Tomografía corneal en pacientes intervenidos de LASIK con láser de femtosegundo. Estudio preoperatorio y postoperatorio a los 3 meses

Corneal Tomography in Patients Undergoing LASIK with Femtosecond Laser: Preoperative and 3-Month Postoperative Study

Ana Castro Manzanares, MSc[1*]; Laura Trívez Valiente, MSc[2]; María Sanz Gómez, PhD[3]; Marta Sancho Larraz, MSc[4]; José Alejandro Bruñen Campos, MSc[5]

1: Clínica Oftalmológica Baviera, Zaragoza, España.
2: Servicio Aragonés de Salud, Zaragoza, España.
3: Óptica Alain Afflelou, Zaragoza, España.
4: Biotech Vision SLP Spin off, Zaragoza, España.
5: Óptica Visionlab, Zaragoza, España
*anacastromanzanares@gmail.com

Recibido: 8 de junio del 2025
Aceptado: 7 de agosto del 2025
Publicado: 15 de septiembre del 2025
Financiación: Ninguno de los autores declaran tener financiaciones.
Declaración de Conflictos de Intereses: Ninguno de los autores declaran tener conflictos de intereses.

Relevancia: El estudio de la topografía corneal es imprescindible en el preoperatorio de *Laser assisted in Situ Keratomileusis* (LASIK). Un nuevo método de análisis protocolizado de los mapas topográficos sería útil para asegurar un buen resultado final de la intervención.

Propósito: Diseñar un nuevo método para el análisis normalizado de mapas tomográficos y utilizarlo para comparar los mapas de pacientes antes de ser intervenidos mediante la técnica LASIK, utilizando el láser de femtosegundos, y 3 meses después de la intervención.

Material y Métodos: Para la realización del estudio se seleccionaron 50 ojos de 25 pacientes que tuviesen tomografías precirugía y 3 meses después de la misma. A partir de ellas se tomaron los datos en 17 puntos corneales previamente definidos y los mismos en cada mapa: origen de coordenadas, 1, 2, 3, 4 mm temporal, nasal, inferior y superior. Dichos datos se volcaron en un archivo Excel para el posterior análisis. Los mapas corneales escogidos para el estudio fueron los de curvatura, elevación anterior y paquimetría.

Resultados: Se encontraron diferencias significativas ($p<0,05$) entre los valores pre y postoperatorios en todo el mapa de curvatura anterior y solamente en la parte temporal de curvatura posterior. En paquimetría se encontraron diferencias en todo el mapa excepto a 4 mm del origen de coordenadas. Por otro lado, existe una correlación fuerte entre las diferencias pre y postoperatorias en el radio de los mapas de curvatura anterior y el equivalente esférico corregido (a mayor ablación, mayor diferencia) y sólo una correlación leve en paquimetría.

Conclusiones: Este estudio establece una nueva aproximación de medida para analizar mapas tomográficos, con unos puntos predefinidos en córnea que serán siempre los mismos, y que permite estudiar la superficie corneal de una forma más precisa y normalizada a las propuestas hasta el momento.

Palabras clave: Pentacam, LASIK, Topografía, Elevación, Paquimetría.

CC BY NC

Relevance: The study of corneal topography is essential in the preoperative assessment of Laser-Assisted In Situ Keratomileusis (LASIK). A new standardized method for the analysis of topographic maps would be useful to help ensure a successful surgical outcome.

Purpose: To design a new standardized method for the analysis of tomographic maps and use it to compare the maps of patients before undergoing LASIK surgery with femtosecond laser and three months after the procedure.

Methods: A total of 50 eyes from 25 patients were selected for the study. All had available tomographic data both before surgery and three months postoperatively. From these tomographies, data were extracted at 17 predefined corneal points, consistently located on each map: the coordinate origin, and at 1, 2, 3, and 4 mm in the temporal, nasal, inferior, and superior directions. These data were compiled in an Excel spreadsheet for further analysis. The corneal maps selected for evaluation included curvature, anterior elevation, and pachymetry.

Results: Statistically significant differences ($p < 0.05$) were found between preoperative and postoperative values across the entire anterior curvature map and only in the temporal area of the posterior curvature map. In pachymetry, significant differences were observed throughout the map except at 4 mm from the coordinate origin. Moreover, a strong correlation was identified between pre-postoperative differences in the anterior curvature maps' radius and the corrected spherical equivalent (greater ablation yielded greater differences), while only a weak correlation was found in pachymetric changes.

Conclusions: This study proposes a novel measurement approach for the analysis of tomographic maps, based on predefined and consistently used corneal points. This method enables a more precise and standardized evaluation of the corneal surface compared to previously available methodologies.

Keywords: Pentacam, LASIK, Topography, Elevation, Pachymetry.

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, la cirugía refractiva se ha convertido en una alternativa a las gafas y a las lentes de contacto para la corrección de errores refractivos. Entre las distintas técnicas de cirugía refractiva, la más común es la *Laser-Assisted In Situ Keratomileusis* (LASIK), que consiste en crear un colgajo corneal o flap en la parte externa de la córnea y exponer el estroma anterior, donde se aplica directamente el láser excimer, creando una zona de ablación irreversible en córnea. La creación del colgajo corneal puede lograrse mediante un microqueratomo mecánico o un láser de femtosegundos. (1)

El láser de femtosegundo emite pulsos de energía precisos, de muy corta duración y con una longitud de onda próxima al infrarrojo, lo que le permite penetrar en los tejidos sin dañar las estructuras adyacentes. Gracias a su aplicación en cirugía LASIK, las complicaciones que anteriormente podían surgir con los instrumentos de corte mecánicos, como el microqueratomo, han desaparecido prácticamente (2,3). Los colgajos así obtenidos son de un espesor muy preciso y reducido (73 a 78 µm) (4), obteniendo un flap de un diámetro determinado, uniforme, con independencia de la curvatura y del diámetro corneal. Esto permite aumentar el grosor de la córnea residual (el estroma residual mínimo que se debe dejar es 250 µm (5,6)) que se obtiene después de aplicar el láser de excimer, incrementando la estabilidad y seguridad del procedimiento (7).

En ocasiones, después de la intervención puede aparecer la denominada regresión miópica, que ocurre más frecuentemente en pacientes con alta miopía preoperatoria (por la profundidad de ablación) que en miopías bajas o moderadas. En estos casos, se puede recurrir a los retratamientos, los cuales se deben posponer hasta que la refracción sea estable. Así, los retratamientos para hiper o hipo correcciones después de un LASIK para miopía se pueden hacer a partir de los 6 meses postoperatorios. Por su parte, estudios previos, analizando los cambios corneales a los 3 meses después de la cirugía, documentan que, pasado este tiempo, la córnea se estabiliza a nivel estromal y epitelial (5,6).

Para saber si un paciente es apto para la cirugía refractiva es indispensable la realización de la denominada "topografía corneal", una prueba diagnóstica utilizada para conocer las características de la córnea. Dicha

prueba desarrolla un estudio del relieve de su superficie, cuyo objetivo es ver si existen irregularidades y conocer los radios de curvatura en los distintos meridianos. Su uso se ha vuelto indispensable en muchas aplicaciones optométricas, como la adaptación de lentes de contacto para ortoqueratología y, sobre todo, en ciertas intervenciones, como la cirugía de cataratas o la refractiva, en la que la córnea se ve directamente afectada. Por eso, es necesario realizar siempre un estudio de la córnea del paciente antes y después de la cirugía, pudiendo apreciar así los cambios inducidos en sus ojos.

El Pentacam® (Oculus Inc™, Wetzlar, Alemania) es un instrumento compuesto por una cámara Scheimpflug giratoria y luz monocromática (LED azul de 470 nm), combinada con una cámara estática, que proporciona un escaneo tridimensional y captura imágenes del segmento anterior del ojo. El dispositivo genera una imagen completa y un modelo virtual tridimensional del polo anterior, por lo que comúnmente se denomina tomógrafo corneal, para diferenciarlo del topógrafo basado en discos de Plácido, que sólo proporciona información de la cara anterior de la córnea. Este procedimiento de no contacto tiene una duración de aproximadamente 2 segundos y proporciona simultáneamente paquimetría corneal, topografía corneal (incluida la superficie corneal anterior y posterior), densitometría de opacidades de lentes y análisis de cámara anterior (profundidad, ángulo y volumen) (8,9). Además, existe un modo de escaneo con una resolución alta especial en 3D (HR), en el que la cámara toma 50 imágenes en un segundo y se evalúan 138.000 puntos. Este modo proporciona una mejor calidad de imagen con ópticas optimizadas y nuevas funciones de software como el módulo de adaptación de lentes de contacto o de simulación de lentes intraoculares fáquicas (3D pIOL) (10).

A lo largo de los años, varios estudios han analizado este instrumento para determinar la repetitividad (capacidad de un instrumento de dar el mismo resultado en mediciones repetidas con el mismo paciente y examinador) y reproducibilidad (capacidad de un instrumento de dar el mismo resultado en mediciones repetidas con el mismo paciente y distinto examinador) del mismo. Muchos de estos estudios (10,11,12) coinciden en la buena reproducibilidad y repetitividad del Pentacam® en cuanto a mapas paquimétricos, mapas de elevación y curvatura. Sin embargo, estos autores indican que algunas medidas, como los datos aberrométricos, estimación del eje del astigmatismo y paquimetría periférica, no son tan repetitivas y reproducibles.

A la hora de buscar artículos científicos que comparen tomografías pre y post LASIK, nos encontramos con que, por norma general, los cambios pre y post se evalúan de una forma muy concreta, centrándose en un parámetro topográfico específico o una zona limitada de la córnea. Por mencionar algunos, el del grupo de investigación de Li H et al. (13), cuyos autores sólo estudian la zona óptica, haciendo mediciones 1, 3 y 6 meses después de la cirugía; Huang JH (14), por su parte, recoge únicamente los datos de mapas de espesor corneal central, 1 mm y 2,5 mm superior, inferior, nasal y temporal, y determina mediante el software del Pentacam® el punto más delgado en córnea; Xu y colaboradores (15) también estudian la paquimetría, dividiendo la córnea en cuatro zonas: zona centro (2 mm de diámetro), zona pericentral concéntrica (2-5 mm), zona transicional (5-7 mm) y zona periférica (7-10 mm), y subdividiendo cada una de las zonas concéntricas en ocho sectores.
Tras revisar la bibliografía, pues, podemos concluir que los estudios precedentes que analizan los mapas tomográficos en córneas pre y post operadas de LASIK no fijan unos puntos predefinidos en córnea para poder comparar pre-post siempre en el mismo sitio y tener información más detallada, sino que se hacen grosso modo o basándose en índices muy específicos o zonas relativamente acotadas de la córnea.

En este estudio se ofrece una nueva forma de comparar mapas corneales. Nos basamos en un trabajo previo reciente (16), en el que se analizaron puntos corneales concretos y predefinidos (1, 2, 3, 4 mm nasal y 1 ,2, 3, 4 mm temporal con respecto al origen de coordenadas) de mapas topográficos, para demostrar que el uso previo de lentes de ortoqueratología no era contraproducente para la cirugía LASIK, y se comparó con los resultados de un grupo control de usuarios previos de lentes de contacto blandas, que posteriormente también fueron operados de cirugía refractiva.

Por consiguiente, el objetivo principal del presente estudio consiste en desarrollar una nueva aproximación de medida para analizar mapas tomográficos y, a continuación, comparar los mapas de elevación (anterior y posterior), curvatura (anterior y posterior), y paquimetría, de sujetos antes de la intervención de LASIK utilizando el láser de femtosegundos y 3 meses después de la misma. Lo que se propone es el análisis de 17 puntos concretos de la córnea, que siempre serán los mismos para todos los pacientes, mapas y para pre-post cirugía.

MATERIAL Y MÉTODOS

Selección de la muestra

CC BY NC

La muestra de este estudio incluyó 50 ojos de 25 pacientes, con edades comprendidas entre 23 y 42 años (15 mujeres y 10 hombres) escogidos de una lista de sujetos intervenidos con cirugía LASIK con láser de femtosegundos. La búsqueda de pacientes fue llevada a cabo a partir de la base de datos de Institut Catalá de Retina (Barcelona) y forma parte de un proyecto mayor que engloba el presente. Se trata de un estudio retrospectivo y observacional.

Los criterios de inclusión fueron: estar operado de cirugía LASIK con láser de femtosegundos, tener disponibles las tomografías previas a la cirugía con el topógrafo Pentacam® y 3 meses después de realizarse la misma, rango de refracción prequirúrgica de esferas entre -1,75 dioptrías (D) y -6,25 D y astigmatismos entre 0 D y -3 D. Por su parte, los criterios de exclusión fueron: hipermétropes, sujetos operados de catarata que se les trata con LASIK porque el resultado de la facoemulsificación no fue el esperado (Bioptics), graduaciones residuales postcirugía superiores a -1 D, pacientes operados con el objetivo refractivo de monovisión y pacientes con alteraciones en el segmento anterior ocasionadas por el flap corneal que pudiesen influir en la refracción y en la calidad visual.

Todos los pacientes fueron informados sobre los riesgos de la intervención, así como de las posibles ventajas e inconvenientes, firmando un consentimiento informado antes de la operación, según los principios de la declaración de Helsinki. Los datos se han tratado en todo momento de forma confidencial y anónima.

Procedimiento

En primer lugar, se procedió a una búsqueda sistemática de pacientes operados entre 2016 y 2017 de cirugía LASIK con láser femtosegundos, en cuyo historial hubiera tomografías pre y post LASIK realizadas con el tomógrafo Pentacam®. A partir de ahí, se generó una lista a la que se fueron aplicando los criterios de exclusión e inclusión citados anteriormente. La realización de la lista definitiva de pacientes llevó aproximadamente dos meses, obteniendo un total de 50 ojos, que se corresponden con los primeros 25 pacientes que cumplían con los criterios.

Se anotaron los siguientes datos de cada paciente: sexo, edad, graduación pre y postcirugía, agudeza visual pre y postcirugía. Posteriormente, se generaron y exportaron del Pentacam® los archivos en formato Excel correspondientes a los datos tomográficos de mapas de curvatura anterior y posterior, elevación anterior y posterior, y paquimetría, pre y postcirugía a los 3 meses, para cada punto corneal en pasos de 0,1 mm.
A partir de estos datos, se diseñaron puntos de medición específicos. Así, a cada mapa topográfico se superpuso un juego de coordenadas cartesianas, tal y como muestra la Figura 1, tomando el centro del mapa como origen de coordenadas, y se seleccionaron los puntos corneales específicos que tomaríamos para el estudio: 1, 2, 3, 4 mm temporal con respecto al centro; 1, 2, 3, 4 mm nasal; 1, 2, 3, 4 mm superior, y 1, 2, 3, 4 mm inferior. Se obtienen un total de 17 puntos de medida para cada mapa, que nos permitirán la comparación directa y análisis posterior de datos.

Análisis de datos

Para el análisis estadístico se utilizaron las herramientas proporcionadas por la propia hoja de cálculo Excel, así como el programa estadístico IBM SPSS, en su versión 22. En primer lugar, se exploró la distribución de los datos con el test de Kolmogorov-Smirnov, hallándose, en la mayoría de las variables, una distribución normal. Por lo tanto, los resultados se describen en forma de promedio ± desviación estándar (SD), si bien en algún caso también se presentan los valores de rango (mínimo – máximo).

Para la estadística inferencial se utilizó el test de la T de Student para grupos pareados. Así, se compararon los mapas pre y post LASIK para cada uno de los 17 puntos de medida de cada mapa por separado. Igualmente, para cuantificar mejor los cambios pre-post, se restó del valor obtenido en las medidas post el valor preoperatorio. Así, por ejemplo, un valor diferencial de radio positivo indicaba que, para ese punto específico y mapa, el valor del radio post LASIK era mayor (radio más plano) que el valor preoperatorio. Finalmente, se exploró la correlación entre el equivalente esférico corregido y la diferencia pre-post para cada uno de los puntos, con la hipótesis que a mayor corrección (ablación), mayor diferencia pre-post. Para ello se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson, considerándose moderada una correlación con $r > 0,5$. En todo caso, se define una $p < 0,05$ como punto de corte de significación estadística.

RESULTADOS

Se muestran en la Tabla 1. La descripción demográfica de la muestra comprende 25 pacientes (15 mujeres y 10 hombres) con un rango de edad entre 23 y 42 años, con una edad promedio de 37,5 ± 6,4 años. El promedio de equivalente esférico (EE) de la refracción preoperatoria fue de -4,29 ± 0,86 D, con un rango comprendido entre -2,25 D y -6,50.

Se presentan a continuación tres tablas correspondientes a los mapas de curvatura, elevación y paquimetría, con la siguiente información: el promedio y desviación

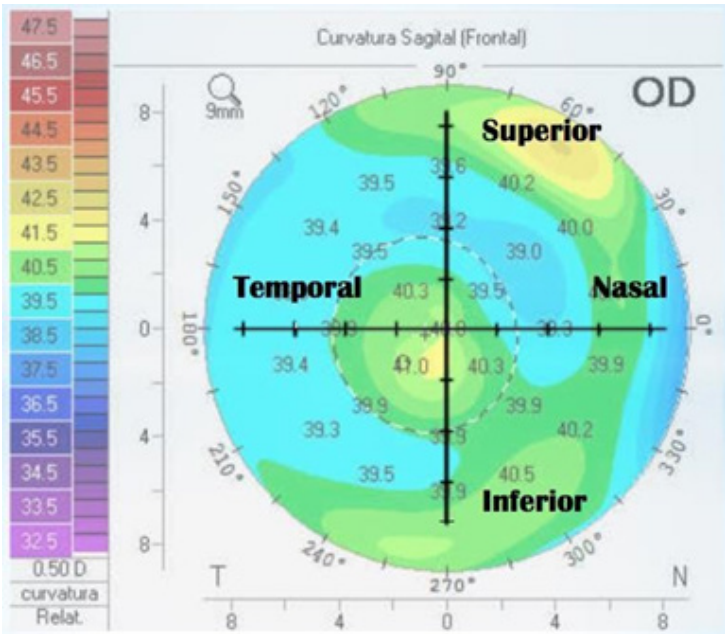

Figura 1: Ejemplo de mapa tomográfico representado con los correspondientes ejes de coordenadas a partir de los cuales se consideró dividir cada mapa para la posterior toma de datos. El centro de la pupila es tomado como origen de coordenadas.

estándar (SD) de todos los datos, el valor de la diferencia entre los datos postoperatorios y preoperatorios (igualmente como promedio ± SD) y el valor p de la prueba de t de Student para grupos pareados, (los valores marcados en negrita representan diferencias estadísticamente significativas).

Apreciamos que en curvatura anterior todos los datos representan diferencias significativas, mientras que, en curvatura posterior, a partir de 1 mm nasal, ya no se encuentran diferencias. Se observa, además, que los radios postoperatorios son siempre mayores que los preoperatorios, incluso en la superficie posterior (diferencias positivas).

En el caso de la paquimetría (Tabla 2) vemos que se encuentran diferencias significativas en todos los puntos de medida, siendo los valores postoperatorios inferiores a los preoperatorios (diferencias negativas), excepto en 4 mm nasal, superior e inferior.

Finalmente, presentamos los datos de elevación (Tabla 3). En este caso, no se comparan los datos pre y postoperatorios, se comentarán en Discusión.

Por último, analizamos el coeficiente de Pearson entre cada una de las diferencias pre- post y el EE. En los mapas de curvatura anterior, observamos una correlación inversa fuerte (>0,8) en los puntos 2 temporal (T), 1T y una correlación inversa moderada (>0,5) en origen de coordenadas, 1 nasal (N) y 2N. También destaca una correlación inversa moderada en 2 superior (S), 1S, 1 inferior (I), 2I. Se puede resumir indicando que, tanto en el eje horizontal como en el vertical, a medida que nos acercamos al origen de coordenadas, la correlación se hace más intensa. En curvatura posterior no hay correlación, dado que los valores del análisis estadístico son <0,3 y en paquimetría se observa cierta correlación en origen de coordenadas y en 1N y 1S.

Posición de medida	Curvatura anterior (mm±DE)				Curvatura posterior (mm±DE)			
	pre	3 meses post	Diferencia	p	pre	3 meses post	Diferencia	p
Temporal 4 mm	7,95±0,25	8,08±0,28	0,14±0,10	**<0,01**	6,51±0,28	6,56±0,27	0,04±0,11	**0,01**
Temporal 3 mm	7,79±0,24	8,25±0,29	0,46±0,14	**<0,01**	6,33±0,24	6,37±0,24	0,03±0,08	**<0,01**
Temporal 2 mm	7,73±0,23	8,39±0,30	0,67±0,19	**<0,01**	6,20±0,26	6,27±0,24	0,07±0,11	**<0,01**
Temporal 1 mm	7,71±0,22	8,33±0,30	0,62±0,21	**<0,01**	6,33±0,28	6,42±0,26	0,09±0,17	**<0,01**
Central	7,68±0,22	8,22±0,27	0,55±0,16	**<0,01**	6,34±0,28	6,39±0,28	0,05±0,13	**0,01**
Nasal 1 mm	7,73±0,22	8,35±0,27	0,61±0,17	**<0,01**	6,42±0,25	6,44±0,28	0,02±0,12	0,35
Nasal 2 mm	7,76±0,23	8,41±0,27	0,65±0,16	**<0,01**	6,30±0,25	6,31±0,26	0,01±0,12	0,47
Nasal 3 mm	7,82±0,23	8,26±0,28	0,44±0,15	**<0,01**	6,37±0,25	6,38±0,25	0,01±0,07	0,23
Nasal 4 mm	7,97±0,25	8,09±0,29	0,13±0,13	**<0,01**	6,51±0,27	6,53±0,30	0,02±0,12	0,26
Superior 4 mm	7,80±0,24	7,94±0,32	0,13±0,23	**<0,01**	6,62±0,29	6,61±0,28	0,01±0,14	0,79
Superior 3 mm	7,67±0,22	8,16±0,35	0,49±0,23	**<0,01**	6,14±0,26	6,15±0,24	0,01±0,11	0,39
Superior 2 mm	7,63±0,22	8,31±0,29	0,68±0,16	**<0,01**	6,02±0,25	6,05±0,26	0,04±0,14	0,09
Superior 1 mm	7,64±0,22	8,26±0,27	0,62±0,16	**<0,01**	6,12±0,33	6,17±0,32	0,05±0,18	0,05
Inferior 1 mm	7,62±0,24	8,23±0,33	0,61±0,20	**<0,01**	6,12±0,31	6,15±0,27	0,03±0,14	0,08
Inferior 2 mm	7,64±0,25	8,29±0,32	0,66±0,19	**<0,01**	6,10±0,27	6,13±0,24	0,03±0,12	0,11
Inferior 3 mm	7,68±0,27	8,10±0,32	0,43±0,17	**<0,01**	6,19±0,27	6,21±0,26	0,03±0,09	**0,02**
Inferior 4 mm	7,78±0,29	7,87±0,32	0,10±0,12	**<0,01**	6,32±0,30	6,34±0,28	0,01±0,11	0,57

Tabla 1: Valores de curvatura anterior y posterior preoperatorios y a los 3 meses tras la intervención. Se presenta la diferencia de valores post-pre operatorio y el resultado del análisis estadístico con el test T de Student para grupos pareados. DE: Desviación Estándar

Posición de medida	Paquimetría (µm±DE)			
	pre	3 meses post	Diferencia	p
Temporal 4 mm	713,76±50,21	703,04±55,347	-10,72±20,87	**0,01**
Temporal 3 mm	640,34±39,90	613,80±45,99	-26,54±17,63	**<0,01**
Temporal 2 mm	586,44±33,97	535,30±39,44	-51,14±16,94	**<0,01**
Temporal 1 mm	556,58±30,66	489,70±35,61	-66,88±16,43	**<0,01**
Central	548,64±29,99	477,28±34,82	-71,36±17,24	**<0,01**
Nasal 1 mm	555,64±32,46	489,62±36,63	-66,02±16,82	**<0,01**
Nasal 2 mm	581,88±36,50	534,36±40,93	-47,52±16,77	**<0,01**
Nasal 3 mm	632,66±43,69	611,22±48,35	-21,44±17,50	**<0,01**
Nasal 4 mm	705,92±55,75	701,72±57,36	-4,20±22,66	0,20
Superior 4 mm	745,23±49,05	741,50±52,79	-4,19±23,84	0,26
Superior 3 mm	669,84±39,12	647,06±48,23	-22,78±26,30	**<0,01**
Superior 2 mm	602,88±33,62	552,94±43,78	-49,94±24,34	**<0,01**
Superior 1 mm	563,80±30,91	496,70±38,09	-67,10±20,49	**<0,01**
Inferior 1 mm	554,18±30,91	488,18±32,78	-66,00±15,97	**<0,01**
Inferior 2 mm	581,08±33,62	534,52±31,18	-46,56±15,94	**<0,01**
Inferior 3 mm	632 ±37,12	611,94±32,76	-20,06±20,07	**<0,01**
Inferior 4 mm	704,73±42,85	696,58±35,31	-6,69±27,98	0,10

Tabla 2: Valores de paquimetría preoperatorios y a los 3 meses tras la intervención. Se presenta la diferencia de valores post-pre y el resultado del análisis estadístico con el test T de Student para grupos pareados. DE: Desviación Estándar

Posición de medida	Elevación anterior (µm±DE)		Elevación posterior (µm±DE)	
	pre	3 meses post	pre	3 meses post
Temporal 4 mm	106±39,16	1036,68±42,98	1422,80±78,34	1410,12±84,04
Temporal 3 mm	607,06±21,25	559,06±22,35	768,68±43,13	759,32±48,98
Temporal 2 mm	264,28±8,29	243,28±9,79	329,16±21,25	324,44±25,90
Temporal 1 mm	65,46±2,28	60,64±2,99	79,42±9,12	78,58±11,68
Central	0	0	0,20±0,46	0,60±0,926
Nasal 1 mm	64,78±2,28	60,34±2,90	77,70±9,12	78,08±11,48
Nasal 2 mm	262,56±8,31	242,32±8,97	321,82±21,12	322,22±25,74
Nasal 3 mm	602,34±19,49	557,36±20,80	754,60±43,26	754,32±49,34
Nasal 4 mm	1098,92±38,379	1033,28±39,91	1406,04±79,42	1404,68±85,11
Superior 4 mm	1122,27±37,23	1049,26±51,36	1478,53±77,42	1468,70±88,05
Superior 3 mm	613,12±18,58	563,18±25,84	812,98±39,08	804,86±53,90
Superior 2 mm	266,26±7,80	244,40±10,88	350,06±18,17	345,46±28,10
Superior 1 mm	65,54±2,05	60,50±3,73	87,30±6,06	85,80±10,82
Inferior 1 mm	66,20±2,85	61,84±3,70	77,32±6,43	78,30±10,45
Inferior 2 mm	267,76±10,137	247,34±11,58	327,26±19,57	328,12±24,35
Inferior 3 mm	614,92±24,06	568,82±26,37	769,86±43,74	769,54±46,90
Inferior 4 mm	1126,76±48,29	1060,90±52,24	1443,08±87,96	1438,79±88,45

Tabla 3: Valores de elevación anterior y posterior preoperatorios y a los 3 meses tras la intervención. DE: Desviación Estándar

DISCUSIÓN

Según lo citado anteriormente, el tratamiento quirúrgico LASIK ejerce su mayor acción sobre la superficie corneal anterior, por lo tanto, cabe esperar encontrar diferencias estadísticamente significativas en los mapas de curvatura anterior. Sin embargo, no ocurre lo mismo en los de curvatura posterior, donde vemos que sólo se aprecian cambios significativos en la zona temporal, mientras que en el resto del mapa no existen tales diferencias. Esto coincide con algunos estudios (17), que describen la existencia de evidentes cambios en la superficie corneal anterior después de la cirugía, mientras que en la superficie corneal posterior estos cambios son mucho menores. Asimismo, otros autores (18,19) observaron los cambios en la elevación corneal posterior después de LASIK y no encontraron diferencias significativas en la parte posterior de la córnea.

Una posible razón por la que se aprecian tales diferencias sólo en la parte temporal de curvatura posterior podría ser la posición de la "bisagra" donde el flap se mantiene unido al resto de la córnea. Sin embargo, en nuestro caso, todas las bisagras del flap se realizaron en la posición superior, por lo que los hallazgos del presente trabajo no son fáciles de explicar por la posición del flap y requieren futuros estudios.

Por otra parte, en cuanto a la Tabla 3, correspondiente a los datos de elevación, se ha optado por obviar los resultados estadísticos y la comparación directa pre-post. Los mapas de elevación indican la diferencia en cada punto entre la córnea del paciente y una esfera perfecta de referencia o *best fit sphere* (BSF), por tanto, dan una idea de la "irregularidad superficial" de la córnea que se analiza. Esta esfera de referencia la genera el propio software del topógrafo en función de la geometría corneal de esa captura, por lo que suele ser distinta entre un paciente y otro, e incluso para un mismo paciente antes y después de la intervención. Además, en el momento de exportar los datos de elevación en formato Excel, el software define una línea tangente que pasa por el ápex corneal, indicando para cada punto la distancia vertical entre esta línea y la superficie corneal. Dado que la posición del ápex también puede variar entre un paciente y otro, y más específicamente entre antes y después de la intervención, la comparación directa de los mapas de elevación requiere de un proceso de normalización de los datos que se encuentra más allá de los objetivos del presente estudio.

En paquimetría, también se observan cambios significativos en casi todo el mapa, excepto en los puntos más alejados del centro de coordenadas. Esto se explica por la ablación ocasionada, ya que el láser destruye tejido del estroma corneal en la zona central que se corresponde con la pupila, y disminuye el efecto a medida que nos alejamos de ella. En el estudio de Xu y colaboradores (15), citado anteriormente, se concluyó que la repetibilidad y reproducibilidad de valores de paquimetría en la córnea central fue muy buena, mientras que las zonas periféricas superiores tenían valores más pobres. Por consiguiente, las medidas de paquimetría en la periferia de la córnea deben ser interpretadas con cautela ya que los valores no son tan repetibles en córneas operadas de LASIK. Sin embargo, otros autores (14) afirman que el Pentacam® muestra una alta repetibilidad para mediciones tanto de espesor corneal central como periférico en sujetos operados de LASIK. De nuevo, son necesarios futuros estudios para arrojar luz a este debate.

El objetivo principal de analizar el coeficiente de Pearson es determinar si a mayor ablación, mayores cambios en la superficie corneal. Según lo estudiado anteriormente, se puede esperar que dicha afirmación sea cierta, y encontremos cambios en las córneas postcirugía con respecto a la precirugía. Una r positiva indica que la correlación es directa (variables directamente proporcionales), y una r negativa es correlación inversa (variables inversamente proporcionales).

Observamos correlaciones más destacadas en los mapas de curvatura anterior, en los que vemos que hay varios puntos de correlación inversa fuerte, lo que indica que a mayor EE negativo, mayor diferencia, es decir, cuanta mayor graduación tenga el paciente, la ablación será más profunda y, por tanto, la diferencia resultante será mayor. En cuanto a los datos de curvatura posterior, por lo general, no se observa correlación significativa. En el caso de los mapas de paquimetría existe una leve correlación, aunque no es tan relevante como en el caso de curvatura anterior. Un ejemplo de correlación entre EE y diferencia de valores de curvatura anterior pre-post se muestra en la Figura 2.

Como posibles limitaciones del estudio encontramos la falta de un ápex corneal común a todos los mapas de elevación, sin la cual el análisis estadístico comparativo de estos mapas no es posible. En futuros trabajos se analizarán estrategias para normalizar los datos de elevación procedentes de esferas de referencia o ápex en posiciones distintas, para así facilitar la comparación entre el mismo paciente en el tiempo o entre pacientes distintos.

CC BY NC

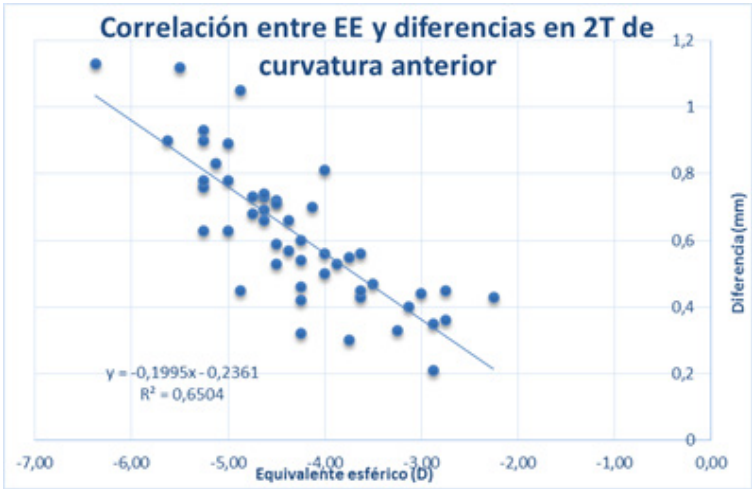

Figura 2: Ejemplo de correlación entre los valores de EE (en D) y la diferencia entre los valores preoperatorios y postoperatorios en el mapa de curvatura anterior en posición 1T (en mm). La correlación, inversa, indica que a mayor EE (valores negativos), mayor cambio de curvatura (valores positivos).

CONCLUSIONES

Se puede afirmar que los mayores cambios corneales, comparando la córnea post LASIK respecto a la pre LASIK, se encuentran en curvatura anterior corneal, mientras que en curvatura posterior apenas hay cambios. En las paquimetrías se observan cambios en toda la córnea, excepto en los puntos tomados más alejados del centro de coordenadas. Cabe señalar que este estudio establece una nueva aproximación de medida para analizar mapas tomográficos, con unos puntos predefinidos en córnea que serán siempre los mismos, y que permite estudiar la superficie corneal de una forma distinta, más precisa y normalizada a las propuestas en la literatura hasta el momento.

REFERENCIAS

1. Farjo AA, Sugar A, Schallhorn SC, Majmudar PA, Tanzer DJ, Trattler WB, et al. Femtosecond lasers for LASIK flap creation: a report by the American Academy of Ophthalmology. Ophthalmology 2013; 120(3):5–20.
2. Kahuam-López N, Navas A, Castillo-Salgado C, Graue-Hernandez EO, Jimenez- Corona A, Ibarra A. Femtosecond laser versus mechanical microkeratome use for laser- assisted in-situ keratomileusis (LASIK). Cochrane Database Syst Rev 2018; 2.
3. Xia LK, Yu J, Chai GR, Wang D, Li Y. Comparison of the femtosecond Laser and mechanical microkeratome for flap cutting in LASIK. Int J Ophthalmol 2015; 8(4):784-790.
4. Kim CH, Song JH, Na KS, Chung SH, Joo C-K. Factors Influencing Corneal Flap Thickness in Laser In Situ Keratomileusis with a Femtosecond Laser. Korean J Ophthalmol 2011;25(1):8-14.
5. Gimbel HV, Penno EE. Complicaciones en LASIK. In: Peters T, Iskander N. Barcelona: ESPAXS S.A; 2003.
6. American Academy of Ophthalmology. Cirugía refractiva. Curso de ciencias básicas y clínicas. Sección 13. Barcelona: ELSEVIER España S.L; 2009
7. Zheng Y, Zhou Y, Zhang J, Liu Q, Zhai C, Wang Y. Comparison of laser in situ keratomileusis flaps created by 2 femtosecond lasers. Cornea 2015; 34:328–333.
8. Li X, Wang Z, Cao Q, Hu L, Tian F, Dai H. Pentacam could be a useful tool for evaluating and qualifying the anterior chamber morphology. Int J Clin Exp Med 2014; 7(7):1878-1882
9. Al-Ageel S, Al-Muammar AM. Comparison of central corneal thickness measurements by Pentacam, noncontact specular microscope, and ultrasound pachymetry in normal and post-LASIK eyes. Saudi J Ophthalmol 2009; 23: 181–187.
10. Dong J, Tang M, Zhang Y, Jia Y, Zhang H, Jia Z, Wang X. Comparison of anterior segment biometric measurements between Pentacam HR and IOLMaster in normal and high myopic eyes. PLoS ONE 2015:10(11):1-10.
11. McAlinden C, Khadka J, Pesudovs K. A comprensive evaluation of the precision (repeatability and reproducibility) of the Oculus Pentacam HR. Invest Ophthalmol Vis Sci 2011; 52(10).
12. Piñero D, González CS, Alió JL. Intraobserver and interobserver repeatability of curvature and aberrometric measurements of the posterior corneal surface in normal eyes using Scheimpflug photography. J Cataract Refract Surg 2009; 35:113–120.
13. Li H, Chen M, Tian L, Li DW, Peng YS, Zhang FF. Study on the change of optical zone after femtosecond laser assisted laser in situ keratomileusis. Zhonghua Yan Ke Za Zhi 2018 Jan 11; 54(1):39-47.
14. Huang JH, Ge LN, Wen DZ, Chen SH, Yu Y, Wang QM. Repeatability and agreement of corneal thickness measurement with Pentacam Scheimpflug protography and Visante optical coherence tomography. Zhonghua Yan Ke Za Zhi 2013 Mar; 49(3):250-256.
15. Xu Z, Peng M, Jiang J, Yang C, Zhu W, Lu F, Shen M. Reliability of Pentacam HR thickness maps of the entire cornea in normal, post-laser in situ keratomileusis, and keratoconus eyes. Am J Ophthalmol 2015.
16. Queirós A, Villa-Collar C; Morim-de-Sousa A; Gargallo B; Gutiérrez AR; González- Méijome JM. Corneal morphology and visual outcomes in LASIK patients after orthokeratology and soft lens wear: a pilot study. Presentado en XXXV Congress of the ESCRS Lisbon, 2017.
17. Khairat YM, Mohamed YH, Moftah I ANO, Fouad NN. Evaluation of corneal changes after myopic LASIK using the Pentacam. Clin Ophthalmol 2013; 7: 1771–1776.
18. Ciolino JB, Belin MW. Changes in the posterior cornea after laser in situ keratomileusis and photorefractive keratectomy. J Cataract Refract Surg 2006; 32:1426– 1431.
19. Pérez-Escudero A, Dorronsoro C, Sawides L, Remón L, Merayo-Lloves J, Marcos S. Minor influence of myopic laser in situ keratomileusis on the posterior corneal surface. Invest Ophthalmol Vis Sci 2009; 50:4146–4154

ABREVIATURAS

- LASIK: Laser-Assisted In Situ Keratomileusis
- EE: Equivalente esférico
- SD: Desviación estándar
- BSF: Best fit sphere
- D: dioptrías
- DE: Desviación Estándar
- S: Superior
- N: Nasal
- T: Temporal
- I: Inferior