



## MÁSTER UNIVERSITARIO EN OPTOMETRÍA Y CIENCIAS DE LA VISIÓN

### TRABAJO FINAL DE MÁSTER

---

# Tomografía corneal en pacientes intervenidos de LASIK con láser de femtosegundos. Estudio pre-operatorio y post-operatorio a los 3 meses

**ANA CASTRO MANZANARES**

DIRECTORES:

**Joan Pérez Corral y Genís Cardona Torradeflot**

DEPARTAMENTO  
Óptica y Optometría

Junio 2018

Facultad de Óptica y Optometría de Terrassa



## MÁSTER UNIVERSITARIO EN OPTOMETRÍA Y CIENCIAS DE LA VISIÓN

Los Srs Joan Pérez Corral y Genís Cardona Torradeflot, como directores del trabajo

CERTIFICAN

Que la Sra. Ana Castro Manzanares ha realizado bajo su supervisión el trabajo *“Tomografía corneal en pacientes intervenidos de LASIK con láser de femtosegundos. Estudio pre-operatorio y post-operatorio a los 3 meses”* que se recoge en esta memoria para optar al título de máster en optometría y ciencias de la visión.

Y para que conste, firmamos este certificado.

Sr Joan Pérez Corral  
Director del trabajo

Sr Genís Cardona Torradeflot  
Director del trabajo

**Terrassa, Junio de 2018.**

Facultad de Óptica y Optometría de Terrassa

© Universitat Politècnica de Catalunya, 2018. Todos los derechos reservados



## MÀSTER UNIVERSITARIO EN OPTOMETRÍA Y CIENCIAS DE LA VISIÓN

### Tomografia corneal en pacients intervinguts de LASIK amb làser de femtosegons. Estudi pre-operatori i post-operatori als 3 mesos

#### RESUM

L'objectiu principal del present estudi consisteix a dissenyar un nou mètode per a l'anàlisi normalitzada de mapes tomogràfics i utilitzar-ho per comparar els mapes de pacients abans de ser intervinguts mitjançant la tècnica LASIK utilitzant el làser de femtosegons, i 3 mesos després de l'intervenció.

Per a la realització de l'estudi es van seleccionar 50 ulls de 25 pacients que tinguessin tomografies pre-cirurgia i 3 mesos després de la mateixa. A partir d'elles es van prendre les dades en 17 punts corneals prèviament definits i els mateixos en cada mapa: origen de coordenades, 1, 2, 3, 4 mm temporal, nasal, inferior i superior. Aquestes dades es van bolcar en un arxiu Excel per a la seva posterior anàlisi. Els mapes corneals escollits per a l'estudi van ser els de curvatura, elevació anterior i paquimetria.

S'han trobat diferències significatives ( $p < 0.05$ ) entre abans i 3 mesos després de la intervenció en tot el mapa de curvatura anterior i només a la part temporal de curvatura posterior. A la paquimetria, s'han trobat diferències en tot el mapa excepte a 4 mm de l'origen de coordenades. D'altra banda, existeix una forta correlació entre les diferències pre i post-operatòries en el radi dels mapes de curvatura anterior i l'equivalent esfèric corregit (a major ablació, major diferència) i només una correlació lleu en paquimetria.

Aquest estudi estableix una nova aproximació de mesura per analitzar mapes tomogràfics, amb uns punts predefinitos en còrnia que seran sempre els mateixos, i que permet estudiar la superfície corneal d'una forma més precisa i normalitzada a les proposades fins al moment.

Facultad de Óptica y Optometría de Terrasa

© Universitat Politècnica de Catalunya, 2018. Todos los derechos reservados



## MÀSTER UNIVERSITARIO EN OPTOMETRÍA Y CIENCIAS DE LA VISIÓN

### Tomografía corneal en pacientes intervenidos de LASIK con láser de femtosegundos. Estudio pre-operatorio y post-operatorio a los 3 meses

#### RESUMEN

El objetivo principal del presente estudio consiste en 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.

Para la realización del estudio se seleccionaron 50 ojos de 25 pacientes que tuviesen tomografías pre-cirugía 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.

Se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los valores pre y post-operatorios 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 post-operatorias 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.

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.

Facultad de Óptica y Optometría de Terrassa

© Universitat Politècnica de Catalunya, 2018. Todos los derechos reservados



## MÀSTER UNIVERSITARIO EN OPTOMETRÍA Y CIENCIAS DE LA VISIÓN

### **Corneal tomography in patients following LASIK with femtosecond laser. Preoperative and post-operative study at 3 months after intervention.**

#### **SUMMARY**

The main objective of the present study was to design a new method for the standardized analysis of tomographic maps and use it to compare the maps of patients before undertaking an intervention with the LASIK technique using the femtosecond laser, and 3 months after the intervention.

For this study, 50 eyes of 25 patients were selected that had pre-surgery tomography and 3 months after the surgery. Data was taken from 17 different corneal points that were pre-defined and the same in each map: Cartesian center, 1, 2, 3, 4 mm temporal, nasal inferior and superior. Data was added to an Excel file for further analysis. The corneal maps chosen for the study were those of curvature, anterior elevation and pachymetry.

Significant differences were found ( $p < 0.05$ ) in the whole map of anterior curvature and only in the temporal part of posterior curvature. In pachymetry, differences were found throughout the map except at 4 mm from the center. A strong correlation was encountered between pre and post-operative differences in the radius of the anterior curvature maps and spherical equivalent (greater ablation, greater difference) and only a slight correlation between spherical equivalent and corneal thickness.

This study establishes a new measurement approach to analyze tomographic maps, with predefined points in the cornea, which are always the same. This strategy allows for a more precise and normalized study of the corneal geometry than those described in the current literature.

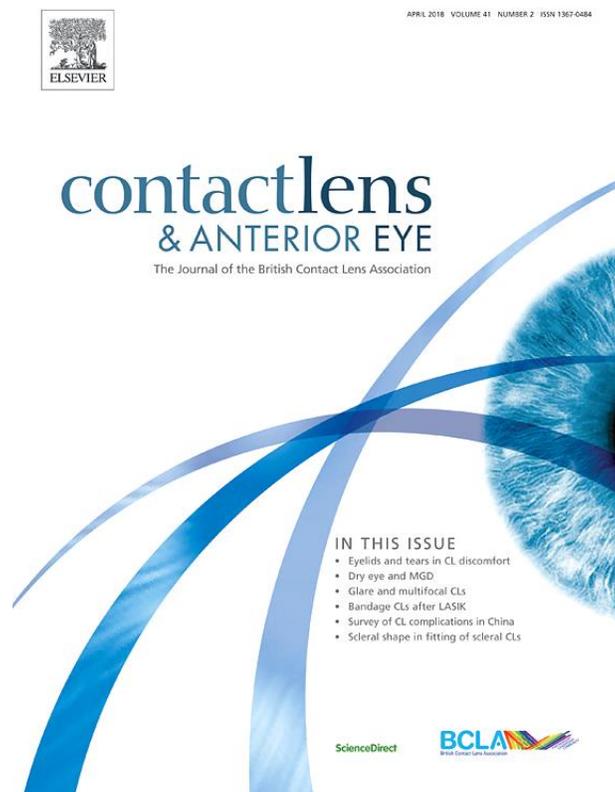
Facultad de Óptica y Optometría de Terrassa

© Universitat Politècnica de Catalunya, 2018. Todos los derechos reservados

Este trabajo está presentado en formato artículo, de acuerdo con las instrucciones descritas para los autores en la revista *Contact Lens and Anterior Eye*.

<https://www.elsevier.com/journals/contact-lens-and-anterior-eye/1367-0484/guide-for-authors>

Además, es un trabajo complementario con el presentado por la compañera Ana Lázaro, compartiendo los mismos pacientes pero examinando los puntos en momentos distintos.



Facultad de Óptica y Optometría de Terrassa

© Universitat Politècnica de Catalunya, 2018. Todos los derechos reservados

# **Tomografía corneal en pacientes intervenidos de LASIK con láser de femtosegundos. Estudio pre-operatorio y post-operatorio a los 3 meses**

## **Resumen**

**PROPÓSITO:** El objetivo principal del presente estudio consiste en 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.

**MÉTODOS:** Para la realización del estudio se seleccionaron 50 ojos de 25 pacientes que tuviesen tomografías pre-cirugía 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 anterior y posterior, elevación anterior y posterior y paquimetría.

**RESULTADOS:** Se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los valores pre y post-operatorios a los 3 meses 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 post-operatorias en el radio de los mapas de curvatura anterior y el equivalente esférico corregido (a mayor ablación, mayor diferencia), mientras que no se observa correlación significativa en curvatura posterior 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 en la literatura.

## **Palabras clave**

Pentacam; LASIK; Femtosegundos; Topografía; Elevación; Paquimetría

Facultad de Óptica y Optometría de Terrassa

© Universitat Politècnica de Catalunya, 2018. Todos los derechos reservados

## 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 fotoqueratomileusis (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 femtosegundos 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  $\mu\text{m}$ ) [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  $\mu\text{m}$  [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 hipocorrecciones 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 cornea para poder comparar pre-post siempre en el mismo sitio y

tener información más detallada, si no que se hacen a groso 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.

## **MATERIALES Y METODOS**

### *Selección de la muestra*

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 pre-quirúrgica de esferas entre -1.75 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 post-cirugía 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 post-cirugía, agudeza visual pre y post-cirugía. 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 post cirugía a los 3 meses, para cada punto corneal en pasos de 0.1 mm.

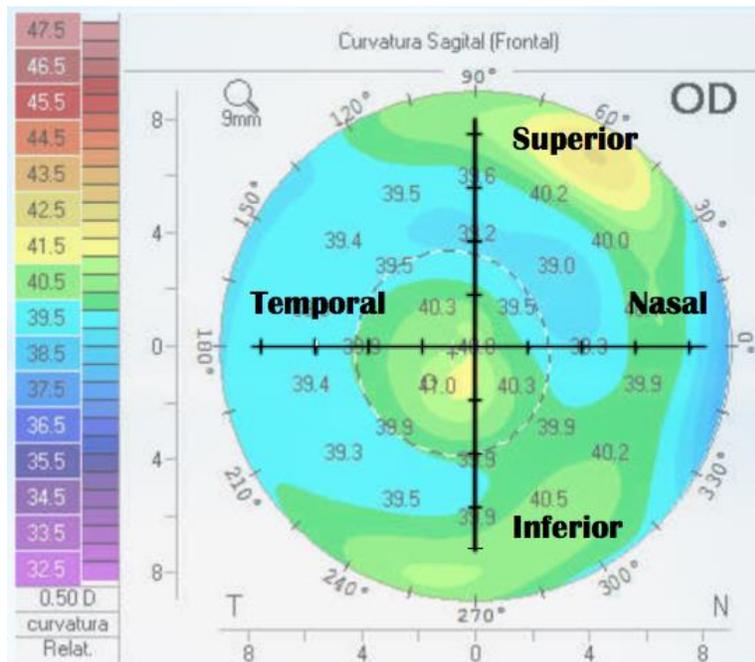
A partir de estos datos, se diseñaron puntos de medición específicos. Así, a cada mapa topográfico se superpuso un juego de coordenadas cartesianas, tal y como muestra la **Figura 1**, tomando el centro del mapa como origen de coordenadas, y se seleccionaron los puntos corneales específicos que tomaríamos 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 utilizó 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  $\pm$  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 pre-operatorio. 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 pre-operatorio. 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.



**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.

## RESULTADOS

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  $37.5 \pm 6.4$  años. El promedio de equivalente esférico (EE) de la refracción pre-operatoria fue de  $-4.29 \pm 0.86$  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 estándar (SD) de todos los datos; el valor de la diferencia entre los datos post-operatorios y

preoperatorios (igualmente como promedio  $\pm$  SD); y el valor  $p$  de la prueba de  $t$  de Student para grupos pareados, (los valores marcados en negrita representan diferencias estadísticamente significativas)

Posición de medida	Curvatura anterior (mm)				Curvatura posterior (mm)			
	pre	3 meses	Diferencia	$p$	pre	3 meses	Diferencia	$p$
Temporal 4 mm	7.95 $\pm$ 0.25	8.08 $\pm$ 0.28	0.14 $\pm$ 0.10	<b>&lt;0.01</b>	6.51 $\pm$ 0.28	6.56 $\pm$ 0.27	0.04 $\pm$ 0.11	<b>0.01</b>
Temporal 3 mm	7.79 $\pm$ 0.24	8.25 $\pm$ 0.29	0.46 $\pm$ 0.14	<b>&lt;0.01</b>	6.33 $\pm$ 0.24	6.37 $\pm$ 0.24	0.03 $\pm$ 0.08	<b>&lt;0.01</b>
Temporal 2 mm	7.73 $\pm$ 0.23	8.39 $\pm$ 0.30	0.67 $\pm$ 0.19	<b>&lt;0.01</b>	6.20 $\pm$ 0.26	6.27 $\pm$ 0.24	0.07 $\pm$ 0.11	<b>&lt;0.01</b>
Temporal 1 mm	7.71 $\pm$ 0.22	8.33 $\pm$ 0.30	0.62 $\pm$ 0.21	<b>&lt;0.01</b>	6.33 $\pm$ 0.28	6.42 $\pm$ 0.26	0.09 $\pm$ 0.17	<b>&lt;0.01</b>
Central	7.68 $\pm$ 0.22	8.22 $\pm$ 0.27	0.55 $\pm$ 0.16	<b>&lt;0.01</b>	6.34 $\pm$ 0.28	6.39 $\pm$ 0.28	0.05 $\pm$ 0.13	<b>0.01</b>
Nasal 1 mm	7.73 $\pm$ 0.22	8.35 $\pm$ 0.27	0.61 $\pm$ 0.17	<b>&lt;0.01</b>	6.42 $\pm$ 0.25	6.44 $\pm$ 0.28	0.02 $\pm$ 0.12	0.35
Nasal 2 mm	7.76 $\pm$ 0.23	8.41 $\pm$ 0.27	0.65 $\pm$ 0.16	<b>&lt;0.01</b>	6.30 $\pm$ 0.25	6.31 $\pm$ 0.26	0.01 $\pm$ 0.12	0.47
Nasal 3 mm	7.82 $\pm$ 0.23	8.26 $\pm$ 0.28	0.44 $\pm$ 0.15	<b>&lt;0.01</b>	6.37 $\pm$ 0.25	6.38 $\pm$ 0.25	0.01 $\pm$ 0.07	0.23
Nasal 4 mm	7.97 $\pm$ 0.25	8.09 $\pm$ 0.29	0.13 $\pm$ 0.13	<b>&lt;0.01</b>	6.51 $\pm$ 0.27	6.53 $\pm$ 0.30	0.02 $\pm$ 0.12	0.26
Superior 4 mm	7.80 $\pm$ 0.24	7.94 $\pm$ 0.32	0.13 $\pm$ 0.23	<b>&lt;0.01</b>	6.62 $\pm$ 0.29	6.61 $\pm$ 0.28	0.01 $\pm$ 0.14	0.79
Superior 3 mm	7.67 $\pm$ 0.22	8.16 $\pm$ 0.35	0.49 $\pm$ 0.23	<b>&lt;0.01</b>	6.14 $\pm$ 0.26	6.15 $\pm$ 0.24	0.01 $\pm$ 0.11	0.39
Superior 2 mm	7.63 $\pm$ 0.22	8.31 $\pm$ 0.29	0.68 $\pm$ 0.16	<b>&lt;0.01</b>	6.02 $\pm$ 0.25	6.05 $\pm$ 0.26	0.04 $\pm$ 0.14	0.09
Superior 1 mm	7.64 $\pm$ 0.22	8.26 $\pm$ 0.27	0.62 $\pm$ 0.16	<b>&lt;0.01</b>	6.12 $\pm$ 0.33	6.17 $\pm$ 0.32	0.05 $\pm$ 0.18	0.05
Inferior 1 mm	7.62 $\pm$ 0.24	8.23 $\pm$ 0.33	0.61 $\pm$ 0.20	<b>&lt;0.01</b>	6.12 $\pm$ 0.31	6.15 $\pm$ 0.27	0.03 $\pm$ 0.14	0.08
Inferior 2 mm	7.64 $\pm$ 0.25	8.29 $\pm$ 0.32	0.66 $\pm$ 0.19	<b>&lt;0.01</b>	6.10 $\pm$ 0.27	6.13 $\pm$ 0.24	0.03 $\pm$ 0.12	0.11
Inferior 3 mm	7.68 $\pm$ 0.27	8.10 $\pm$ 0.32	0.43 $\pm$ 0.17	<b>&lt;0.01</b>	6.19 $\pm$ 0.27	6.21 $\pm$ 0.26	0.03 $\pm$ 0.09	<b>0.02</b>
Inferior 4 mm	7.78 $\pm$ 0.29	7.87 $\pm$ 0.32	0.10 $\pm$ 0.12	<b>&lt;0.01</b>	6.32 $\pm$ 0.30	6.34 $\pm$ 0.28	0.01 $\pm$ 0.11	0.57

**Tabla 1.** Valores de curvatura anterior y posterior pre-operatorios 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.

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 post-operatorios son siempre mayores que los pre-operatorios, incluso en la superficie posterior (diferencias positivas).

Posición de medida	Paquimetría ( $\mu\text{m}$ )			
	<i>pre</i>	<i>3 meses</i>	<i>Diferencia</i>	<i>p</i>
<i>Temporal 4 mm</i>	713.76 $\pm$ 50.21	703.04 $\pm$ 55.347	-10.72 $\pm$ 20.87	<b>0.01</b>
<i>Temporal 3 mm</i>	640.34 $\pm$ 39.90	613.80 $\pm$ 45.99	-26.54 $\pm$ 17.63	<b>&lt;0.01</b>
<i>Temporal 2 mm</i>	586.44 $\pm$ 33.97	535.30 $\pm$ 39.44	-51.14 $\pm$ 16.94	<b>&lt;0.01</b>
<i>Temporal 1 mm</i>	556.58 $\pm$ 30.66	489.70 $\pm$ 35.61	-66.88 $\pm$ 16.43	<b>&lt;0.01</b>
<i>Central</i>	548.64 $\pm$ 29.99	477.28 $\pm$ 34.82	-71.36 $\pm$ 17.24	<b>&lt;0.01</b>
<i>Nasal 1 mm</i>	555.64 $\pm$ 32.46	489.62 $\pm$ 36.63	-66.02 $\pm$ 16.82	<b>&lt;0.01</b>
<i>Nasal 2 mm</i>	581.88 $\pm$ 36.50	534.36 $\pm$ 40.93	-47.52 $\pm$ 16.77	<b>&lt;0.01</b>
<i>Nasal 3 mm</i>	632.66 $\pm$ 43.69	611.22 $\pm$ 48.35	-21.44 $\pm$ 17.50	<b>&lt;0.01</b>
<i>Nasal 4 mm</i>	705.92 $\pm$ 55.75	701.72 $\pm$ 57.36	-4.20 $\pm$ 22.66	0.20
<i>Superior 4 mm</i>	745.23 $\pm$ 49.05	741.50 $\pm$ 52.79	-4.19 $\pm$ 23.84	0.26
<i>Superior 3 mm</i>	669.84 $\pm$ 39.12	647.06 $\pm$ 48.23	-22.78 $\pm$ 26.30	<b>&lt;0.01</b>
<i>Superior 2 mm</i>	602.88 $\pm$ 33.62	552.94 $\pm$ 43.78	-49.94 $\pm$ 24.34	<b>&lt;0.01</b>
<i>Superior 1 mm</i>	563.80 $\pm$ 30.91	496.70 $\pm$ 38.09	-67.10 $\pm$ 20.49	<b>&lt;0.01</b>
<i>Inferior 1 mm</i>	554.18 $\pm$ 30.91	488.18 $\pm$ 32.78	-66.00 $\pm$ 15.97	<b>&lt;0.01</b>
<i>Inferior 2 mm</i>	581.08 $\pm$ 33.62	534.52 $\pm$ 31.18	-46.56 $\pm$ 15.94	<b>&lt;0.01</b>
<i>Inferior 3 mm</i>	632 $\pm$ 37.12	611.94 $\pm$ 32.76	-20.06 $\pm$ 20.07	<b>&lt;0.01</b>
<i>Inferior 4 mm</i>	704.73 $\pm$ 42.85	696.58 $\pm$ 35.31	-6.69 $\pm$ 27.98	0.10

**Tabla 2.** Valores de paquimetría pre-operatorios 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.

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

Finalmente, presentamos los datos de elevación. En este caso, no se comparan los datos pre y post-operatorios (ver apartado de 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 2T, 1T y una correlación inversa moderada ( $>0.5$ ) en origen de coordenadas, 1N y 2N. También destaca una correlación inversa moderada en 2S, 1S, 1I, 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	Elevación anterior ( $\mu\text{m}$ )		Elevación posterior ( $\mu\text{m}$ )	
	<i>pre</i>	<i>3 meses</i>	<i>pre</i>	<i>3 meses</i>
<i>Temporal 4 mm</i>	106 $\pm$ 39.16	1036.68 $\pm$ 42.98	1422.80 $\pm$ 78.34	1410.12 $\pm$ 84.04
<i>Temporal 3 mm</i>	607.06 $\pm$ 21.25	559.06 $\pm$ 22.35	768.68 $\pm$ 43.13	759.32 $\pm$ 48.98
<i>Temporal 2 mm</i>	264.28 $\pm$ 8.29	243.28 $\pm$ 9.79	329.16 $\pm$ 21.25	324.44 $\pm$ 25.90
<i>Temporal 1 mm</i>	65.46 $\pm$ 2.28	60.64 $\pm$ 2.99	79.42 $\pm$ 9.12	78.58 $\pm$ 11.68
<i>Central</i>	0	0	0.20 $\pm$ 0.46	0.60 $\pm$ 0.926
<i>Nasal 1 mm</i>	64.78 $\pm$ 2.28	60.34 $\pm$ 2.90	77.70 $\pm$ 9.12	78.08 $\pm$ 11.48
<i>Nasal 2 mm</i>	262.56 $\pm$ 8.31	242.32 $\pm$ 8.97	321.82 $\pm$ 21.12	322.22 $\pm$ 25.74
<i>Nasal 3 mm</i>	602.34 $\pm$ 19.49	557.36 $\pm$ 20.80	754.60 $\pm$ 43.26	754.32 $\pm$ 49.34
<i>Nasal 4 mm</i>	1098.92 $\pm$ 38.379	1033.28 $\pm$ 39.91	1406.04 $\pm$ 79.42	1404.68 $\pm$ 85.11
<i>Superior 4 mm</i>	1122.27 $\pm$ 37.23	1049.26 $\pm$ 51.36	1478.53 $\pm$ 77.42	1468.70 $\pm$ 88.05
<i>Superior 3 mm</i>	613.12 $\pm$ 18.58	563.18 $\pm$ 25.84	812.98 $\pm$ 39.08	804.86 $\pm$ 53.90
<i>Superior 2 mm</i>	266.26 $\pm$ 7.80	244.40 $\pm$ 10.88	350.06 $\pm$ 18.17	345.46 $\pm$ 28.10
<i>Superior 1 mm</i>	65.54 $\pm$ 2.05	60.50 $\pm$ 3.73	87.30 $\pm$ 6.06	85.80 $\pm$ 10.82
<i>Inferior 1 mm</i>	66.20 $\pm$ 2.85	61.84 $\pm$ 3.70	77.32 $\pm$ 6.43	78.30 $\pm$ 10.45
<i>Inferior 2 mm</i>	267.76 $\pm$ 10.137	247.34 $\pm$ 11.58	327.26 $\pm$ 19.57	328.12 $\pm$ 24.35
<i>Inferior 3 mm</i>	614.92 $\pm$ 24.06	568.82 $\pm$ 26.37	769.86 $\pm$ 43.74	769.54 $\pm$ 46.90
<i>Inferior 4 mm</i>	1126.76 $\pm$ 48.29	1060.90 $\pm$ 52.24	1443.08 $\pm$ 87.96	1438.79 $\pm$ 88.45

**Tabla 3.** Valores de elevación anterior y posterior pre-operatorios y a los 3 meses tras la intervención.

## 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.

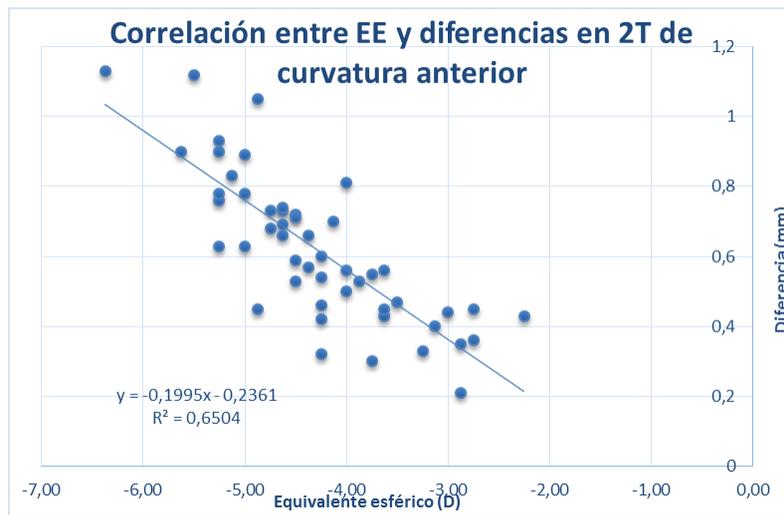
Por otra parte, en cuanto a la tabla correspondiente a los datos de elevación, se ha optado por obviar los resultados estadísticos y la comparación directa pre-post. Los mapas de elevación indican la diferencia en cada punto entre la córnea del paciente y una esfera perfecta de referencia o *best fit 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 post-cirugía con respecto a las pre-cirugía. 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, cuanto 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**.



**Figura 2.** Ejemplo de correlación entre los valores de EE (en D) y la diferencia entre los valores pre-operatorios y post-operatorios 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).

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.

**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.

**CONFLICTO DE INTERÉS:** Ninguno

**AGRADECIMIENTOS:** Me gustaría dar las gracias a Joan Pérez y Genís Cardona por tutorizar y guiarme en este trabajo, así como su paciencia, dedicación y disponibilidad para resolver cualquier duda o problema. Su ayuda ha sido definitiva para que este trabajo saliera adelante.

También me gustaría agradecer a *Institut Català de Retina* por la oportunidad y ayuda prestada con la búsqueda de sujetos para el estudio.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- [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] Kahnam-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 comprehensive 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, Dorransoro C, Sawides L, Remón L, Merayo-Llodes J, Marcos S. Minor influence of myopic laser in situ keratomileusis on the posterior corneal surface. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2009; 50:4146–4154.