debidamente subido al sistema digital Kerwá y su contenido corresponde al documento original que sirvió para la obtención de mi título, y que su información no infringe ni violenta ningún derecho a terceros. El TFG además cuenta con el visto bueno de mi Director (a) de Tesis o Tutor (a) y cumplió con lo establecido en la revisión del Formato por parte del Sistema de Estudios de Posgrado.

FIRMA ESTUDIANTE

Nota: El presente documento constituye una declaración jurada, cuyos alcances aseguran a la Universidad, que su contenido sea tomado como cierto. Su importancia radica en que permite abreviar procedimientos administrativos, y al mismo tiempo genera una responsabilidad legal para que quien declare contrario a la verdad de lo que manifiesta, puede como consecuencia, enfrentar un proceso penal por delito de perjurio, tipificado en el artículo 318 de nuestro Código Penal. Lo anterior implica que el estudiante se vea forzado a realizar su mayor esfuerzo para que no sólo incluya información veraz en la Licencia de Publicación, sino que también realice diligentemente la gestión de subir el documento correcto en la plataforma digital Kerwá.

## CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

La alta demanda estética, junto con requisitos de biocompatibilidad, ha favorecido la elección de sistemas cerámicos para la aplicación en odontología, siendo la zirconia uno de los materiales de elección en muchas ocasiones. Este es un material altamente resistente y con propiedades favorables para su aplicación en el medio oral (1). La fabricación de este material se realiza mediante el diseño asistido por computadora (*computer-aided design/computer-aided manufacturing* [CAD-CAM]). El uso de zirconia dental elaborada por medio de CAD-CAM permite realizar restauraciones de acuerdo con las necesidades y tipo de tratamiento que se vaya a indicar por medio del clínico; además, es un material cuya elaboración es económica y requiere menor tiempo de producción (2).

El material que se utiliza en odontología es un dióxido de zirconio, el cual se conoce como zirconia que, a su vez, se clasifica como una cerámica policristalina (3). Corresponde a un electrolito de estado sólido de alta temperatura, un componente en cerámica estructural y un material óptico semejante a un vidrio sin tener una composición vitria. Este material es un componente importante en estructuras cerámicas modernas que exhiben transiciones de fase. El material presenta tres fases cristalográficas: monoclinica (con un ámbito de temperatura que va desde la ambiente hasta 1167 °C), tetragonal (desde los 1167 °C hasta 2367 °C) o cúbica (para temperaturas superiores a 2367 °C) [4, 5].

La fase monoclinica de la zirconia no posee grandes propiedades mecánicas, pues no tiene una adecuada resistencia a la fractura. Con la incorporación de ciertos estabilizadores o dopantes en polvo, permite que la fase tetragonal se establezca parcialmente dentro de la microestructura a temperatura ambiente (6). La transformación de fases de tetragonal a monoclinica activadas por tensiones aplicadas externamente se manifiestan como resultado de la expansión y el cambio dimensional de los granos individuales, ya que absorbe energía y produce resistencia al daño. De los diversos dopantes utilizados, la itria (fórmula química  $Y_2O_3$ ) ha demostrado ser la más efectiva para lograr una combinación de alta resistencia y resultados estéticos aceptables. Así, el 3 % en

zirconia policristalina tetragonal estabilizada (3Y-TZP) (Policristal de circonio tetragonal estabilizado con itrio al 3 % en moles) (3 mol % yttria-stabilized tetragonal zirconia polycrystal) se ha convertido en la cerámica dental básica para restauraciones protésicas (7).

Para la zirconia que se utiliza en odontología hay diferentes porcentajes de estabilizadores; a mayor cantidad, se obtiene una zirconia más translúcida. Un mayor porcentaje de zirconia cúbica y menor cantidad de alúmina ofrece un material más estable, dado que los cristales en forma cúbica no se transforman a zirconia en fase monoclinica. Sin embargo, este aumento de contenido de fase cúbica en el material disminuye las propiedades mecánicas como fuerza y resistencia a la fractura, dando como resultado un material ópticamente atractivo, pero con propiedades mecánicas disminuidas o semejantes a otros materiales cerámicos como el disilicato de litio (6, 8).

Existen diferentes generaciones de zirconia utilizada en odontología. La primera generación 3Y-TZP contiene aproximadamente un 0.25 % (del peso total) de alúmina (fórmula química  $Al_2O_3$ ), la cuales proporcionaba una excelente propiedad mecánica con resistencia a la flexión mayor a 1GPa, sin embargo, presentaba también propiedades ópticas deficientes. Su indicación inicialmente fue como subestructura, pero luego presentó complicaciones como delaminación o grietas (*cracks*) en la estructura de recubrimiento. De este tipo de material también se propuso elaborar implantes y pilares, sin embargo la literatura reporta fracturas en el material más tempranas en comparación con el titanio (6).

En la segunda generación de zirconia utilizada en odontología se comenzó a implementar la estructura monolítica y que, a su vez, ofrezca una óptica y translucidez aceptable. Se redujo la concentración de aditivo de alúmina y llevando un proceso de sinterización a una temperatura más alta. Lo anterior tuvo como resultado una translucidez mejorada y permitió su aplicación en zona posterior, pero aún deficiente para la zona anterior. Este tipo de zirconia tiene características muy semejantes a la primera generación, incluso se reporta que la cantidad de itrio necesaria para estabilizarla a temperatura ambiente es igual a la zirconia de primera generación y un contenido de fase cúbica no mayor al 15 % (6).

Finalmente, la tercera generación de zirconia llegó con el propósito de tener una estructura con mejores propiedades como, por ejemplo, translucidez, textura, resistencia, módulo de elasticidad, que se acercaran a las características naturales del órgano dental. Esto fue posible con la adición de mayor cantidad de estabilizador 4 % en moles (4Y-PSZ) o 5 % en moles (5Y-PSZ), con cantidades incrementadas de fase cúbica. Esta generación presenta mayor cantidad de translucidez, pero una resistencia disminuida, pues la zirconia cúbica no tiene transformación de fase inducida por estrés mecánico. Este tipo de material está indicado en restauraciones anteriores, coronas o puentes en el sector anterior y que no sean mayores a tres unidades.

Las características reportadas para esta generación de zirconia la clasifican como la de menor resistencia, inclusive una de primera generación puede presentar hasta tres veces más resistencia flexural que una de tercera generación. Además, en su composición se puede observar que la cantidad de fase cúbica no va a ser menor del 25 % siendo referenciado en algunas marcas comerciales el uso de fase cúbica hasta en un 50 % (6).

En el apéndice de este documento, se puede observar la Tabla 16 de los autores Zhang y Lawn (6) para tener más información acerca de las marcas y porcentajes de fases del material. Según lo expuesto por Kolakarnprasert (9), el tamaño de grano promedio de la zirconia Ultra Translúcida Multicapa es de aproximadamente  $4.1 \pm 0.9 \mu\text{m}$ , o bien, el trabajo de Inokoshi (10) reporta un tamaño de grano de alrededor de  $1.7 \pm 0.4 \mu\text{m}$ . Se puede encontrar en el mercado zirconia de tercera generación bajo el registro de Katana UT/UTML (Kuraray Noritake), BruxZir Anterior (Glidewell), Prettau Zirconia (Zirconzhan) y Cercon xt (Dentsply Sirona).

La temperatura y el tiempo de sinterización de la zirconia utilizada en odontología juegan un papel muy importante en la parte cristalográfica del material. Comúnmente la estructura microscópica de la zirconia está definida por granos, que corresponden a pequeñas estructuras cristalinas individuales. Existen diferentes tipos de granos en la zirconia:

1. La zirconia estabilizada con 3 % mol de itrio, predominantemente tiene granos tetragonales,
2. la zirconia que contiene desde 4 % a 5 % mol de itrio, contiene alto porcentaje de granos cúbicos y



3. la zirconia con un porcentaje mayor de 5 % mol de itrio, tiene una parte abundante de granos cúbicos mayor a la zirconia con 4-5 % mol de itrio (11).

La forma de los granos tetragonales es birrefringente, esto quiere decir que la luz tiene una dirección preferida para viajar a través del grano. Lo anterior hace que la luz se refleje en los límites de los granos si sus direcciones no se alinean, por lo tanto, la zirconia tetragonal se observa de forma opaca. Por otro lado, los granos cúbicos son isotrópicos, es decir, que la dispersión de la luz no ocurre en los límites de los granos, lo que hace que la zirconia cúbica sea más translúcida (11).

Acerca de los procesos de sinterización del material, Lawson y Maharishi (11) mencionan procesos largos de 7 horas y los compararon con otros cortos de hasta 18 minutos; según los resultados, hay materiales que luego de este último presentan menos translucidez y menor dureza en comparación con el largo, mientras que una revisión de literatura realizada por Ahmed et al. (12) se llega a la conclusión de que una alteración en los procesos de sinterización tiene como consecuencia una disminución en las propiedades microestructurales, mecánicas y ópticas de la zirconia. También, en la literatura se reporta que la dureza de la zirconia puede estar determinada por el tamaño de grano, se menciona que la zirconia estabilizada con 3 % mol de itrio puede presentar mayor dureza cuando se le incrementa la temperatura de sinterización y, además, que con 5 % mol de itrio sufre alteraciones (11).

## **1.2 Planteamiento del problema**

La zirconia es un material frecuentemente utilizado en restauraciones dentales, debido a sus adecuadas propiedades ópticas y mecánicas. Se debe entender desde su composición microestructural qué sucede cuando se realizan tratamientos de superficie al material, tales como arenado o desgaste con instrumentos rotatorios, para lograr los fines restaurativos. Estos tratamientos poseen un efecto en el material que deben ser entendidos y que, a su vez, presentan cambios cristalográficos, los cuales pueden variar el tamaño del cristal y la deformación de red. Además, existe controversia en la literatura en cuanto al arenado y cuál debe ser el tamaño de partícula por utilizar, así como el tratamiento mecánico de desgaste con fresa de diamante y el

efecto de la irrigación durante los desgastes.

### **1.3 Justificación**

Cuando se va a seleccionar un material restaurador, se desea que este presente las características semejantes al órgano dental, tales como biocompatibilidad, estética atractiva, dureza, una rugosidad adecuada. El fin de lograr adherir, ajustar o modificar el material no debe variar sus propiedades, por lo cual es fundamental conocer los efectos microestructurales de los tratamientos de superficie (arenado y desgaste con fresa de diamante) sobre la cristalografía y rugosidad de la zirconia. Asimismo, este estudio se realizará en zirconia dental de tercera generación, material que presenta un mayor porcentaje de zirconia cúbica y una menor dureza cuando se compara con las otras generaciones.

Cuando se refiere a los efectos que tienen los tratamientos de la superficie sobre el material, la literatura es contradictoria (13, 14, 15, 16). En la literatura se encuentran reportes acerca del tamaño de grano de la zirconia, sin embargo, son desiguales entre sí; es muy escasa la que menciona la dimensión del cristal, y esto es relevante dado que es la estructura más pequeña que compone el material. Debe ser desde ahí donde se empieza a estudiar y comprender los cambios que puede sufrir el material (9, 10).

La utilización de DRX permite realizar análisis cuantitativos (medibles y comparables) y cualitativos no destructivos del material, que además admite su estudio desde su punto de partida, el cristalito. (10, 16). Por otro lado, la utilización de perfilometría y microscopía electrónica de barrido (MEB) permiten un análisis profundo para entender el alcance de estos tratamientos de superficie sobre el material, con el objetivo de entender si son superficies modificadas o dañadas (13, 17, 18).

### **1.4 Pregunta de investigación**

¿Cuál es el efecto que tiene el desgaste con fresa y el arenado con óxido de aluminio, sobre la cristalinidad de la zirconia dental y la rugosidad?

### **1.5 Objetivo general**

Identificar el efecto que tienen los tratamientos de superficie de tipo arenado y desgaste con instrumentos rotatorios sobre la cristalinidad de la zirconia. Determinar cambios en el tamaño de cristalito y observar los esfuerzos compresivos/tensiles a los que se expone el material.

### **1.6 Objetivos específicos**

1. Comparar los diferentes tratamientos de superficie en cuanto al efecto sobre el tamaño de cristalito de la zirconia por medio de DRX.
2. Observar el efecto de tensión/compresión que tiene el tratamiento de superficie sobre las muestra en los diferentes grupos.
3. Comparar la rugosidad provocada por los diferentes tratamientos de superficie por medio de análisis de perfilometría.

## CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

### 2.1 Modificaciones superficiales de las restauraciones en zirconia

Idealmente la zirconia debe ser pulida y lisa en su superficie externa para que no tenga retención de placa bacteriana y no desgaste la pieza antagonista. Por otro lado, debe ser rugosa en la superficie interna para mejorar las propiedades de adhesión al sustrato dental, lo que hace que el material posea diferentes manejos según sea el entorno (13).

Algunos tratamientos mecánicos a la zirconia sinterizada pueden alterar la microestructura del material, esto lo hace inestable y sus propiedades inadecuadas para el propósito restaurativo. Se ha reportado un cambio volumétrico como resultado de las transformaciones de fase desde un 3 % y hasta un 5 %, lo cual causa un estrés compresivo que altera la dureza del material. En el ambiente clínico y, específicamente, en restauraciones monolíticas origina preocupación porque la dureza del material, al verse alterado, tiene mayor probabilidad de desgaste en la pieza antagonista comprometiendo así el objetivo de la restauración. Con respecto a lo que son estructuras con recubrimiento de cerámica, este cambio volumétrico puede afectar el material de recubrimiento, produciendo por lo tanto delaminaciones en la porcelana. También se ha reportado que los tratamientos de superficie crean microfracturas en el material, suficiente para un fallo catastrófico (7, 8, 10, 17, 19, 20, 21).

Con el propósito de buscar la adhesión de los materiales al sustrato dental, se han propuesto diferentes tratamientos de superficie para el material restaurador, que pueden ser utilizando reactivos químicos, de tipo mecánicos o una mezcla de ambos. Los mecanismos que se utilizan con más frecuencia son el arenado con partículas de óxido de aluminio, sílice, arenado con perlas de vidrio, partículas de zirconia, colocar una pequeña capa de porcelana en el intaglio del material o abrasión inducida por fresa de diamante.

Por otro lado, los tratamientos que utilizan reactivos químicos, por lo general, refieren a la necesidad de utilizar *primers* que contengan MDP (10-metacriloxidecilfosfato dihidrogenado), o bien, un agente como Monobond N de IVOCLAR que contiene una solución alcohólica de metacrilato de silano, metacrilato de ácido fosfórico y sulfuro metacrilato. Cuando se maneja a

nivel clínico, el odontólogo puede producir microrrugosidad en la superficie del material para lograr adherir micromecánicamente la restauración al sustrato dental, esto es posible mediante la acción mecánica de arenar con partículas de alúmina, alúmina recubierta con sílice o partículas de zirconia. Este es un procedimiento común en el cual es importante tener en cuenta el tamaño de las partículas, la presión a la cual se ejecuta el arenado y la distancia desde la boquilla del arenador hasta la restauración (8, 13, 22).

## **2.2 Tratamiento con fresas de desgaste**

En el ámbito clínico, la necesidad de ajustes oclusales e interdentales o retoques en la restauración por medio de fresa de diamante con pieza de alta velocidad son frecuentes. Este tipo de tratamiento o desgaste puede llevarse a cabo en presencia o no de un irrigante externo para controlar la temperatura resultante. Este procedimiento produce un aumento de la temperatura por el desgaste, mayor rugosidad, grietas dentro del material o control de residuos, lo cual genera microfracturas o afecta las propiedades mecánicas (23).

## **2.3 Métodos experimentales para análisis superficial**

En la literatura científica se reportan diversos métodos para el análisis superficial de la zirconia que se emplea en odontología. Los más relacionados con este estudio corresponden a difracción de rayos X (DRX), microscopía electrónica de barrido (MEB) y perfilometría. La utilización de estas herramientas permite realizar análisis cualitativos y cuantitativos, según los objetivos de cada investigación.

Particularmente, la metodología DRX es una técnica no destructiva y específica que estudia los materiales mediante lecturas en la superficie y permite obtener un difractograma con el cual se alcanzan diferentes índices de Miller (IM) característicos de cada material. Los IM se utilizan para identificar la orientación en los planos de una red cristalina, de manera que los planos van a ser ejes coordinados e identificables para distintos cristales. Cuando se adquiere un difractograma de zirconia, es esperable obtener 6 IM en aproximadamente los ángulos  $30.21^\circ$ ,  $34.91^\circ$ ,  $50.41^\circ$ ,  $60.21^\circ$ ,  $63.51^\circ$  y  $74.21^\circ$ , con las designaciones (111), (200), (220), (311), (222),

(400), respectivamente. Estos IM se utilizan para describir planos y direcciones dentro de la estructura cristalina. Los IM para un plano están representados por la nomenclatura  $(h, k, l)$  donde los paréntesis indican que es un plano y los valores de  $h$ ,  $k$  y  $l$  relacionan las intersecciones del plano con el sistema de ejes. La lectura de estos valores arroja información cualitativa, o bien, cuantitativa por medio de descripciones físicas y matemáticas (13).

El alcance de la transformación de fase de Y-TZP con DRX en superficies cerámicas se lleva a cabo con radiación  $\text{Cu K}\alpha_1$ , que es la incidente sobre la muestra de la cual se obtiene la información deseada (13). Con ayuda de este método se puede determinar también el tamaño de cristalito de zirconia y deformación de red, de la cual la literatura es escasa en cuanto al reporte del tamaño de cristalito. Sin embargo, hay reportes novedosos del tamaño de grano de la zirconia que hablan de  $1.7 \pm 0.4 \mu\text{m}$  (10),  $1.7 \pm 0.3 \mu\text{m}$  (24) y  $4.1 \pm 0.9 \mu\text{m}$  (9).

El uso de MEB permite realizar un mapeo y caracterizar la superficie del material, también observar el resultado superficial de este después de los tratamientos realizados. Este método descrito en la literatura menciona la necesidad de recubrir las muestras con una delgada capa de  $5 \mu\text{m}$  de oro-paladio, por lo que se podría inferir que este tipo de lectura es destructiva sobre el material en estudio y, por lo general, es el último análisis que se le hace a la muestra (13).

La perfilometría consiste en un mapeo de la superficie del material para analizar distancia, tiempo y fuerza aplicada. Este método cuantifica la rugosidad de un material en un área determinada. Funciona mediante un equipo electrónico avanzado que tiene contacto con el material mediante una punta fina o roma que va a enviar al equipo todas las irregularidades superficiales detectadas durante su análisis. Este tipo de estudio mide lo que se conoce como picos y valles, de manera que se obtiene un promedio de esas mediciones para lograr el dato de rugosidad promedio.

En la literatura se encuentran diversos estudios que analizan los efectos de tratamientos superficiales sobre la zirconia, apoyándose en las tres técnicas descritas anteriormente.

Alao et al. (13) analizaron, en el 2017, la transformación de fase, el efecto del cambio dimensional del grano sobre la dureza y el daño sufrido por la zirconia luego de ser maquinado, pulido, sinterizado y arenado con diferentes tamaños de partículas. Los especímenes se arenaron

inmediatamente luego de sinterizarse y, posteriormente, se analizaron por medio de DRX y MEB. Se concluyó que el pulido después del proceso de fresado CAD/CAM no pudo reducir la rugosidad de la superficie. La sinterización rápida después del proceso de fresado CAD/CAM también endureció la superficie del material, debido al engrosamiento inducido del grano y la contracción asociada con su crecimiento. Uno de los inconvenientes metodológicos que se identifican en este estudio es que ellos realizan una sinterización rápida de 4:30 horas y no efectuaron la comparación con un ciclo completo (11).

Chintapalli et al. (14), en el 2013, tenían como objetivo ver el efecto del arenado sobre la transformación de la fase de superficie y el daño a especímenes de zirconia que sinterizaron y, posteriormente, los sometieron a diferentes tratamientos. El grupo control fue sinterizado y pulido, mientras que los grupos experimentales fueron arenados con alúmina de 110  $\mu\text{m}$  a una presión que variaba desde 2 bar hasta los 4 bar y 250  $\mu\text{m}$  a la misma presión mencionada. Además, usaron DRX para determinar la cantidad de zirconia monoclinica en el espécimen. También se utilizó espectroscopia Raman a 100X de aumento y una lectura por 60 segundos, para cuantificar la fase presente en los especímenes a diferentes profundidades en uno cortado por la mitad. La conclusión reportada es que el arenado, indiferentemente de la partícula o de la presión, siempre va a inducir una transformación de fases.

Cabe resaltar que la anterior conclusión es contrastante con lo que menciona Alao et al. (13), donde se reportó que no hay devolución de fase ( $t \rightarrow m$ ). En la metodología de este estudio, los especímenes de zirconia son sinterizados por 2 horas, lo cual podría ser muy poco en comparación con el ciclo de sinterización completa de entre 7 y 12 horas como lo describe (Lawson y Maharishi (11). Además, es importante mencionar que la distancia de arenado corresponde a 25 mm, lo cual va a ejercer una menor presión de las partículas de alúmina sobre la superficie del material. En otros estudios se ha reportado el uso de distancias desde los 10 mm hasta los 15 mm (14, 25, 26).

Más adelante en una misma línea de investigación, Chitapalli et al. (15), en el 2014, llevaron a cabo un estudio donde arenaron zirconia a 2 bar y 4 bar de presión con partículas de 110  $\mu\text{m}$  y 250  $\mu\text{m}$  utilizando ángulos de 30° y 90°, donde se analizó la rugosidad de la superficie y la resistencia biaxial a la flexión, así como la dureza tipo Vickers y concluyeron que se debe angular

a 30° cuando se arena con partículas de alúmina mayores a 110  $\mu\text{m}$ . Además, siempre que se arene la zirconia, se va a producir una rugosidad en la superficie. Se demostró que, si se arena con partículas iguales o menores a 110  $\mu\text{m}$  y una presión menor a 4 bares, se incrementa la resistencia biaxial. Se realizó un proceso de sinterización corto de 2 horas, donde el módulo elástico y la dureza no se vieron afectados por el arenado. Esto no coincide con lo expuesto por Lawson y Maharishi (11), quienes exponen una disminución en dureza del material relacionada con un cambio dimensional del grano (15).

Passos et al. (25), en el 2015 analizaron especímenes de zirconia usando partículas de arenado de alúmina de 50  $\mu\text{m}$  y 110  $\mu\text{m}$ , y alúmina recubierta con sílice de 30  $\mu\text{m}$ . Efectuaron pruebas en especímenes arenados antes de sinterizar, después de sinterizar sin tratamiento térmico y, luego, con dicho procedimiento. El arenado se hizo con un dispositivo a 10 mm de distancia a una presión de 2.8 bar y con movimientos circulares por 15 segundos. Para el tratamiento térmico postsinterizado los especímenes de los grupos tratados térmicamente se sometieron al ciclo de cocción, a fin de sinterizar el recubrimiento de porcelana VITA VM9 (950 °C). Los especímenes se analizaron por medio de DRX y se estimó la composición del material en fase monoclinica antes y después de las pruebas, además se determinó la profundidad de la zona transformada.

Asimismo, Passos et al. (25) compararon la resistencia flexural de los especímenes por medio de una prueba de 4 puntos flexurales. En los resultados se determinó una cantidad de fase monoclinica del 0-15.8 %, la cual fue mayor cuando se arenó con partículas de 110  $\mu\text{m}$ . Esto es congruente con lo expuesto por Chintapalli y Marro (14) y contrastante con lo expuesta por Alao et al. (13). Con el tratamiento térmico después del sinterizado y arenado no se encontró zirconia en fase monoclinica, lo cual confirma que hay una transformación completa a la fase tetragonal con el tratamiento térmico. Igualmente, se determinó que arenar el zirconia previo a la sinterización disminuye la resistencia flexural. En comparación con el estudio de Chintapalli y Marro (14), esta investigación utilizó un arenado dinámico, y llama la atención porque bajo esta condición la presión del arenado se mantuvo en 2.8 bar de presión y no como en el otro estudio que lo hicieron a 2 bar y 4 bar de presión.

Otra relación entre los artículos es el tamaño de partícula del óxido de aluminio para el



arenado, en este se utilizó de 50  $\mu\text{m}$  y 110  $\mu\text{m}$  e incorporó alúmina recubierta con sílice de 30  $\mu\text{m}$ , aún así se obtuvo una adecuada transformación de fase con el proceso de sinterización. Dentro de los errores metodológicos que se encuentran en este estudio es que no explican cómo se puede realizar un arenado dinámico realizando movimientos circulares ni el racional por el cual llevaron a cabo un tratamiento térmico al material en un horno de porcelana Vita VM9 (25).

Strasberg et al. (27) analizaron la devolución de fases ( $t \rightarrow m$ ) de la zirconia al usar diferentes granos de fresas dentales. Para esto emplearon las técnicas DRX y espectroscopía Raman. Además, se menciona que llevaron a cabo una regeneración del material, luego de la prueba, llevándolo a altas temperaturas. Usando el método de DRX se concluye que, a mayor tamaño de grano de la fresa, mayor devolución de fases. No obstante, en el estudio no se determinó el tiempo de sinterización del material.

Mónaco (26), en el 2013, realizó arenado en especímenes de zirconia sinterizados y presinterizados con alúmina de 110  $\mu\text{m}$  y 50  $\mu\text{m}$  o con alúmina recubierta con sílice de 30  $\mu\text{m}$ . Se usó un sistema de arenado Rocatec 3M a una distancia de 15 mm por 10 segundos a una presión de 2 bar, se analizó por medio de DRX y se midió la rugosidad, hallando que todos los especímenes experimentales presentaron mayor rugosidad que el grupo control. También encontraron que la abrasión de zirconia sinterizada causó devolución a fase monoclinica, siendo mayor en los especímenes arenados con 110  $\mu\text{m}$  de alúmina, lo cual es congruente con lo expuesto por (14, 25) y desigual con Alao et al. (13). Aquí se menciona que la abrasión de zirconia presinterizada resulta en una superficie más rugosa, mientras que arenar zirconia sinterizada da como resultado una superficie más lisa.

En comparación con los estudios de Passos (25) y Souza (28), se puede observar como un tamaño frecuentemente utilizado en los estudios es el de 110  $\mu\text{m}$  y 50  $\mu\text{m}$  de alúmina. Referente a los errores metodológicos encontrados en este estudio es que no especifican si la acción del arenado se llevó de forma estática o dinámica, además citan que fue a una distancia de 15 mm, pero no mencionan si utilizaron un dispositivo para estandarizar este método ni la forma en la cual se colocó el espécimen de zirconia. La angulación a la cual se efectuó el arenado tampoco se especifica en este estudio (26).

Souza et al. (28) realizaron arenado a especímenes de zirconia usando presión de 2.5 bar y 3.5 bar, con partículas de alúmina de 50  $\mu\text{m}$  y 110  $\mu\text{m}$ , o bien, con alúmina recubierto con sílice de 30  $\mu\text{m}$  o 110  $\mu\text{m}$ . Los especímenes se montaron en un dispositivo para estandarizar la prueba, lo que permitía el arenado a 90° por 20 segundos a 10 mm de distancia, y la mitad se sometió a una prueba de carga cíclica. Para estudiar la resistencia biaxial se usó espectroscopía Raman y para la transformación de fases el DRX. Por medio de un profilómetro se analizó la rugosidad de la superficie. La erosión con alúmina de 110  $\mu\text{m}$  a 3.5 bar de presión fue la única variable que no aumentó la resistencia biflexural del material. Se encontró devolución de fases en todos los grupos experimentales. Cuando se arenó con partículas de 110  $\mu\text{m}$ , se obtuvo una superficie más rugosa y aumentó la cantidad de zirconia monoclinica.

En este estudio y en comparación con Monaco (26), Chintapalli y Marro (14), Chintapalli (15) y Alao et al. (13) se puede observar que se realizan análisis empleando un arenado estático a una distancia aproximada de 10 mm de distancia entre la boquilla del arenador y siendo impactados a 90°. Los detalles metodológicos por considerar en el estudio es que aplicaron un ciclo de sinterización que llegó hasta 1500 °C, sin embargo, no mencionan en cuánto tiempo (28).

Con respecto al desgaste con fresas, Rues et al. (23), en el 2017, realizaron una investigación en la cual se simuló el desgaste intraoral en coronas de zirconia. Las fresas utilizadas fueron de tres diferentes granos de abrasión de 46  $\mu\text{m}$ , 107  $\mu\text{m}$  o 151  $\mu\text{m}$  (fino, medio y grueso, respectivamente), luego se pulieron y se midió la rugosidad superficial. Inmediatamente de desgastar, la mitad de los especímenes se termociclaron para, después someterlos a una prueba de resistencia a la fractura. Se determinó que la rugosidad era similar en ambos grupos de especímenes. En el grupo no termociclado, la resistencia a la fractura aumentó cuando se usó un grano de la fresa fino (46  $\mu\text{m}$ ). En el grupo de termociclado, la resistencia a la fractura disminuyó y fue mayor cuando se utilizó fresa fina.

La literatura que reporta el tamaño de cristalito de la zirconia utilizada en odontología es escasa, sin embargo, se cuenta con investigaciones que refieren los diferentes tamaños de grano. Algunos reportes detallan que se ha analizado el tamaño grano en zirconia ultratranslúcida. Un estudio realizó una evaluación de discos de zirconia que fueron arenados y analizados mediante MEB para comparar los cambios cristalográficos. Al realizar la comparación específica de

elementos de KATANA UTML encontraron granos largos de zirconia, mayores a  $3 \mu\text{m}$ , cuando el promedio esperable es de  $1.71 \pm 0,36 \mu\text{m}$ , mientras que el KATANA HT mostró el menor tamaño de grano de  $0.55 \pm 0.92 \mu\text{m}$ . En la discusión del artículo se mencionó que el grano de  $c\text{-ZrO}_2$  es más largo que un grano de  $t\text{-ZrO}_2$ . Además, el tiempo de sinterización afecta notablemente el tamaño del grano (10).

Camposilvan et al. (24) realizaron un estudio en el que se utilizaron cuatro tipos de zirconia, mediante análisis de microestructurales y determinaron el tamaño de grano por medio de MEB. Se observó un tamaño de grano esperable de  $0.43 \mu\text{m}$  para un 3Y-TZP, mientras que este valor se reduce a  $0.33 \mu\text{m}$  en zirconia Aadvia El (zirconia de segunda generación). Las microestructuras de los materiales se observaron homogéneas, sin embargo, cuando se analizó el tamaño de grano de la zirconia KATANA UTML se determinó que es mucho mayor  $1718 \pm 327 \text{ nm}$ . Es interesante mencionar que en ambos estudios anteriormente mencionados, Camposilvan (24) e Inokoshi (10), la determinación del tamaño del grano se realizó por medio de MEB y no se indicó tamaño de cristalito.

La literatura en términos de tratamiento superficial de la zirconia es muy controversial en cuanto tamaño y tipo de partícula, distancia, presión y tipo de arenado. No existe claridad en el instrumento ideal para determinar la devolución de las fases ni tampoco sobre el efecto que tiene el cambio del tamaño de grano sobre las propiedades ópticas, mecánicas y rugosas del material. Por esto se deben realizar más estudios que faciliten su comprensión y proporcionen claridad de cómo cambia el material al someterse a un tratamiento de superficie, así como usar metodología estandarizada que permita obtener información relevante en el campo. Por esto, el objetivo de este estudio es analizar el efecto de los tratamientos de superficie sobre la cristalografía y la rugosidad de la zirconia cuando se realiza arenado sobre la superficie del material y desgaste con fresa de diamante.

## CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO

### 3.1 Hipótesis diferencia de grupos

**Hi:** El desgaste con fresa de diamante y el arenado con óxido de aluminio afecta el tamaño de cristal, y la rugosidad de los especímenes de zirconia.

**Ho:** El desgaste con fresa y el arenado con óxido de aluminio no afecta el tamaño de cristal, ni la rugosidad de los especímenes de zirconia.

### 3.2 Definición conceptual

Los índices de Miller se utilizan para identificar la orientación en los planos de una red cristalina, de manera que los planos van a ser ejes coordinados e identificables. El ensanchamiento de un pico está relacionado con un tamaño de cristalito menor. Los desplazamientos o corrimientos de los espectros se relacionan por esfuerzos tensiles o compresivos que sufre el material, o bien, a cambios en la composición química, por ende, si un espectro sufre un desplazamiento a un ángulo menor es porque está sufriendo esfuerzos compresivos aplicados al material luego del tratamiento.

Cuando se observa un desplazamiento del espectro a un ángulo mayor, se está en presencia de un esfuerzo tensil. Por el contrario, al correrse el espectro a un ángulo menor, se está en presencia de un esfuerzo compresivo. Se considera un cambio del tamaño del cristalito cuando hay una variación dimensional medida en términos de nanómetros con respecto al espécimen control.

La deformación de red es la presencia o no de defectos cristalinos como fallas de apilamiento, microdeformación y dislocaciones. La rugosidad (Ra) es la desviación promedio aritmética de la línea media dentro de la longitud de la evaluación.

### 3.3 Definición operacional

Identificación de los índices de Miller correspondientes a cada espécimen de zirconia. Determinar la anchura a media altura (*full width at half maximum*, FWHM por sus siglas en inglés) de cada espécimen, en cada índice de Miller y determinar la variación en anchura. Determinación del tamaño de cristal y de la deformación de red por medio de fórmulas matemáticas descritas por Venkateswarlu et al. (29). Observar el corrimiento del Índice de Miller principal de cada grupo, para determinar si el espécimen fue sometido a fuerzas tensiles/compresivas.

### 3.4 Variables

- Dependiente:

1. Tamaño de cristalito
2. Tamaño de deformación de red
3. Rugosidad promedio

- Independiente:

1. Tratamiento de superficie
  - a) Arenado con partículas de óxido de aluminio de 50  $\mu\text{m}$
  - b) Arenado con partículas de óxido de aluminio de 110  $\mu\text{m}$
  - c) Desgaste con broca de grano 151  $\mu\text{m}$  (grano grueso) con irrigación
  - d) Desgaste con broca de grano 151  $\mu\text{m}$  (grano grueso) sin irrigación
  - e) Sin tratamiento de superficie

### 3.5 Aspectos bioéticos

Este protocolo no presenta experimentos o procedimientos que requieran de la autorización del Comité Ético Científico.

### 3.6 Lugar de realización

Este estudio se realizó en las siguientes instalaciones de la Universidad de Costa Rica:

- Posgrado de Prostodoncia.
- Centro de Investigación en Ciencia e Ingeniería de Materiales (Cicima).
- Unidad de Difracción de Rayos X, Escuela de Química, Universidad de Costa Rica.
- Unidad de Difracción de Rayos X, Escuela de Ciencia e Ingeniería de Materiales del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

### 3.7 Materiales y métodos

#### 3.7.1 Fabricación de los especímenes

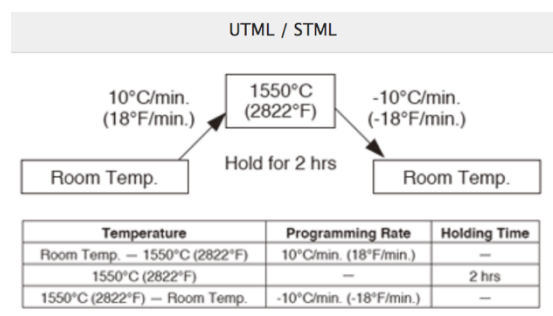
Se utilizó un disco con collar de zirconia presinterizado de la marca Kuraray Noritake Katana Zirconia Ultra Translucent Multi Layered (Lot: DOQCS) de dimensiones de 98.5 x 18 mm color EA1. Los especímenes se obtuvieron mediante cortes mecánicos de un disco de diamante de 35 mm y 0.17 mm de grosor. Se obtuvo un total de cincuenta (n = 50) muestras de zirconia presinterizada de dimensiones de 18 x 10 x 1.8 mm.

Tabla 1. *Tabla de materiales*

Nombre de material/marca	Fabricante y lugar de fabricación	Tipo de material/descripción de composición	Lote
Zirconia Katana UTML	Noritake, Japón	Óxido de zirconio	DOQCS
Alúmina 50 $\mu\text{m}$	Renfert, Cobra	Óxido de aluminio	2374326
Alúmina 110 $\mu\text{m}$	Renfert, Cobra	Óxido de aluminio	2365304
Fresas de diamante	Komet	Vástago metálico y piedras de diamante	00319874

Con el fin de obtener superficies lo más lisas posibles, se realizó un proceso de lijado progresivo, de manera que se utilizaron lijas de grano grueso hasta llegar a las de grano fino y obtener una superficie lo más pulida posible. Las denominaciones utilizadas que siguen el orden anterior corresponden a las siguientes: 3M 500, 3M 400 y ABRACOL 2000. Cabe resaltar que este procedimiento se llevó a cabo con abundante cantidad de agua para asegurar la mejor adherencia entre las superficies.

Con los especímenes debidamente recortados y con las dimensiones necesarias, se llevó a cabo el proceso de sinterización, el cual se efectuó en un horno Dekema Astromat 624. La sinterización causa una disminución aproximada de un 20 % natural en el material, por lo que los especímenes tuvieron un tamaño final aproximado de 17.8 x 9.8 x 1.6 mm. Este procedimiento se realizó siguiendo estrictamente las indicaciones descritas por el fabricante, las cuales se describen en la Figura 1.



**Figura 1. Esquema de sinterización para la marca Kuraray**

Los especímenes sinterizados se distribuyeron aleatoriamente en cinco grupos experimentales de  $n = 10$  especímenes cada grupo.

Grupo 1: Arenado con partículas de óxido de aluminio de 50  $\mu\text{m}$

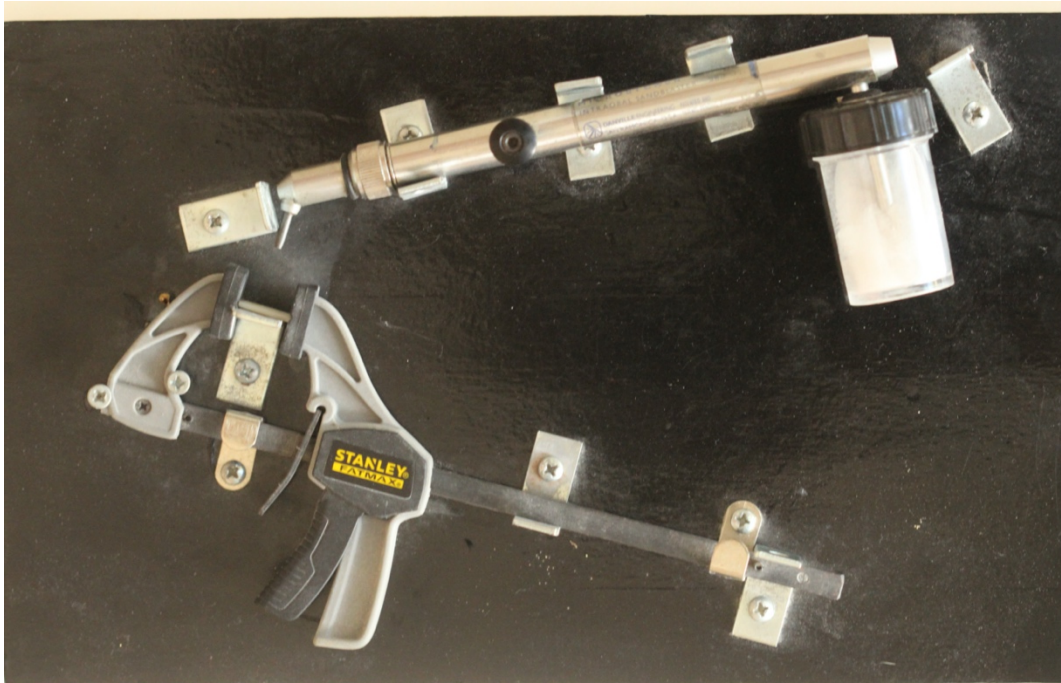
Grupo 2: Arenado con partículas de óxido de aluminio de 110  $\mu\text{m}$

Grupo 3: Desgaste con fresa de diamante de grano grueso con irrigación externa

Grupo 4: Desgaste con fresa de diamante de grano grueso sin irrigación externa

Grupo 5: Grupo control, sin tratamiento de la superficie

Para el proceso de arenado se confeccionó un dispositivo portátil que permitió el tratamiento de la superficie de forma reproducible, estable, controlable y medible para los grupos experimentales. Los grupos 1 y 2 se trataron mediante este método, donde se utilizó un dispositivo Microetcher II (Danville, DentalZest), el cual proporcionó el impacto de las partículas de óxido de aluminio de forma perpendicular al espécimen de zirconia sinterizada. El arenador se colocó a 10 mm de distancia entre la boquilla de salida y el espécimen. La presión aplicada fue de 2.8 bar (40.61 psi) por 15 segundos, y el impacto del arenado fue de forma estática. La estructura del dispositivo de arenado se ilustra en la Figura 2.



**Figura 2. Esquema del dispositivo portátil para el arenado de las muestras de zirconia**

Seguidamente, los especímenes se arenaron, lavaron con agua y recolectaron para su posterior análisis.

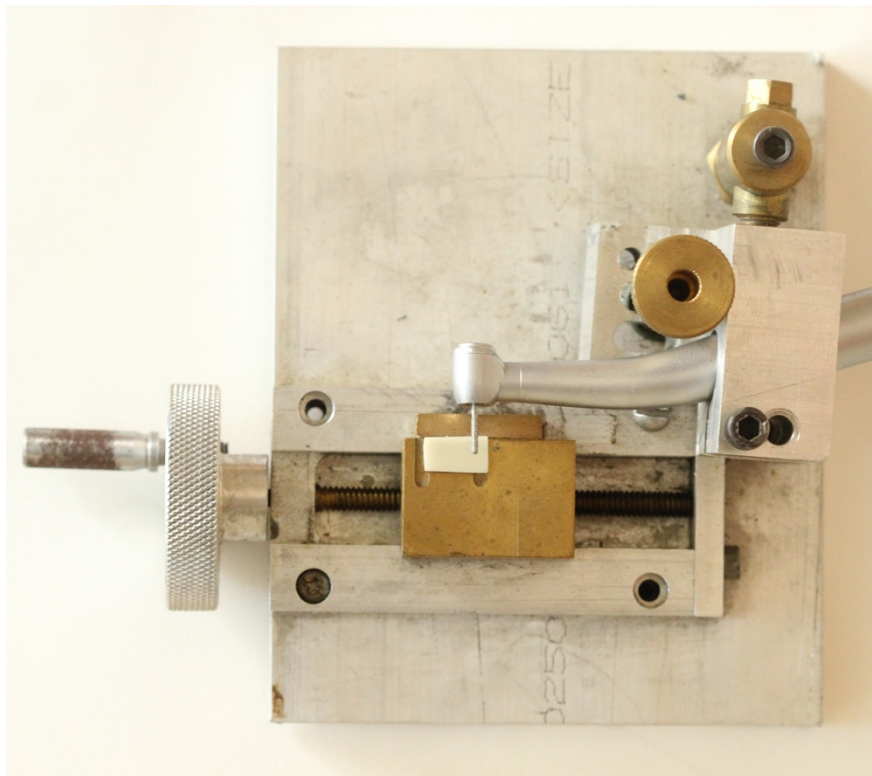
En relación con el proceso de desgaste con fresa de los grupos 3 y 4, se utilizó una fresa de diamante de grado medio (Komet 848 medium size). Para este estudio se diseñó un dispositivo



que permitió el contacto de la fresa de diamante conectada a la pieza de alta velocidad Kavo 506C, contra la muestra del material de zirconia, haciendo un desgaste que simula una pieza en alta velocidad. Este instrumento habilitó contar con un torque, una presión y una fuerza sobre el espécimen de forma reproducible para las demás muestras. Asimismo, este mecanismo permitió que el proceso de desgaste se llevara a cabo en una sola dirección, de forma que el contacto fuera cortante y en contra del movimiento de la fresa de diamante.

Para este proceso el grupo 3 adquirió irrigación externa proporcionada por la misma pieza de alta velocidad, tal y como sucede en el ambiente clínico odontológico. El líquido que se empleó fue agua a temperatura ambiente en la dosificación aportada por la pieza de alta, mientras que el grupo 4 no se irrigó y se ejecutó el mismo proceso, pero en un ambiente seco.

Una vez que los especímenes se trataron, se limpiaron y almacenaron en frascos de vidrio para su siguiente análisis. En el grupo 5 las muestras no recibieron ningún tratamiento superficial y solo se lavaron y recolectaron.



**Figura 3. Esquema del dispositivo portátil para el desgaste de las muestras de zirconia**

### 3.7.2 Difracción de rayos X (DRX)

Todos los especímenes se escanearon con rayos X utilizando un difractómetro, Panalytical Empyrean Alpha 1 diffractometer, Netherlands . Para obtener patrones de difracción (difractogramas) de rayos X, se usó la radiación de Cu K $\alpha$  con una longitud de onda de 0.15406 nm para analizar las fases cristalinas de cada superficie. Todos estos cálculos de confeccionaron en diferentes ángulos de 10° y 80° en el rango de 2 $\theta$ , con intervalo de 0.021°. Es importante resaltar que esta metodología se estableció para obtener un difractograma de cada muestra, de manera que los diferentes ejemplares se pudieran comparar en términos de las variables establecidas por los valores de ángulo (eje x) e intensidad (eje y) para los picos (índices de Miller, IM) seleccionados.

A partir de los difractogramas, también es posible obtener diferentes picos que corresponden a los IM característicos del material. Esto permite un análisis cuantitativo de la estimación del tamaño del cristalito y de la deformación de cepa reticular (Lattice Strain) por medio de un análisis de perfil máximo de rayos X por modelos Williamson-Hall (W\_H) modificados como lo describe la literatura. En el presente estudio, así como en la literatura consultada, se reportan seis picos principales en la zirconia que se utiliza en odontología que corresponden a (111), (200), (220), (311), (222) y (400). El análisis de cada pico (área bajo la curva, amplitud máxima, FWHM, etc.) se llevó a cabo con ayuda del *software* OriginPro 8.5®.

Siguiendo con el análisis y suponiendo que la cepa (Lattice Strain) de cristalito ( $\epsilon$ ) es isotrópica, el cambio total en los picos de difracción viene dado por la siguiente ecuación:

$$\beta_{hkl} \cos \theta_{hkl} = \frac{k\lambda}{D_v} + 4\epsilon \sin \theta_{hkl} \quad (1),$$

donde k es un factor constante y cuyo valor está dado por k = 0.9;  $\lambda$  representa la longitud de onda de los rayos X (utilizada por el difractómetro) para la radiación Cu K $\alpha$  y su valor corresponde a 0.154056 nm;  $\theta_{hkl}$  es el ángulo de difracción de Bragg (en unidades de °),  $D_v$  es el tamaño de

cristalito ponderado en volumen (en unidades de nm) y  $\beta_{hkl}$  es la ampliación del pico de difracción hkl medido a la mitad de su intensidad máxima (FWHM).

Con el fin de derivar parámetros microestructurales como el tamaño del cristalito y la tensión de la red, exploramos la dependencia lineal entre las variables estableciendo las siguientes relaciones para la graficación:  $4\sin\theta_{hkl}$  en el eje coordenado «x» y  $\beta_{hkl}\cos\theta_{hkl}$  en el «y».

El ensanchamiento de un pico está relacionado con un tamaño de cristalito menor. Los desplazamientos o corrimientos de los espectros se relacionan por esfuerzos tensiles o compresivos que sufre el material, o bien, a cambios en la composición química. Si un espectro sufre un desplazamiento a un ángulo menor es porque está sometido a esfuerzos compresivos aplicados al material luego del tratamiento. Cuando se observa un desplazamiento del espectro a un ángulo mayor, se está en presencia de un esfuerzo tensil. Los cambios de la estequiometría química del material sugieren cambios semejantes. Los iones más grandes corren el espectro hacia un ángulo menor, mientras los más pequeños mueven el pico hacia ángulos mayores.

### **3.7.3 Perfilometría**

Todos los especímenes se seleccionaron para analizarlos con rugosidad. Se utilizó un perfilómetro Stylus Bruker DektakXT™ mediante un escaneo estándar, con un rango de 65.5  $\mu\text{m}$ , en modo de lectura de picos y valles. La punta seleccionada para realizar las lecturas fue de 2  $\mu\text{m}$  con una fuerza constante de 5 mg. Se escaneó en una longitud de 1500  $\mu\text{m}$ , con una duración de 40 segundos por lectura.

Se efectuaron mediciones en tres diferentes direcciones del material, de manera que una lectura fuera vertical, horizontal y transversal en cada muestra, para luego obtener la rugosidad promedio de cada espécimen.

### **3.7.4 Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)**

Se seleccionó un espécimen de cada grupo de forma aleatoria y se analizó de forma cualitativa en un microscopio electrónico de barrido (MEB) modelo S-3700N, HITACHI. Los

especímenes se recubrieron de modo homogéneo antes de su análisis con una capa de oro delgada de 5  $\mu\text{m}$ . Las lecturas se llevaron a cabo a un voltaje de aceleración de 20 kV con los aumentos x100 y x1000. Este análisis observacional mostró el daño en el material luego de los diferentes tratamientos de superficie y, finalmente, se realizó un análisis cuantitativo.

### **3.8 Diseño estadístico**

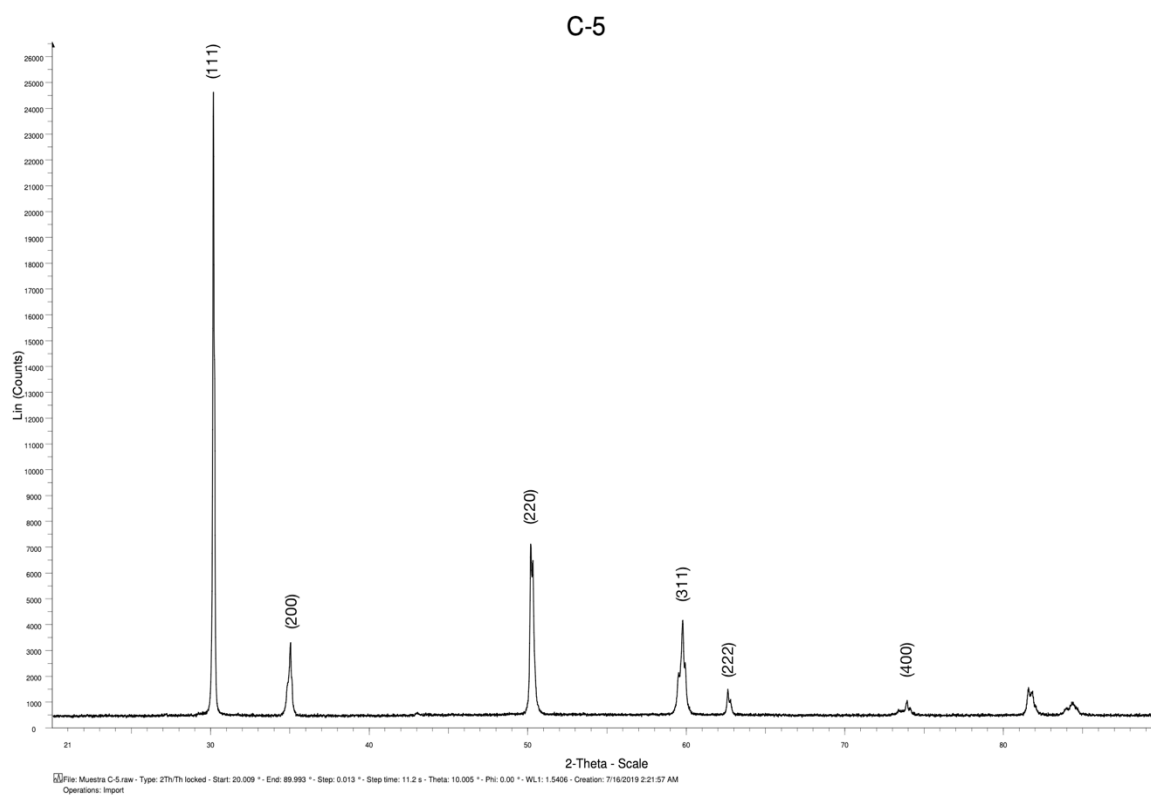
Los índices de Miller, según el ángulo y el FWHM, se analizaron mediante pruebas de normalidad de acuerdo con los test Kolmogorof-Smirnoff y Shapiro Wilk, pruebas de homogeneidad de varianza de Levene y las no paramétricas Kruskal Wallis.

El análisis de perfilometría se realizó utilizando un porcentaje de la rugosidad promedio de tres lecturas por espécimen en todas las muestras, el cual se examinó mediante comparaciones múltiples y la prueba de Bonferroni.

## CAPÍTULO IV RESULTADOS

### 4.1 Difracción de rayos X

La Figura 4 presenta un difractograma del grupo control. El eje (x) corresponde al haz reflejado en un ángulo 2-theta ( $2\theta$ ), que fue donde se mostró la señal de difracción. En el eje (y) se indica la magnitud o amplitud con la que se detectó esa señal en el detector.



**Figura 4. Difractograma de la lectura de uno de los especímenes del grupo control (C-5)**

En la Tabla 2 se aprecia el resultado del FWHM para cada pico y su ángulo.

Tabla 2. *Distribución de frecuencia según FWHM y ángulo de máxima altura del pico por promedio por grupo*

Grupo Experimental	FWHM						Ángulo de Máxima Altura del Pico					
	(111)	(200)	(220)	(311)	(222)	(400)	(111)	(200)	(220)	(311)	(222)	(400)
1	0.1510	0.3256	0.3037	0.4263	0.2648	0.4858	30.1298	34.9870	50.1923	59.7631	62.6307	81.6415
2	0.1569	0.3334	0.3072	0.4807	0.2705	0.4596	30.1263	34.9778	50.1830	59.7534	62.6253	81.6124
3	0.1585	0.4090	0.2907	0.5378	0.2932	0.4705	30.1539	35.0415	50.1968	59.8665	62.6814	81.6412
4	0.1471	0.3429	0.2911	0.3843	0.2552	0.4735	30.1388	34.9991	50.1951	59.7730	61.6370	81.6343
5	0.1301	0.2090	0.2702	0.2510	0.1941	0.4463	30.1406	35.0056	50.2047	59.7830	62.6420	81.6315

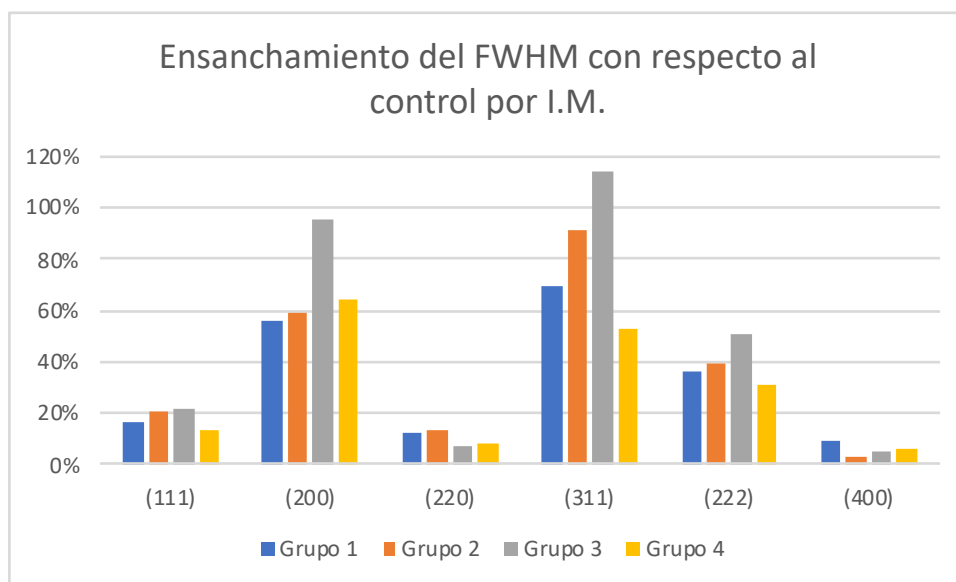
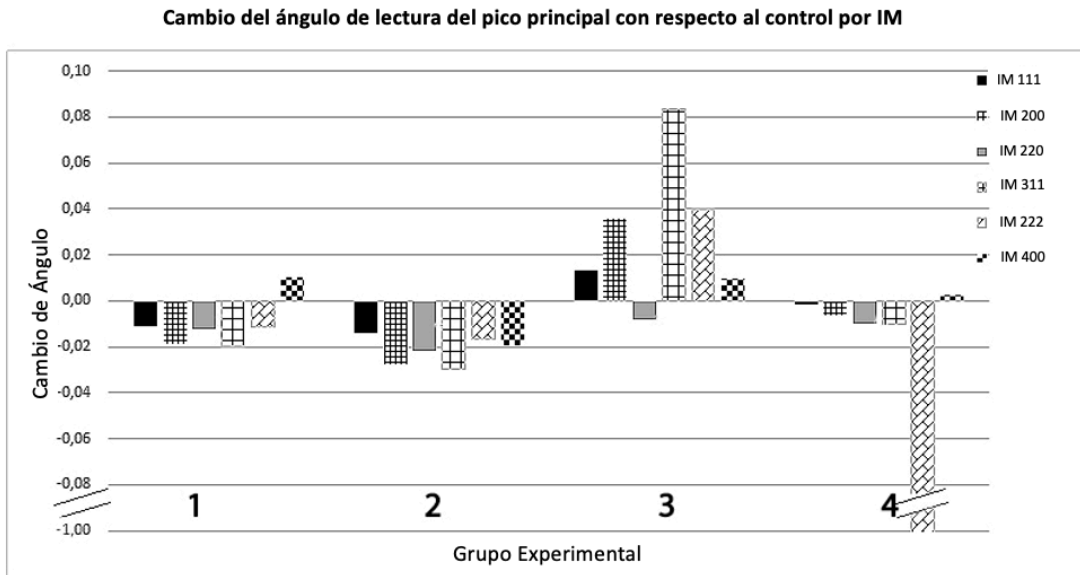


Figura 5. **Porcentaje de ensanchamiento del FWHM según grupo por IM**

La Figura 5 representa como el FWHM incrementa en relación con el control según cada grupo y por IM. El índice de Miller con mayor ensanchamiento es el (311). Todos los grupos experimentales mostraron un aumento del FWHM respecto al grupo control.



**Figura 6. Cambio del ángulo de lectura del pico principal con respecto al control por IM**

La Figura 6 representa cómo se comporta el corrimiento del ángulo de mayor altura del IM por grupo experimental con respecto al grupo control.

**IM (111)**

## Análisis de ángulo

Tabla 3. Resumen de prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes para la ubicación del ángulo de máxima altura del IM (111)

N total	50
Estadístico de prueba	31.538 <sup>a</sup>
Grado de libertad	4
Sig. asintótica (prueba bilateral)	.000

a. Las estadísticas de prueba se ajustan para empates.

### Prueba De Kruskal-Wallis para muestras independientes

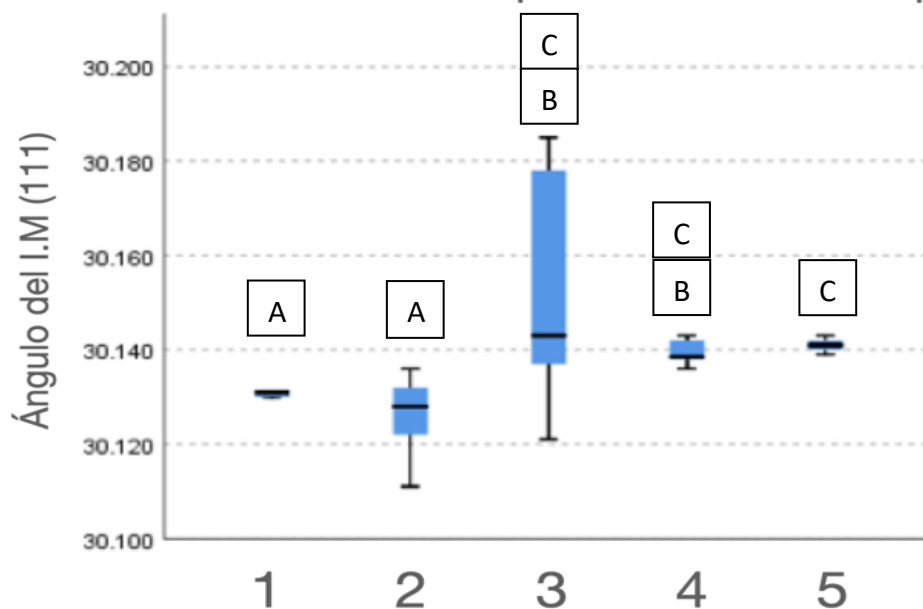


Figura 7. Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (111), según los grupos.  $p \leq 0.05$



## Análisis de FWHM

Tabla 4. Resumen de prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes para FWHM del índice de Miller (111)

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de área IM (111) es la misma entre categorías de grupo.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	.000	Rechace la hipótesis nula.

Se presentan significaciones asintóticas. El nivel de significación es de .050

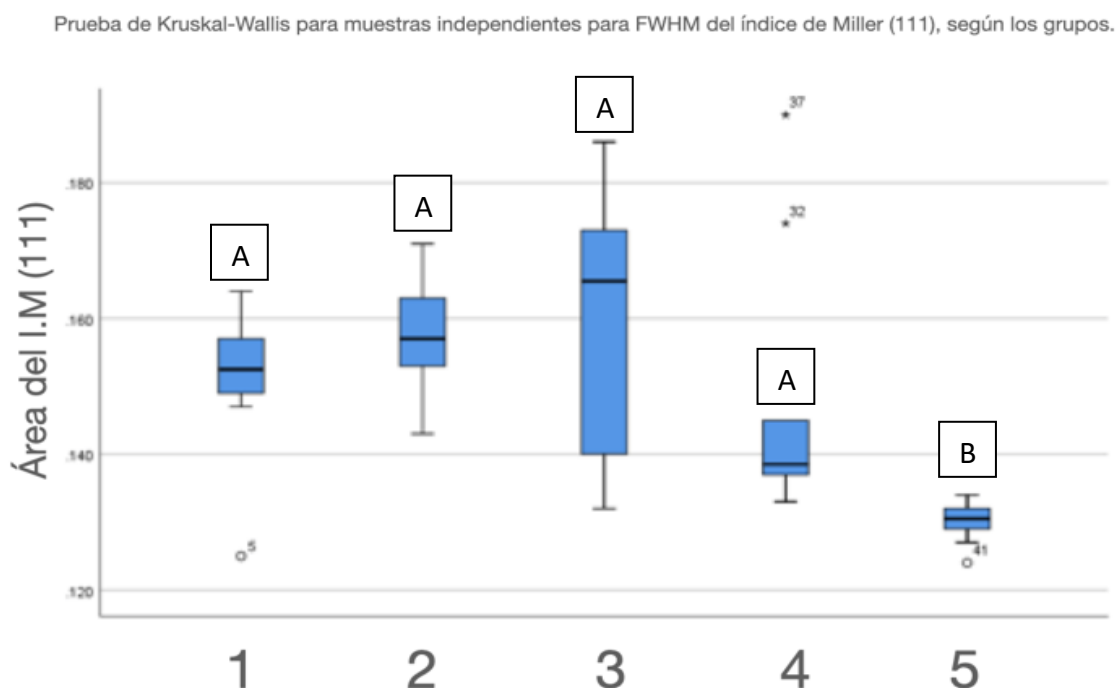


Figura 8. Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes para FWHM del índice de Miller (111), según los grupos.  $p \leq 0.05$

En la Figura 7 se puede observar como el grupo 3 tiene una mayor variabilidad para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (111). No hubo diferencia estadísticamente significativa entre grupos 1 y 2, 3 y 4. En la Figura 8 se nota como el grupo 3 presenta un amplio FWHM del índice de Miller (111). El resto del conjunto posee un rango similar entre ellos, siendo el 5 el que presenta menor área. Hubo diferencia significativa entre el grupo 5 y los demás.

**IM (200)**

## Análisis de ángulo

Tabla 5. Resumen de la prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes para la ubicación del ángulo de máxima altura del IM (200)

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución del ángulo del IM (200) es la misma entre categorías de grupo.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	.000	Rechace la hipótesis nula.

Se observan significaciones asintóticas. El nivel de significación es de .050

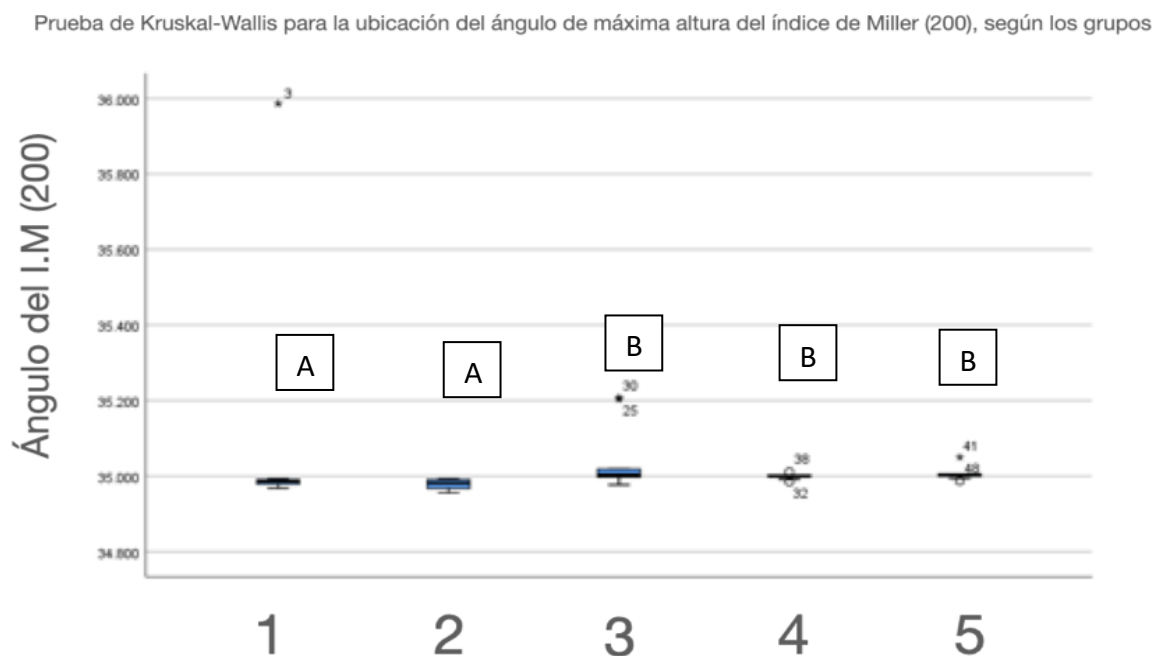
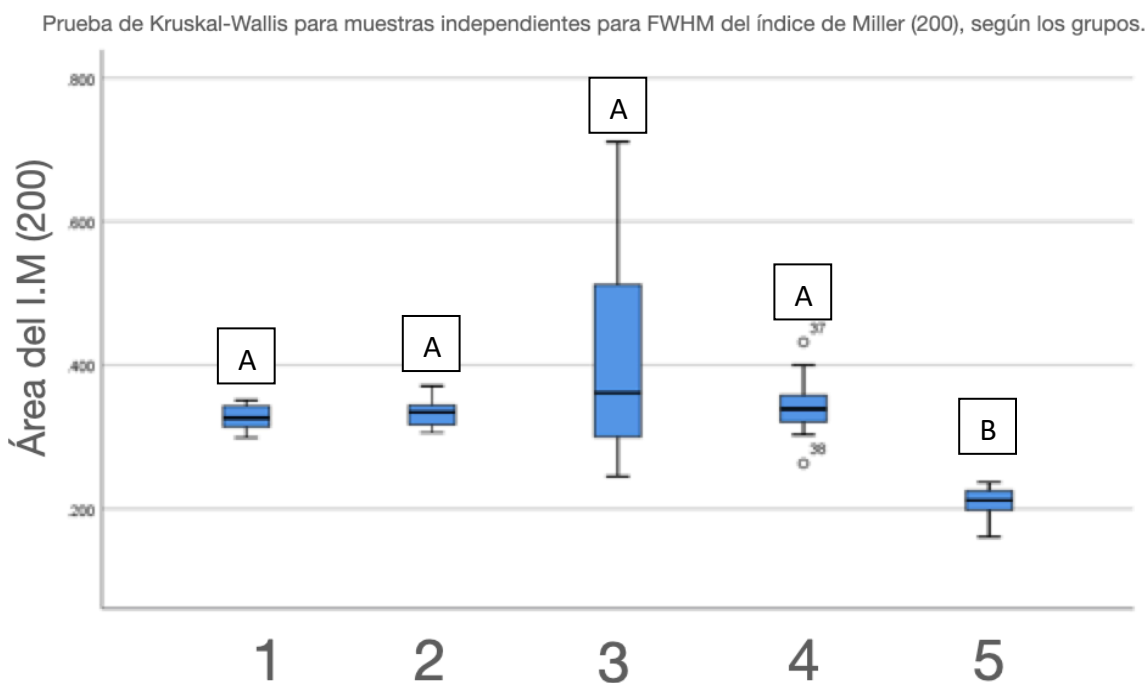


Figura 9. Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (200), según los grupos.  $p \leq 0.05$

## Análisis de FWHM

Tabla 6. ANOVA para área del índice de Miller (200)

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	.209	4	.052	10.849	.000
Dentro de grupos	.217	45	.005		
Total	.426	49			



**Figura 10. Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes para FWHM del índice de Miller (200), según los grupos.  $p \leq 0.05$**

La Figura 9 muestra que el comportamiento de todos los grupos es semejante en la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (200), muy cercanos al de  $35^\circ$ . Hay diferencia significativa entre los grupos de arenado 1 y 2 en relación con los demás grupos 3, 4 y 5. En la Figura 10 se observa como el grupo 3 presenta mayor variabilidad en FWHM del índice de Miller (200). Los grupos 1, 2, 4 y 5 no tuvieron gran variabilidad entre sus especímenes; el 5 tuvo diferencias significativas al relacionarse con los demás grupos.

**IM (220)**

## Análisis de ángulo

Tabla 7. ANOVA para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (220)

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	.002	4	.001	1.490	.221
Dentro de grupos	.019	45	.000		
Total	.021	49			

Prueba de Kruskal-Wallis para la ubicación del ángulo de máxima altura del I.M (220), según los grupos.

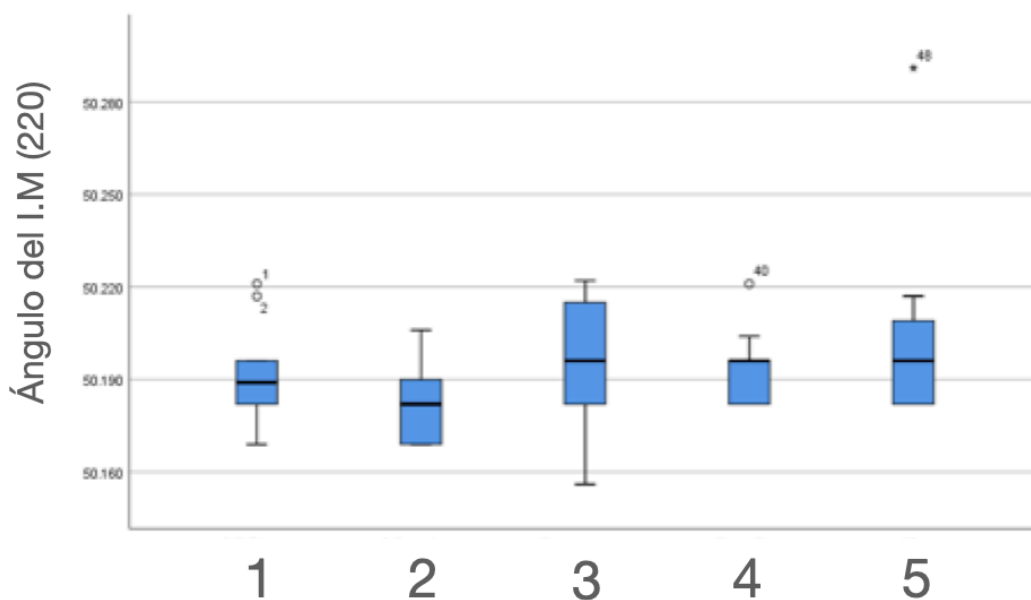


Figura 11. Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (220), según los grupos.  $p \leq 0.05$

## Análisis de FWHM

Tabla 8. Resumen de contrastes de hipótesis para FWHM del índice de Miller (220)

N total	50
Estadístico de prueba	24.876 <sup>a</sup>
Grado de libertad	4
Sig. asintótica (prueba bilateral)	.000

a. Las estadísticas de prueba se ajustan para empates

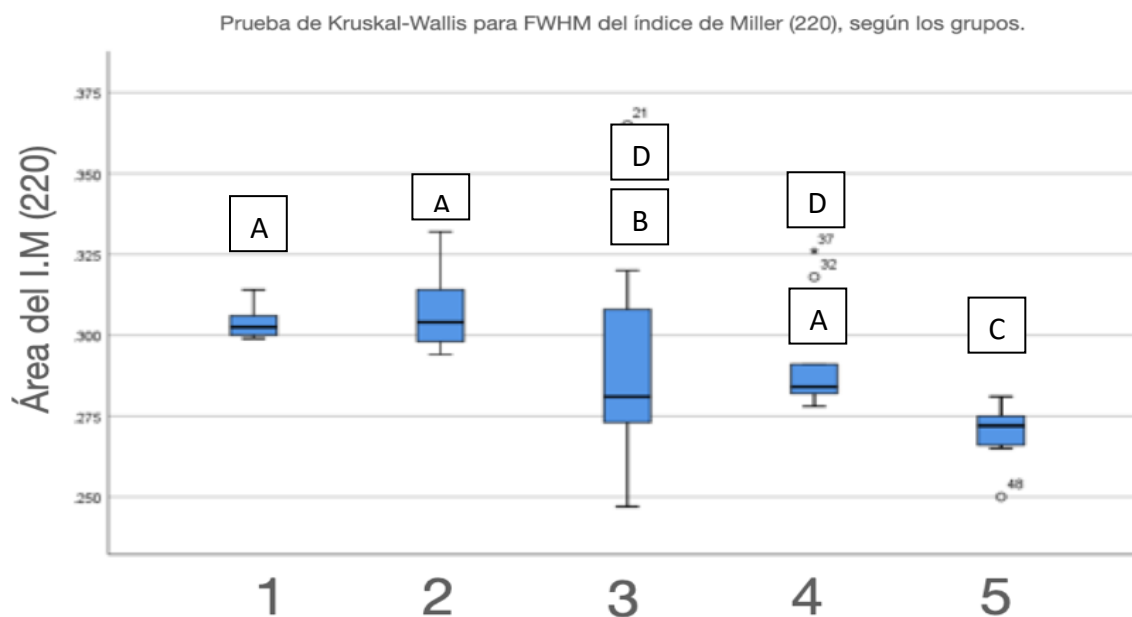


Figura 12. Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes para FWHM del índice de Miller (220), según los grupos.  $p \leq 0.05$

En la Figura 11 se presenta que el grupo 3 tuvo una mayor variabilidad en cuanto a la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (220). No hay diferencia estadísticamente significativa para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (220). En la Figura 12 se visualiza como el grupo 3 presenta mayor variabilidad entre sus especímenes de FWHM del índice de Miller (220). No hubo diferencia estadísticamente significativa entre los grupos 1, 2 y 4.

## IM (311)

### Análisis de ángulo

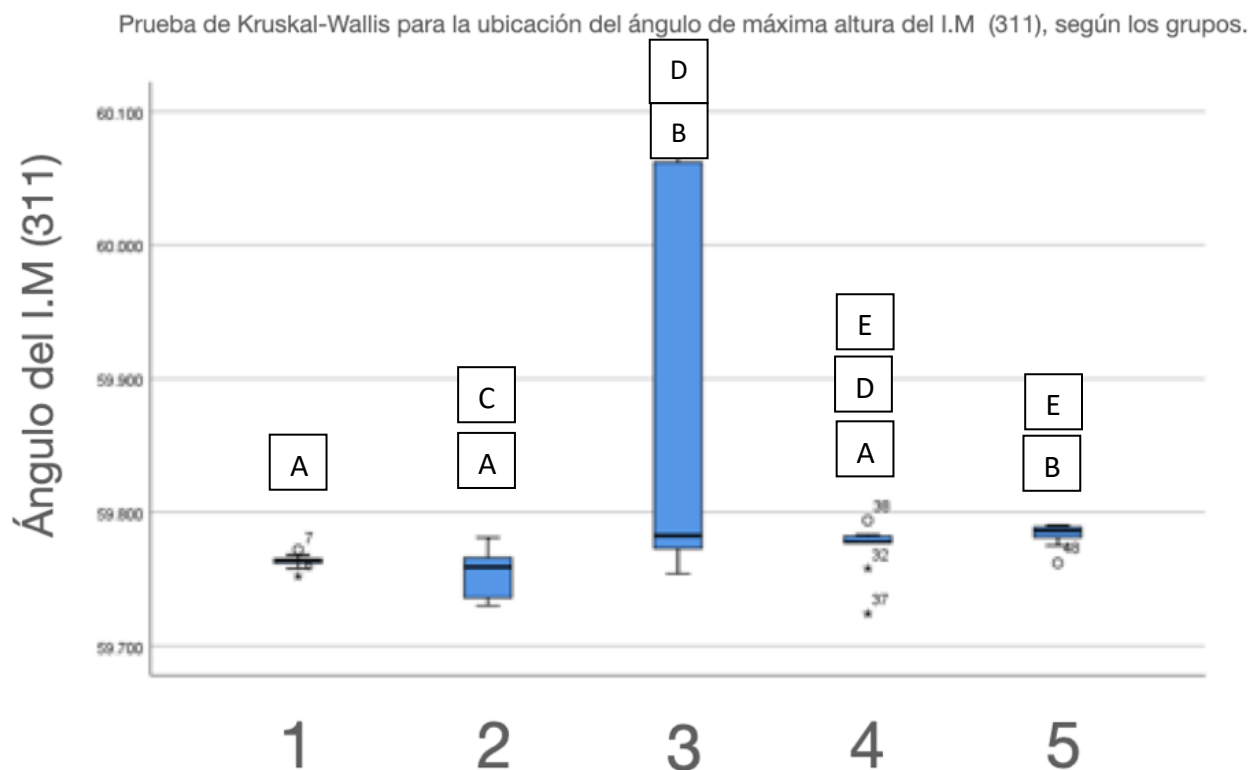


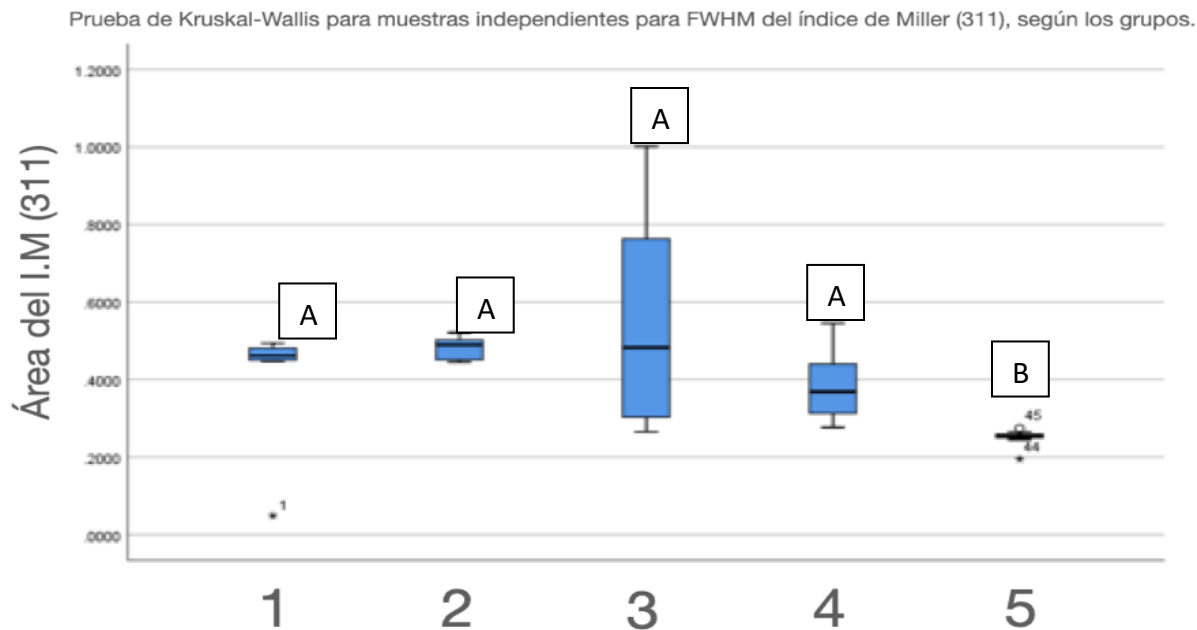
Figura 13. Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (311), según los grupos.  $p \leq 0.05$

### Análisis de FWHM

Tabla 9. Prueba de Kruskal-Wallis resumen de contrastes de hipótesis para FWHM del índice de Miller (311)

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de área del IM (311) es la misma entre categorías de grupo.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	.000	Rechace la hipótesis nula.

Se exponen significaciones asintóticas. El nivel de significación es de .050



**Figura 14.** Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes para FWHM del índice de Miller (311), según los grupos.  $p \leq 0.05$

En la Figura 13 se puede observar el grupo 3 tuvo una mayor variabilidad en cuanto a la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (311). Existe diferencia estadísticamente significativa entre los grupos 3 y 2, 2 y 5, 1 y 3, 1 y 5, de acuerdo con la posición del ángulo de máxima altura del índice de Miller (311). Según la Figura 14, el grupo 3 presenta mayor variabilidad de FWHM del índice de Miller (311). Hay diferencia estadísticamente significativa entre los grupos 5 y los demás, para el FWHM del índice de Miller (311).

**IM (222)**

## Análisis de ángulos

Tabla 10. *Resumen de prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (222)*

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de ángulo del IM (222) es la misma entre categorías de grupo.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	.002	Rechace la hipótesis nula.

Se presentan significaciones asintóticas. El nivel de significación es de .050

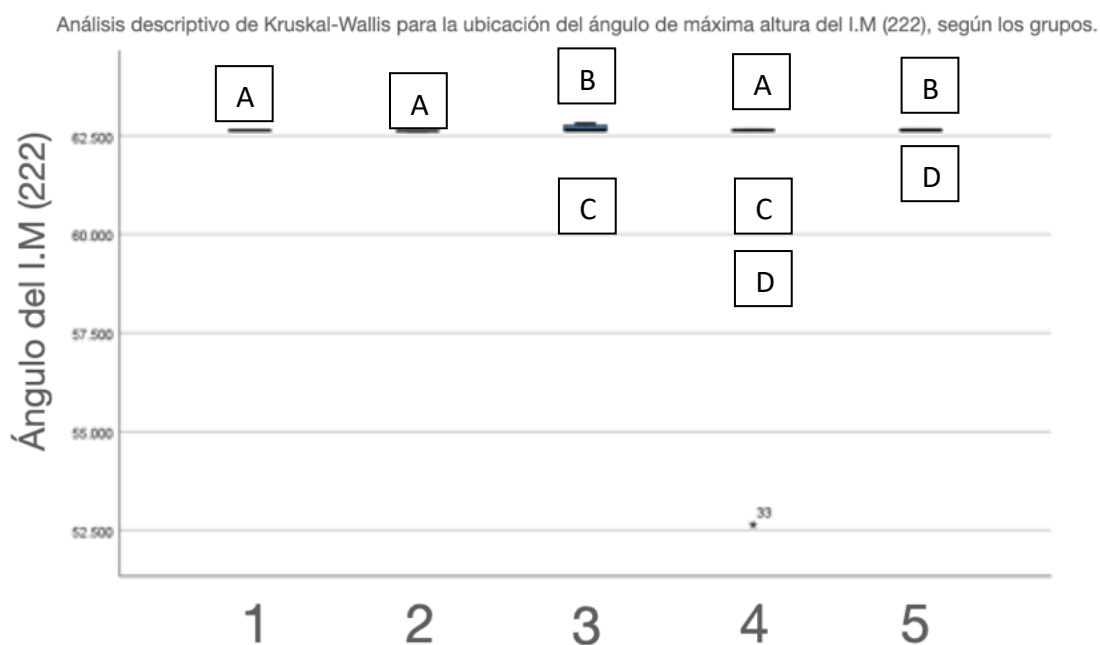


Figura 15. Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (222), según los grupos.  $p \leq 0.05$



## Análisis de FWHM

Tabla 11. Prueba de Kruskal-Wallis resumen de contrastes de hipótesis para FWHM del índice de Miller (222)

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución del área del IM (222) es la misma entre categorías de grupo.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	.000	Rechace la hipótesis nula.

Se revelan significaciones asintóticas. El nivel de significación es de .050

Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes para FWHM del I.M (222), según los grupos.

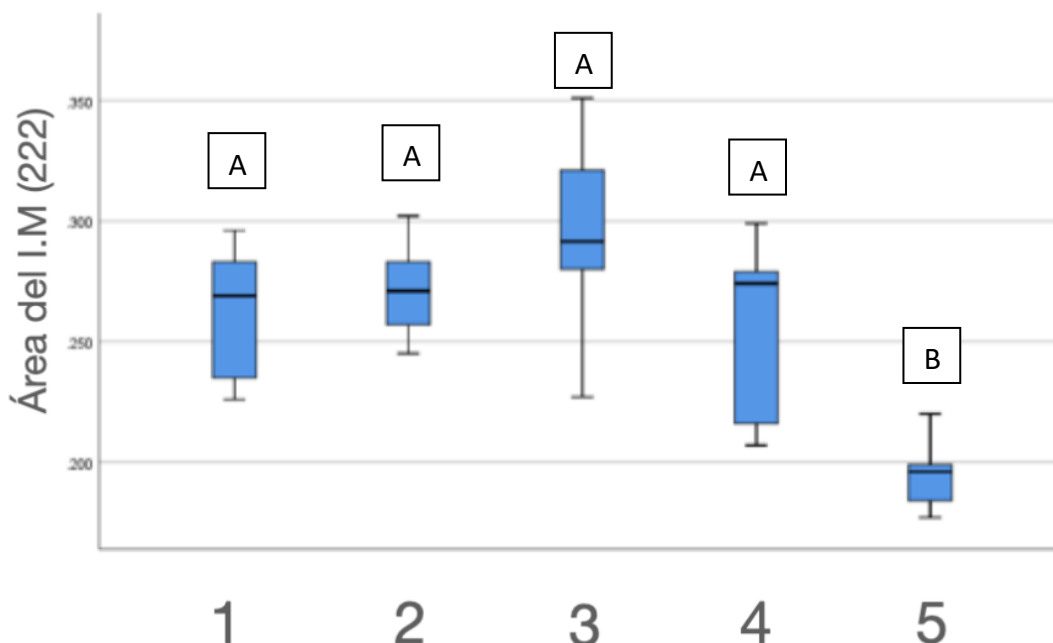


Figura 16. Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes para FWHM del índice de Miller (222), según los grupos.  $p \leq 0.05$

Se puede observar en la Figura 15 que el comportamiento de todos los grupos presenta una semejanza en la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (222), muy cercanos al ángulo 62.5. Asimismo, en el análisis comparativo por parejas por grupos se puede observar que hay diferencia estadísticamente significativa entre los grupos 1, 2 y 4, 3 y 5, 4 y 5 para la posición del ángulo de máxima altura del índice de Miller (222). En la Figura 16 se aprecia como el grupo 4 presenta mayor variabilidad entre sus especímenes FWHM del índice de Miller (222). Hay diferencia estadísticamente significativa entre los grupos 5 y 4, 5 y 1, 5 y 2, 4 y 5, para el FWHM del índice de Miller (222).

**IM (400)**

## Análisis de ángulo

Tabla 12. Resumen de prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (400)

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución del ángulo del IM (400) es la misma entre categorías de grupo.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	.044	Rechace la hipótesis nula.

Se presentan significaciones asintóticas. El nivel de significación es de .050.

Análisis descriptivo de Kruskal-Wallis para la ubicación del ángulo de máxima altura del I.M (400), según los grupos.

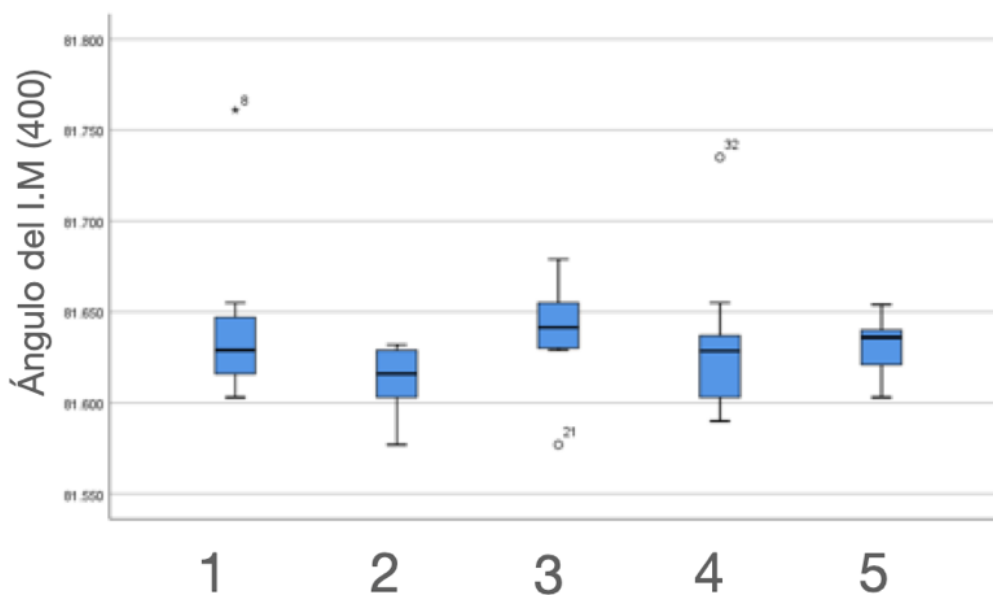


Figura 17. Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (400), según los grupos.  $p \leq 0.05$

## Análisis de FWHM

Tabla 13. Prueba de Kruskal-Wallis resumen de contrastes de hipótesis para FWHM del índice de Miller (400)

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de área del IM (400) es la misma entre categorías de grupo.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	.004	Rechace la hipótesis nula.

Se exponen significaciones asintóticas. El nivel de significación es de .050

Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes para FWHM del índice de Miller (400), según los grupos.

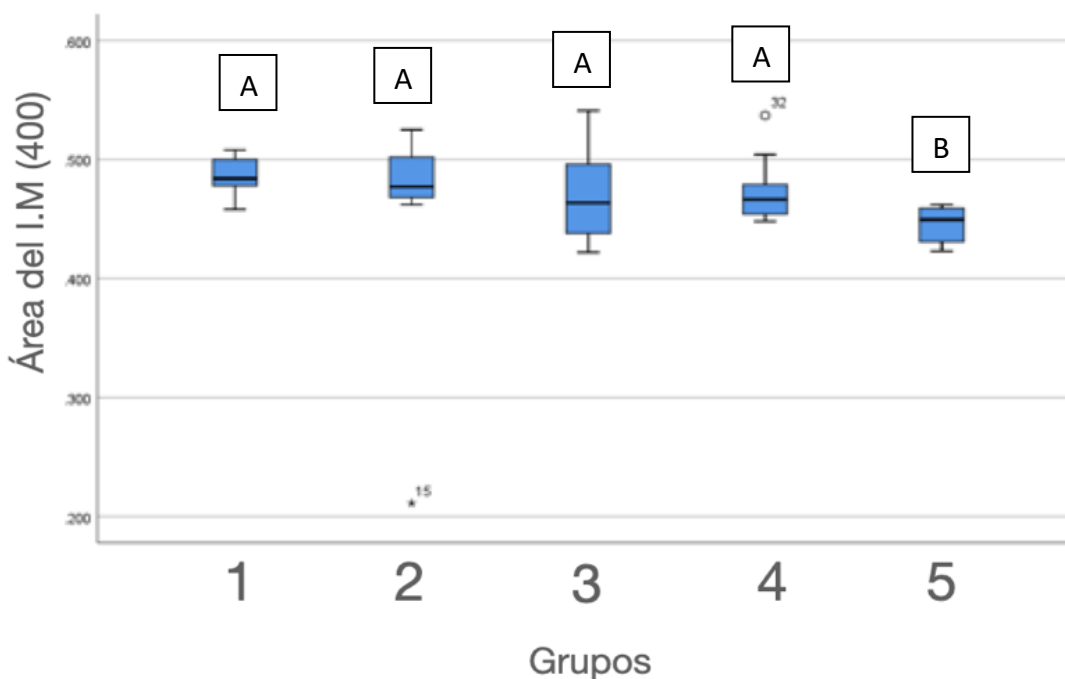
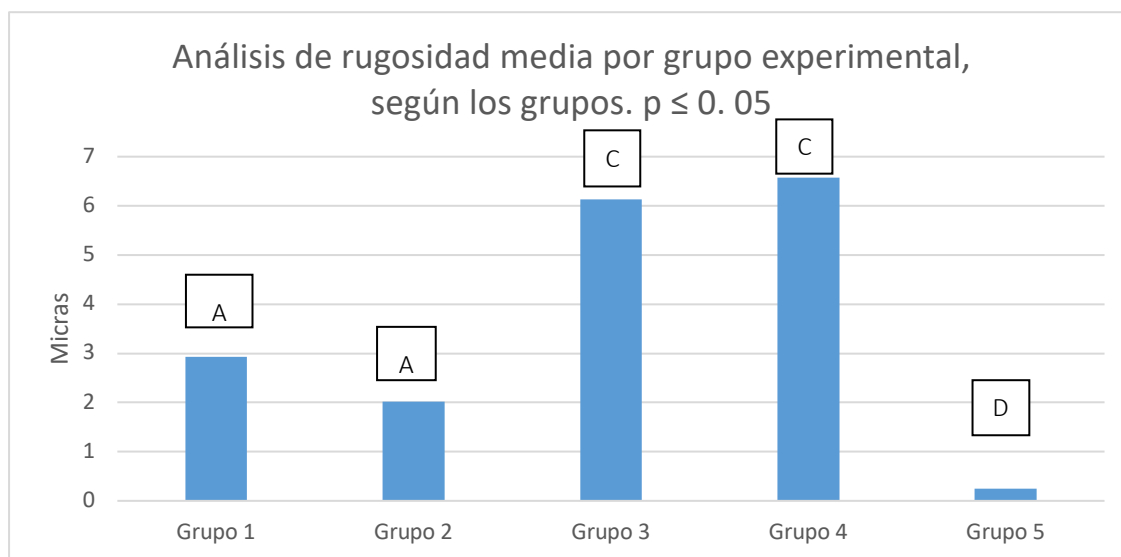


Figura 18. Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes para FWHM del índice de Miller (222), según los grupos.  $p \leq 0.05$

La Figura 17 presenta que el comportamiento de los grupos es muy semejante en la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (400), siendo más fuerte en el grupo 3. Hay diferencia estadísticamente significativa solamente entre los grupos 2 y 3, de acuerdo con la posición del ángulo de máxima altura del índice de Miller (400). En la Figura 18 se aprecia como el grupo 3 presenta mayor variabilidad de FWHM del índice de Miller (400). Existe diferencia estadísticamente significativa entre los grupos 5 y los demás para el FWHM del índice de Miller (400).

## 4.2 Perfilometría

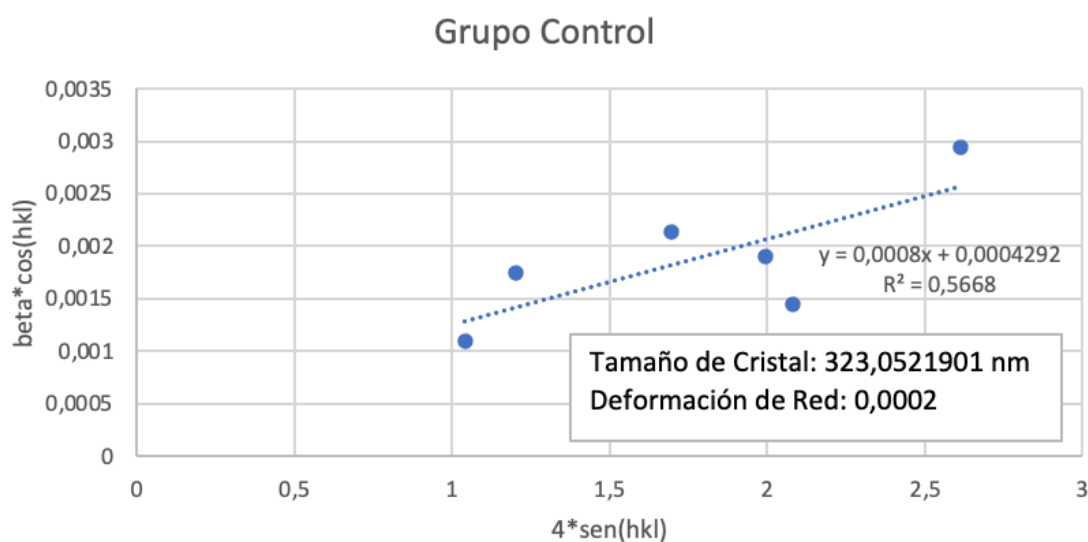


**Figura 19. Análisis de rugosidad promedio en micras, según grupo**

La Figura 19 expone el análisis de rugosidad promedio por grupo. Se puede observar que la mayor rugosidad se obtuvo con los grupos experimentales de modificación con instrumento rotatorio.

### 4.3 Análisis cristalográfico

Con el fin de derivar parámetros microestructurales como el tamaño del cristalito y la tensión de la red y estrés de deformación, se analizó la dependencia lineal entre las variables estableciendo  $4\sin\theta_{hkl}$  en el eje (x) y  $\beta_{hkl}\cos\theta_{hkl}$  en el (y). La Figura 21 representa el grupo 5 (control).



**Figura 20.** Muestra la dependencia lineal entre las variables estableciendo  $4*sen(hkl)$  en el eje (x) y  $beta*cos(hkl)$  en el eje (y) para el grupo 5.

Se obtuvieron propiedades mecánicas utilizando los índices de Miller y la ampliación correspondiente del pico de difracción hkl medido a todo el ancho a la mitad del máximo (FWHM).

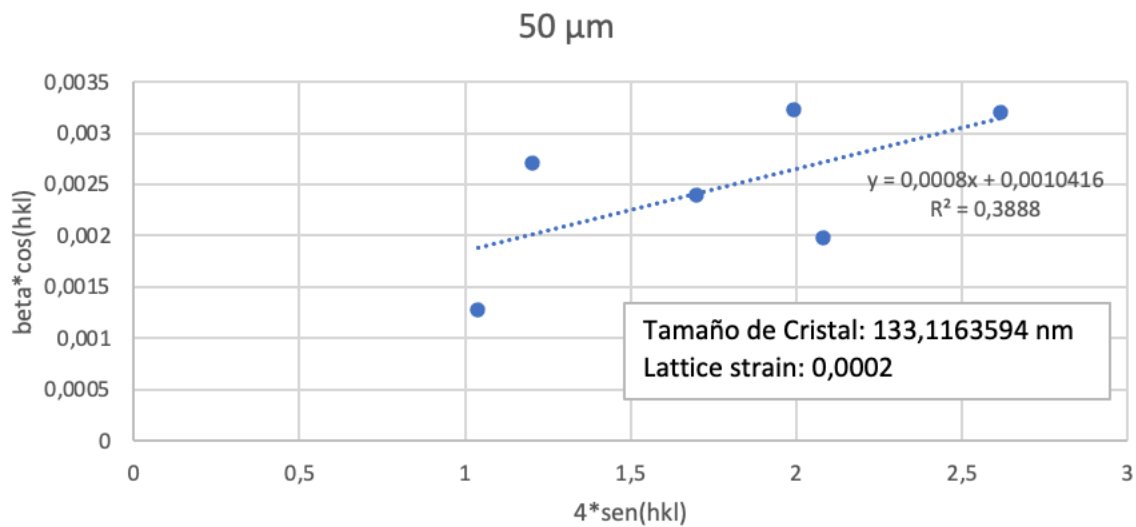


Figura 21. Muestra la dependencia lineal entre las variables estableciendo  $4 \cdot \sin(hkl)$  en el eje (x) y  $\beta \cdot \cos(hkl)$  en el eje (y) para el grupo 1

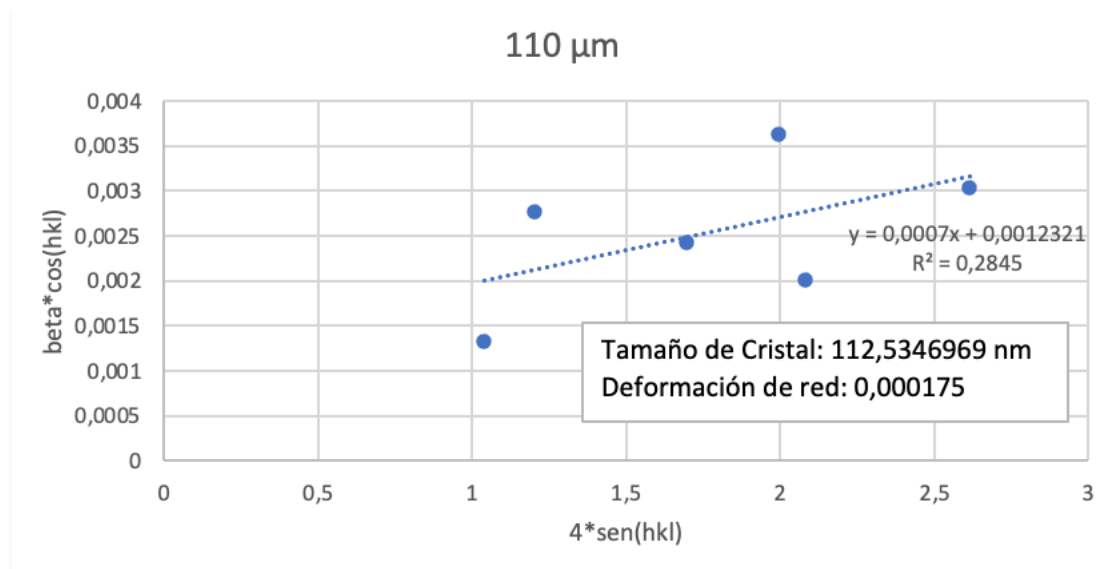
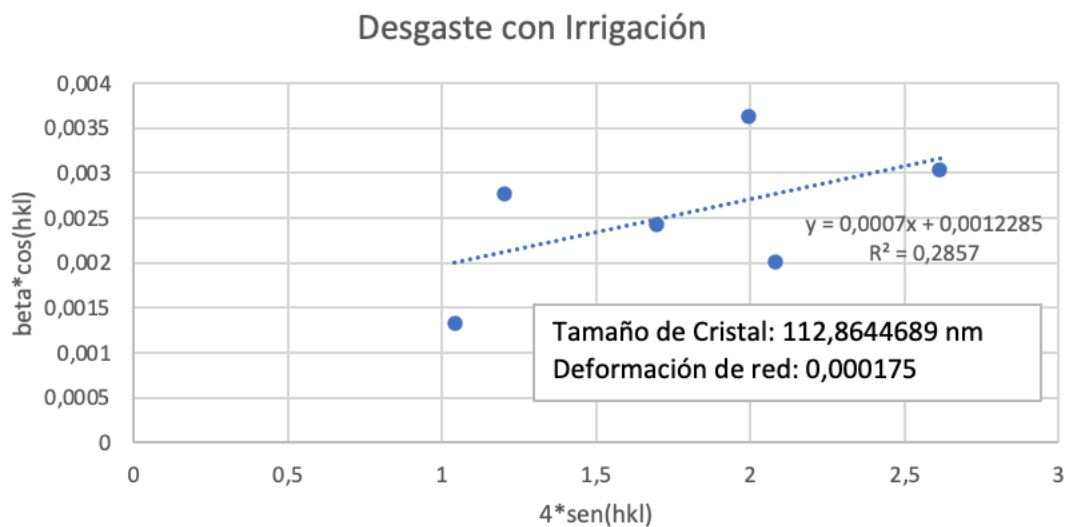
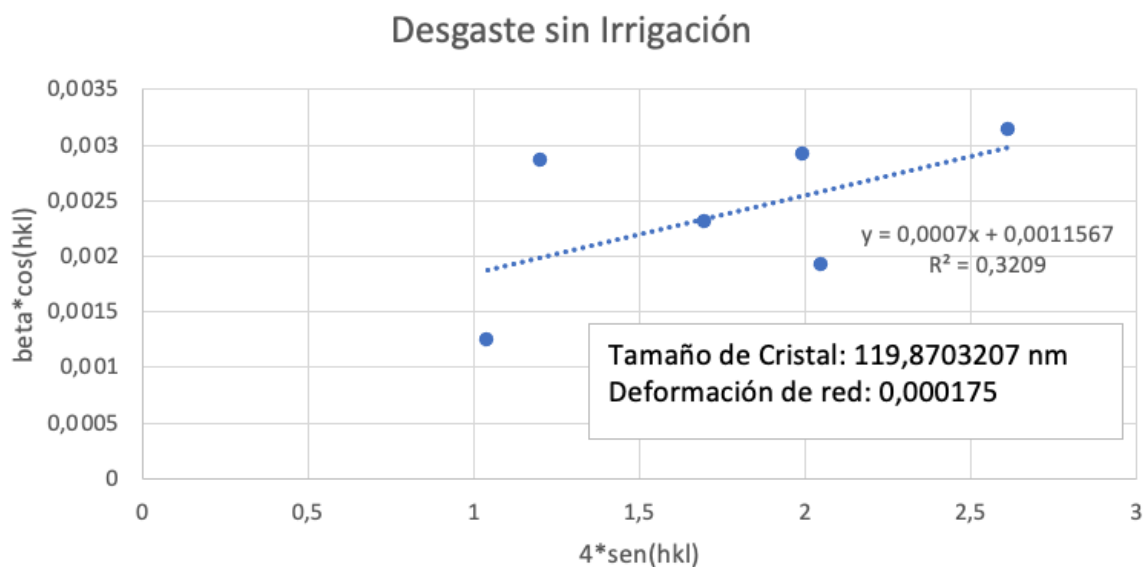


Figura 22. Muestra la dependencia lineal entre las variables estableciendo  $4 \cdot \sin(hkl)$  en el eje (x) y  $\beta \cdot \cos(hkl)$  en el eje (y) para el grupo 2.



**Figura 23.** Muestra la dependencia lineal entre las variables estableciendo  $4 \cdot \sin(hkl)$  en el eje (x) y  $\beta \cdot \cos(hkl)$  en el eje (y) para el grupo 3.



**Figura 24.** Muestra la dependencia lineal entre las variables estableciendo  $4 \cdot \sin(hkl)$  en el eje (x) y  $\beta \cdot \cos(hkl)$  en el eje (y) para el grupo 4.

De acuerdo con los análisis cristalográficos que se realizaron en las Figuras 20, 21, 22, 23, 24, se puede determinar que el grupo 5 tuvo el mayor tamaño de cristalito, seguido por el 1, mientras que los grupos 4, 3 y 2 presentaron tamaños de cristalito menor en orden de mayor a menor. La deformación de red fue menor en el 2, 3 y 4, siendo del mismo valor (0.000175), mientras que 1 y 5 presentaron mayor deformación de red y con el mismo valor 0.0002.



#### 4.4 Análisis con microscopía electrónica de barrido (MEB)

En la Figura 25 se puede observar la imagen de un espécimen arenado con partículas de óxido de aluminio de 50  $\mu\text{m}$ . Se advierte como el material contiene microrrugosidades propias del impacto de las partículas de óxido de aluminio sobre la zirconia.

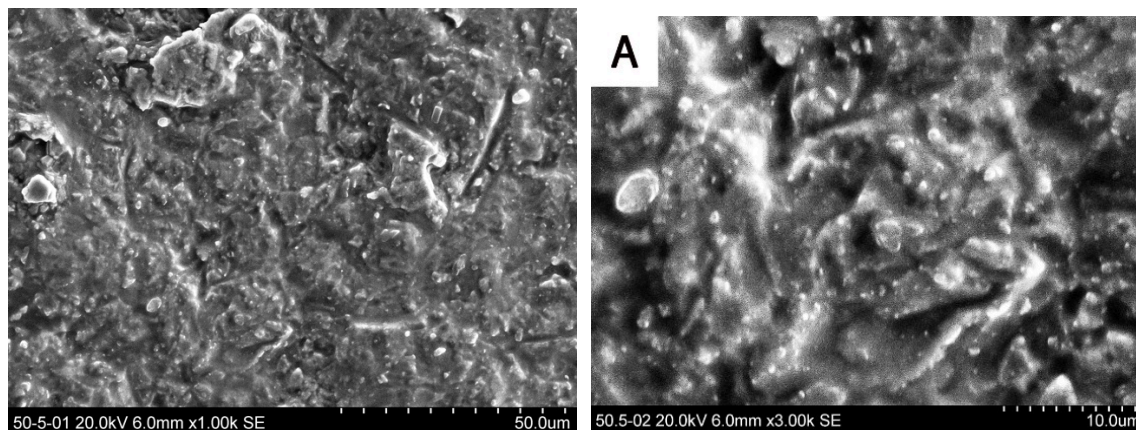


Figura 25. Especimen arenado con partículas de óxido de aluminio de 50  $\mu\text{m}$

La Figura 26 presenta un espécimen arenado con partículas de óxido de aluminio de 110  $\mu\text{m}$ , el cual muestra mayor rugosidad en comparación con el grupo 1, se empiezan a observar cráteres leves.

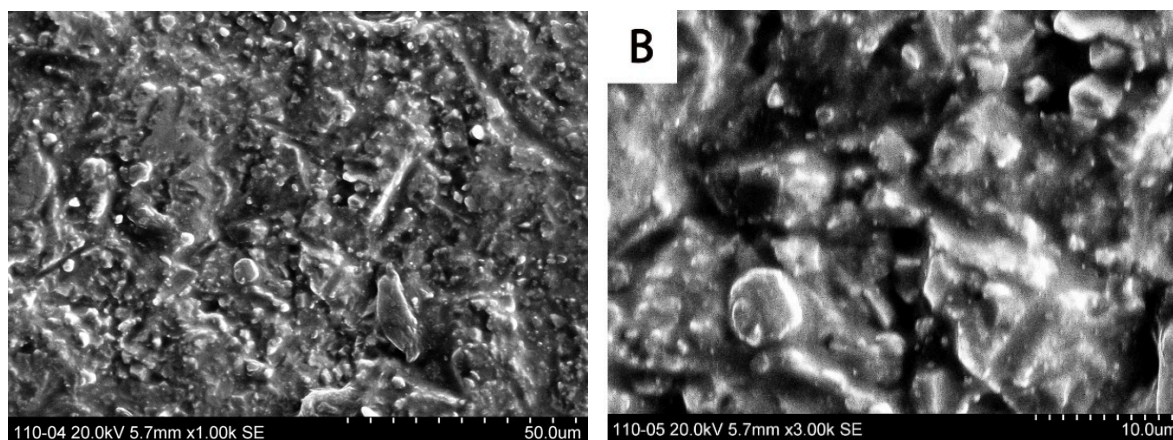
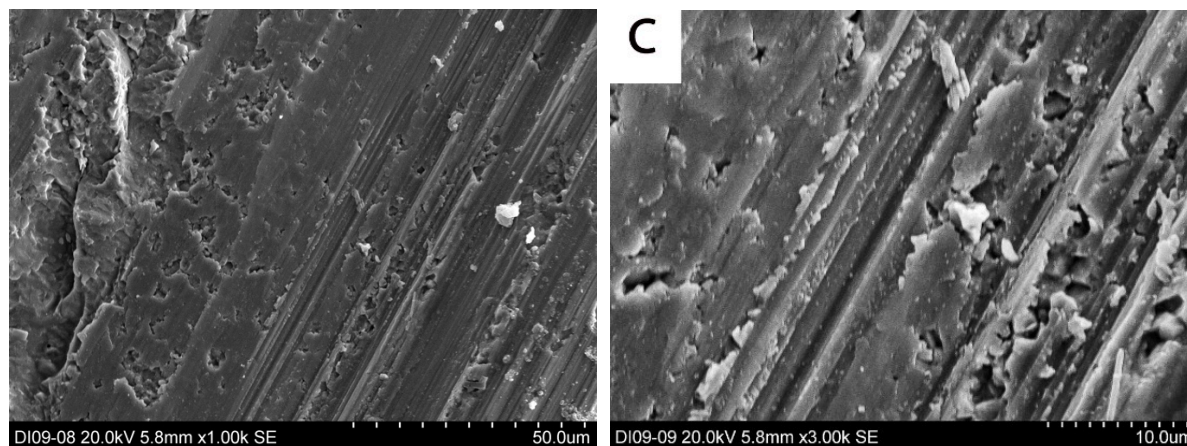


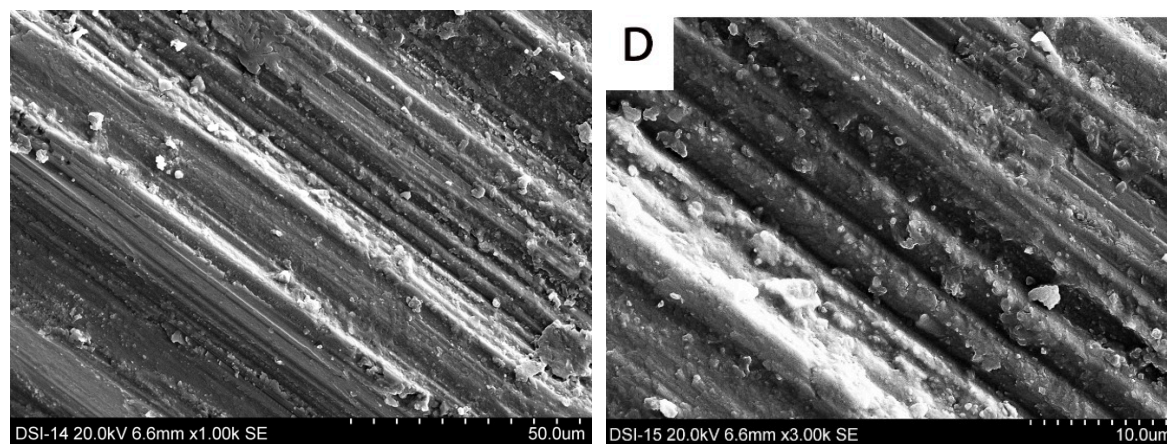
Figura 26. Especimen arenado con partículas de óxido de aluminio de 110  $\mu\text{m}$

En la Figura 27 se observa un espécimen desgastado con fresa de diamante y con irrigación, se denota una superficie más irregular con restos de material circundante. En la imagen de x1000, se revela la existencia de cráteres formados en la superficie del material y excesos de este.



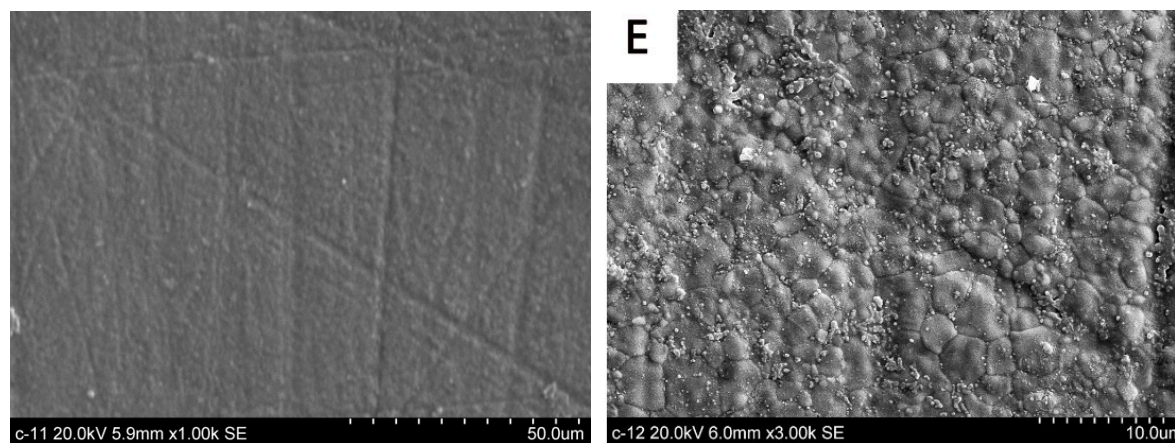
**Figura 27. Especimen desgastado con fresa de diamante con irrigación**

En la Figura 28 las imágenes de MEB muestran un espécimen desgastado con fresa de diamante y sin irrigación. En la superficie del material se exponen restos de material circundante, que son perceptibles desde la imagen x100. En la imagen de x1000, se observan cráteres formados en la superficie del material y excesos de este. Semejante a las imágenes del grupo 3.



**Figura 28. Especimen desgastado con fresa de diamante sin irrigación**

La Figura 29 expone las imágenes MEB de un espécimen control sin tratamiento, con una superficie limpia sin cráteres ni rayas profundas. Hay presencia de excesos propios del material. En la imagen x1000 se observan más líneas propias del proceso de fabricación de la muestra.



**Figura 29.** Espécimen del grupo experimental 5 que no recibió tratamiento de superficie

Tabla 14. *Rugosidad promedio en nanómetros, por grupo experimental*

Grupo experimental	Media	N	Desv. típ.
1	2.9320	10	1.18041
2	2.0161	10	.69071
3	6.1353	10	.85681
4	6.5683	10	1.50550
5	.2431	10	.08325

Tabla 15. *Análisis de rugosidad promedio de la zirconia utilizada en odontología, por grupo experimental*

(I)grupo experimental	(J)grupo experimental	Error típ.	Sig.	Intervalo de confianza 95%	
				Límite inferior	Límite superior
5	1	.44173	.000	-3.9930	-1.3849
	2	.44173	.002	-3.0770	-.4690
	4	.44173	.000	-7.1963	-4.5882
	3	.44173	.000	-7.6292	-5.0212
1	5	.44173	.000	1.3849	3.9930
	2	.44173	.439	-.3881	2.2199
	4	.44173	.000	-4.5073	-1.8993
	3	.44173	.000	-4.9402	-2.3322
2	5	.44173	.002	.4690	3.0770
	1	.44173	.439	-2.2199	.3881
	4	.44173	.000	-5.4232	-2.8152
	3	.44173	.000	-5.8562	-3.2482
3	5	.44173	.000	4.5882	7.1963
	1	.44173	.000	1.8993	4.5073
	2	.44173	.000	2.8152	5.4232
	4	.44173	1.000	-1.7369	.8711
4	5	.44173	.000	5.0212	7.6292
	1	.44173	.000	2.3322	4.9402
	2	.44173	.000	3.2482	5.8562
	3	.44173	1.000	-.8711	1.7369

Con base en en las medias observadas

El término de error es la media cuadrática (Error) = .976

\* La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05

Al realizar un análisis de la rugosidad promedio de los especímenes tratados, en la Tabla 14 se aprecia que la zirconia en el grupo 5 tuvo la menor menor rugosidad 0.2431 nm, mientras que el que experimentó una rugosidad mayor fue el 4 con un promedio de 6.5683 nm.

Asimismo, en la tabla 15 se observa que al comparar los grupos 1 y 2, 3 y 4 no hubo diferencia estadísticamente significativa, mientras que en las demás comparaciones sí.

## CAPÍTULO V DISCUSIÓN

### 5.1 Discusión

El uso de zirconia en odontología permite obtener restauraciones biocompatibles, longevas, de alta demanda estética, sin embargo, es un material que requiere un adecuado tratamiento superficial para que sus propiedades mecánicas y ópticas no se vean afectadas. En este estudio se consideraron los tratamientos que se utilizan con más frecuencia en el ambiente clínico, tanto el arenado con partículas de alúmina como el desgaste con fresa de diamante.

Uno de los principales hallazgos en este estudio es que luego de los tratamientos de superficie que se aplica sobre el material, este va a experimentar una disminución del tamaño del cristalito, siendo aun mayor al aplicar arenado con óxido de aluminio de 110  $\mu\text{m}$  y cuando se realiza desgaste con fresa de diamante. Además, la topografía del material va a cambiar en todos los tratamientos de superficie, formando cráteres y excedentes de este sobre la superficie de la zirconia. El comportamiento del IM principal en las lecturas de DRX también arrojó hallazgos interesantes, ya que en los grupos 1, 2 y 4 tuvo un desplazamiento hacia un ángulo menor, lo cual quiere decir que existen esfuerzos de tensión sobre la muestra, mientras que en el grupo 3 se experimentó un desplazamiento del IM principal a un ángulo mayor, o sea, que se aplicaron fuerzas compresivas sobre la superficie del material.

Se puede inferir que en este estudio se rechaza la hipótesis nula, y es que el desgaste con fresa de diamante y el arenado con óxido de aluminio si afecta el tamaño de cristal, la rugosidad de los especímenes de zirconia. El tamaño de cristal en el espécimen control (grupo 5) es de 323,0521901 nm, lo que siempre disminuyó en los demás grupos. La Ra fue mayor en el 1, 2, 3 y 4 cuando se comparó con el grupo 5.

En el tratamiento superficial de arenado se utilizó alúmina, uno de los materiales más reportados en la literatura y además el recomendado por Blatz et al. (30) para lograr adhesión según el protocolo APC-Concept. Por otro lado, el arenado de la superficie del material puede ser estático o dinámico. En este estudio se escogió la modalidad de arenado estático, con el fin de lograr una reproducibilidad del método elegido. Arenar de forma dinámica varía la distancia desde la boquilla del arenador hasta la superficie donde impacta el material en la zirconia. Esto

tiene como consecuencia una presión de arenada variable y, por ende, una fuerza de impacto también variable. Al ser estática se decidió utilizar una distancia de 10 mm, porque es un intervalo estandarizado en los diferentes métodos reportados.

En cuanto al desgaste con fresa de diamante, es un tratamiento frecuente en la situación clínica, donde por la necesidad de ajustes en el material se realiza un desgaste para lograr una mejor adaptación. Se eligió la variable de desgastar con irrigación, porque es una realidad y situación clínica frecuente a la hora de desgastar en la boca de un paciente. La ausencia de irrigación también es una circunstancia frecuente en el laboratorio dental (16, 13,23).

Los análisis que se realizaron al material fueron mediante herramientas previamente descritas en la literatura como lo son la difracción de rayos X, microscopía electrónica de barrido y perfilometría (10, 13, 17).

La literatura odontológica escasamente reporta datos acerca de análisis cristalográficos relacionados con el tamaño de cristalito. Este es un estudio que se apoya en análisis de DRX y cuantitativos para la estimación del tamaño del cristalito y de la cepa reticular, por medio de un examen de perfil máximo de rayos X por modelos Williamson-Hall (W\_H) modificados. Lograr el tamaño del cristalito permite conocer mejor el material que se utiliza y cómo este se comporta con los diferentes tratamientos de superficie que se le aplican.

En la literatura el tamaño de grano de la zirconia se reporta en  $1.7 \pm 0.4 \mu\text{m}$ , con este estudio se estima en 112 nm hasta 323,0521901 nm (9, 10).

Es importante mencionar que este estudio se realizó con cálculos matemáticos relacionados con materiales isotrópicos. La primera y segunda generación de zirconia utilizada en odontología es birrefringente, su índice de refracción es anisotrópico en diferentes direcciones cristalográficas, esto da como resultado una discontinuidad del índice de refracción, el cual se da en los límites del grano, lo cual reduce considerablemente la transmisión de luz. La tercera generación de zirconia utilizada en odontología, es una zirconia más translúcida, con un alto volumen de zirconia cúbica, estabilizado con 4-8% mol de itria. Esta zirconia es isotrópica dado que hay ausencia de grano birrefringente y el índice de refracción se da en el centro del cristal, por lo que hay mayor transmisión de luz. Esto es importante mencionarlo dado que los cálculos

descritos por Venkateswarlu, menciona la necesidad de realizar estos cálculos en materiales isotrópicos. (29, 31)

También es importante mencionar que este estudio llevó a cabo procesos de sinterización de acuerdo con lo recomendado por el fabricante y el cual inició a temperatura ambiente, fue aumentando a 10 grados centígrados por minuto hasta llegar a 1550 grados centígrados, donde se mantuvo por 2 horas y luego disminuyó 10 grados centígrados por minuto hasta llegar a temperatura ambiente. Según lo descrito por Lawson, se encontraron granos de zirconia más grandes y porosos cuando se sinterizó de forma rápida y a mayor temperatura. Esta puede ser una respuesta a la diferencia de tamaños cristal reportado en la literatura y las obtenidas en este estudio. (11)

Además, en el análisis del comportamiento del pico principal (111), posterior a los tratamientos de superficie, se puede comentar que todos los grupos tuvieron un desplazamiento a un ángulo menor, menos el grupo 3, siendo este sometido a un esfuerzo compresivo. Este desplazamiento del IM principal, además, tiene una particularidad y es que siempre disminuyó el tamaño del cristalito, independientemente si la muestra experimentó fuerzas tensiles o compresivas.

Igualmente, la investigación reporta el ángulo de máxima altura de cada IM por grupo experimental, situación que no se observa con frecuencia en las investigaciones relacionadas con este material. Comparando con los artículos revisados, se puede observar un comportamiento muy semejante entre los especímenes que no recibieron tratamiento superficial y los arenados con partículas de alúmina de 50  $\mu\text{m}$ . Al analizar los especímenes no tratados con DRX, el IM principal se encontró muy cercano al ángulo 30.21 y, posteriormente, al arenado, este pico prácticamente tuvo un movimiento nulo (10). En el presente estudio, la diferencia del desplazamiento del pico fue de 0.0108 grados y una disminución en el tamaño de cristalito.

La rugosidad de la zirconia se midió utilizando un perfilómetro Stylus Bruker DektakXT™, mediante un escaneo estándar, en rango determinado para la lectura de picos y valles. A la hora de realizar las mediciones de rugosidad se determinó que estas deberían ser en tres direcciones. Esto porque el desgaste reproducido por la fresa va en una una dirección y el espécimen va en otra, de modo que se encuentran opuestas y, como los especímenes no son maquinados a dimensiones exactas, puede hacer un sesgo si se hace una lectura única. Los datos reportados previamente en la literatura corresponden a la zirconia sin arenar, la cual tiene una rugosidad promedio de 0.082  $\mu\text{m}$ , mientras que en este estudio es de 0.224  $\mu\text{m}$ . Por otro lado, la zirconia arenada presenta una rugosidad de 0.911  $\mu\text{m}$  y el estudio presente fue de 2.0161  $\mu\text{m}$ . Alao y sus colaboradores mencionan que la forma en la que se tiene una zirconia menor rugosa es cuando se fresa, se pule y se sinteriza; este tipo de metodología fue la que se llevó a cabo en el grupo control de nuestro estudio. Ellos también mencionan en su estudio que obtuvieron mayor rugosidad en especímenes de zirconia cuando los maquinaron, los sinterizaron y luego los arenaron con óxido de aluminio de 250 micras. En en el presente estudio los especímenes no fueron maquinados, fueron obtenidos y cortados manualmente y el proceso de pulido también fue de forma manual, esta puede ser una respuesta al comparar resultados entre los reportados en la literatura y los obtenidos en nuestro estudio. (11)

Esta investigación permite entender comportamientos del material y cómo se afecta posterior a los tratamientos de superficie. Independientemente del tratamiento de superficie que se le aplique a la zirconia, siempre provocará una disminución en el tamaño del cristalito. Los procedimientos de superficie producirán fuerzas tensiles en el material, a menos que se realice un desgaste con fresa de diamante e irrigación, el cual, en este caso, producirá esfuerzos compresivos sobre este. Todos los tratamientos de superficie van a aumentar la rugosidad promedio del material, haciendo que se vuelva hasta 25 veces más rugoso y, al aumentar la rugosidad, se encontrarán cráteres en su superficie y excesos. Además se puede correlacionar el comportamiento similar que presentaron el grupo 3 y 4. En ambos grupos se obtuvo un tamaño de cristalito semejante y en cuanto a la rugosidad no hubo diferencia estadísticamente significativa. Por lo que se podría decir que al desgastar zirconia, no hay diferencia en hacerlo en presencia o no de un irritante externo.



En cuanto a las limitaciones de este estudio, una es que solamente se utilizó un tipo de fresa de diamante y este modelo de broca no es la que se usa con frecuencia para pulir zirconia, sino que es una fresa para desgaste; otra fue que los especímenes no se pulieron a mano, lo que pudo tener algún tipo de variabilidad en el acabado final.

Este es un estudio *in vitro*, aleatorizado, que permitió el análisis de las propiedades de la zirconia que se emplea en odontología. Se contó con materiales reportados en la literatura y con metodología reproducible y controlada para su análisis. Además, se realizó de forma interinstitucional con el Instituto Tecnológico de Costa Rica (TEC), lo que permitió que se efectuara un análisis DRX.

Igualmente, con esta investigación se logró analizar el tamaño del cristalito en la zirconia, que en la literatura revisada no se reporta; por lo general, el término que se analiza es el tamaño de su grano. Se logró conocer más los efectos que tienen los tratamientos de superficie sobre el material utilizado en cuando a fuerzas compresivas y tensiles que sufre debido a cambios en la posición de IM principal, tema que también no se encontró en la literatura consultada.

## CAPÍTULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

Referente a las conclusiones de este estudio, se pudo observar que

1. Los diferentes tratamientos de superficie hacen que el tamaño del cristalito de zirconia disminuya en tamaño.
2. Posterior al tratamiento de superficies, los grupos 1, 2 y 4 experimentaron esfuerzos tensiles en la muestra, mientras que el grupo 3 fue el único que experimentó esfuerzos compresivos en la muestra.
3. Los tratamientos de superficie aumentan la rugosidad promedio y hubo diferencia estadísticamente significativa entre el grupo sin tratamiento y los demás grupos. Además, no se presentó diferencia estadísticamente significativa entre los grupos 1 y 2, 3 y 4. Arenar la zirconia con partículas de 50 micras, permite obtener una superficie rugosa y limpia sin exceso de material resultante, sin cráteres ni rayas en el material.

### 6.2 Recomendaciones

- Incorporar otras marcas de zirconia con otros porcentajes de zirconia cúbica.
- Emplear pruebas mecánicas al material.
- Utilizar otro tipo de fresas y más instrumentos rotatorios de ajuste y pulido del material.
- Ampliar y profundizar en los cambios de fase de la zirconia, su adhesión luego de los diferentes procesos de tratamiento y reparación utilizando los diferentes procedimientos de superficie y pruebas mecánicas al material.

### Referencias Bibliográficas

1. Ozer F, Naden A, Turp V, Mante F, Sen D, Blatz MB. Effect of thickness and surface modifications on flexural strength of monolithic zirconia. *J Prosthet Dent*. 2018;119(6):987-993. Doi: 10.1016/j.prosdent.2017.08.007
2. Ramos-Tonello CM, Trevizo BF, Rodrigues RF, et al. Pre-sintered Y-TZP sandblasting: effect on surface roughness, phase transformation, and Y-TZP/veneer bond strength. *J Appl Oral Sci*. 2017;25(6):666-673. Doi: 10.1590/1678-7757-2017-0131
3. Gracis S, Thompson VP, Ferencz JL, Silva NR, Bonfante EA. A new classification system for all-ceramic and ceramic-like restorative materials. *Int J Prosthodont*. 2015;28(3):227-235. Doi: 10.11607/ijp.4244
4. Kypraiou V, Pelekanos S, Eliades G. Identification of monoclinic phase in CAD/CAM zirconia FPD frameworks. *Eur J Esthet Dent*. 2012;7(4):418-429.
5. Shen Ch, Raws R, Esquivel-Upshaw J. Phillips` s Science of Dental Materials. 13th ed. St Louis, Missouri: Elsevier; 2013.
6. Zhang Y, Lawn BR. Novel Zirconia Materials in Dentistry. *J Dent Res*. 2018;97(2):140-147. Doi: 10.1177/0022034517737483
7. Denry I, Kelly JR. State of the art of zirconia for dental applications. *Dent Mater*. 2008;24(3):299-307. Doi: 10.1016/j.dental.2007.05.007
8. Siarampi E, Kontonasaki E, Andrikopoulos KS, et al. Effect of in vitro aging on the flexural strength and probability to fracture of Y-TZP zirconia ceramics for all-ceramic restorations. *Dent Mater*. 2014;30(12):e306-e316. Doi: 10.1016/j.dental.2014.05.033
9. Kolakarnprasert N, Kaizer MR, Kim DK, Zhang Y. New multi-layered zirconias: Composition, microstructure and translucency. *Dent Mater*. 2019;35(5):797-806. Doi: 10.1016/j.dental.2019.02.017

10. Inokoshi M, Shimizu H, Nozaki K, et al. Crystallographic and morphological analysis of sandblasted highly translucent dental zirconia. *Dent Mater.* 2018;34(3):508-518. Doi: 10.1016/j.dental.2017.12.008
11. Lawson NC, Maharishi A. Strength and translucency of zirconia after high-speed sintering. *J Esthet Restor Dent.* 2020;32(2):219-225. Doi: 10.1111/jerd.12524
12. Ahmed WM, Troczynski T, McCullagh AP, Wyatt CCL, Carvalho RM. The influence of altering sintering protocols on the optical and mechanical properties of zirconia: A review. *J Esthet Restor Dent.* 2019;31(5):423-430. Doi: 10.1111/jerd.12492
13. Alao AR, Stoll R, Song XF, et al. Surface quality of yttria-stabilized tetragonal zirconia polycrystal in CAD/CAM milling, sintering, polishing and sandblasting processes. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2017;65:102-116. Doi: 10.1016/j.jmbbm.2016.08.021
14. Chintapalli RK, Marro FG, Jimenez-Pique E, Anglada M. Phase transformation and subsurface damage in 3Y-TZP after sandblasting. *Dent Mater.* 2013;29(5):566-572. Doi: 10.1016/j.dental.2013.03.005
15. Chintapalli RK, Mestra Rodriguez A, Garcia Marro F, Anglada M. Effect of sandblasting and residual stress on strength of zirconia for restorative dentistry applications. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2014;29:126-137. Doi: 10.1016/j.jmbbm.2013.09.004
16. Garcia Fonseca R, de Oliveira Abi-Rached F, dos Santos Nunes Reis JM, Rambaldi E, Baldissara P. Effect of particle size on the flexural strength and phase transformation of an airborne-particle abraded yttria-stabilized tetragonal zirconia polycrystal ceramic. *J Prosthet Dent.* 2013;110(6):510-514. Doi: 10.1016/j.prosdent.2013.07.007
17. Blatz MB, Sadan A, Martin J, Lang B. In vitro evaluation of shear bond strengths of resin to densely-sintered high-purity zirconium-oxide ceramic after long-term storage and thermal cycling. *J Prosthet Dent.* 2004;91(4):356-362. Doi: 10.1016/j.prosdent.2004.02.001
18. Huh YH, Park CJ, Cho LR. Evaluation of various polishing systems and the phase transformation of monolithic zirconia. *J Prosthet Dent.* 2016;116(3):440-449. Doi: 10.1016/j.prosdent.2016.01.021

19. Allahkarami M, Hanan JC. Mapping the tetragonal to monoclinic phase transformation in zirconia core dental crowns. *Dental Materials*. 2011;27(12):1279-1284
20. Basu, B. Toughening of yttria-stabilised tetragonal zirconia ceramics. *International Materials Reviews*. 2005;50(4):239-256. Doi: 10.1179/174328005X41113
21. Flinn BD, deGroot DA, Mancl LA, Raigrodski AJ. Accelerated aging characteristics of three yttria-stabilized tetragonal zirconia polycrystalline dental materials. *J Prosthet Dent*. 2012;108(4):223-230. Doi: 10.1016/S0022-3913(12)60166-8
22. Baghmar, D. Structural phase transitions and elastic properties of zirconia. *Phase Transitions*. 2013;86(8):811-823. Doi: 10.1080/01411594.2012.721116
23. Rues S, Schwindling FS, Meyer A, Rammelsberg P, Schmitter M. Fracture resistance of zirconia-based all-ceramic crowns after bur adjustment. *Eur J Oral Sci*. 2017;125(4):310-313. Doi: 10.1111/eos.12353
24. Camposilvan E, Leone R, Gremillard L, et al. Aging resistance, mechanical properties and translucency of different yttria-stabilized zirconia ceramics for monolithic dental crown applications. *Dent Mater*. 2018;34(6):879-890. Doi: 10.1016/j.dental.2018.03.006
25. Passos SP, Linke B, Major PW, Nychka JA. The effect of air-abrasion and heat treatment on the fracture behavior of Y-TZP. *Dent Mater*. 2015;31(9):1011-1021. Doi: 10.1016/j.dental.2015.05.008
26. Monaco C, Tucci A, Esposito L, Scotti R. Microstructural changes produced by abrading Y-TZP in presintered and sintered conditions. *J Dent*. 2013;41(2):121-126. Doi: 10.1016/j.jdent.2012.06.009
27. Strasberg M, Barrett AA, Anusavice KJ et al. Influence of roughness on the efficacy of grazing incidence X-ray diffraction to characterize grinding-induced phase changes in yttria-tetragonal zirconia polycrystals (Y-TZP). *J Mater Sci*. 2014;49,:630–1638. Doi: 10.1007/s10853-013-7846-z
28. Souza RO, Valandro LF, Melo RM, Machado JP, Bottino MA, Ozcan M. Air-particle abrasion on zirconia ceramic using different protocols: effects on biaxial flexural strength after cyclic

- loading, phase transformation and surface topography. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2013;26:155-163. Doi: 10.1016/j.jmbbm.2013.04.018
29. Venkateswarlu KB, Bose ACH, Rameshbabu N. X-ray peak broadening studies of nanocrystalline hydroxyapatite by Williamson–Hall analysis. *Physica B: Condensed Matte.* 2010;405(20):4256-4261. Doi: 10.1016/j.physb.2010.07.020
30. Blatz MB, Alvarez M, Sawyer K, Brindis M. How to Bond Zirconia: The APC Concept. *Compend Contin Educ Dent.* 2016;37(9):611-618
31. Zhang, Y. (2014). Making yttria-stabilized tetragonal zirconia translucent. *Dental materials*, 30(10), 1195-1203

## APÉNDICE

Tabla 16. Resumen de generalidades de las zirconias más utilizadas en la actualidad (6)

Generación /Material	Manufactura	Composición	E, GPa	T, MPa · m <sup>1/2</sup>	S, GPa
<b>1</b>					
<i>Lava Frame</i>	3M ESPE	3Y-TZP (<15% c)	200-210	3.5 – 4.5	1.2 – 1.5
<i>Prettau Zirconia</i>	Zirconzhan	3Y-TZP (<15% c)	200-210	3.5 – 4.5	1.2 – 1.4
<i>KaVo Everest ZH</i>	KaVo Dental	3Y-TZP (<15% c)	200-210	3.5 – 4.5	1.2 – 1.4
<i>Vita YZ T</i>	Vita Zahnfabrik	3Y-TZP (<15% c)	200-210	3.5 – 4.5	1.1 – 1.3
<i>Zenostar MO</i>	Wieland Dental	3Y-TZP (<15% c)	200-210	3.5 – 4.5	1.0 – 1.3
<b>2</b>					
<i>Lava Plus</i>	3M ESPE	3Y-TZP (<15% c)	200-210	3.5 – 4.5	1.1 – 1.3
<i>Cercon ht</i>	Dentsply Sirona	3Y-TZP (<15% c)	200-210	3.5 – 4.5	1.1 – 1.3
<i>Vita YZ HT</i>	Vita Zahnfabrik	3Y-TZP (<15% c)	200-210	3.5 – 4.5	1.0 – 1.2
<i>Bruzir Full-Strength</i>	Glidewell	3Y-TZP (<15% c)	200-210	3.5 – 4.5	1.0 – 1.2
<i>Zpex</i>	Tosoh	3Y-TZP (<15% c)	200-210	3.5 – 4.5	0.9 – 1.1
<i>Zenostar T</i>	Wieland Dental	3Y-TZP (<15% c)	200-210	3.5 – 4.5	0.9 – 1.1
<i>Luxisse Dental</i>	Heany	3Y-TZP (<15% c)	200-210	3.5 – 4.5	0.9 – 1.1
<i>Katana HT/ML</i>	Kuraray Noritake	3Y-TZP (<15% c)	200-210	3.5 – 4.5	0.9 – 1.1
<i>inCoris TZI</i>	Dentsply Sirona	3Y-TZP (<15% c)	200-210	3.5 – 4.5	0.9 – 1.1
<b>3</b>					
<i>Zpex 4</i>	Tosoh	4Y-PSZ (> 25% c)	200-210	2.5–3.5	0.8 – 1.0
<i>IPS e.max ZirCAD MT</i>	Ivoclar Vivadent	4Y-PSZ (> 25% c)	200-210	2.5–3.5	0.8 – 0.9
<i>Zenostar MT</i>	Wieland Dental	4Y-PSZ (> 25% c)	200-210	2.5–3.5	0.6 – 0.8
<i>Katana ST/STML</i>	Kuraray Noritake	4Y-PSZ (> 25% c)	200-210	2.5–3.5	0.6 – 0.8
<i>Lava Esthetic</i>	3M ESPE	5Y-PSZ (> 50% c)	200-210	2.2–2.7	0.7 – 0.9
<i>Cercon xt</i>	Dentsply Sirona	5Y-PSZ (> 50% c)	200-210	2.2–2.7	0.7 – 0.8
<i>DD cube X<sup>2</sup></i>	Dental Direkt Materials	5Y-PSZ (> 50% c)	200-210	2.2–2.7	0.5 – 0.8
<i>Bruzir Anterior</i>	Glidewell	5Y-PSZ (> 50% c)	200-210	2.2–2.7	0.6 – 0.7
<i>Prettau Zirconia</i>	Zirconzhan	5Y-PSZ (> 50% c)	200-210	2.2–2.7	0.6 – 0.7
<i>Katana UT/UTML</i>	Kuraray Noritake	5Y-PSZ (> 50% c)	200-210	2.2–2.7	0.5 – 0.6
<i>Zpex Smile</i>	Tosoh	5Y-PSZ (> 50% c)	200-210	2.2–2.7	0.4 – 0.5
<i>Luxisse +</i>	Heany	5Y-PSZ (> 50% c)	200-210	2.2–2.7	0.4 – 0.5

Tabla 17. Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (111), según los grupos

Grupo	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.	
Ángulo IM (111)	1	.381	10	.000	.640	10	.000
	2	.184	10	.200*	.937	10	.522
	3	.257	10	.059	.850	10	.059
	4	.222	10	.178	.900	10	.219
	5	.174	10	.200*	.952	10	.691

Tabla 18. Prueba post hoc de comparación por parejas de grupo para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (111), según los grupos

Muestra -Muestra	Estadístico de prueba	Desv. Error	Desv. Estadístico de prueba	Sig.	Sig. ajustada <sup>a</sup>
2 - 1	3.950	6.505	.607	.544	1.000
2 - 4	-22.950	6.505	-3.528	.000	.004
2 - 3	-26.000	6.505	-3.997	.000	.001
2 - 5	-26.850	6.505	-4.128	.000	.000
1 - 4	-19.000	6.505	-2.921	.003	.035
1 - 3	-22.050	6.505	-3.390	.001	.007
1 - 5	-22.900	6.505	-3.520	.000	.004
4 - 3	3.050	6.505	.469	.639	1.000
4 - 5	-3.900	6.505	-.600	.549	1.000
3 - 5	-.850	6.505	-.131	.896	1.000

Cada fila prueba la hipótesis nula que las distribuciones de la muestra 1 y la 2 son iguales.

Se visualizan las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es de .05

a. Los valores de significación se han ajustado mediante la corrección Bonferroni para varias pruebas.



Tabla 19. Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (111), según los grupos

Grupo	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Ángulo IM (111) 1	.381	10	.000	.640	10	.000
2	.184	10	.200*	.937	10	.522
3	.257	10	.059	.850	10	.059
4	.222	10	.178	.900	10	.219
5	.174	10	.200*	.952	10	.691

Según la Tabla 19, no hay distribución normal para los diferentes grupos en el ángulo de máxima altura del índice de Miller (111).

Variable dependiente: Ángulo de Miller (111)

Tabla 20. Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (111)

F	gl1	gl2	Sig.
46.215	4	45	.000

Contrasta la hipótesis nula de que la varianza error de la variable dependiente es igual a lo largo de todos los grupos.

a. Diseño: Intersección + grupo

Según la Tabla 20, no hay homogeneidad de varianzas según la prueba de Levene para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (111).

Variable dependiente: Ángulo de Miller (111)

Tabla 21. *Análisis de comportamiento para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (111)*

Grupo	Media	Error típ.	Intervalo de confianza 95%	
			Límite inferior	Límite superior
1	30.131	.004	30.123	30.138
2	30.126	.004	30.119	30.134
3	30.154	.004	30.147	30.161
4	30.140	.004	30.132	30.147
5	30.141	.004	30.134	30.148

Tabla 22. *Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk para FWHM del IM (111)*

Grupo	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Área IM (111)						
1	.251	10	.073	.839	10	.043
2	.125	10	.200*	.973	10	.916
3	.194	10	.200*	.910	10	.283
4	.344	10	.001	.697	10	.001
5	.186	10	.200*	.943	10	.590

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

De acuerdo con la Tabla 22, no hay distribución normal para FWHM del índice de Miller (111), según los grupos.

Tabla 23. Análisis de comportamiento para FWHM del índice de Miller (111), según los grupos

	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% de intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
1	10	.15100	.010488	.003317	.14350	.15850	.125	.164
2	10	.15690	.008582	.002714	.15076	.16304	.143	.171
3	10	.15850	.018864	.005965	.14501	.17199	.132	.186
4	10	.14710	.019070	.006030	.13346	.16074	.133	.190
5	10	.13010	.002923	.000924	.12801	.13219	.124	.134
Total	50	.14872	.016522	.002337	.14402	.15342	.124	.190

Tabla 24. Prueba post hoc de comparación por parejas de grupo del FWHM del índice de Miller (111)

Muestra 1 – Muestra 2	Estadístico de prueba	Desv. Error	Desv. Estadístico de prueba	Sig.	Sig. ajustada <sup>a</sup>
5 - 4	16.950	6.516	2.601	.009	.093
5 - 1	21.900	6.516	3.361	.001	.008
5 - 3	26.650	6.516	4.090	.000	.000
5 - 2	27.250	6.516	4.182	.000	.000
4 - 1	4.950	6.516	.760	.447	1.000
4 - 3	9.700	6.516	1.489	.137	1.000
4 - 2	10.300	6.516	1.581	.114	1.000
1 - 3	-4.750	6.516	-.729	.466	1.000
2 - 1	-5.350	6.516	-.821	.412	1.000
3 - 2	.600	6.516	.092	.927	1.000

Cada fila prueba la hipótesis nula que las distribuciones de la muestra 1 y la 2 son iguales.

Se visualizan las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es de .05

a. Los valores de significación se han ajustado mediante la corrección Bonferroni para varias pruebas.

Tabla 25. Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas del FWHM del índice de Miller (111)

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Área IM (111)	Se basa en la media	5.653	4	45	.001
	Se basa en la mediana	2.240	4	45	.080
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	2.240	4	21.890	.098
	Se basa en la media recortada	4.778	4	45	.003

La Tabla 25 muestra que no hay homogeneidad de varianzas según la prueba de Levene para FWHM del índice de Miller (111).

Tabla 26. Análisis de comportamiento para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (200), según los grupos

	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% de intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
1	10	35.08390	.317051	.100260	34.85710	35.31070	34.968	35.986
2	10	34.97780	.014030	.004437	34.96776	34.98784	34.956	34.993
3	10	35.04150	.087099	.027543	34.97919	35.10381	34.977	35.208
4	10	34.99910	.007078	.002238	34.99404	35.00416	34.985	35.011
5	10	35.00560	.016728	.005290	34.99363	35.01757	34.987	35.050
Total	50	35.02158	.146196	.020675	34.98003	35.06313	34.956	35.986

Tabla 27. *Resumen de prueba Kruskal-Wallis de muestras independientes para índice de Miller (200)*

N total	50
Estadístico de prueba	23.525 <sup>a</sup>
Grado de libertad	4
Sig. asintótica (prueba bilateral)	.000

a. Las estadísticas de prueba se ajustan para empates.

Tabla 28. *Prueba post hoc de comparación por parejas de grupo para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (200)*

Muestra 1 – Muestra 2	Estadístico de prueba	Desv. Error	Desv. Estadístico de prueba	Sig.	Sig. ajustada <sup>a</sup>
2 - 1	5.450	6.515	.837	.403	1.000
2 - 4	-18.950	6.515	-2.909	.004	.036
2 - 3	-24.000	6.515	-3.684	.000	.002
2 - 5	-24.350	6.515	-3.738	.000	.002
1 - 4	-13.500	6.515	-2.072	.038	.382
1 - 3	-18.550	6.515	-2.847	.004	.044
1 - 5	-18.900	6.515	-2.901	.004	.037
4 - 3	5.050	6.515	.775	.438	1.000
4 - 5	-5.400	6.515	-.829	.407	1.000
3 - 5	-.350	6.515	-.054	.957	1.000

Tabla 29. Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (200)

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Ángulo del IM (200)	Se basa en la media	4.140	4	45	.006
	Se basa en la mediana	.849	4	45	.501
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	.849	4	10.282	.525
	Se basa en la media recortada	2.178	4	45	.087

La Tabla 29 expone que no hay homogeneidad de varianzas según la prueba de Levene para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (200).

Tabla 30. Prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk para FWHM del IM (200), según grupos

Grupo	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.	
Área IM (200)	1	.143	10	.200*	.964	10	.834
	2	.152	10	.200*	.955	10	.723
	3	.228	10	.150	.907	10	.264
	4	.208	10	.200*	.953	10	.702
	5	.139	10	.200*	.925	10	.404

\* Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

Según la Tabla 30, si hay distribución normal para FWHM del índice de Miller (200), según los grupos.

## Área IM (200)

Tabla 31. *Análisis de comportamiento para FWHM del índice de Miller (200), según los grupos*

	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% de intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
1	10	.32560	.017258	.005457	.31325	.33795	.299	.351
2	10	.33340	.020040	.006337	.31906	.34774	.306	.371
3	10	.40900	.143785	.045469	.30614	.51186	.245	.711
4	10	.34290	.047189	.014922	.30914	.37666	.263	.432
5	10	.20900	.021838	.006906	.19338	.22462	.161	.237
Total	50	.32398	.093206	.013181	.29749	.35047	.161	.711

Tabla 32. *Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas del FWHM del índice de Miller (200)*

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Área IM (200)	Se basa en la media	13.502	4	45	.000
	Se basa en la mediana	6.587	4	45	.000
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	6.587	4	11.745	.005
	Se basa en la media recortada	12.280	4	45	.000

La Tabla 32 muestra que si hay homogeneidad de varianzas según la prueba de Levene para FWHM del índice de Miller (200).

Variable dependiente: Área IM (200)

HSD Tukey

Tabla 33. Prueba post hoc de comparación por parejas de grupo del FWHM del índice de Miller (200)

(I) Grupo	(J) Grupo	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
1	2	-.007800	.031034	.999	-.09598	.08038
	3	-.083400	.031034	.072	-.17158	.00478
	4	-.017300	.031034	.980	-.10548	.07088
	5	.116600*	.031034	.004	.02842	.20478
2	1	.007800	.031034	.999	-.08038	.09598
	3	-.075600	.031034	.124	-.16378	.01258
	4	-.009500	.031034	.998	-.09768	.07868
	5	.124400*	.031034	.002	.03622	.21258
3	1	.083400	.031034	.072	-.00478	.17158
	2	.075600	.031034	.124	-.01258	.16378
	4	.066100	.031034	.226	-.02208	.15428
	5	.200000*	.031034	.000	.11182	.28818
4	1	.017300	.031034	.980	-.07088	.10548
	2	.009500	.031034	.998	-.07868	.09768
	3	-.066100	.031034	.226	-.15428	.02208
	5	.133900*	.031034	.001	.04572	.22208
5	1	-.116600*	.031034	.004	-.20478	-.02842
	2	-.124400*	.031034	.002	-.21258	-.03622
	3	-.200000*	.031034	.000	-.28818	-.11182
	4	-.133900*	.031034	.001	-.22208	-.04572

\* La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

Tabla 34. Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (220), según los grupos

Grupo	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.	
Ángulo IM (220)	1	.234	10	.128	.890	10	.171
	2	.231	10	.138	.844	10	.049
	3	.184	10	.200*	.930	10	.445
	4	.270	10	.038	.838	10	.042
	5	.306	10	.009	.673	10	.000

\* Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

La Tabla 34 demuestra que si hay una distribución normal para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (220), según los grupos.



Tabla 35. *Análisis de comportamiento para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (220), según los grupos*

	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% de intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
1	10	50.19230	.016473	.005209	50.18052	50.20408	50.169	50.221
2	10	50.18300	.014598	.004616	50.17256	50.19344	50.169	50.206
3	10	50.19680	.019798	.006261	50.18264	50.21096	50.156	50.222
4	10	50.19510	.011874	.003755	50.18661	50.20359	50.182	50.221
5	10	50.20470	.032431	.010256	50.18150	50.22790	50.182	50.291
Total	50	50.19438	.020746	.002934	50.18848	50.20028	50.156	50.291

Tabla 36. *Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (220).*

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Ángulo del IM (220)	Se basa en la media	1.133	4	45	.353
	Se basa en la mediana	.522	4	45	.720
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	.522	4	19.034	.721
	Se basa en la media recortada	.807	4	45	.528

En la Tabla 36 se refleja que si hay homogeneidad de varianzas para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (220).

Tabla 37. Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk para FWHM del índice de Miller (220), según los grupos

Área del IM (220)	Grupo	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
	1	.217	10	.200*	.878	10	.125
	2	.238	10	.113	.879	10	.128
	3	.203	10	.200*	.913	10	.300
	4	.319	10	.005	.715	10	.001
	5	.238	10	.116	.867	10	.093

\* Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

La Tabla 37 presenta que no hay distribución normal para FWHM del índice de Miller (220), según los grupos.

Área del IM (220)

Tabla 38. Análisis de comportamiento para FWHM del índice de Miller (220), según los grupos

	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% de intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
1	10	.30370	.004715	.001491	.30033	.30707	.299	.314
2	10	.30720	.012488	.003949	.29827	.31613	.294	.332
3	10	.29070	.033367	.010552	.26683	.31457	.247	.365
4	10	.29110	.016769	.005303	.27910	.30310	.278	.326
5	10	.27020	.008483	.002682	.26413	.27627	.250	.281
Total	50	.29258	.021779	.003080	.28639	.29877	.247	.365

Tabla 39. Prueba post hoc de comparación por parejas de grupo del FWHM del índice de Miller (220)

Muestra 1 – Muestra 2	Estadístico de prueba	Desv. Error	Desv. Estadístico de prueba	Sig.	Sig. ajustada <sup>a</sup>
5 - 3	14.150	6.515	2.172	.030	.299
5 - 4	16.850	6.515	2.586	.010	.097
5 - 1	27.450	6.515	4.213	.000	.000
5 - 2	28.050	6.515	4.305	.000	.000
3 - 4	-2.700	6.515	-.414	.679	1.000
3 - 1	13.300	6.515	2.041	.041	.412
3 - 2	13.900	6.515	2.133	.033	.329
4 - 1	10.600	6.515	1.627	.104	1.000
4 - 2	11.200	6.515	1.719	.086	.856
1 - 2	-.600	6.515	-.092	.927	1.000

Cada fila prueba la hipótesis nula que las distribuciones de la muestra 1 y la 2 son iguales. Se visualizan las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es de .05 a. Los valores de significación se han ajustado mediante la corrección Bonferroni para varias pruebas.

Tabla 40. Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas del FWHM del índice de Miller (220)

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Área del IM (220)	Se basa en la media	4.855	4	45	.002
	Se basa en la mediana	2.708	4	45	.042
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	2.708	4	18.642	.062
	Se basa en la media recortada	4.420	4	45	.004

Según la Tabla 40, no hay homogeneidad de varianzas de acuerdo con la prueba de Levene para FWHM del índice de Miller (220).

Tabla 41. Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (311), según los grupos

	Grupo	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Angle_MI_311	SB50 um	.219	10	.191	.939	10	.543
	SB110 um	.205	10	.200*	.926	10	.408
	Bur_Water	.383	10	.000	.671	10	.000
	Bur_Dry	.382	10	.000	.738	10	.003
	NoTreat	.246	10	.088	.776	10	.007

\* Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

La Tabla 41 demuestra que no hay una distribución normal para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (311), según los grupos.

### Ángulo del IM (311)

Tabla 42. Análisis comparativo para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (311), según los grupos

	N	Media	Dev. Desviación	Dev. Error	95% de intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
1	10	59.76310	.005384	.001703	59.75925	59.76695	59.752	59.772
2	10	59.75340	.017303	.005472	59.74102	59.76578	59.730	59.781
3	10	59.86650	.145568	.046033	59.76237	59.97063	59.754	60.085
4	10	59.77300	.019351	.006119	59.75916	59.78684	59.724	59.794
5	10	59.78300	.008654	.002737	59.77681	59.78919	59.762	59.790
Total	50	59.78780	.075593	.010690	59.76632	59.80928	59.724	60.085

Tabla 43. Prueba post hoc de comparación por parejas de grupo del ángulo de máxima altura del índice de Miller (311).

Muestra 1 – Muestra 2	Estadístico de prueba	Desv. Error	Desv. Estadístico de prueba	Sig.	Sig. ajustada <sup>a</sup>
2 - 1	3.750	6.515	.576	.565	1.000
2 - 4	-15.400	6.515	-2.364	.018	.181
2 - 3	-23.000	6.515	-3.530	.000	.004
2 - 5	-24.600	6.515	-3.776	.000	.002
1 - 4	-11.650	6.515	-1.788	.074	.738
1 - 3	-19.250	6.515	-2.955	.003	.031
1 - 5	-20.850	6.515	-3.200	.001	.014
4 - 3	7.600	6.515	1.167	.243	1.000
4 - 5	-9.200	6.515	-1.412	.158	1.000
3 - 5	-1.600	6.515	-.246	.806	1.000

Cada fila prueba la hipótesis nula que las distribuciones de la muestra 1 y la 2 son iguales.

Se visualizan las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es de .05

a. Los valores de significación se han ajustado mediante la corrección Bonferroni para varias pruebas.

Tabla 44. Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (311)

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Ángulo del IM (311)	Se basa en la media	35.961	4	45	.000
	Se basa en la mediana	3.972	4	45	.008
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	3.972	4	9.449	.038
	Se basa en la media recortada	29.175	4	45	.000

La Tabla 44 muestra que para el ángulo de máxima altura del índice de Miller (311) no hay homogeneidad de varianzas.

Tabla 45. Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk para FWHM del índice de Miller (311), según los grupos

	Grupo	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Área del IM (311)	1	.462	10	.000	.476	10	.000
	2	.228	10	.149	.874	10	.111
	3	.195	10	.200*	.911	10	.289
	4	.180	10	.200*	.908	10	.267
	5	.288	10	.018	.720	10	.002

\* Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

De acuerdo con la Tabla 45, no hay distribución normal para FWHM del índice de Miller (311), según los grupos.

Tabla 46. Análisis de comportamiento para FWHM del índice de Miller (311), según los grupos

	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% de intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
1	10	.426280	.1335228	.0422236	.330764	.521796	.0488	.4940
2	10	.480700	.0281703	.0089082	.460548	.500852	.4450	.5210
3	10	.537800	.2407995	.0761475	.365542	.710058	.2650	1.0010
4	10	.384300	.0937100	.0296337	.317264	.451336	.2770	.5450
5	10	.251000	.0211240	.0066800	.235889	.266111	.1950	.2730
Total	50	.416016	.1594682	.0225522	.370696	.461336	.0488	1.0010

Tabla 47. Prueba post hoc de comparación por parejas de grupo del FWHM del índice de Miller (311)

Muestra 1 – Muestra 2	Estadístico de prueba	Desv. Error	Desv. Estadístico de prueba	Sig.	Sig. ajustada <sup>a</sup>
5 - 4	16.950	6.519	2.600	.009	.093
5 - 1	22.050	6.519	3.383	.001	.007
5 - 3	27.300	6.519	4.188	.000	.000
5 - 2	27.950	6.519	4.288	.000	.000
4 - 1	5.100	6.519	.782	.434	1.000
4 - 3	10.350	6.519	1.588	.112	1.000
4 - 2	11.000	6.519	1.687	.092	.915
1 - 3	-5.250	6.519	-.805	.421	1.000
1 - 2	-5.900	6.519	-.905	.365	1.000
3 - 2	.650	6.519	.100	.921	1.000

Cada fila prueba la hipótesis nula que las distribuciones de la muestra 1 y la 2 son iguales.

Se visualizan las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es de .05

a. Los valores de significación se han ajustado mediante la corrección Bonferroni para varias pruebas.

Tabla 48. Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas del FWHM del índice de Miller (311)

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Área del IM (311)	Se basa en la media	6.916	4	45	.000
	Se basa en la mediana	4.956	4	45	.002
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	4.956	4	20.129	.006
	Se basa en la media recortada	6.188	4	45	.000

La Tabla 48 muestra que no hay homogeneidad de varianzas según la prueba de Levene para FWHM del índice de Miller (311).

Tabla 49. Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk para la ubicación del ángulo de máxima altura del IM (222), según los grupos

	Grupo	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Ángulo del IM (220)	1	.180	10	.200*	.954	10	.714
	2	.160	10	.200*	.970	10	.889
	3	.281	10	.024	.773	10	.007
	4	.522	10	.000	.368	10	.000
	5	.136	10	.200*	.954	10	.712

Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

La Tabla 49 muestra que no existe normalidad para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (220), según los grupos.

Tabla 50. Análisis para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (222), según los grupos

	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% de intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
1	10	62.63070	.007379	.002334	62.62542	62.63598	62.619	62.642
2	10	62.62530	.010446	.003303	62.61783	62.63277	62.610	62.643
3	10	62.68140	.070902	.022421	62.63068	62.73212	62.625	62.814
4	10	61.63700	3.162290	1.000004	59.37483	63.89917	52.637	62.650
5	10	62.64200	.004082	.001291	62.63908	62.64492	62.636	62.648
Total	50	62.44328	1.415605	.200197	62.04097	62.84559	52.637	62.814



Tabla 51. Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas para el ángulo de máxima altura del índice de Miller (222).

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Ángulo del IM (222)	Se basa en la media	4.957	4	45	.002
	Se basa en la mediana	.979	4	45	.428
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	.979	4	9.007	.465
	Se basa en la media recortada	2.577	4	45	.050

La Tabla 51 expone que para el ángulo de máxima altura del índice de Miller (222) si hay homogeneidad de varianzas.

Tabla 52. Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk para FWHM del índice de Miller (222), según los grupos

Área del IM (222)	Grupo	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
	1	.203	10	.200*	.896	10	.199
	2	.106	10	.200*	.974	10	.926
	3	.168	10	.200*	.961	10	.797
	4	.288	10	.018	.828	10	.032
	5	.209	10	.200*	.916	10	.323

\* Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

De acuerdo con la Tabla 52, no hay distribución normal para FWHM del índice de Miller (222), según los grupos.

## Área del IM (222)

Tabla 53. *Análisis de comportamiento para FWHM del índice de Miller (222), según los grupos*

		Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% de intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
1	10	.26480	.025737	.008139	.24639	.28321	.226	.296
2	10	.27050	.017853	.005646	.25773	.28327	.245	.302
3	10	.29320	.039262	.012416	.26511	.32129	.227	.351
4	10	.25520	.036273	.011471	.22925	.28115	.207	.299
5	10	.19410	.011846	.003746	.18563	.20257	.177	.220
Total	50	.25556	.043056	.006089	.24332	.26780	.177	.351

Tabla 54. *Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas del FWHM del índice de Miller (222)*

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Área del IM (222)	Se basa en la media	5.679	4	45	.001
	Se basa en la mediana	2.834	4	45	.035
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	2.834	4	28.123	.043
	Se basa en la media recortada	5.587	4	45	.001

En la Tabla 54 se aprecia que no hay homogeneidad de varianzas según la prueba de Levene para FWHM del índice de Miller (222).

Tabla 55. *Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (400), según los grupos*

Ángulo del IM (400)	Grupo	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
	SB50 um	.282	10	.023	.705	10	.001
	SB110 um	.197	10	.200*	.898	10	.208
	Bur_Water	.236	10	.122	.882	10	.139
	Bur_Dry	.273	10	.033	.808	10	.018
	NoTreat	.180	10	.200*	.940	10	.555

\* Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Tabla 56. Prueba post hoc de comparación por parejas de grupo del ángulo de máxima altura del índice de Miller (400)

Muestra 1 – Muestra 2	Estadístico de prueba	Desv. Error	Desv. Estadístico de prueba	Sig.	Sig. ajustada <sup>a</sup>
2 - 4	-9.100	6.502	-1.400	.162	1.000
2 - 1	12.550	6.502	1.930	.054	.536
2 - 5	-13.550	6.502	-2.084	.037	.372
2 - 3	-19.550	6.502	-3.007	.003	.026
4 - 1	3.450	6.502	.531	.596	1.000
4 - 5	-4.450	6.502	-.684	.494	1.000
4 - 3	10.450	6.502	1.607	.108	1.000
1 - 5	-1.000	6.502	-.154	.878	1.000
1 - 3	-7.000	6.502	-1.077	.282	1.000
5 - 3	6.000	6.502	.923	.356	1.000

Cada fila prueba la hipótesis nula que las distribuciones de la muestra 1 y la 2 son iguales.

Se visualizan las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es de .05.

a. Los valores de significación se han ajustado mediante la corrección Bonferroni para varias pruebas.

En la Tabla 56 se muestra que no hay normalidad para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (400), según los grupos.

### Ángulo del IM (400)

Tabla 57. *Análisis comparativo para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (400), según los grupos*

	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% de intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
1	10	81.64150	.045019	.014236	81.60930	81.67370	81.603	81.761
2	10	81.61240	.018769	.005935	81.59897	81.62583	81.577	81.632
3	10	81.64120	.028809	.009110	81.62059	81.66181	81.577	81.679
4	10	81.63430	.040307	.012746	81.60547	81.66313	81.590	81.735
5	10	81.63150	.014608	.004619	81.62105	81.64195	81.603	81.654
Total	50	81.63218	.032283	.004566	81.62301	81.64135	81.577	81.761

Tabla 58. *Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas para la ubicación del ángulo de máxima altura del índice de Miller (400)*

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Ángulo del IM (400)	Se basa en la media	.890	4	45	.478
	Se basa en la mediana	.614	4	45	.655
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	.614	4	26.397	.656
	Se basa en la media recortada	.765	4	45	.554

La Tabla 58 presenta que para el ángulo de máxima altura del índice de Miller (400) si existe homogeneidad de varianzas.

Tabla 59. Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk para FWHM del índice de Miller (400), según los grupos

Grupo	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.	
Área IM (400)	1	.119	10	.200*	.963	10	.824
	2	.411	10	.000	.576	10	.000
	3	.160	10	.200*	.960	10	.788
	4	.222	10	.179	.836	10	.040
	5	.249	10	.080	.885	10	.149

\* Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

En la Tabla 59 se observa que no hay distribución normal para FWHM del índice de Miller (400), según los grupos.

Tabla 60. Prueba post hoc de comparación por parejas de grupo del FWHM del índice de Miller (400)

Muestra 1 – Muestra 2	Estadístico de prueba	Desv. Error	Desv. Estadístico de prueba	Sig.	Sig. ajustada <sup>a</sup>
5- 3	13.250	6.518	2.033	.042	.421
5 - 4	14.000	6.518	2.148	.032	.317
5 - 2	19.850	6.518	3.046	.002	.023
5 - 1	23.900	6.518	3.667	.000	.002
3 - 4	-.750	6.518	-.115	.908	1.000
3 - 2	6.600	6.518	1.013	.311	1.000
3 - 1	10.650	6.518	1.634	.102	1.000
4 - 2	5.850	6.518	.898	.369	1.000
4 - 1	9.900	6.518	1.519	.129	1.000
1 - 2	4.050	6.518	.621	.534	1.000

Cada fila prueba la hipótesis nula que las distribuciones de la muestra 1 y la 2 son iguales.

Se visualizan las significaciones asintóticas (pruebas bilaterales). El nivel de significación es de .05

a. Los valores de significación se han ajustado mediante la corrección Bonferroni para varias pruebas.

## Área IM (400)

Tabla 61. *Análisis de comportamiento para FWHM del índice de Miller (400), según los grupos*

	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% de intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
1	10	.48580	.015683	.004959	.47458	.49702	.458	.508
2	10	.45960	.089472	.028293	.39560	.52360	.211	.525
3	10	.47050	.036737	.011617	.44422	.49678	.422	.541
4	10	.47350	.027770	.008782	.45363	.49337	.448	.537
5	10	.44630	.013929	.004405	.43634	.45626	.423	.462
Total	50	.46714	.046071	.006515	.45405	.48023	.211	.541

Tabla 62. *Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas del FWHM del índice de Miller (400)*

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Área del IM (400)	Se basa en la media	2.048	4	45	.104
	Se basa en la mediana	1.094	4	45	.371
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	1.094	4	12.387	.402
	Se basa en la media recortada	1.307	4	45	.282

La Tabla 62 presenta que no hay homogeneidad de varianzas según la prueba de Levene para FWHM del índice de Miller (400).

Tabla 63. *Distribución de Frecuencias por número de grupo, nombre y cantidad de especímenes*

Factores intersujetos			
		Etiqueta del valor	N
Grupo:	1	50 $\mu\text{m}$	10
	2	110 $\mu\text{m}$	10
	3	DI	10
	4	DSI	10
	5	Control	10

Tabla 64. *Muestra la rugosidad media (Ra) por grupo UNIDAD*

Informe			
grupo experimental	Media	N	Desv. típ.
1	2.9320	10	1.18041
2	2.0161	10	.69071
3	6.1353	10	.85681
4	6.5683	10	1.50550
5	.2431	10	.08325

Tabla 65. *Pruebas de los efectos intersujetos. Variable dependiente: rugosidad medida*

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	294.601 <sup>a</sup>	4	73.650	75.492	.000
Intersección grupo experimental	640.449	1	640.449	656.461	.000
Error	294.601	4	73.650	75.492	.000
Error	43.902	45	.976		
Total	978.953	50			
Total corregida	338.503	49			

a. R cuadrado = .870 (R cuadrado corregida = .859)

Tabla 66. Comparaciones múltiples y prueba de Bonferroni de comparaciones múltiples

(I) grupo experimental	(J) grupo experimental	Error típ.	Sig.	Intervalo de confianza 95%	
				Límite inferior	Límite superior
5	1	.44173	.000	-3.9930	-1.3849
	2	.44173	.002	-3.0770	-.4690
	3	.44173	.000	-7.1963	-4.5882
	4	.44173	.000	-7.6292	-5.0212
1	5	.44173	.000	1.3849	3.9930
	2	.44173	.439	-.3881	2.2199
	3	.44173	.000	-4.5073	-1.8993
	4	.44173	.000	-4.9402	-2.3322
2	5	.44173	.002	.4690	3.0770
	1	.44173	.439	-2.2199	.3881
	3	.44173	.000	-5.4232	-2.8152
	4	.44173	.000	-5.8562	-3.2482
3	5	.44173	.000	4.5882	7.1963
	1	.44173	.000	1.8993	4.5073
	2	.44173	.000	2.8152	5.4232
	4	.44173	1.000	-1.7369	.8711
4	5	.44173	.000	5.0212	7.6292
	1	.44173	.000	2.3322	4.9402
	2	.44173	.000	3.2482	5.8562
	3	.44173	1.000	-.8711	1.7369

Con base en en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = .976

\* La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05



**ANEXO****Carta de la filóloga**

---

*Xinia Segura Portuguez*  
*Filología Española, UCR*  
*Tels. 2245-1705 / 8314-7797*  
*xsegurap@yahoo.com*

**A QUIEN CORRESPONDA**

La suscrita filóloga, carné n.º 46315 de afiliación al Colegio de Licenciados y Profesores en Letras, Filología, Filosofía, Ciencias y Artes, hago constar que revisé y corregí la redacción, ortografía, estilo y todo tipo de error de lenguaje del trabajo de investigación aplicada *Efecto de tratamientos de superficie sobre la cristalografía de la zirconia dental*, elaborado por **Jorge Andrés Santamaría Villalobos** para optar por el grado académico y título de Maestría Profesional en Odontología con énfasis en Prosthodontia.\*\*\*\*\*

Extiendo la presente en San José a los doce días del mes de febrero del año dos mil veintidós.\*\*\*\*\*



Licda. Xinia Segura Portuguez