



Universidad Autónoma de Querétaro

CAMBIO EN CÉLULAS ENDOTELIALES/MM² POR LÁSER MICROPULSADO TRANSESCLERAL ENTRE PACIENTES CON GPEX Y OTROS TIPOS DE GLAUCOMA DE ÁNGULO ABIERTO

Tesis

Que como parte de los requisitos
para obtener el Diploma de
ESPECIALIDAD EN OFTALMOLOGIA

Presenta:

Fernando Garnés Rancurello

Dirigido por:

Med. Esp. Gwendolyne Montoya Guardiola

Co-Director

Med. Esp. Javier Alegría Martínez

La presente obra está bajo la licencia:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



SinDerivadas — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.



**Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Medicina**

**CAMBIO EN CÉLULAS ENDOTELIALES/MM² POR LÁSER
MICROPULSADO TRANSESCLERAL ENTRE PACIENTES CON
GPEX Y OTROS TIPOS DE GLAUCOMA DE ÁNGULO ABIERTO**

Tesis

**Que como parte de los requisitos para obtener el Diploma de la
ESPECIALIDAD EN OFTALMOLOGÍA**

Presenta

**Fernando Garnés Rancurello
Médico general**

Dirigido por:

Med. Esp. Gwendolyne Montoya Guardiola

Co-Director:

Med. Esp. Javier Alegría Martínez

Med. Esp. Gwendolyne Montoya Guardiola

Presidente

Med. Esp. Javier Alegría Martínez

Secretario

Dr. Martin Gallegos Duarte

Vocal

Dr. Arturo García Balderas

Suplente

Dr. Nicolas Camacho Calderón

Suplente

Centro Universitario, Querétaro, Qro.

Fecha de aprobación por el Consejo Universitario 24 de abril 2024.
México.

RESUMEN

Introducción: El glaucoma es una de las principales causas de ceguera en el mundo. El síndrome de pseudoexfoliación (PEX) se asocia con mayor daño endotelial corneal y desarrollo de glaucoma de ángulo abierto. El láser micropulsado transescleral ha demostrado eficacia en la reducción de la presión intraocular, sin embargo, existe limitada evidencia sobre su impacto en la densidad de células endoteliales.

Objetivo: Evaluar el cambio en células endoteliales/mm² por láser micropulsado transescleral entre pacientes con GPEX y otros tipos de glaucoma de ángulo abierto.

Material y métodos: Ensayo clínico, abierto, controlado, no aleatorizado. Se incluyeron pacientes con glaucoma de ángulo abierto, divididos en dos grupos: glaucoma por pseudoexfoliación (PEX) y pacientes con otros tipos de glaucoma de ángulo abierto (GAA). Se analizaron 33 ojos (17 PEX y 16 GAA). Posterior al tratamiento con láser (0, 7, 15, 30 y 45 días), se evaluó la densidad de células endoteliales, presión intraocular (PIO) y agudeza visual. Se realizó análisis descriptivo e inferencial mediante pruebas no paramétricas (*U de Mann-Whitney*, *Wilcoxon* y *Friedman*), y se consideró significativa una $p \leq .05$. El estudio se apegó a los principios éticos, todo paciente firmó su consentimiento informado.

Resultados: En las comparaciones intergrupo, el grupo PEX presentó significativamente mayor PIO, menor conteo de células endoteliales, agudeza visual y hexagonalidad en todas las valoraciones ($p < .05$). En el análisis intragrupo, ambos grupos mostraron una disminución significativa de la PIO y del conteo de células endoteliales a lo largo del seguimiento ($p < .05$). No hubo cambios significativos en el coeficiente de variación ni en la hexagonalidad. Se observó una correlación negativa significativa entre el conteo endotelial basal y el cambio endotelial en el grupo PEX ($p = .015$), también hubo una asociación negativa en el modelo de regresión lineal ($p = .047$).

Conclusiones: El láser micropulsado transescleral reduce significativamente la PIO en pacientes con GAA. Se observó una disminución del conteo de células endoteliales en ambos grupos, siendo más importante en pacientes con PEX, lo que sugiere mayor susceptibilidad endotelial en este grupo. La reserva endotelial basal influye en la magnitud del daño posterior al tratamiento.

Palabras clave: glaucoma, pseudoexfoliación, láser micropulsado, células endoteliales, presión intraocular

ABSTRACT

Introduction: Glaucoma is one of the leading causes of blindness worldwide. Pseudoexfoliation syndrome (PEX) is associated with greater corneal endothelial damage and the development of open-angle glaucoma. Transscleral micropulse laser has demonstrated efficacy in reducing intraocular pressure; however, there is limited evidence regarding its impact on endothelial cell density.

Objective: To evaluate the change in endothelial cells/mm² after transscleral micropulse laser treatment in patients with pseudoexfoliation glaucoma and those with other types of open-angle glaucoma.

Material and methods: Open-label, controlled, non-randomized clinical trial. Patients with open-angle glaucoma were included and divided into two groups: pseudoexfoliation glaucoma (PEX) and other types of open-angle glaucomas (GAA). A total of 33 eyes were analyzed (17 PEX and 16 GAA). After laser treatment (0, 7, 15, 30, and 45 days), endothelial cell density, intraocular pressure (IOP), and visual acuity were evaluated. Descriptive and inferential analyses were performed using non-parametric tests (*Mann-Whitney U*, *Wilcoxon*, and *Friedman*), with statistical significance set at $p \leq .05$. The study adhered to ethical principles, and all patients provided informed consent.

Results: In intergroup comparisons, the PEX group showed significantly higher IOP, as well as lower endothelial cell counts, visual acuity, and hexagonality at all time points ($p < .05$). In the intragroup analysis, both groups demonstrated a significant decrease in IOP and endothelial cell count throughout the follow-up period ($p < .05$). No significant changes were observed in the coefficient of variation or hexagonality. A significant negative correlation was identified between the baseline endothelial cell count and endothelial change in the PEX group ($p = .015$); additionally, a negative association was observed in the linear regression model ($p = .047$).

Conclusions: Transscleral micropulse laser significantly reduces IOP in patients with open-angle glaucoma. A decrease in endothelial cell count was observed in both groups, being more pronounced in patients with pseudoexfoliation, suggesting greater endothelial susceptibility in this group. Baseline endothelial reserve influences the magnitude of damage after treatment.

Keywords: glaucoma, pseudoexfoliation, micropulse laser, endothelial cells, intraocular pressure

DEDICATORIAS

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios, por guiar mis pasos, darme fortaleza en los momentos de incertidumbre y permitirme llegar hasta este punto de mi formación profesional. Su presencia ha sido luz en los días difíciles y motivo de gratitud en cada logro alcanzado.

A mis padres, por ser mi ejemplo más grande de amor, esfuerzo y entrega. Gracias por enseñarme que los sueños se construyen con disciplina, paciencia y perseverancia. Cada sacrificio, cada palabra de aliento y cada muestra de confianza han sido parte fundamental de este camino. Este logro también les pertenece, porque sin su apoyo incondicional nada de esto habría sido posible.

A mi novia, por acompañarme con amor, paciencia y comprensión durante esta etapa. Gracias por estar presente en los días largos, por impulsarme cuando las fuerzas parecían disminuir y por recordarme siempre la importancia de seguir adelante. Tu compañía ha sido un refugio y una motivación constante.

A mis perros, Hulk y Kia, por su amor noble, silencioso y sincero. Por acompañarme en las noches de estudio, por alegrar mis días y por recordarme, con su presencia, que también en las cosas simples se encuentra la felicidad.

AGRADECIMIENTOS

Al concluir esta etapa tan importante de mi formación profesional, deseo expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que, de una u otra manera, formaron parte de este camino. A mis padres, por su apoyo incondicional, por creer en mí incluso en los momentos en los que el cansancio y la incertidumbre parecían pesar más que la motivación. Gracias por enseñarme, con su ejemplo, el valor del esfuerzo, la responsabilidad y la perseverancia. Cada logro alcanzado lleva también una parte de ustedes. A mi novia, Mónica, por acompañarme con amor, paciencia y fortaleza durante este periodo, aun cuando la distancia formó parte de nuestra historia. Gracias por estar presente a pesar de los kilómetros, por escucharme, sostenerme y recordarme que el amor también puede ser impulso, refugio y esperanza. Te amo profundamente, y tu compañía ha sido una de las mayores bendiciones de esta etapa. A mis maestros, quienes con su enseñanza dejaron una huella invaluable en mi formación médica y humana. Al Dr. Javier Alegría, por ser un ejemplo de dedicación, atención y compromiso con la enseñanza; un retinólogo admirable, cuya manera de transmitir conocimiento ha marcado profundamente mi camino profesional. A la Dra. Gwendolyne Montoya, por su tiempo, paciencia y generosidad al enseñar; gracias por acompañarme en momentos fundamentales de mi aprendizaje, incluyendo aquella primera cirugía extracapsular que permanecerá siempre como un recuerdo significativo en mi formación. Al Dr. Armando Ramos, a quien considero un cuidador silencioso, por su presencia discreta pero valiosa, por su guía y por la forma en que, muchas veces sin hacerlo evidente, contribuyó a mi crecimiento. Al Dr. Fernando Rivero, retinólogo y mi primer maestro durante la residencia, gracias por abrirme las puertas del aprendizaje en esta área que hoy forma parte esencial de mi vocación. A la Dra. Mariana López, por ser un pilar en mi aprendizaje y en mi madurez profesional, por sus enseñanzas, exigencia y acompañamiento durante este proceso. Finalmente, agradezco profundamente a los pacientes del Hospital General de Querétaro. A ustedes, que depositaron su confianza en nuestras manos, les debo gran parte de mi aprendizaje. Cada historia, cada consulta y cada procedimiento me recordaron el verdadero sentido de la medicina: servir con conocimiento, responsabilidad y humanidad.

ÍNDICE

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
DEDICATORIAS.....	III
AGRADECIMIENTOS	IV
ÍNDICE	V
ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ABREVIATURAS Y SIGLAS.....	IX
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES/ ESTADO DEL ARTE	3
III. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	6
III.1 Glaucoma.....	6
III.2 Endotelio corneal	8
III.3 Glaucoma y endotelio corneal.....	11
III.4 Presión intraocular	12
III.5 Tratamiento del glaucoma.....	13
IV. HIPÓTESIS O SUPUESTOS	16
IV.1 Hipótesis alternativa H1	16
IV.2 Hipótesis nula H0.....	16
V. OBJETIVOS	17
V.1. Objetivo general	17
V.2. Objetivos específicos.....	17
VI. MATERIAL Y MÉTODOS.....	17
VI.1 Tipo de investigación	17
VI.2 Población o unidad de análisis	17
VI.3 Muestra y tipo de muestra	18
VI.4 Criterios de selección	20

VI.4.1 Criterios de inclusión	20
VI.4.2 Criterios de exclusión	20
VI.4.3 Criterios de eliminación	21
VI.5 Variables estudiadas	22
VI.6 Técnicas e instrumentos	23
VI.7 Procedimientos	24
VI.8 Análisis estadístico	25
VI.9 Consideraciones éticas	26
VII. RESULTADOS	29
VIII. DISCUSIÓN	46
IX. CONCLUSIONES	54
X. PROPUESTAS	54
XI. BIBLIOGRAFÍA	55
XII. ANEXOS	62
XII.1 HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS	62
XII.2 CONSENTIMIENTO INFORMADO	63
XII.3 CARTA DE CONFIDENCIALIDAD DEL PROYECTO	66

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Operacionalización de las variables de estudio	22
Tabla 2	Resultados comparativos de las variables demográficas de la población de estudio	29
Tabla 3	Comparaciones basales de la presión intraocular, agudeza visual y características corneales entre los grupos de estudio.	31
Tabla 4	Comparaciones al día 7 de la presión intraocular, agudeza visual y características corneales entre los grupos de estudio.	32
Tabla 5	Comparaciones al día 15 de la presión intraocular, agudeza visual y características corneales entre los grupos de estudio.	33
Tabla 6	Comparaciones al día 30 de la presión intraocular, agudeza visual y características corneales entre los grupos de estudio.	34
Tabla 7	Comparaciones al día 45 de la presión intraocular, agudeza visual y características corneales entre los grupos de estudio.	35
Tabla 8	Comparación del valor p en las comparaciones intragrupo de cada una de las variables de estudio.	36
Tabla 9	Comparaciones de la presión intraocular, agudeza visual y características corneales entre los grupos de estudio a lo largo del seguimiento.	37
Tabla 10	Valor p de las comparaciones intragrupo de la presión intraocular	39
Tabla 11	Valor p del conteo de células endoteliales en las comparaciones intragrupo.	40
Tabla 12	Valor p del coeficiente de variación en las comparaciones intragrupo.	41
Tabla 13	Valor p de la hexagonalidad en las comparaciones intragrupo.	42
Tabla 14	Valor p de la paquimetría en las comparaciones intragrupo.	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Comparación del endotelio corneal humano mediante microscopía especular	11
Figura 2 Resultados comparativos de la edad de la población de estudio.	30
Figura 3 Resultados comparativos del género de la población de estudio	30
Figura 4 Resultados comparativos de la presión intraocular en sus distintas valoraciones, en ambos grupos de estudio.	38
Figura 5 Resultados comparativos del conteo de células endoteliales en sus distintas valoraciones, en ambos grupos de estudio.	40
Figura 6 Resultados comparativos del conteo de células endoteliales en sus distintas valoraciones, en ambos grupos de estudio.	41
Figura 7 Resultados comparativos de hexagonalidad en sus distintas valoraciones, en ambos grupos de estudio.	43
Figura 8 Resultados comparativos de paquimetría en sus distintas valoraciones, en ambos grupos de estudio.	44

ABREVIATURAS Y SIGLAS

Abreviatura	Significado
PEX	Síndrome de pseudoexfoliación
GPEX	Glaucoma por pseudoexfoliación
GAA	Glaucoma de ángulo abierto
PIO	Presión intraocular
AV	Agudeza visual
CECD	Conteo de células endoteliales
CV	Coeficiente de variación
HEX	Hexagonalidad
PAQ	Paquimetría
mmHg	Milímetros de mercurio
cel/mm ²	Células por milímetro cuadrado
%	Porcentaje
<i>p</i>	Valor de significancia estadística
IC95%	Intervalo de confianza al 95%
<i>B</i>	Coeficiente de regresión

I. INTRODUCCIÓN

El glaucoma representa la principal causa de ceguera irreversible a nivel mundial, caracterizado como una neuropatía óptica progresiva que conlleva modificaciones del campo visual y finalmente el desarrollo de ceguera (Ritch, R., 2001). El síndrome de pseudoexfoliación (PEX) es la principal causa de glaucoma secundario de ángulo abierto (GAA) (Schlötzer-Schrehardt, 2006) (Lim, 2021). Distintas investigaciones han evidenciado el impacto del síndrome de pseudoexfoliación en la córnea, especialmente en la densidad de células endoteliales de dicho tejido, ya que se ha observado una reducción del conteo de células endoteliales en pacientes con PEX y glaucoma por pseudoexfoliación (GPEX) (Küchle, 1995) (Lim, 2021).

Uno de los factores de riesgo clave para el glaucoma de ángulo abierto es la presión intraocular (PIO) elevada. La reducción de la PIO ha demostrado disminuir la progresión de la enfermedad y el riesgo de una mayor pérdida del campo visual (Ritch, R., 2001). El enfoque inicial para reducir la PIO es la terapia antiglaucomatosa tópica, sin embargo, no siempre se logran reducciones adecuadas de la PIO a pesar de la terapia médica máxima tolerable. Cuando las reducciones de la PIO siguen siendo inadecuadas, está indicada la cirugía filtrante para el glaucoma, siendo la trabeculectomía el estándar de oro en el glaucoma de ángulo abierto. En los últimos 50 años, se han logrado avances significativos en el campo de la cirugía del glaucoma para optimizar la seguridad y los resultados visuales, no obstante, pueden ocurrir complicaciones. Al igual que con cualquier cirugía que involucre el segmento anterior, la trabeculectomía tiene el potencial de causar lesión corneal y se asocia con una disminución acelerada en la densidad de células endoteliales corneales (CECD), reportándose una pérdida del 9.88% a los 6 meses (Natalie Si-Yi Lee, 2023) (Arnavielle, 2007).

Aunque las consecuencias clínicas de pequeñas disminuciones en la CECD no están completamente claras, cuando esta desciende por debajo de 700 células

endoteliales/mm² existe un mayor riesgo de desarrollar edema corneal y deterioro visual (Natalie Si-Yi Lee, 2023).

Debido a que la trabeculectomía es un procedimiento invasivo que depende de la habilidad del cirujano y puede producir complicaciones, así como pérdida acelerada de células endoteliales, se han buscado otras opciones terapéuticas, principalmente en pacientes que ya tienen una patología de origen que agrava el problema, como es el GPEX.

El láser micropulsado transescleral representa una opción terapéutica prometedora para el tratamiento del glaucoma, especialmente en casos en los que otros tratamientos han demostrado ser ineficaces o no están indicados. La realización de láser micropulsado transescleral en pacientes con glaucoma moderado y avanzado se ha propuesto como una alternativa terapéutica en la práctica clínica actual (Aquino, 2015) (Aref, A. , 2020). Este tipo de láser ofrece la ventaja de penetrar el tejido ocular de manera selectiva y controlada, lo que puede resultar en una reducción de la presión intraocular sin dañar significativamente los tejidos circundantes (Williams, 2018) (Shazly, 2021)

Existen estudios en los que se ha utilizado láser micropulsado transescleral en pacientes con glaucoma primario de ángulo abierto y glaucoma por pseudoexfoliación, observándose de manera general que el tratamiento es seguro y eficaz para reducir la presión intraocular (Tan, 2020) (Tekeli O. Y., 2021) (Zaarour, 2019). Hasta el momento, solo existe un estudio donde se evaluaron los cambios endoteliales posteriores al tratamiento con láser, sin embargo, se trató de un estudio retrospectivo y los pacientes fueron agrupados de acuerdo con el tipo de láser empleado, no por la causa del glaucoma, por lo que no fue posible conocer los resultados en pacientes con síndrome de pseudoexfoliación en comparación con otras causas (Garip Kuebler, 2023).

Por lo previamente expuesto, el objetivo de esta investigación es evaluar el cambio en la densidad de células endoteliales (células/mm²) posterior al tratamiento con láser

micropulsado transescleral entre pacientes con GPEX y otros tipos de glaucoma de ángulo abierto.

Un estudio como el presente permitirá evaluar el estado del endotelio corneal antes y después del tratamiento en pacientes con síndrome de pseudoexfoliación, así como determinar si el láser micropulsado transescleral tiene un impacto significativo en la salud corneal a corto plazo. De la misma manera, permitirá analizar variables clínicas (presión intraocular y agudeza visual), contribuyendo a la toma de decisiones clínicas para el manejo de la enfermedad y ser el comienzo de investigaciones en este campo específico que ha recibido menos atención en términos de investigación.

II. ANTECEDENTES/ ESTADO DEL ARTE

Existen diversos estudios que han evaluado la eficacia y seguridad de la ciclofotocoagulación transescleral en pacientes con ángulo abierto por diversas causas, como el estudio de Matthias Grueb et al. (Grueb, 2006) quien realizó una revisión retrospectiva, evaluando 90 ojos (48 OD/42 OI) en 90 pacientes (edad media 75 años, rango 60-92 años; 51 hombres/39 mujeres) con glaucoma primario de ángulo abierto (n=66) y glaucoma pseudoexfoliativo (n=24). Se observó una tasa de éxito global del 36,7% a los 24 meses. En sus resultados no observó correlación entre la edad ($p=0.887$) o género y tasa de éxito ($p=0.895$). No hubo reducción significativa del tratamiento antiglaucomatoso ($p=0.208$), pérdida significativa de agudeza visual ($p=0.324$), ni relación significativa entre pérdida de agudeza visual y fracaso del tratamiento ($p=0.201$).

En pacientes con glaucoma primario de ángulo abierto la tasa de éxito fue del 40.9% después de 24 meses; en pacientes con glaucoma pseudoexfoliativo fue del 25.0% después de 24 meses. No hubo diferencias significativas entre el glaucoma primario de ángulo abierto y el glaucoma pseudoexfoliativo ($p= .684$) (Grueb, 2006). La cirugía ocular previa disminuyó la probabilidad de éxito del 45.8 al 33.3% ($p= .001$). En 1

paciente se produjo hipotonía prolongada, no se desarrolló ptisis bulbi. El autor concluyó que la ciclofotocoagulación transescleral con láser de diodo es un método eficaz y seguro no sólo en el tratamiento del glaucoma refractivo, sino también como procedimiento quirúrgico primario en el glaucoma primario de ángulo abierto y pseudoexfoliativo.

Tekeli et. al. (Tekeli, O., & Köse, H. C. , 2021) compararon los resultados del láser micropulsado transescleral entre el glaucoma primario de ángulo abierto, glaucoma por pseudoexfoliación y otros tipos de glaucoma secundario. Se revisaron retrospectivamente los resultados de 96 pacientes consecutivos, se realizaron exámenes de seguimiento de forma regular hasta los 12 meses después de la operación. El éxito quirúrgico se definió como: mantener la presión intraocular ≤ 18 mmHg y una reducción de ≥ 20 % en la presión intraocular (criterio A), ≤ 15 mmHg de presión intraocular y una reducción de ≥ 25 % en la presión intraocular (criterio B), y presión intraocular de ≤ 12 mmHg y reducción de ≥ 30 % en la presión intraocular desde el inicio (criterio C). Se incluyeron noventa y seis ojos de 96 pacientes (50 mujeres (52%), 46 hombres (48%)). Entre todos los ojos, 32 correspondían a glaucoma primario de ángulo abierto, 30 a glaucoma de pseudoexfoliación y 34 a otros tipos de glaucoma secundario. La edad media fue de $59,37 \pm 11,45$ (rango: 20-91) años. El período medio de seguimiento fue de $14,2 \pm 3,9$ (rango: 12-16) meses. A los 12 meses, las tasas de éxito del grupo de glaucoma primario de ángulo abierto, glaucoma de pseudoexfoliación y glaucoma secundario fueron 68,75 %, 66,6 % y 64,7 % ($p=0,185$) para el criterio A; 56,25%, 53,3% y 50% ($p=0,153$) para el criterio B; y 43,75%, 43,3% y 38,2% ($p=0,146$) para el criterio C. Cuatro pacientes (12,5%) en el grupo de glaucoma primario de ángulo abierto, 5 pacientes (16,6%) en el grupo de glaucoma de pseudoexfoliación y 14 (41,2%) los pacientes de otro grupo de glaucoma secundario requirieron reoperación durante el seguimiento ($p<0,05$). Por lo tanto, los autores concluyeron que el láser micropulsado transescleral es eficaz para reducir la presión intraocular en pacientes con glaucoma primario de ángulo abierto, glaucoma por pseudoexfoliación y otros tipos de glaucoma secundario.

Por otra parte, el único estudio que ha evaluado hasta el momento los cambios endoteliales posteriores al tratamiento con láser fue el realizado por Garip et. al. (Garip

Kuebler, 2023). El objetivo de su trabajo fue evaluar los efectos de la ciclofotocoagulación transescleral de micropulso (mCPC) y la trabeculoplastia láser selectiva (SLT) sobre la densidad de células endoteliales (CECD) y la reducción de la presión intraocular (PIO) en pacientes con glaucoma primario de ángulo abierto (GAA), por lo que realizó un estudio observacional retrospectivo que incluyó 40 ojos con GAA. Los pacientes se dividieron en tres grupos: el grupo I fue tratado con SLT (n=13), el grupo II fue tratado con mCPC (n=13), y el grupo III incluyó pacientes de la misma edad con glaucoma tratado médicamente (n=14) (grupo control). En ambos grupos de tratamiento (SLT y mCPC), los hallazgos preoperatorios y posoperatorios de agudeza visual mejor corregida (MAVC), CECD y PIO se compararon con el grupo de control. En sus resultados se observó que el intervalo de tiempo medio antes y después del tratamiento fue de 215 ± 120 días en el grupo I (SLT) y 273 ± 177 días en el grupo II (mCPC). El seguimiento para el grupo III (grupo control) fue de 209 ± 103 días. En ambos grupos de tratamiento (SLT y mCPC) hubo una reducción estadísticamente significativa de la PIO posoperatoria (grupo I: $3,5 \pm 3,7$ mm Hg ($p=0,005$) y grupo II: $4,3 \pm 4,1$ mm Hg ($p=0,003$)). La PIO promedio para el grupo III fue de $12,9 \pm 3,7$ mm Hg en la visita 1 y no cambió significativamente ($p=0,353$) en la visita 2. En los tres grupos, no hubo cambios estadísticamente significativos en la densidad de células endoteliales. El autor señaló que tanto SLT como mCPC parecen seguros para el endotelio corneal, sin embargo, los pacientes con SLT tuvieron una mayor pérdida de CECD (media: $4,0 \pm 5,9\%$) en comparación con los grupos de mCPC y tratamiento médico (media: $2,5 \pm 7,0\%$ y $1,0 \pm 5,9\%$, respectivamente). Para los tres grupos, la diferencia en DPI entre las visitas 1 y 2 siguió siendo estadísticamente no significativa. Por lo previamente dicho, el autor concluyó que tanto SLT como mCPC parecen ser eficaces para reducir la PIO, sin mostrar ningún efecto estadísticamente significativo sobre la CECD en pacientes con GAA. Sin embargo, este estudio se limitó a pacientes con glaucoma primario de ángulo abierto, por lo que la aplicabilidad de sus hallazgos en pacientes con glaucoma por pseudoexfoliación es limitada.

III. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

III.1 Glaucoma

El glaucoma es una neuropatía óptica progresiva, caracterizada por cambios morfológicos específicos (excavación del disco óptico), que resultan en pérdida de las células ganglionares retinianas y sus axones. Las células ganglionares retinianas mueren por apoptosis (Jayaram H, 2023).

Es una de las principales causas de ceguera en el mundo (Jayaram H, 2023) (Bluwol E. , 2016). Se estima que más de 2.5 millones de personas en Estados Unidos tienen glaucoma y más de 130, 000 son ciegos legalmente por esta causa (CENETEC, 2013). Una revisión sistemática de estudios poblacionales informa que el 2.93% de la población europea de entre 40 y 80 años tiene glaucoma, la mayoría con glaucoma de ángulo abierto (prevalencia del 2.51%), lo que coincide con lo reportado en el estudio de salud de Gutenberg para la población alemana entre 35 y 74 años (Schuster, 2021). Los Ángeles Latino Eye Study reportó una alta prevalencia de glaucoma de ángulo abierto en población latina predominantemente de ascendencia mexicana (CENETEC, 2013).

La etiología del glaucoma primario de ángulo abierto es difícil de esclarecer, sin embargo, actualmente se acepta que la porción laminar de la papila óptica o lámina cribosa es el principal sitio de daño a los axones de las células ganglionares de la retina en el glaucoma. Esta área anatómica proporciona soporte estructural pero también funcional a todos los axones de las células ganglionares de la retina que la atraviesan. Esta porción del nervio óptico se ubica en el canal escleral lo que constituye una interrupción en la envoltura sólida del globo ocular y representa un área de fragilidad biomecánica (Bertaud, 2019).

Durante mucho tiempo se han planteado dos teorías para explicar el glaucoma primario de ángulo abierto: la teoría mecánica y la teoría vascular. La teoría mecánica sugiere que la hipertonía ocular conduce a la pérdida de fibras nerviosas de la retina mediante la compresión de la papila óptica y la lámina cribosa. La teoría vascular sugiere

que la insuficiencia circulatoria en los capilares sanguíneos de la papila óptica resultaría en una falta de suministro nutricional a las células ganglionares de la retina y sus axones, provocando su degeneración. Hoy en día una teoría biomecánica vincula las dos teorías anteriores, integrando así las fuerzas y deformaciones ligadas a la presión intraocular como elemento central de las modificaciones fisiológicas y patológicas de los tejidos de la papila óptica y su vasculatura. Estos cambios tisulares incluyen cambios en los tejidos conectivos de la lámina cribosa y la esclerótica peripapilar, así como en los componentes celulares de estos tejidos, los axones de las células ganglionares de la retina y su vascularización, lo que conduce a una pérdida progresiva de las células ganglionares de la retina (Bertaud, 2019).

El síndrome de pseudoexfoliación (PEX) es la principal causa de glaucoma secundario de ángulo abierto (Matthias Nobl, 2019) (Schlötzer-Schrehardt, 2006) (Lim, 2021) (Greslechner R, 2022), es una microfibrilopatía sistémica relacionada con la edad que se caracteriza clínicamente por la producción y depósito de material granular extracelular en los tejidos, especialmente en la cámara anterior del ojo (Yüksel N, 2023) (Schweitzer C., 2018).

El glaucoma por pseudoexfoliación (GPEX) es un tipo grave de glaucoma con mayor riesgo de pérdida de visión, mayor presión intraocular (PIO) máxima y media al momento del diagnóstico, y mayor rango de fluctuación de la PIO en comparación con el glaucoma primario de ángulo abierto. El GPEX puede causar una mayor resistencia al flujo de salida como resultado de la acumulación progresiva de material de pseudoexfoliación en la malla trabecular, lo que contribuye a la alteración del flujo sanguíneo retrobulbar y del flujo sanguíneo microvascular del nervio óptico, así como a la elastosis de la lámina cribosa. Se caracteriza por la presencia de depósitos de pseudoexfoliación en la superficie anterior del cristalino. Estos depósitos se encuentran inicialmente en los procesos ciliares, las zónulas y el iris. Los depósitos de pseudoexfoliación en las zónulas pueden explicar la debilidad zonular y la subluxación o dislocación del cristalino observadas clínicamente. También se asocia una mayor incidencia de desarrollo de cataratas con la pseudoexfoliación (Yüksel N, 2023).

Las patologías oculares resultantes del depósito de este material incluyen glaucoma secundario de ángulo abierto, alteraciones de la película lagrimal precorneal, debilidad y dehiscencia zonular que produce facodonesis, glaucoma de ángulo cerrado y dislocación del cristalino, rotura capsular y liberación de vítreo durante la cirugía de cataratas, mala dilatación pupilar, disfunción de la barrera hematoacuosa y descompensación endotelial corneal (Palko, 2017). Varios estudios han demostrado la influencia de PEX en la córnea, específicamente sobre la densidad de células del endotelio corneal. La mayoría de estos reportan una disminución de la densidad celular endotelial en pacientes con PEX y, de forma más importante, en aquellos con glaucoma pseudoexfoliativo (GPEX), en comparación con sujetos sanos (Juan-Marcos, 2013).

III.2 Endotelio corneal

El endotelio corneal es una monocapa de células hexagonales que cubre la superficie interna de la córnea, con apariencia de un panal de abejas. Este endotelio actúa como una barrera entre el estroma corneal y el humor acuoso, limitando el paso de agua y solutos desde la cámara anterior al interior del estroma, los cuales atraviesan el endotelio debido a los gradientes osmótico y presión hidrostática. La forma geométrica hexagonal de las células endoteliales es la manera más eficiente de cubrir una superficie completamente sin dejar huecos, minimizando la exposición intercelular con el humor acuoso (Contreras-Corona, 2014).

A partir del nacimiento y hasta la segunda década de la vida, el porcentaje de hexagonalidad de las células endoteliales disminuye desde un 75% a un 60%, valor considerado como normal en el adulto. El análisis de las células endoteliales también puede incluir: área celular (μm^2), densidad celular (células/ mm^2), pleomorfismo (alteración de la forma celular de 6 lados) y polimegatismo (variación del tamaño celular), medido mediante el coeficiente de variación (CV). La densidad celular endotelial normal al nacimiento es de 3,000 a 5,000 cel/ mm^2 . En niños de 3 a 6 años de edad oscila entre

3,500–4,000 cel/mm², es decir, hay 390,000 a 520,000 células por córnea. Este valor disminuye a medida que el menor crece y la córnea aumenta el área de superficie. Adultos de mediana edad pueden tener un rango entre 2,700 a 2,900 cel/mm² y adultos mayores 75 años pueden tener menores densidades endoteliales por mm², entre 2,400 y 2,600 cel (Contreras-Corona, 2014).

La densidad de las células endoteliales es considerada uno de los puntos importantes para mantener la transparencia corneal, ya que una significativa disminución del número de células endoteliales, combinado con un aumento en el pleomorfismo y polimegatismo, conduce a un estrés hipóxico con inhabilidad para mantener el estado de deshidratación corneal, afectando por tanto la transparencia de esta (Contreras-Corona, 2014).

Existen otros factores que pueden acelerar la disminución del número de células endoteliales, como el material de pseudoexfoliación (PEX). En ojos con PEX se ha demostrado mediante microscopia electrónica que el endotelio corneal participa activamente en la producción de ese material patológico. El depósito sobre las células puede condicionar su degeneración y, con el tiempo, provocar alteraciones en su número y morfología. Se han descrito, además, cambios hipóxicos en la cámara anterior y variaciones en la composición y dinámica del humor acuoso causados por la rotura de la barrera hematoacuosa en los ojos con PEX, que pueden afectar la función del endotelio (Juan-Marcos, L., Cabrillo-Estévez, L., Escudero-Domínguez, F. A., Sánchez-Jara, A., & Hernández-Galilea, E., 2013).

La PIO crónicamente elevada puede causar daño irreversible y una disminución en el número de células endoteliales corneales. El aumento de la PIO induce hipoxia y compresión, lo que finalmente conduce a la destrucción de estas. Otra característica destacable es la presencia de proteínas asociadas con el estrés oxidativo y la apoptosis (como la proteína C4 activada, la fibronectina y las apolipoproteínas) en el humor acuoso de los pacientes con glaucoma, lo que indica posibles mecanismos para el daño del endotelio corneal (Domagala, 2025).

La microscopía especular es una de las técnicas cuantitativas más frecuentemente utilizada para la valoración de la densidad y morfología endotelial, en la cual se obtiene una imagen del endotelio corneal después de la refracción de la luz en la superficie corneal anterior (Figura 1). Los datos obtenidos tienen importantes aplicaciones para fines diagnósticos y en la toma de decisiones terapéuticas previos a cirugías oculares o corneales o como seguimiento de los mismos (Contreras-Corona, 2014).

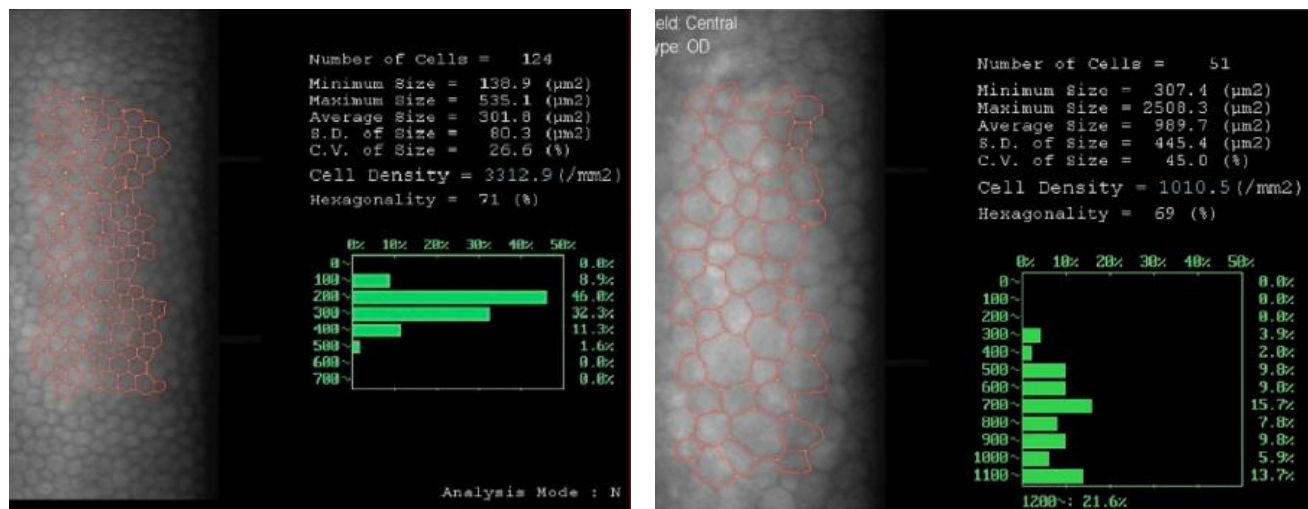


Figura 1. Comparación del endotelio corneal humano mediante microscopía especular: a) endotelio normal; b) endotelio con baja densidad celular. Cortesía de Maria Muzyka-Woźniak (Domagała, 2025).

Las células endoteliales corneales no tienen capacidad regenerativa. Por lo tanto, la reducción en la densidad de células endoteliales corneales se compensa mediante la dispersión celular, lo que termina con un aumento del pleomorfismo celular y una disminución en el porcentaje de células hexagonales (Duman, 2016).

Estos hallazgos han sido confirmados en estudios recientes, donde se describe que la disminución de la densidad endotelial y los cambios en pleomorfismo y

polimegatismo se asocian con disfunción de la bomba endotelial y pérdida de la transparencia corneal (Zhang, 2022) (Bourne, 2021)

III.3 Glaucoma y endotelio corneal

En el contexto del glaucoma, diversos estudios han demostrado que la presión intraocular elevada y sus fluctuaciones pueden contribuir al daño progresivo del endotelio corneal, favoreciendo la pérdida celular incluso en ausencia de cirugía (Lee, 2023) (Kwon, 2020).

Se ha reportado que los pacientes con PEX presentan recuentos de células estromales de queratocitos, recuentos de células epiteliales corneales basales e integridad neural sub-basal disminuidos, lo que se ha correlacionado con la disminución de la sensibilidad corneal (Inoue, 2003).

Palko et. al. (Palko, 2017) realizó un estudio de revisión de las alteraciones corneales asociadas al síndrome de pseudoexfoliación y glaucoma, observando que la mayoría de los estudios mostraron una CECD más baja estadísticamente significativa en poblaciones PEX y GPEX en comparación con los controles. En general, los ojos PEX tuvieron una tendencia no estadísticamente significativa de CECD más bajas en comparación con los ojos GPEX, también se reportó un aumento del polimegatismo y pleomorfismo en pacientes con GPEX, fisiopatológicamente, esto concuerda con la comprensión de la respuesta endotelial corneal al daño.

A medida que se van perdiendo células endoteliales, las células restantes deben expandirse para compensar, perdiendo su característica forma hexagonal y tamaño homogéneo. La tendencia hacia una mayor reducción de la CECD a medida que los pacientes progresan de PEX a PEXG probablemente esté relacionada con el daño endotelial provocado tanto por la PIO elevada como por la mayor gravedad de la PEX, ya que también se ha demostrado pérdida endotelial en pacientes con GAA (Palko, 2017).

III.4 Presión intraocular

La presión intraocular elevada es el único y principal factor de riesgo para el glaucoma que puede ser controlado, así como la causa desencadenante de su aparición (Sihota R, 2018) (Twa, 2018); por esta razón se presta mucha atención a los valores de la PIO para el diagnóstico, seguimiento médico y tratamiento de los pacientes (Kang, 2021).

La tonometría constituye el examen para estimar con precisión la PIO (Erb, 2011), mediante el tonómetro 40 y entre los métodos más usados para cuantificarla, sobresalen: aplanación e indentación (Pérez Díaz, 2014).

Aplanación: Comparada con otras formas de tonometría es el patrón de oro aceptado y el procedimiento comúnmente empleado en la mayoría de las consultas médicas. Se basa en el principio de Imbert-Fick, aplicable al ojo humano, mediante el cual se determina la fuerza necesaria para aplanar una esfera seca, perfecta y con paredes delgadas, de donde se deriva que la presión interna que se ejerce sobre una esfera perfecta de paredes finas equivale a la necesaria para aplanar un área pequeña de dicha pared. Se expresa como $P = W/A$, donde P = fuerza dentro de la esfera, W = fuerza de aplanación, A = área de aplanación. Según Goldman, la aplicación podía realizarse mejor sobre la córnea con un instrumento que aplanara una zona de 3,06 mm de diámetro; sin embargo, en la práctica, actúan otras potencias: la atracción capilar (T) de la película lagrimal sobre el cono del tonómetro y la fuerza requerida para vencer la resistencia de la córnea a ser aplanada (C), que es independiente de la presión intraocular real. Así, la fórmula aplicada al ojo sería: $P = W + T - C/A$ (Pérez Díaz, 2014).

Indentación: Otro método tonométrico empleado es el de Shiozt, basado en el principio de la tonometría de indentación, donde un émbolo al que previamente se le añade un peso predeterminado, se aplica sobre la córnea. La cantidad de indentación se mide con una escala y su lectura se lleva a milímetros de mercurio en una tabla especial.

El tonómetro, además de económico y fácil de usar, no requiere lámpara de hendidura y resulta válido para examinar a grandes poblaciones en contextos con bajos recursos, y se considera menos preciso que la tonometría de aplanación, por lo que existe gran preferencia por el método de Goldman (Pérez Díaz, 2014).

III.5 Tratamiento del glaucoma

El principal objetivo del tratamiento del glaucoma es prevenir la pérdida visual y la ceguera (He, 2018).

El Study of Olmsted County, Minnesota reportó 27% de riesgo de ceguera unilateral y 9% de ceguera bilateral en pacientes tratados durante 20 años por glaucoma o hipertensión ocular. El Ocular Hypertension Treatment Study (OHTS) demostró que una reducción de 20% en la presión intraocular reduce la incidencia de glaucoma al 50% (CENETEC, 2013)

El daño glaucomatoso se puede cuantificar utilizando criterios de pérdida estructural o funcional, o una combinación de ambos. Los pacientes con glaucoma pueden presentar la enfermedad antes de que el daño sea detectable con la perimetría automatizada acromática estándar (“glaucoma preperimétrico”) o con defectos glaucomatosos claros del campo visual. En el glaucoma preperimétrico, los médicos pueden detectar cambios estructurales. La perimetría estática automatizada es el punto de referencia para evaluar la función visual en el glaucoma; en la primera evaluación detecta y cuantifica el daño, y en el seguimiento de un paciente diagnosticado detecta estabilidad o progresión de la pérdida.

Uno de los sistemas más utilizados para la estadificación del glaucoma en la investigación es el propuesto por Hodapp, Parrish y Anderson (HPA) (Susanna, 2009) (Hodapp, 1993).

Cuando el tratamiento médico no es suficiente para controlar la presión intraocular, es necesaria una intervención quirúrgica para preservar la función del nervio óptico (Tekeli O. &, 2021).

El tratamiento estándar ha incluido el uso de terapias láser, el cual ha demostrado ser efectivo en la reducción de la presión intraocular (PIO), y representa una alternativa menos invasiva en comparación con la cirugía filtrante (Pose-Bazarra S, 2021).

En pacientes con síndrome de exfoliación que están en tratamiento médico máximo, son intolerantes, no pueden cumplir con las gotas, desean reducir el número de medicamentos, o como tratamiento inicial alternativo la trabeculoplastia láser es una opción adecuada (Sandhu, 2018)

La ciclofotocoagulación transescleral es una forma de cicloablación que utiliza láser para tratar y es eficaz para todas las formas de glaucoma, actúa sobre la melanina del cuerpo ciliar, induciendo cambios coagulativos en el epitelio pigmentado y no pigmentado, lo que reduce la producción de humor acuoso. La ciclofotocoagulación transescleral convencional, que emplea láser de diodo en onda continua, se utiliza principalmente en pacientes con pobre potencial visual o en aquellos que no son candidatos adecuados para cirugía incisional. Aunque presenta una adecuada penetración tisular, se ha demostrado que puede generar daño colateral significativo en estructuras adyacentes, incluyendo el estroma y el músculo ciliar (Tekeli O. &, 2021).

Se ha demostrado que el efecto reductor de la PIO de la ciclofotocoagulación transescleral se correlaciona con el número de puntos láser aplicados. Esta eficacia debe equilibrarse con las posibles complicaciones, ya que algunos estudios han informado que el riesgo de complicaciones aumenta con energías más altas. Esto puede provocar complicaciones posoperatorias como inflamación intraocular prolongada, iridociclitis, dolor, hemorragia intraocular, derrame coroideo, pérdida de visión, hipotonía crónica, tisis bulbi y, en raras ocasiones, oftalmía simpática (Tekeli O. &, 2021).

La ciclofotocoagulación transescleral se puede subcategorizar aún más según su administración: onda continua (CW-TSCPC) y micropulso (MP-TSCPC). Su uso en el tratamiento del glaucoma se ha reservado tradicionalmente para casos refractarios o en situaciones de bajo potencial visual. Aunque eficaz para reducir la PIO, CW-TSCPC se asocia con efectos oculares adversos que incluyen hipotonía prolongada, inflamación y tisis, presumiblemente debido a un tratamiento excesivo o lesión de estructuras colaterales (Nguyen, 2020).

La llegada de la tecnología de micropulsos permite una aplicación más suave del láser durante la ciclofotocoagulación transescleral. Mientras que CW-TSCPC aplica energía térmica durante toda su aplicación, MP-TSCPC aplica energía pulsada durante la misma cantidad de tiempo, lo que resulta en una menor generación de calor. Al minimizar el daño térmico a las estructuras colaterales, se espera un perfil de complicaciones más favorable para MP-TSCPC en comparación con CW-TSCPC. (Nguyen, 2020)

Las complicaciones asociadas a estos procedimientos se han relacionado con la generación de energía térmica, la cual puede afectar estructuras oculares, incluyendo el endotelio corneal, favoreciendo procesos de apoptosis y disminución de la densidad celular endotelial (Realini T, 2021).

A pesar de su eficacia en la reducción de la presión intraocular, existe preocupación sobre el impacto a largo plazo de esta terapia en la salud corneal de los pacientes con glaucoma por pseudoexfoliación, quienes ya presentan una predisposición a la pérdida de células endoteliales como parte de la evolución natural de la enfermedad (Yüksel, 2016).

Hasta el momento, existe muy poca información donde se evalúen los cambios endoteliales posteriores al tratamiento con láser (Garip Kuebler, 2023), y aunque la evidencia disponible sobre la aplicación del láser micropulsado en glaucoma de ángulo abierto sugiere una posible pérdida de células endoteliales, no existe suficiente

investigación que evalúe específicamente sus efectos en pacientes con síndrome de pseudoexfoliación, pese a que estos individuos podrían presentar un mayor riesgo de daño corneal debido a su condición subyacente.

De acuerdo a lo señalado previamente, es importante señalar que existe muy poca información sobre los cambios en la densidad de células endoteliales posteriores al láser micropulsado transescleral, especialmente en pacientes con glaucoma por pseudoexfoliación, quienes podrían tener mayor riesgo de daño corneal debido a su condición de base. Por lo que, es importante evaluar de forma específica el efecto de este tratamiento en comparación con otros tipos de glaucoma de ángulo abierto.

IV. HIPÓTESIS O SUPUESTOS

IV.1 Hipótesis alternativa H1

El cambio en células endoteliales/mm² por láser micropulsado transescleral entre pacientes con GPEX y otros tipos de glaucoma de ángulo abierto es diferente a cero ($\neq 0$).

IV.2 Hipótesis nula H0

La diferencia en células endoteliales/mm² por láser micropulsado transescleral entre pacientes con GPEX y otros tipos de glaucoma de ángulo abierto es igual a cero ($= 0$).

V. OBJETIVOS

V.1. Objetivo general

Evaluar el cambio en células endoteliales/mm² por láser micropulsado transescleral entre pacientes con GPEX y otros tipos de glaucoma de ángulo abierto.

V.2. Objetivos específicos

- Describir el recuento de células endoteliales corneales, PIO y agudeza visual en pacientes con GPEX y otros tipos de glaucoma antes de someterlos al láser micropulsado transescleral
- Describir el recuento de células endoteliales corneales, PIO y agudeza visual en pacientes con GPEX y otros tipos de glaucoma después de someterlos a láser micropulsado transescleral
- Estimar el promedio de la diferencia y probar estadísticamente que el promedio de la diferencia observada es significativa.

VI. MATERIAL Y MÉTODOS

VI.1 Tipo de investigación

Ensayo clínico, abierto, controlado, no aleatorizado

VI.2 Población o unidad de análisis

Pacientes con glaucoma de ángulo abierto secundario a síndrome de pseudoexfoliación y otros tipos de glaucoma, candidatos a tratamiento con Láser

micropulsado transescleral, que acudieron a la consulta externa del servicio de oftalmología del Hospital General de Querétaro.

La unidad de análisis fue el ojo. Cada ojo fue considerado como una unidad independiente para el análisis estadístico.

Los ojos fueron distribuidos en 2 grupos de estudio:

- Grupo 1, ojos con glaucoma de ángulo abierto secundario a síndrome de pseudoexfoliación.
- Grupo 2, ojos con glaucoma de ángulo abierto secundario a otras causas.

VI.3 Muestra y tipo de muestra

Hasta la fecha no hay ningún estudio en la literatura que evalúe los cambios endoteliales, presión intraocular y agudeza visual por láser micropulsado transescleral en pacientes con glaucoma de ángulo abierto secundario a síndrome de pseudoexfoliación. Por lo tanto, consideramos la siguiente alternativa para el cálculo del tamaño muestral:

Con base en los datos del artículo del Journal of Current Glaucoma Practice (Garip Kuebler, 2023) se llevó a cabo prueba de T de muestras independientes para comparar los grupos de trabeculoplastia láser selectiva (SLT) y ciclofotocoagulación transescleral de micropulso (mCPC) antes y después del tratamiento, en donde se observó que los promedios (células / mm²) antes del tratamiento no resultaron significativamente diferentes, mientras que la diferencia postratamiento si resultó significativa ($p < .05$), como se muestra a continuación:

Promedios antes:

Grupo	n	Promedios	Desviaciones	Varianzas	Var común	EE	T-calc	T-tab	Sig.
SLT	13	2409.7	407.2	165811.84	174326.8	163.767	1.8655	2.064	p > .05
mCPC	13	2104.2	427.6	182841.76					
	Difer.	305.5							

Promedios después:

Grupo	n	Promedios	Desviaciones	Varianzas	Var común	EE	T-calc	T-tab	Sig.
SLT	13	2355.8	351.1	123271.21	163291.01	158.498	2.1338	2.064	p < .05
mCPC	13	2017.6	450.9	203310.81					
	Difer.	338.2							

Como se puede observar una diferencia de 339 células / mm² puede ser detectada cuando se tienen 26 ojos en 2 grupos. Con base en esto, el tamaño muestral estimado para detectar una diferencia de 400 células/mm² es de 16 ojos por grupo, como se muestra a continuación:

Tamaño de muestra comparando 2 muestras:

$$n = \frac{(Z\alpha/2 + Z\beta)^2 * 2 * \sigma^2}{d^2}$$

Sustituyendo los valores de la fórmula:

$Z(\alpha/2)$	1.96	
$Z(\beta)$	0.84	
σ	400	Desv. Est.
d	400	Dif. Esp.
$(Z\alpha/2+Z\beta)^2$	7.84	
σ^2	320000	
d ²	160000	
n	15.68	

Resultó una n de 16 ojos por grupo

VI.4 Criterios de selección

VI.4.1 Criterios de inclusión

- Diagnóstico de glaucoma de ángulo abierto por pseudoexfoliación o por otras causas,
- Presión intraocular no controlada con tratamiento médico máximo,
- Pacientes de ambos sexos,
- Pacientes mayores de 35 años,
- Pacientes que otorguen su consentimiento informado por escrito,
- Pacientes que acepten participar en el estudio y el seguimiento requerido.

VI.4.2 Criterios de exclusión

- Pacientes con tratamientos oftalmológicos previos como trabeculectomía, trabeculoplastia y colocación de válvula,

- Descompensación corneal,
- Opacidad corneal que impida toma de microscopia especular,
- Pacientes con enfermedades oculares coexistentes que puedan afectar el endotelio corneal como queratopatía, uveítis, o degenerativas,
- Antecedente de trauma ocular significativo que pueda haber afectado el endotelio corneal,
- Pacientes con enfermedades sistémicas que puedan afectar la salud ocular, como diabetes mellitus descontrolada, hipertensión arterial severa, enfermedades autoinmunes sistémicas etc,
- Mujeres embarazadas o en periodo de lactancia,
- Pacientes con incapacidad para comprender y seguir instrucciones del estudio o para cooperar con las evaluaciones oftalmológicas necesarias.

VI.4.3 Criterios de eliminación

- Retiro del consentimiento en cualquier momento del estudio.
- Pacientes con incumplimiento del tratamiento serán eliminadas del estudio mas no del análisis.
- Pacientes que experimentan cambios significativos en su estado de salud general durante el curso del estudio que puedan afectar la evaluación de los cambios endoteliales corneales, como el desarrollo de enfermedades sistémicas graves o la necesidad de tratamiento médico intensivo serán eliminados del estudio mas no del análisis.
- Pacientes que experimentan complicaciones graves relacionadas con el tratamiento con láser transescleral, como perforación ocular, hipotensión ocular prolongada, o inflamación intraocular grave serán eliminadas del estudio mas no del análisis.

VI.5 Variables estudiadas

Variable dependiente: Densidad de células endoteliales corneales

Variable independiente: Tipo de glaucoma (GPEX vs otros tipos de glaucoma de ángulo abierto).

Variable interviniente: Edad, sexo, PIO basal, paquimetría, agudeza visual.

Tabla 1

Operacionalización de las variables de estudio

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Tipo de variable y escala de medición	Fuente de información	Unidad de medida
Edad	Cantidad de tiempo que ha vivido una persona desde su nacimiento	Determinada mediante la fecha de nacimiento registrada en documentación oficial del paciente	Cuantitativa discreta – Razón	Expediente clínico	Años
Sexo	Sexo biológico del paciente	Determinado mediante el sexo registrado en documento oficial (INE)	Cualitativa nominal	Expediente clínico	Hombre / Mujer
Tipo de glaucoma	Clasificación clínica del glaucoma de ángulo abierto según su etiología.	Diagnóstico realizado por Médico Oftalmólogo tratante. Se clasificó en glaucoma por pseudoexfoliación (GPEX) y otros tipos de glaucoma de ángulo abierto (GAA).	Cualitativa nominal - Dicotómica	Expediente clínico	GPEX / GAA
Conteo de células endoteliales	Recuento de células endoteliales por mm ² observadas mediante microscopía	Determinado mediante microscopía especular	Cuantitativa discreta – Razón	Expediente clínico	Células/mm ²
Coefficiente de variación (polimegatismo)	Incremento en la variación del tamaño de las células endoteliales	Determinado mediante microscopía especular	Cuantitativa continua	Expediente clínico	%
Hexagonalidad (pleomorfismo)	Alteración de la forma celular de seis lados	Determinado mediante microscopía especular	Cuantitativa continua	Expediente clínico	%
Grosor corneal (paquimetría)	Espesor de la zona central de la córnea, expresada en micras	Determinado mediante microscopía especular	Cuantitativa continua	Expediente clínico	µm

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Tipo de variable y escala de medición	Fuente de información	Unidad de medida
Presión intraocular (PIO)	Presión del líquido dentro del ojo	Determinada mediante tonómetro de aplanación Goldmann	Cuantitativa continua	Expediente clínico	mmHg
Agudeza visual	Capacidad del sistema visual para diferenciar dos puntos próximos entre si	Determinada mediante optotipos estandarizados proyectados con Autochart projector y registrada en escala de Snellen.	Cualitativa ordinal	Expediente clínico	Categorías de la escala de Snellen.

VI.6 Técnicas e instrumentos

Tratamiento con láser micropulsado: se aplicó láser micropulsado transescleral utilizando un Láser Diodo Vitra 810 nm, con un nivel de poder de 2W y un ciclo de trabajo de 31.3%, siguiendo el protocolo del fabricante.

Conteo de células endoteliales: mediante microscopía especular con el Specular Microscope SP-1P Topcon, efectuando el recuento de células por mm² según el protocolo estándar del equipo.

Coeficiente de variación (polimegatismo): mediante microscopía especular con el Specular Microscope SP-1P Topcon, evaluando la variación del tamaño celular mediante el software del microscopio.

Hexagonalidad (pleomorfismo): mediante microscopía especular con el Specular Microscope SP-1P Topcon, estimando el porcentaje de células hexagonales a partir de las imágenes obtenidas.

Grosor corneal (paquimetría): se medirá en la zona central de la córnea en micras mediante el Specular Microscope SP-1P Topcon, siguiendo el protocolo del equipo.

Presión intraocular (PIO): mediante tonometría de aplanación con un Tonómetro Goldmann Keeler 2414-P-5000, registrando la presión en mmHg según la técnica estándar.

Agudeza visual: mediante optotipos estandarizados proyectados con Autochart projector Topcon ACP8, registrando la capacidad del paciente para identificar letras o símbolos a una distancia determinada.

VI.7 Procedimientos

Todo paciente fue incluido en el estudio una vez que otorgó su consentimiento informado por escrito (Anexo 2), después de habersele explicado detalladamente el protocolo. Cada ojo fue analizado como unidad independiente.

Una vez incluidos, fueron distribuidos en 2 grupos de 16 ojos cada uno:

- Grupo 1, ojos con glaucoma de ángulo abierto secundario a síndrome de pseudoexfoliación;
- Grupo 2, ojos con glaucoma de ángulo abierto secundario a otras causas.

Todos los ojos recibieron tratamiento con láser micropulsado transescleral con un nivel de potencia de 2W, ciclo de trabajo de 31.3%, según lo indicado por el fabricante. Todos los ojos fueron valorados por los investigadores a los 0, 15, 30 y 45 días. En cada cita se realizó microscopía especular, medición de la presión intraocular y agudeza visual, incluyendo datos de eventos adversos. Se recolectaron además los siguientes datos: edad, sexo, antecedentes familiares oftalmológicos, tiempo de evolución, tratamiento actual, síntomas oculares frecuentes. La información fue capturada en la hoja de recolección de datos (Anexo 1) para su posterior análisis.

Los pacientes tuvieron la libertad de acudir en cualquier momento que así lo consideraran con los investigadores, fuera de las citas preestablecidas.

Se consideró como tratamiento exitoso (Tejada-Valle, 2022) a aquellos ojos con o sin medicación para reducir la PIO, según tres criterios:

- Criterio A: Una reducción de la PIO $>20\%$ en comparación con el valor inicial.
- Criterio B: Criterio A y PIO ≤ 18 mm Hg
- Criterio C: Criterio A y PIO ≤ 15 mm Hg

El fracaso se definió como la incapacidad de cumplir alguno de los criterios de éxito, hipotonía (PIO <6 mm Hg) o la necesidad de otra cirugía de glaucoma.

Las variables se integraron a una base de datos electrónica en Excel y se llevó a cabo el análisis estadístico a través de estadística descriptiva e inferencial.

VI.8 Análisis estadístico

Se realizó un análisis descriptivo de las variables estudiadas. Las variables cuantitativas se muestran como media $\pm$ desviación estándar (DE) o mediana (percentiles 25-75), según la distribución fue paramétrica o no paramétrica, respectivamente. Las variables cualitativas se muestran como frecuencias y porcentajes.

La normalidad de las variables se evaluó mediante la prueba de *Shapiro-Wilk*.

Las diferencias intergrupo, en el caso de las variables cuantitativas fueron comparadas mediante la prueba de *U de Mann Whitney* para las comparaciones de dos grupos (PEX vs GAA). En el caso de las variables cualitativas, el análisis intergrupo se realizó mediante la prueba de χ^2 o la prueba exacta de *Fisher* según fue indicado.

Para el análisis intragrupo (comparación de las mediciones en diferentes tiempos: basal, día 7, 15, 30 y 45), se empleó la prueba de *Friedman* para muestras relacionadas.

En caso de encontrarse diferencias estadísticamente significativas, se realizaron comparaciones post hoc mediante la prueba de *Wilcoxon* con corrección de *Bonferroni*.

Para evaluar la relación entre variables cuantitativas, se utilizó el coeficiente de correlación de *Spearman*, por el comportamiento no paramétrico de los datos.

Se realizó un modelo de regresión lineal simple para determinar la asociación entre el conteo endotelial basal y el cambio en la densidad endotelial posterior al tratamiento.

Se consideró como estadísticamente significativo un valor $p \leq .05$.

El análisis de la información se realizó con el paquete estadístico IBM SPSS Statistics versión 21 (IBM Corp., Armonk, NY, EE. UU.).

VI.9 Consideraciones éticas

El protocolo fue sometido al Comité Local de Investigación y Ética del Hospital General de Querétaro, y fue registrado en ClinicalTrials.gov (U.S. National Institutes of Health) para su futura publicación.

El presente estudio se llevó a cabo de acuerdo con los principios éticos establecidos en la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial, en su versión más reciente, garantizando el respeto a la dignidad, derechos, seguridad y bienestar de los participantes.

Se aseguró que todos los procedimientos realizados en los pacientes cumplieran con los estándares éticos internacionales para investigación en seres humanos, así como con la normatividad nacional vigente.

Todos los participantes otorgaron su consentimiento informado por escrito, después de haber recibido una explicación clara, completa y comprensible sobre los objetivos del estudio, los procedimientos a realizar, los posibles riesgos y beneficios, así como su derecho a retirarse del estudio en cualquier momento sin repercusiones en su atención médica.

La información obtenida durante el estudio fue tratada con estricta confidencialidad, resguardando la identidad de los participantes mediante la asignación de códigos y garantizando el uso exclusivo de los datos con fines científicos.

Asimismo, se procuró en todo momento minimizar los riesgos y maximizar los beneficios potenciales para los participantes, asegurando una adecuada vigilancia clínica durante todo el seguimiento.

Según la Ley General de Salud de la República Mexicana este protocolo es considerado de riesgo mayor al mínimo (categoría III): III.- Investigación con riesgo mayor que el mínimo: Son aquéllas en que las probabilidades de afectar al sujeto son significativas, entre las que se consideran: estudios radiológicos y con microondas, ensayos con los medicamentos y modalidades que se definen en el artículo 65 de este Reglamento, ensayos con nuevos dispositivos, estudios que incluyan procedimientos quirúrgicos, extracción de sangre mayor al 2% del volumen circulante en neonatos, amniocentesis y otras técnicas invasoras o procedimientos mayores, los que empleen métodos aleatorios de asignación a esquemas terapéuticos y los que tengan control con placebos, entre otros (Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión, Última Reforma DOF 02-04-2014).

Todos los pacientes fueron seguidos en visitas consecutivas en las que se evaluó su estado clínico y se buscaran datos de eventos adversos; en caso necesario, los pacientes tuvieron la libertad de acudir a consultas extemporáneas con los investigadores. Asimismo, si el paciente decidía salir del estudio, pudo hacerlo sin perjuicio de su atención médica (Anexo 3).

Medidas de bioseguridad

Todos los pacientes fueron instruidos para identificar eventos adversos serios, acudir inmediatamente al servicio de Urgencias de su hospital y contactar a los investigadores. En dicho hospital existió personal informado acerca del estudio, así como los teléfonos de contacto con los investigadores, quienes acudieron a la brevedad posible en cada caso. En el hospital se realizaron las medidas pertinentes según cada situación clínica.

Recursos

Recursos humanos

Dr. Fernando Garnés Rancurello, Médico Residente de Oftalmología, del Hospital General de Querétaro. Médico encargado de desarrollar la idea, elaboración del proyecto de investigación, trabajo de campo, captura de los resultados, elaboración del análisis estadístico y elaboración del documento final.

Recursos materiales

El estudio se llevó a cabo en el Hospital General de Querétaro, el cual cuenta con los recursos físicos y materiales necesarios para llevar a cabo este estudio:

- Autochart projector Topcon ACP8
- Tonómetro goldman Keeler 2414-P5000
- Specular microscope SP-1P Topcon
- Láser Diodo Vitra 810
- Campímetro Octopus 900 HS Haag-Streit Diagnostics
- Lámpara de microscopio Haag-Streit BQ900 Led Powered

Presupuesto

Debido a que el Hospital cuenta con los recursos físicos y materiales necesarios para la elaboración de la investigación, no se requirió financiamiento externo.

Difusión

Los mecanismos de difusión de los productos de la investigación serán llevados a cabo por el médico residente investigador en congresos, conferencias y la publicación en una revista médica.

VII. RESULTADOS

En el presente trabajo se incluyeron un total de 33 ojos, 17 ojos pertenecieron al grupo con glaucoma de ángulo abierto secundario a síndrome de pseudoexfoliación (PEX) y 16 ojos pertenecieron al grupo de glaucoma de ángulo abierto (GAA). Ambos grupos recibieron tratamiento con láser micropulsado transescleral. No se registraron pérdidas durante el seguimiento.

En la Tabla 2 y Figuras 2-3 se muestran los resultados comparativos de las variables demográficas de la población de estudio, observando que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, con respecto a la edad (75 ± 8 vs 71 ± 11 años; $p = .402$) y los ojos valorados (derecho, izquierdo) ($p = .571$). Sin embargo, se observó que el grupo de ojos con glaucoma de ángulo abierto tuvieron significativamente más pacientes del género femenino (88%; $p = .003$) y que el grupo de ojos con glaucoma de ángulo abierto secundario a síndrome de pseudoexfoliación tuvieron más pacientes del género masculino (65%).

Tabla 2

Resultados comparativos de las variables demográficas de la población de estudio

	PEX	GAA	Valor p
N (%)	17 (100)	16 (100)	
Edad	75 ± 8	71 ± 11	.402
Género			
Femenino	6 (35)	14 (88)	.003
Masculino	11 (65)	2 (12)	
OJO			
Derecho	8 (47)	8 (50)	.571
Izquierdo	9 (53)	8 (50)	

Nota. PEX: Grupo de ojos con glaucoma de ángulo abierto secundario a síndrome de pseudoexfoliación. GAA: Grupo de ojos con glaucoma de ángulo abierto. Datos presentados como media ± DE, frecuencia (porcentaje). Prueba *Chi-cuadrada*, *Exacta de Fisher*, *U de Mann-Whitney*.

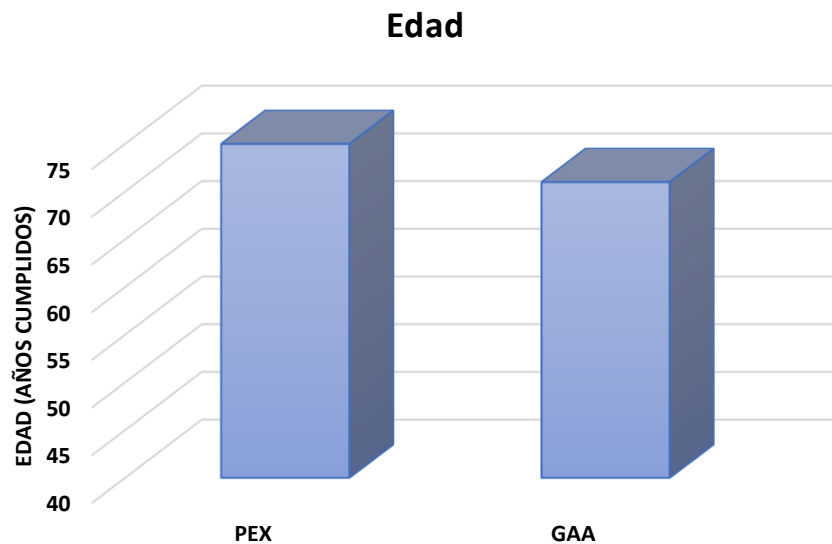


Figura 2. Resultados comparativos de la edad de la población de estudio. PEX: Grupo de ojos con glaucoma de ángulo abierto secundario a síndrome de pseudoexfoliación. GAA: Grupo de ojos con glaucoma de ángulo abierto. Datos presentados como media. Prueba *U de Mann-Whitney*. Valor $p = .402$

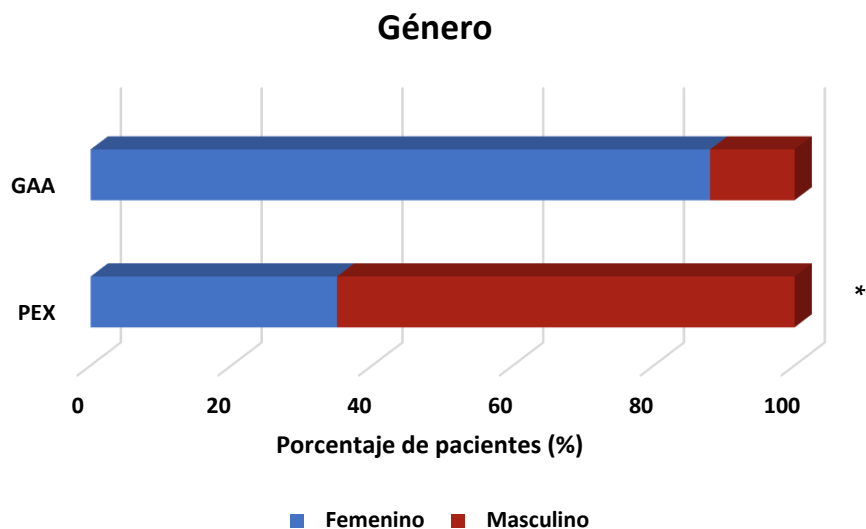


Figura 3. Resultados comparativos del género de la población de estudio. PEX: Grupo de ojos con glaucoma de ángulo abierto secundario a síndrome de pseudoexfoliación. GAA: Grupo de ojos con glaucoma de ángulo abierto. Datos presentados como porcentaje. Prueba exacta de Fisher $*p = .003$.

En la Tabla 3 se observan las comparaciones basales de la presión intraocular, agudeza visual y características corneales entre los grupos de estudio. Observando que los grupos fueron similares con respecto al coeficiente de variación. La presión intraocular y la paquimetría fueron significativamente mayores en el grupo PEX, mientras que los ojos de ese grupo presentaron significativamente menor conteo de células endoteliales, hexagonalidad y agudeza visual que el grupo GAA.

Tabla 3

Comparaciones basales de la presión intraocular, agudeza visual y características corneales

Basal	PEX	GAA	Valor p
N (%)	17 (100)	16 (100)	
PIO	20 ± 4	15 ± 2	.000
AV			
20/20 – 20/40	4 (23)	13 (81)	
20/50 – 20/70	1 (6)	2 (13)	
20/80 – 20/200	6 (35)	1 (6)	.009
20/400 o peor	3 (18)	0 (0)	
CECD	2048 ± 291	2551 ± 80	.000
CV	34 ± 6	31 ± 3	.382
HEX	41 ± 11	55 ± 4	.000
PAQ	534 ± 14	509 ± 32	.005

Nota. PEX: Grupo de ojos con glaucoma de ángulo abierto secundario a síndrome de pseudoexfoliación. GAA: Grupo de ojos con glaucoma de ángulo abierto. PIO: Presión Intraocular (mmHg), AV: Agudeza visual, CECD: Conteo de células endoteliales (cel/mm²), CV: Coeficiente de variación (%), HEX: Hexagonalidad (%), PAQ: Paquimetría (μm). Datos presentados como media ± DE, frecuencia (porcentaje). Prueba exacta de Fisher, U de Mann-Whitney.

Las comparaciones de la presión intraocular, agudeza visual y características corneales entre los grupos de estudio al día 7 de seguimiento se presentan en la Tabla 4, donde se puede observar que los grupos fueron similares con respecto a la paquimetría. El grupo PEX tuvo significativamente mayor presión intraocular y coeficiente de variación que el grupo GAA, mientras que presentó de manera significativa menor conteo de células endoteliales, hexagonalidad y agudeza visual.

Tabla 4

Comparaciones al día 7 de la presión intraocular, agudeza visual y características corneales

Día 7	PEX	GAA	Valor p
PIO	17 ± 4	12 ± 2	.000
AV			
20/20 – 20/40	4 (23)	12 (75)	
20/50 – 20/70	1 (6)	3 (19)	
20/80 – 20/200	6 (35)	1 (6)	.009
20/400 o peor	3 (18)	0 (0)	
CECD	2025 ± 335	2469 ± 108	.000
CV	35 ± 5	31 ± 3	.041
HEX	43 ± 7	55 ± 6	.000
PAQ	516 ± 20	502 ± 34	.345

Nota. PEX: Grupo de ojos con glaucoma de ángulo abierto secundario a síndrome de pseudoexfoliación. GAA: Grupo de ojos con glaucoma de ángulo abierto. PIO: Presión Intraocular (mmHg), AV: Agudeza visual, CECD: Conteo de células endoteliales (cel/mm²), CV: Coeficiente de variación (%), HEX: Hexagonalidad (%), PAQ: Paquimetría (μm). Datos presentados como media ± DE, frecuencia (porcentaje). Prueba exacta de Fisher, U de Mann-Whitney.

Los resultados de las variables de estudio (presión intraocular, agudeza visual y características corneales) al día 15 se muestran en la Tabla 5, donde se puede observar que no hubo diferencias entre los grupos con respecto al coeficiente de variación y paquimetría. La presión intraocular fue significativamente mayor en el grupo PEX en comparación del grupo GAA. Se observó menor agudeza visual, conteo de células endoteliales y hexagonalidad en el grupo PEX, dicha diferencia fue estadísticamente significativa.

Tabla 5

Comparaciones al día 15 de la presión intraocular, agudeza visual y características corneales

Día 15	PEX	GAA	Valor p
PIO	19 ± 4	12 ± 2	.000
AV			
20/20 – 20/40	4 (23)	13 (81)	
20/50 – 20/70	1 (6)	3 (19)	
20/80 – 20/200	6 (35)	0 (0)	.001
20/400 o peor	4 (23)	0 (0)	
CECD	2081 ± 337	2465 ± 103	.000
CV	34 ± 6	31 ± 4	.094
HEX	42 ± 8	55 ± 4	.000
PAQ	518 ± 22	505 ± 32	.276

Nota. PEX: Grupo de ojos con glaucoma de ángulo abierto secundario a síndrome de pseudoexfoliación. GAA: Grupo de ojos con glaucoma de ángulo abierto. PIO: Presión Intraocular (mmHg), AV: Agudeza visual, CECD: Conteo de células endoteliales (cel/mm²), CV: Coeficiente de variación (%), HEX: Hexagonalidad (%), PAQ: Paquimetría (μm). Datos presentados como media ± DE, frecuencia (porcentaje). Prueba exacta de Fisher, U de Mann-Whitney.

Los resultados de las variables de estudio (presión intraocular, agudeza visual y características corneales) al día 30 se muestran en la Tabla 6, donde se observa que no hubo diferencias entre los grupos con respecto al coeficiente de variación.

El grupo PEX presentó significativamente mayor PIO y paquimetría que el grupo GAA. El conteo de células endoteliales, hexagonalidad y agudeza visual fueron significativamente menores en el grupo PEX en las comparaciones intergrupo.

Tabla 6

Comparaciones al día 30 de la presión intraocular, agudeza visual y características corneales

Día 30	PEX	GAA	Valor p
PIO	18 ± 3	13 ± 1	.000
AV			
20/20 – 20/40	4 (23)	12 (75)	
20/50 – 20/70	1 (6)	4 (25)	
20/80 – 20/200	6 (35)	0 (0)	
20/400 o peor	4 (23)	0 (0)	.001
CECD	1943 ± 258	2456 ± 98	.000
CV	34 ± 7	31 ± 4	.168
HEX	42 ± 8	56 ± 6	.000
PAQ	529 ± 14	505 ± 28	.002

Nota. PEX: Grupo de ojos con glaucoma de ángulo abierto secundario a síndrome de pseudoexfoliación. GAA: Grupo de ojos con glaucoma de ángulo abierto. PIO: Presión Intraocular (mmHg), AV: Agudeza visual, CECD: Conteo de células endoteliales (cel/mm²), CV: Coeficiente de variación (%), HEX: Hexagonalidad (%), PAQ: Paquimetría (μm). Datos presentados como media ± DE, frecuencia (porcentaje). Prueba exacta de Fisher, U de Mann-Whitney.

Las comparaciones de la presión intraocular, agudeza visual y características corneales entre los grupos de estudio al día 45 de seguimiento se presentan en la Tabla 7, donde se muestra que no hubo diferencias significativas en las comparaciones intergrupo con respecto al coeficiente de variación. La presión intraocular y paquimetría fueron significativamente mayores en el grupo PEX al compararlos con el grupo GAA. El conteo de células endoteliales, hexagonalidad y agudeza visual fueron significativamente menores en el grupo PEX al compararlo con el grupo GAA.

Tabla 7

Comparaciones al día 45 de la presión intraocular, agudeza visual y características corneales

Día 45	PEX	GAA	Valor p
PIO día 45	18 ± 3	13 ± 2	.000
AV			
20/20 – 20/40	4 (23)	12 (75)	
20/50 – 20/70	1 (6)	4 (25)	
20/80 – 20/200	6 (35)	0 (0)	
20/400 o peor	4 (23)	0 (0)	.001
CECD Día 45	1943 ± 263	2448 ± 95	.000
CV Día 45	34 ± 6	31 ± 3	.146
HEX Día 45	41 ± 9	56 ± 4	.000
PAQ Día 45	527 ± 15	504 ± 28	.002

Nota. PEX: Grupo de ojos con glaucoma de ángulo abierto secundario a síndrome de pseudoexfoliación. GAA: Grupo de ojos con glaucoma de ángulo abierto. PIO: Presión Intraocular (mmHg), AV: Agudeza visual, CECD: Conteo de células endoteliales (cel/mm²), CV: Coeficiente de variación (%), HEX: Hexagonalidad (%), PAQ: Paquimetría (μm). Datos presentados como media ± DE, frecuencia (porcentaje). Prueba exacta de Fisher, U de Mann-Whitney.

Finalmente, los resultados de las comparaciones intragrupo se presentan en la Tabla 8. Al comparar todas las valoraciones a lo largo del seguimiento (basal, días 7, 15, 30 y 45) en un mismo grupo de estudio (comparaciones intragrupo), se observó que la presión intraocular y conteo de células endoteliales fueron significativamente menores en ambos grupos de estudio.

El grupo PEX presentó significativamente menor paquimetría en las comparaciones intragrupo, mientras que el grupo GGA no mostró diferencias significativas.

No se observaron diferencias significativas al comparar las distintas valoraciones (comparaciones intragrupo) del coeficiente de variación y hexagonalidad en ambos grupos de estudio.

Tabla 8

Comparación del valor p en las comparaciones intragrupo de cada una de las variables de estudio

	PEX	GAA
PIO	.000	.000
CECD	.000	.001
CV	.223	.697
HEX	.863	.998
PAQ	.005	.890

Nota. PIO: Presión Intraocular (mmHg), CECD: Conteo de células endoteliales (cel/mm²), CV: Coeficiente de variación (%), HEX: Hexagonalidad (%), PAQ: Paquimetría (μ m). Los resultados muestran el valor p de la comparación intragrupo de cada variable de estudio. Prueba *Friedman*.

En la Tabla 9 se pueden observar todos los resultados que se presentaron previamente, con la finalidad de mostrar de manera comparativa todas las variables de estudio y todas las valoraciones a lo largo del seguimiento, el valor p representa las comparaciones intragrupo.

Tabla 9

Comparaciones de la presión intraocular, agudeza visual y características corneales entre los grupos de estudio

	PEX basal	PEX 7 días	PEX 15 días	PEX 30 días	PEX 45 días	Valor <i>p</i>	GAA basal	GAA 7 días	GAA 15 días	GAA 30 días	GAA 45 días	Valor <i>p</i>
N (%)	17 (100)						16 (100)					
PIO	20 ± 4	17 ± 4	19 ± 4	18 ± 3	18 ± 3	.000	15 ± 2	12 ± 2	12 ± 2	13 ± 1	13 ± 2	.000
AV												
20/20 – 20/40	4 (23)	4 (23)	4 (23)	4 (23)	4 (23)		13 (81)	12 (75)	13 (81)	12 (75)	12 (75)	
20/50 – 20/70	1 (6)	1 (6)	1 (6)	1 (6)	1 (6)		2 (13)	3 (19)	3 (19)	4 (25)	4 (25)	
20/80 – 20/200	6 (35)	6 (35)	6 (35)	6 (35)	6 (35)		1 (6)	1 (6)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	
20/400 o peor	3 (18)	3 (18)	4 (23)	4 (23)	4 (23)		0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	
CECD	2048 ± 291	2025 ± 335	2081 ± 337	1943 ± 258	1943 ± 263	.000	2551 ± 80	2469 ± 108	2465 ± 103	2456 ± 98	2448 ± 95	.001
CV	34 ± 6	35 ± 5	34 ± 6	34 ± 7	34 ± 6	.223	31 ± 3	31 ± 3	31 ± 4	31 ± 4	31 ± 3	.697
HEX	41 ± 11	43 ± 7	42 ± 8	42 ± 8	41 ± 9	.863	55 ± 4	55 ± 6	55 ± 4	56 ± 6	56 ± 4	.998
PAQ	534 ± 14	516 ± 20	518 ± 22	529 ± 14	527 ± 15	.005	509 ± 32	502 ± 34	505 ± 32	505 ± 28	504 ± 28	.890

Nota. PEX: Grupo de ojos con glaucoma de ángulo abierto secundario a síndrome de pseudoexfoliación. GAA: Grupo de ojos con glaucoma de ángulo abierto. PIO: Presión Intraocular (mmHg), AV: Agudeza visual, CECD: Conteo de células endoteliales (cel/mm²), CV: Coeficiente de variación (%), HEX: Hexagonalidad (%), PAQ: Paquimetría (μm). Datos presentados como media ± DE, frecuencia (porcentaje). Prueba exacta de Fisher, U de Mann-Whitney, Friedman.

Una vez realizadas las comparaciones intragrupo, se realizó un análisis post hoc, observando que en ambos grupos de estudio, hubo diferencias estadísticamente significativas al comparar el valor basal vs 7, 15, 30 y 45 días, las comparaciones de los 7 días vs 30 y 45 días no fueron diferentes en el grupo PEX, mientras que en el grupo GAA si fueron estadísticamente diferentes. Al comparar las valoraciones de 15 días vs 30 y 45 días fueron estadísticamente diferentes en ambos grupos de estudio. Finalmente la comparación 30 vs 45 días no fueron diferentes en ningún grupo de estudio. Los resultados de las diferentes mediciones de la PIO se presentan en la Figura 4 y las comparaciones intragrupo del valor p en las diferentes valoraciones se muestran en la Tabla 10.

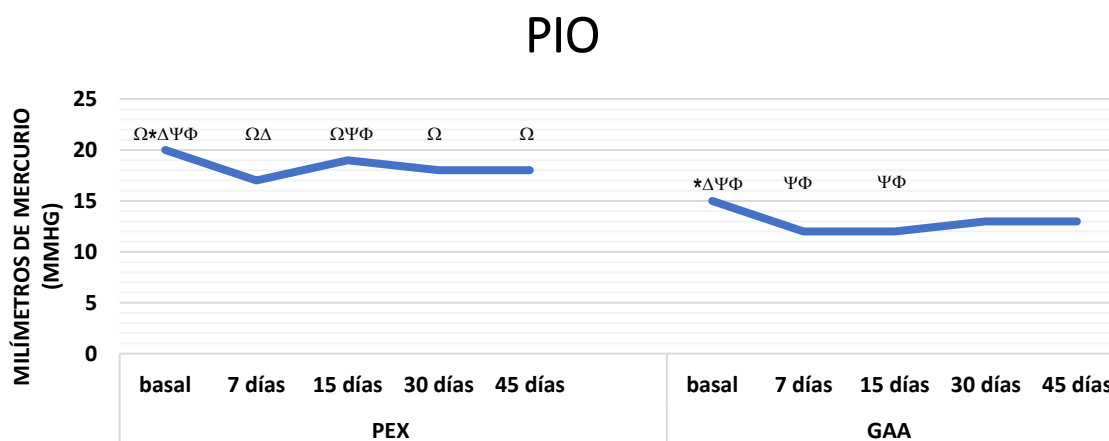


Figura 4. Resultados comparativos de la presión intraocular en sus distintas valoraciones, en ambos grupos de estudio. PEX: Grupo de ojos con glaucoma de ángulo abierto secundario a síndrome de pseudoexfoliación. GAA: Grupo de ojos con glaucoma de ángulo abierto. PIO: Presión Intraocular (mmHg). Datos presentados como media. Prueba *Friedman, Wilcoxon*. $\Omega p = .000$ vs GAA misma valoración, $*p < .05$ vs 7 días mismo grupo, $\Delta p < .05$ vs 15 días mismo grupo, $\Psi p < .05$ vs 30 días mismo grupo, $\Phi p < .05$ vs 45 días mismo grupo.

Tabla 10

Valor p de las comparaciones intragrupo de la presión intraocular

PIO	PEX	GAA
Basal – 7 días	.001	.000
Basal - 15 días	.011	.001
Basal – 30 días	.001	.001
Basal – 45 días	.001	.001
7 días – 15 días	.006	.083
7 días – 30 días	.499	.005
7 días- 45 días	.850	.001
15 días- 30 días	.012	.017
15 días- 45 días	.046	.019
30 días- 45 días	.697	.430

Nota. PIO: Presión Intraocular (mmHg). Los resultados muestran el valor *p* de la comparación intragrupo de la variable de estudio. Prueba *Friedman, Wilcoxon*.

El conteo de células endoteliales en las distintas valoraciones (comparaciones intragrupo) se presentan en la Tabla 11 y Figura 5. El grupo PEX no mostró diferencias estadísticas al comparar el valor basal vs 7,15 días ni al comparar los resultados de 30 vs 45 días, el resto de las comparaciones fueron significativamente menores.

Por su parte, el conteo de células endoteliales en el grupo GAA no mostró diferencias al comparar 7 días vs 15 días, ni de los 15 días hasta el final del seguimiento (15 días vs 30, 45 días ni 30 vs 45 días), el resto de las comparaciones fueron estadísticamente significativas.

Tabla 11

Valor *p* del conteo de células endoteliales en las comparaciones intragrupo

CECD	PEX	GAA
Basal – 7 días	.331	.005
Basal - 15 días	.265	.002
Basal – 30 días	.003	.006
Basal – 45 días	.003	.001
7 días – 15 días	.022	.325
7 días – 30 días	.014	.030
7 días- 45 días	.017	.039
15 días- 30 días	.002	.423
15 días- 45 días	.002	.244
30 días- 45 días	.932	.798

Nota. PEX: Grupo de ojos con glaucoma de ángulo abierto secundario a síndrome de pseudoexfoliación. GAA: Grupo de ojos con glaucoma de ángulo abierto. CECD: Conteo de células endoteliales (cel/mm²). Los resultados muestran el valor *p* de la comparación intragrupo de la variable de estudio. Prueba *Friedman, Wilcoxon*.

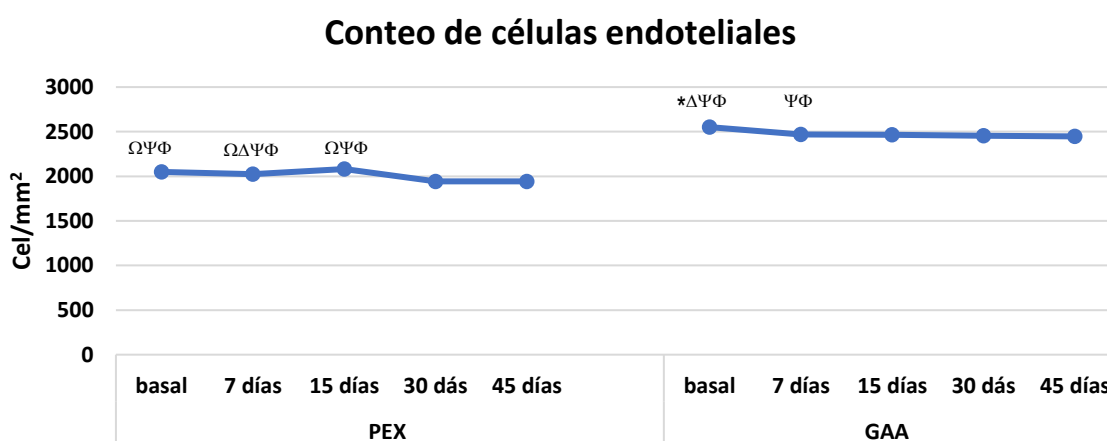


Figura 5. Resultados comparativos del conteo de células endoteliales en sus distintas valoraciones, en ambos grupos de estudio. PEX: Grupo de ojos con glaucoma de ángulo abierto secundario a síndrome de pseudoexfoliación. GAA: Grupo de ojos con glaucoma de ángulo abierto. CECD: Conteo de células endoteliales (cel/mm²). Datos presentados como media. Prueba *Friedman, Wilcoxon*. $\Omega p = .000$ vs GAA, $*p < .05$ vs 7 días mismo grupo, $\Delta p < .05$ vs 15 días mismo grupo, $\Psi p < .05$ vs 30 días mismo grupo, $\Phi p < .05$ vs 45 días mismo grupo.

Al evaluar las comparaciones intragrupo del coeficiente de variación (Tabla 12, Figura 6), se observó que no fue diferente durante todo el seguimiento en ambos grupos de estudio, por lo que no hubo diferencias significativas en ninguna de las comparaciones.

Tabla 12

Valor p del coeficiente de variación en las comparaciones intragrupo

CV	PEX	GAA
Basal – 7 días.	.240	.144
Basal - 15 días.	.595	.388
Basal – 30 días	.593	.344
Basal – 45 días	.917	.236
7 días – 15 días	.436	.478
7 días – 30 días	.711	.408
7 días- 45 días	.324	.453
15 días- 30 días	.000	1.000
15 días- 45 días	.441	1.000
30 días- 45 días	.818	.890

Nota. PEX: Grupo de ojos con glaucoma de ángulo abierto secundario a síndrome de pseudoexfoliación. GAA: Grupo de ojos con glaucoma de ángulo abierto. CV: Coeficiente de variación (%). Los resultados muestran el valor *p* de la comparación intragrupo de la variable de estudio. Prueba *Friedman, Wilcoxon*.

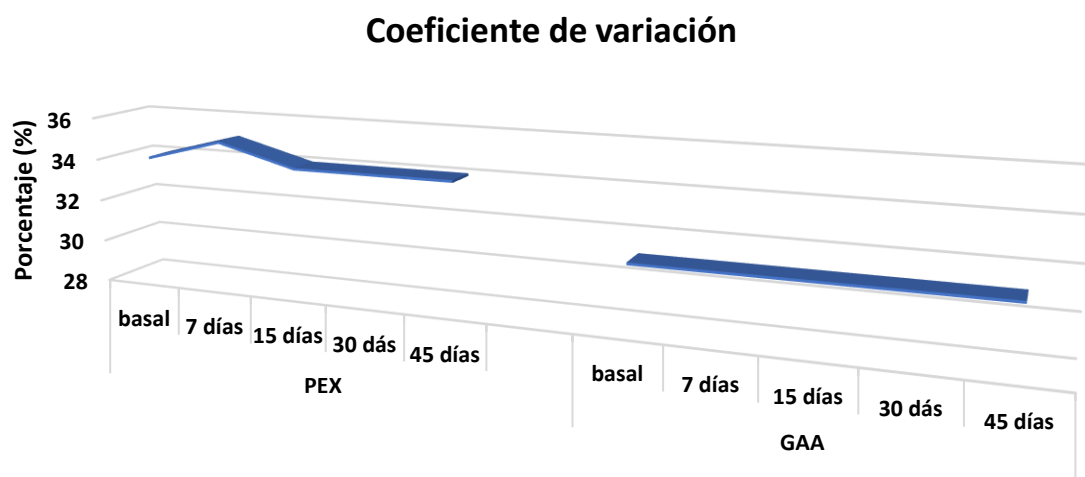


Figura 6. Resultados comparativos del conteo de células endoteliales en sus distintas valoraciones, en ambos grupos de estudio. PEX: Grupo de ojos con glaucoma de ángulo abierto secundario a síndrome de pseudoexfoliación. GAA: Grupo de ojos con glaucoma de ángulo abierto. Coeficiente de variación (%). Datos presentados como porcentaje. Prueba *Friedman, Wilcoxon*.

Cuando se comparó la hexagonalidad durante el seguimiento, se observó que esta no fue diferente en ninguna de sus valoraciones, es decir, no hubo cambios en los resultados de esta variable durante todo el seguimiento tanto en el grupo PEX, como el grupo GAA (Ver Tabla 13 y Figura 7)

Tabla 13

Valor p de la hexagonalidad en las comparaciones intragrupo

HEX	PEX	GAA
Basal – 7 días.	.586	.917
Basal - 15 días.	.953	.776
Basal – 30 días	.833	.553
Basal – 45 días	.799	.553
7 días – 15 días	.484	.865
7 días – 30 días	.695	.307
7 días- 45 días	.363	.596
15 días- 30 días	.686	.916
15 días- 45 días	.674	.586
30 días- 45 días	.463	.854

Nota. PEX: Grupo de ojos con glaucoma de ángulo abierto secundario a síndrome de pseudoexfoliación. GAA:Grupo de ojos con glaucoma de ángulo abierto. HEX: Hexagonalidad (%). Los resultados muestran el valor *p* de la comparación intragrupo de la variable de estudio. Prueba *Friedman, Wilcoxon*.

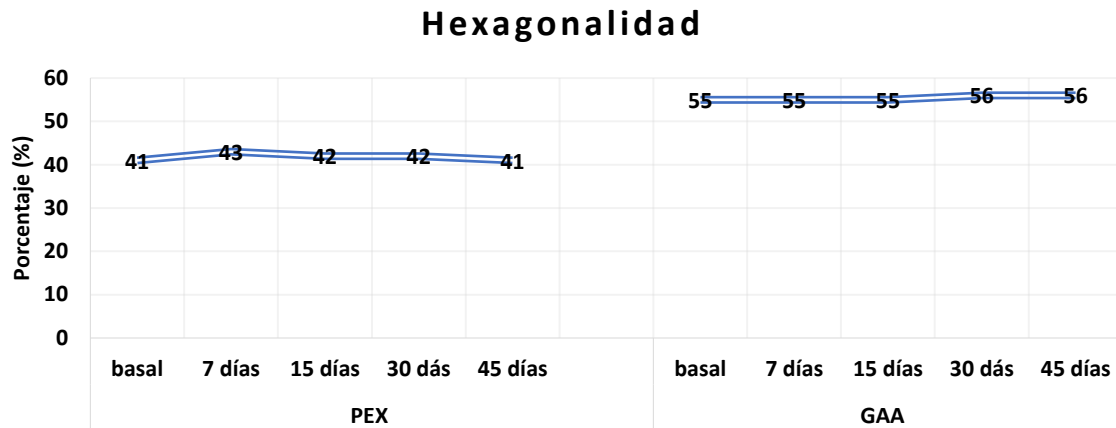


Figura 7. Resultados comparativos de hexagonalidad en sus distintas valoraciones, en ambos grupos de estudio. PEX: Grupo de ojos con glaucoma de ángulo abierto secundario a síndrome de pseudoexfoliación. GAA: Grupo de ojos con glaucoma de ángulo abierto. HEX: Hexagonalidad (%). Datos presentados como porcentaje. Prueba Friedman, Wilcoxon.

Al evaluar los resultados de paquimetría en el grupo GAA, se observó que esta fue muy similar en todas las evaluaciones, por lo que no se observaron diferencias en las comparaciones intragrupo, contrario a lo observado en el grupo PEX, donde en la mayoría de sus comparaciones se observaron diferencias significativas en la comparación intra grupo, excepto en la comparación basal vs 30 días, 7 días vs 15 días, y 30 vs 45 días (Tabla 14, Figura 8).

Tabla 14

Valor p de la paquimetría en las comparaciones intragrupo

PAQUIMETRÍA	PEX	GAA
Basal – 7 días.	.004	.234
Basal - 15 días.	.005	.649
Basal – 30 días	.102	.477
Basal – 45 días	.025	.362
7 días – 15 días	.306	.897
7 días – 30 días	.015	.660
7 días- 45 días	.011	.950
15 días- 30 días	.035	.950
15 días- 45 días	.027	.432
30 días- 45 días	.656	.637

Nota. PEX: Grupo de ojos con glaucoma de ángulo abierto secundario a síndrome de pseudoexfoliación. GAA: Grupo de ojos con glaucoma de ángulo abierto. PAQ: Paquimetría (μm). Los resultados muestran el valor *p* de la comparación intragrupo de la variable de estudio. Prueba *Friedman, Wilcoxon*.

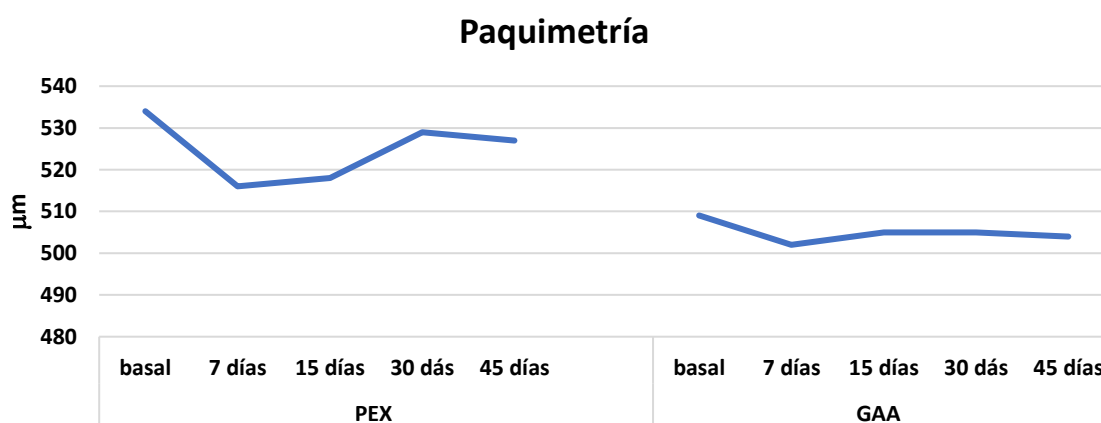


Figura 8.DISCU Resultados comparativos de paquimetría en sus distintas valoraciones, en ambos grupos de estudio. PEX: Grupo de ojos con glaucoma de ángulo abierto secundario a síndrome de pseudoexfoliación. GAA: Grupo de ojos con glaucoma de ángulo abierto. PAQ: Paquimetría (μm). Datos presentados como porcentaje. Prueba *Friedman, Wilcoxon*.

Correlación de Spearman:

Al estratificar por tipo de glaucoma, en el grupo PEX se observó una correlación negativa significativa entre el conteo basal de células endoteliales y el cambio endotelial total ($r = -.58$, $p = .015$). Es decir, a menor conteo basal de células endoteliales, mayor pérdida endotelial tras el láser.

En contraste, en el grupo con glaucoma de ángulo abierto primario no se identificaron correlaciones significativas entre el cambio endotelial y las variables clínicas evaluadas (CECD, edad, PIO)

Regresión lineal:

En el modelo de regresión lineal, el conteo endotelial basal mostró una asociación negativa significativa con el cambio endotelial total ($B = -.135$; $p = .047$, IC95%: $-.269$ a $-.002$). Es decir, por cada aumento de 1 célula/mm² en el conteo endotelial basal, el cambio endotelial total disminuye en promedio .135 células/mm².

El conteo endotelial basal y el tipo de glaucoma no fue significativo ($p = .897$). Es decir, la reserva endotelial basal influye en la magnitud del cambio endotelial tras el láser micropulsado transescleral, sin diferencias significativas de este efecto entre los distintos tipos de glaucoma.

VIII. DISCUSIÓN

La hipótesis alternativa del presente trabajo planteó que “El cambio en células endoteliales/mm² por láser micropulsado transescleral entre pacientes con GPEX y otros tipos de glaucoma de ángulo abierto es diferente a cero ($\neq 0$)”. En nuestros resultados observamos que el conteo en células endoteliales fue significativamente menor durante todas las valoraciones en el grupo GPEX que los otros tipos de

glaucoma de ángulo abierto, los resultados apoyan la existencia de diferencias en el comportamiento endotelial entre los grupos evaluados.

Ayala et. al. (Ayala M. , 2020) realizó un estudio retrospectivo, en 128 pacientes, 74 con GPEX y 54 GAA, observando que el promedio de edad en pacientes con GPEX fue de 71.4 años, y 69.6 años en pacientes con GAA, por lo que no se observaron diferencias significativas intergrupo, dichos resultados son similares a lo observado en nuestro estudio, donde parecieran ser ligeramente mayores los pacientes del grupo PEX (75 años) que los pacientes con GAA (71 años) y tampoco observamos diferencias al comparar ambos grupos de estudio.

Con respecto al género, Warjri GB et. al. (Warjri GB, 2023) observó que en 23,223 pacientes con PEX, el 67.08% eran hombres. Park CK et. al. (Park CK, 2024) observó una frecuencia de 61.6% de PEX en hombres. Böhringer D et. al. (Böhringer D, 2024) realizó un estudio en pacientes con glaucoma de ángulo abierto primario en población alemana, observando que la mayoría de los pacientes diagnosticados eran mujeres (55%), Shan S et. al. (Shan S, 2024) realizó un metanálisis para estimar la tasa de incidencia de glaucoma primario de ángulo abierto por edad y género y reportó una frecuencia del género femenino similar a la de los hombres, sin embargo, al realizar un subanálisis observó que cuando los pacientes eran mayores de 55 años, predominaba el género masculino. En el presente estudio observamos que el grupo de ojos con glaucoma de ángulo abierto secundario a síndrome de pseudoexfoliación tuvo más pacientes del género masculino (65%), lo que coincide con lo reportado en la literatura, por otra parte, observamos que los ojos con glaucoma de ángulo abierto fueron mas frecuentes en el género femenino, estos hallazgos han sido variables en la literatura (Spinel Peñuela, 2018), sin embargo, coinciden con lo reportado en el estudio realizado en población alemana.

Ayala et. al. (Ayala M. , 2020) realizó un estudio retrospectivo en 128 pacientes, 74 con GPEX y 54 GAA, todos los pacientes fueron de diagnóstico reciente con seguimiento de 3 años, tiempo en que se evaluó la PIO y el campo visual. La PIO difirió considerablemente entre los grupos al inicio del estudio, reportando 32.9 mmHg en el grupo GPEX y 27.6 mmHg en el grupo GAA (prueba t, $p < .001$). En el presente estudio, los pacientes no tenían presiones intraoculares tan elevadas (20 mmHg en

GPEX y 15mmHg en GAA, $p = .000$) y eso es atribuido a que no eran de reciente diagnóstico y ya tenían manejo por su médico tratante, sin embargo, nuestros hallazgos coinciden con los del autor, en que las presiones intraoculares en pacientes con GPEX fueron significativamente mayores que en pacientes con GAA.

Al evaluar los resultados de agudeza visual, Gupta SV et. al. (Gupta SV, 2025) realizó un estudio prospectivo de 2 años con el objetivo de comparar la progresión del campo visual entre pacientes con glaucoma de ángulo abierto primario y glaucoma de ángulo abierto por pseudoexfoliación, se incluyeron 60 ojos glaucomatosos con visión de cuenta dedos (CF) ≥ 3 metros, presión intraocular (PIO) ≥ 20 mmHg, relación copa/disco (CDR) ≥ 0.6 y grado de ángulo de Shaffer ≥ 3 . Aunque el autor se centró en la progresión del campo visual, observó que los pacientes con GPEX tenían una agudeza visual inicial más baja que los pacientes con GAA. La progresión del campo visual indica mayor riesgo de pérdida visual en esta población. En nuestro trabajo observamos resultados basales similares, donde los pacientes con GPEX tenían agudeza visual significativamente más baja que los pacientes con GAA.

Hwang YH et. al. (Hwang YH, 2024) comparó los resultados del tratamiento de ciclofotocoagulación transescleral de coagulación lenta (SC-CPC, 65 ojos) y tratamiento con láser micropulsado transescleral (MPL, 134 ojos) en pacientes coreanos con glaucoma no controlado médicamente, independientemente de la gravedad y el tipo de glaucoma, mayores de 18 años, agudeza visual y antecedentes de cirugía de glaucoma. De los 199 ojos, 33 (50,8 %) del grupo SC-CPC y 53 (39,6 %) del grupo MPL tenían antecedentes de cirugía de glaucoma. El éxito se definió como lograr una presión intraocular (PIO) de 6-21 mmHg con una reducción $\geq 20\%$ desde el inicio, sin reoperación para glaucoma y sin pérdida de visión-percepción de luz. Se evaluó la agudeza visual y el recuento de células endoteliales corneales, entre otras variables. A los 12 meses, la PIO disminuyó de $32,2 \pm 13,4$ a $17,9 \pm 8,3$ mmHg en el grupo SC-CPC y de $26,4 \pm 10,8$ a $16,5 \pm 6,8$ mmHg en el grupo MPL. No se observaron cambios significativos en la agudeza visual, ni el recuento de células endoteliales corneales. En nuestro estudio, al igual que lo reportado por el autor, el grupo de glaucoma de ángulo abierto también presentó disminución significativa de la PIO y no se observaron cambios importantes con la agudeza visual, sin embargo, si observamos cambios significativos del conteo de células endoteliales (cel/mm^2), lo

que puede ser atribuido a distintos factores como tipo de glaucoma, antecedentes de cirugía de glaucoma, PIO preoperatoria, etnia etc. El autor menciona que se incluyeron pacientes con diferentes diagnósticos, haciendo referencia que el diagnóstico más común fue glaucoma primario de ángulo abierto (50,8% en el grupo SC-CPC y 67,2% en el grupo MPL), sin mencionar el diagnóstico del resto de los pacientes, lo que impacta directamente en la evolución del paciente.

Por otra parte, es bien sabido que la PIO crónicamente elevada puede comprimir el endotelio corneal, provocar estrés hipóxico y alterar la función de bomba/ruptura de células, favoreciendo pérdida celular progresiva. Estudios comparativos muestran menor densidad endotelial en pacientes con glaucoma que en controles (Yu, 2019). Aunque en nuestro estudio no se registró cuánto tiempo de diagnóstico tenían los pacientes, esta variable pudo influir en nuestros resultados.

También se ha señalado que la densidad endotelial disminuye con la edad; algunos pacientes con glaucoma podrían tener predisposición (anomalías congénitas/modificadas por la enfermedad) que amplifica la pérdida. Revisiones señalan influencia de edad y severidad de la enfermedad (Haroon, 2021). En el estudio realizado por Hwang YH et. al. (Hwang YH, 2024) no se menciona la edad de los pacientes, únicamente se hace mención de que se incluyeron pacientes mayores de 18 años por lo que no es posible contrastar dicha variable con nuestro estudio y determinar si esto pudo influir en nuestros resultados.

El láser micropulsado es conocido por tener menor impacto en las células endoteliales, sin embargo, la posibilidad de complicaciones corneales y endoteliales, no es inexistente y puede depender de factores como potencia, ciclo de trabajo, duración del tratamiento y tiempo de permanencia que en conjunto determinan la cantidad de energía absorbida por el tejido. Estos parámetros pueden ajustarse para modular la exposición del tejido al láser, una energía insuficiente puede resultar en una inadecuada eficacia terapéutica, mientras que una energía excesiva puede causar sobre-fotocoagulación (Ge, 2025), puede conducir a una descompensación corneal y deterioro visual severo e irreversible (Hwang YH, 2024). En el presente trabajo no se observó daño en las células endoteliales por descompensación corneal

debido a que ninguno de ellos presentó la sintomatología característica como edema corneal, progresión a queratopatía bullosa (dolor y visión borrosa) (Chen, 2025).

Daas et. al. (Daas, 2025) realizó un estudio con el objetivo de investigar los efectos oculares de la MP-TSCPC en pacientes con glaucoma, centrándose en la biomecánica corneal, el recuento de células endoteliales y los resultados refractivos en pacientes con glaucoma de ángulo abierto e hipertensión ocular. Se incluyeron 31 ojos de 31 pacientes. A los seis meses posteriores a la MP-TSCPC, se observó una disminución del 2% en la densidad de células endoteliales corneales, aunque no estadísticamente significativa. Se observó un ligero cambio en el equivalente esférico a los 6 meses, que inicialmente alcanzó significancia estadística. Sin embargo, este cambio no se mantuvo significativo tras el ajuste por comparaciones múltiples. El autor planteó que la principal causa de las complicaciones observadas con la ciclotocoagulación transescleral de onda continua (CW-TSCPC) es que la radiación láser de diodo infrarrojo de 810 nm, a pesar de su afinidad por el pigmento de melanina en el epitelio ciliar, se disipa en el tejido circundante. La ciclotocoagulación transescleral de micropulsos (MP-TSCPC) teóricamente evita este problema. En la MP-TSCPC, la energía se administra en pulsos cortos al tejido objetivo (ciclo activo), acumulándose gradualmente hasta alcanzar un estado fotocoagulativo en el epitelio pigmentado. Al mismo tiempo, el tejido circundante se enfría durante el ciclo inactivo, minimizando así, en teoría, el daño al tejido circundante. Otro tejido relevante que podría verse afectado por el daño colateral de la MP-TSCPC es el endotelio corneal.

Makri OE et. al. (Makri OE, 2020) realizó un estudio con el objetivo de evaluar el efecto de una sola sesión de trabeculoplastia láser micropulsado sobre la córnea en ojos con glaucoma primario de ángulo abierto y glaucoma pseudoexfoliativo. Los ojos se sometieron a un tratamiento de 360 grados con trabeculoplastia láser micropulsada de 532 nm. Se midió el recuento de células endoteliales antes del tratamiento, al mes, a los tres y a los seis meses del tratamiento. Se incluyeron en el estudio veinte ojos (edad media 67.6 ± 8.0 años) con glaucoma primario de ángulo abierto y 18 ojos (edad media 71.44 ± 6.43 años) con glaucoma pseudoexfoliativo. Se observó una disminución significativa de la PIO en las comparaciones intragrupo de ambos grupos de tratamiento. El recuento de células endoteliales no mostró cambios significativos entre el valor inicial y seis meses después de la trabeculoplastia láser

micropulsado en los ojos con glaucoma primario de ángulo abierto y pseudoexfoliativo. En nuestro estudio, a pesar de que utilizamos un láser diferente, observamos resultados similares a lo reportado por el autor, donde vemos una disminución significativa de la PIO en las comparaciones intragrupo, en ambos grupos de estudio. Sin embargo, con respecto a las características corneales, nosotros si observamos diferencias, el grupo PEX tenía significativamente menor conteo de células endoteliales que el grupo GAA al inicio del estudio, lo cual es atribuido a las características propias de la enfermedad. De la misma manera, observamos un conteo de células endoteliales significativamente menor en ambos grupos de estudio posterior al tratamiento, lo que pudiera ser atribuido a factores que se mencionaron previamente, como PIO crónicamente elevada, variable que no se menciona en ninguno de los estudios, la técnica empleada, susceptibilidad del paciente y potencia del láser, finalmente planteamos como la densidad endotelial disminuye con la edad, lo que si pudiera influir en nuestros resultados en comparación con el autor, ya que nuestros pacientes fueron mayores, en el estudio los pacientes de GAA tuvieron 67.6 años y GPEX 71.44 años, mientras que en nuestro estudio tuvieron 71 años en GAA y 75 en PEX.

Conforme a lo anteriormente expuesto, en el presente estudio se observó una disminución significativa de la densidad de células endoteliales posterior al tratamiento con láser micropulsado transescleral, lo cual difiere también con lo señalado por Garip et al. (Garip Kuebler, 2023) quien no encontró diferencias estadísticamente significativas en su trabajo. Esto puede atribuirse a que en nuestro trabajo incluimos pacientes con síndrome de pseudoexfoliación, patología que condiciona mayor vulnerabilidad del endotelio y menor reserva endotelial, lo que podría predisponer a un mayor daño ante estímulos adicionales, como la aplicación de energía láser.

En el estudio de Makri et. al. (Makri OE, 2020) se reportó que el grosor corneal central no mostró diferencias significativas entre la línea basal y los controles a 1, 3 y 6 meses después del tratamiento de trabeculoplastia por láser micropulsado, y aunque nosotros empleamos otro tipo de láser, tampoco observamos diferencias significativas en el grosor corneal en los pacientes con GAA.

Yagci et. al. (Yagci, 2005) diseñó un estudio para determinar la relación entre el espesor corneal central (ECC) y la presión intraocular (PIO) medida con tonómetro de aplanación en ojos glaucomatosos, hipertensos oculares y normales. Se incluyeron en el estudio un total de 125 sujetos. Veintiséis presentaban glaucoma primario de ángulo abierto (GAA), 25 glaucoma pseudoexfoliativo (GPEX), 24 hipertensión ocular (HTO) y 50 eran sanos. Los valores de espesor corneal central (ECC) en el grupo con hipertensión ocular ($595.75 \pm 22.52 \mu\text{m}$) fueron mayores que los del grupo con glaucoma primario de ángulo abierto (GPAA) ($539.92 \pm 21.50 \mu\text{m}$), el grupo con glaucoma pseudoexfoliativo (GPEX) ($526.28 \pm 31.73 \mu\text{m}$) y el grupo control ($533.96 \pm 29.25 \mu\text{m}$) ($p < .050$). En nuestro estudio observamos que los pacientes con PEX tuvieron una paquimetría de $534 \pm 14 \mu\text{m}$ por lo que los valores fueron similares a los reportados por el autor, sin embargo, el grupo GAA presentó valores de $509 \pm 32 \mu\text{m}$, por lo que tuvieron menor grosor corneal.

El hecho de que en nuestro estudio la paquimetría fue significativamente menor en el grupo GAA que el grupo GPEX puede ser atribuido a que el endotelio desempeña un papel fundamental en el mantenimiento de la claridad y la transparencia de la córnea. Un recuento de células endoteliales de 500 a 1000 células/mm² o inferior indica que la córnea corre el riesgo de sufrir descompensación, edema estromal y queratopatía bullosa. Es decir, una córnea más delgada se asocia con una función endotelial más eficiente, más que con un mayor contenido de endotelio corneal. Dado que la función principal del endotelio corneal es transportar agua desde el estroma corneal hacia la cámara anterior para regular y mantener la hidratación de la córnea, es lógico pensar que un mayor contenido de endotelio corneal podría ser responsable de una deshidratación corneal más eficaz, lo que resultaría en un menor espesor corneal central (Bhika, 2025).

Daas et. al. (Daas, 2025) Señala una hipótesis del adelgazamiento corneal por el láser, mencionando que podría atribuirse a un daño inadvertido a los nervios ciliares largos, que contribuyen a la inervación del segmento anterior, incluso cuando se evitan cuidadosamente los meridianos de las 3 y las 9, sugiriendo que el tamaño y el punto de contacto curvo de la sonda MP3 podrían afectar al plexo nervioso perilímbico, una estructura compuesta por ramas del nervio ciliar largo. Además, el movimiento continuo de aplicación podría inducir una lesión mecánica en el plexo corneal

perilímico. Este riesgo aumenta cuando la sonda se coloca demasiado anterior a la córnea.

Después de realizar una búsqueda exhaustiva en la literatura científica, no se encontraron estudios que evaluaran coeficiente de variación y hexagonalidad en pacientes con GPEX y otros tipos de glaucoma de ángulo abierto posterior al empleo de láser micropulsado transescleral. Sin embargo, muchos trabajos (clínicos y revisiones) muestran que GPEX tiene menor hexagonalidad y mayor coeficiente de variación respecto a controles en las valoraciones basales (Atalay, 2025), lo que coincide con lo observado en nuestro trabajo. Únicamente se encontraron estudios con otro tipo de láser, como el realizado por Makri OE et. al. (Makri OE, 2020) quien realizó un estudio con el objetivo de evaluar el efecto de una sola sesión de trabeculoplastia láser micropulsado sobre la córnea en ojos con glaucoma primario de ángulo abierto y glaucoma pseudoexfoliativo, observando que la proporción de células hexagonales y el coeficiente de variación del tamaño de las células endoteliales no mostraron cambios significativos entre el valor inicial y seis meses después del láser. En nuestro estudio, a pesar de que utilizamos un láser diferente observamos los mismos resultados.

Estudios previos señalan que el recuento basal de células endoteliales fue considerado factor de riesgo de daño al endotelio corneal después de tratamiento láser en ojos con glaucoma (Chen X. C., 2021), lo que apoya a lo observado en nuestro trabajo, de que un menor recuento basal se asocia con mayor pérdida endotelial.

El endotelio corneal posee una capacidad regenerativa limitada, por lo que la pérdida celular no se compensa mediante proliferación, sino por redistribución y aumento del tamaño celular (pleomorfismo y polimegatismo) (Khan, 2021). El conteo endotelial basal puede considerarse reserva funcional del endotelio, y puede influir significativamente en los cambios endoteliales posterior al tratamiento con láser.

IX. CONCLUSIONES

El láser micropulsado transescleral se asoció con reducción significativa de la presión intraocular en ambos grupos.

Se observó disminución estadísticamente significativa del conteo de células endoteliales/mm² durante el seguimiento, con mayor magnitud en pacientes con glaucoma por pseudoexfoliación. Estos hallazgos sugieren mayor susceptibilidad endotelial en este grupo y justifican la evaluación endotelial basal y posterior al tratamiento. La menor reserva endotelial basal se asoció con un mayor cambio endotelial posterior al tratamiento.

X. PROPUESTAS

Realizar de manera rutinaria una evaluación del conteo de células endoteliales en pacientes que son candidatos a tratamiento con láser micropulsado transescleral, especialmente con glaucoma secundario a síndrome de pseudoexfoliación.

Considerar la reserva endotelial en la toma de decisiones terapéuticas, debido a que un menor conteo basal se asocia con mayor pérdida endotelial posterior al tratamiento.

Se sugiere realizar estudios a largo plazo y con mayor tamaño de muestra, para evaluar la progresión del daño endotelial y su impacto en la función visual, considerando incluir variables adicionales como tiempo de evolución del glaucoma, tratamientos previos y comorbilidades, con el fin de identificar factores de riesgo asociados a mayor daño endotelial.

Una de las limitaciones del estudio fue incluir ambos ojos de un mismo paciente como unidades independientes, lo que puede generar dependencia intra-sujeto y afectar la independencia de las observaciones, por lo que en futuros estudios sería importante considerarlo.

XI. BIBLIOGRAFÍA

- Lee, N. S. (2023). Corneal endothelial changes in glaucoma: Pathophysiology and clinical implications. . *Journal of Glaucoma*, 32(4), 250–257.
- Chen, S., Li, H., Huang, Y., Feng, X., Lu, J., & Mu, L. (2025). Correlation between early corneal edema and endothelial cell injury after phacoemulsification. . 12.
- Chen, X., Chen, Y., Liu, Y., Li, M., & Zhong, Y. (2021). Risk factors for corneal endothelial cell damage after selective laser trabeculoplasty in patients with primary open-angle glaucoma and primary angle-closure glaucoma. . 6(1).
- Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud (CENETEC). (2013). *Guía de práctica clínica de Glaucoma*. Obtenido de <https://cenetec-difusion.com/CMGPC/IMSS-615-13/ER.pdf>
- Lim, R., & Tan, G. S. W. (2021). Pseudoexfoliation syndrome and glaucoma: Pathophysiology and clinical implications. *Survey of Ophthalmology*, 66(3), 444-463.
- Contreras-Corona, R. G., Anaya-Pava, E. J., Gallegos-Valencia, A. J., & Villarreal-Maíz, J. A. (2014). Density and morphology of corneal endothelial cells in young adults in northern Mexico. . *Revista Mexicana de Oftalmología*, 88(3), 95–152.
- Aquino, M. C., Barton, K., Tan, A. M. W. T., Sng, C. C. A., Li, X., Loon, S. C., Chew, P. T. K., & Lim, B. A. S. (2015). Micropulse versus continuous wave transscleral diode cyclophotocoagulation in refractory glaucoma. *Clinical & Experimental Ophthalmology*, 43(1), 40–46.
- Aref, A. A. (2020). Current management of glaucoma and the role of micropulse transscleral cyclophotocoagulation. *Current Opinion in Ophthalmology*, 31(2), 119-124.
- Arnavielle, S., Lafontaine, P. O., Bidot, S., Creuzot-Garcher, C., & Bron, A. M. (2007). Corneal endothelial cell changes after trabeculectomy. *Journal of Glaucoma*, 16(3), 324–328.

- Atalay, K., Kocak, I., Sayin, N., & Cirak, B. . (2025). Corneal endothelial and retinal microvascular changes in pseudoexfoliation syndrome: Insights from specular microscopy and OCT angiography. . 25(1: 202).
- Ayala M. . (2020). Comparison of visual field progression in newly diagnosed exfoliation glaucoma and in primary open-angle glaucoma. . 14.
- Bluwol E. . (2016). Glaucoma treatment. *Rev Prat* , 66(5):508-513.
- Böhringer D, Tham Y-C, Holleczeck B, Hecker A, Wild PS, Pfeiffer N, et al. . (2024). The prevalence and incidence of glaucoma in Germany between 2010 and 2018 based on nationwide statutory health insurance claims data. *BMJ Open Ophthalmol.* , 9(1):e001726.
- Bertaud, S., Aragno, V., Baudouin, C., & Labbé, A. (2019). Primary open-angle glaucoma [Glaucome primitif à angle ouvert]. . *Revue de Médecine Interne*, 40(7), 445–452.
- Bhika, R., Zunza, M., & Smit, D. (2025). A comparison of endothelial cell count, central corneal thickness and intraocular pressure in different ethnic groups in the Western Cape, South Africa. . 45(1).
- Bourne, W. M. (2021). Central corneal endothelial cell changes over a ten-year period. . *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 62(2), 1-9.
- Daas, A. R. (2025). The effect of micropulse transscleral cyclophotocoagulation (MP-TSCPC) on anterior segment properties in glaucoma and ocular hypertension. 45(1).
- De Juan-Marcos, L., Cabrillo-Estévez, L., Escudero-Domínguez, F. A., Sánchez-Jara, A., & Hernández-Galilea, E. (2013). Morphometric changes of corneal endothelial cells in pseudoexfoliation syndrome and pseudoexfoliation glaucoma . *Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología*, 88(11), 439–444.
- Domagała, D. M.-W. (2025). Corneal endothelial cells decline: A review of recent findings from molecular and clinical research. . *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 192(118564).
- Duman, R., Tok Çevik, M., Gökem Çevik, S., Duman, R., & Perente, İ. (2016). Corneal endothelial cell density in healthy Caucasian population. . *Saudi Journal of Ophthalmology*, 30(4), 236–239.
- Erb, C. . (2011). Relevance of intraocular pressure and tonometry in glaucoma. *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*, 228(2), 97.

- Garip Kuebler, A., Priglinger, S., & Reznicek, L. . (2023). Micropulse cyclophotocoagulation vs selective laser trabeculoplasty: Effects on corneal endothelial cells and intraocular pressure. . *Journal of Current Glaucoma Practice*, 17(1), 40–43.
- Ge, H., Zhang, Q., Yan, W., Cao, G., Yang, W., & Ding, X. . (2025). Novel micropulse transscleral cyclophotocoagulation system for clinical treatment of refractory glaucoma. *Journal of Visualized Experiments*. 10(224).
- Greslechner R, Helbig H, Spiegel D. . (2022). Secondary open-angle glaucoma: pseudoexfoliative glaucoma, pigmentary glaucoma and neovascular glaucoma. . *Ophthalmologe* , 119(4):425-438.
- Grueb, M., Rohrbach, J. M., Bartz-Schmidt, K. U., & Schlote, T. (2006). Transscleral diode laser cyclophotocoagulation as primary and secondary surgical treatment in glaucoma. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 244(10), 1293–1299.
- Gupta SV, Kaleel A. . (2025). Comparison of Visual Field Progression in Patients with Primary Open Angle Glaucoma and Pseudo Exfoliative Glaucoma. . 9(17 (2)).
- Haroon, H. E. A. E.-G., Abd El-Ghany, H. E., Samir, A. M., & El-Shawaf, H. I. I. . (2021). Effect of glaucoma on corneal endothelium. 2(2).
- He, S., Stankowska, D. L., Ellis, D. Z., Krishnamoorthy, R. R., & Yorio, T. (2018). Targets of neuroprotection in glaucoma. . *Journal of Ocular Pharmacology and Therapeutics*, 34(1–2), 85–106.
- Hodapp, E., Parrish, R. K., II, & Anderson, D. R. (1993). Clinical decisions in glaucoma. Mosby.
- Hwang YH, Lee S, Kim M, Choi J. . (2024). Comparison of treatment outcomes between slow coagulation transscleral cyclophotocoagulation and micropulse transscleral laser treatment. . 13(14).
- Inoue, K. O. (2003). Morphological study of corneal endothelium and subbasal nerve plexus in pseudoexfoliation syndrome. . *Ophthalmology*, 110(9), 1795–1799.
- Jayaram H, Kolko M, Friedman DS, Gazzard G. (2023). Glaucoma: now and beyond. *Lancet*, 402(10414):1788-1801.
- Juan-Marcos, L., Cabrillo-Estévez, L., Escudero-Domínguez, F. A., Sánchez-Jara, A., & Hernández-Galilea, E. (2013). Morphometric changes of corneal endothelial cells in pseudoexfoliation syndrome and pseudoexfoliation glaucoma. . *Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología*, 88(11), 439–444.

- Küchle, M., Nguyen, N. X., Hannappel, E., & Naumann, G. O. H. (1995). The effect of pseudoexfoliation syndrome on the corneal endothelium. *Ophthalmology*, 102(3), 440-444.
- Kang, J. M., & Tanna, A. P. . (2021). Glaucoma. . *Medical Clinics of North America*, 105(3), 493–510.
- Khan, Z., Khan, M., & Ahmed, N. (2021). Corneal endothelial cell loss: Mechanisms and clinical implications. . 22(6).
- Kwon, J. W. (2020). Corneal endothelial cell loss in glaucoma patients: The role of intraocular pressure. . *American Journal of Ophthalmology*, 216, 118–126.
- Makri OE, Plotas P, Christopoulou E, Georgakopoulos CD. (2020). Effect of a single session of micropulse laser trabeculoplasty on corneal endothelial parameters. 103(4).
- Matthias Nobl, M. M. (2019). Pseudoexfoliation Syndrome and Glaucoma. *Klin Monbl Augenheilkd* , 236(9):1139-1155.
- Natalie Si-Yi Lee, R. M. (2023). Changes in corneal endothelial cell density after trabeculectomy. 33(6).
- Nguyen, A. T., Maslin, J., & Noecker, R. J. . (2020). Early results of micropulse transscleral cyclophotocoagulation for the treatment of glaucoma. . *Journal of Glaucoma*, 29(6), 488–492.
- Palko, J. R., Qi, O., & Sheybani, A. (2017). Corneal alterations associated with pseudoexfoliation syndrome and glaucoma: A literature review. . *Journal of Ophthalmic & Vision Research*, 12(3), 312–324.
- Park CK, Lee J, Kim J, et al. . (2024). Characteristic Differences between Normotensive and Hypertensive Pseudoexfoliation Glaucoma. . *Translational Vision Science & Technology*. , 13(1):2.
- Pérez Díaz, L. . (2014). Glaucoma: A world health problem for its frequency and clinical course toward blindness. . *MEDISAN*, 18(2), 242.
- Pose-Bazarra S, López-Valladares MJ, López-de-Ullibarri I, Azuara-Blanco A. . (2021). Surgical and laser interventions for pseudoexfoliation glaucoma systematic review of randomized controlled trials. . *Eye (Lond)*, 35(6):1551-1561.
- Realini T, Gupta PK, Radcliffe NM, Garg S, Wiley WF, Yeu E, Berdahl JP, Kahook MY. (2021). The Effects of Glaucoma and Glaucoma Therapies on Corneal Endothelial Cell Density. . *J Glaucoma*, 30(3):209-218.

- Ritch, R. (2001). Exfoliation syndrome—the most common identifiable cause of open-angle glaucoma. *Journal of Glaucoma*, 10(5 Suppl 1), S17–S18.
- Schlötzer-Schrehardt, U., & Naumann, G. O. H. (2006). Ocular and systemic pseudoexfoliation syndrome. . *American Journal of Ophthalmology*, 141(5), 921–937.
- Schuster, A. K., Wagner, F. M., Pfeiffer, N., & Hoffmann, E. M. . (2021). Risk factors for open-angle glaucoma and recommendations for glaucoma screening. *Der Ophthalmologe*, 118(Suppl 2), 145–152.
- Schweitzer C. (2018). Pseudoexfoliation syndrome and pseudoexfoliation glaucoma. . *J Fr Ophtalmol*. 41(1):78-90.
- Sandhu, S. &. (2018). Selective laser trabeculoplasty in exfoliation glaucoma. *Current Opinion in Ophthalmology*, 29(2), 136–140.
- Shan S, Zhang X, Yuan Y, Wang N, Wang YX, Jonas JB, et al. Global incidence and risk factors for glaucoma: a multilevel mixed-effects meta-regression. (2024). 14(04252).
- Shazly, T. A., Latina, M. A., & Katz, L. J. . (2021). Micropulse cyclophotocoagulation: A review of the literature. . *Clinical Ophthalmology*, 15, 391–402.
- Sihota R, Angmo D, Ramaswamy D, Dada T. . (2018). Simplifying "target" intraocular pressure for different stages of primary open-angle glaucoma and primary angle-closure glaucoma. . *Indian J Ophthalmol* , 66(4):495-505.
- Spinel Peñuela , Alonzo. Pseudoexfoliation syndrome at the clinic of glaucoma of the national unit of ophthalmology. Guatemala city. Cross-sectional study. . (2018). 51(1).
- Susanna, R., Jr., & Vessani, R. M. (2009). Staging glaucoma patient: why and how? . *The Open Ophthalmology Journal*, 3, 59-64.
- Tan, A. M., Chockalingam, M., Aquino, M. C., Lim, Z. I., See, J. L. S., Chew, P. T. K., & Barton, K. . (2020). Micropulse transscleral diode laser cyclophotocoagulation in refractory glaucoma: Long-term outcomes. . *Journal of Glaucoma*, 29(7), 584–590.
- Tejada-Valle, I. P.-B.-T.-C.-D. (2022). Medium-term outcomes of micropulse transscleral cyclophotocoagulation in refractory glaucoma. . *Journal of Current Glaucoma Practice*, 16(2), 91-95.
- Tekeli, O. &. (2021). Transscleral cyclophotocoagulation in the treatment of glaucoma. . *Turkish Journal of Ophthalmology*, 51(1), 1-6.

- Tekeli, O. Y. (2021). Micropulse transscleral cyclophotocoagulation in different types of glaucoma. . *International Ophthalmology*, 41(3), 879–887.
- Tekeli, O., & Köse, H. C. . (2021). Outcomes of micropulse transscleral cyclophotocoagulation in primary open-angle glaucoma, pseudoexfoliation glaucoma, and secondary glaucoma. . *European Journal of Ophthalmology*, 31(3), 1113–1121.
- Twa, M. D. . (2018). Intraocular pressure and glaucoma. . *Optometry and Vision Science*, 95(2), 83–85.
- Warjri GB, Dave TV, Roy G, et al. (2023). Clinical profile and demographic distribution of pseudoexfoliation syndrome in India: Electronic medical record–driven BIG data analytics from a multi-tier ophthalmology network. . *Indian Journal of Ophthalmology*., 71 (10): 4183-4192.
- Williams, A. L. (2018). Clinical efficacy and safety profile of micropulse transscleral cyclophotocoagulation. . *Journal of Glaucoma*, 27(5), 445–449.
- Yüksel N, Emre E, Pirhan D. . (2016). Evaluation of Corneal Microstructure in Pseudoexfoliation Syndrome and Glaucoma: In Vivo Scanning Laser Confocal Microscopic Study. . *Curr Eye Res*, 41(1):34-40.
- Yüksel N, Yılmaz Tuğan B. (2023). Pseudoexfoliation Glaucoma: Clinical Presentation and Therapeutic Options. . *Turk J Ophthalmol* 53(4):247-256.
- Yagci, R., Eksioglu, U., Midillioglu, I., Yalvac, I., Altiparmak, E., & Duman, S. . (2005). Central corneal thickness in primary open angle glaucoma, pseudoexfoliative glaucoma, ocular hypertension, and normal population. . 15(3).
- Yu, Z.-Y., Wu, L., & Qu, B. . (2019). Changes in corneal endothelial cell density in patients with primary open-angle glaucoma. . 7(15).
- Zaarour, K., Abdelmassih, Y., Arej, N., Cherfan, G., Tomey, K. F., & Khoueir, Z. . (2019). Outcomes of micropulse transscleral cyclophotocoagulation in uncontrolled glaucoma. . *Journal of Glaucoma*, 28(3), 270–275.
- Zhang, C. T. (2022). Corneal endothelial cell morphology and function in glaucoma. . *Progress in Retinal and Eye Research*, 90.

XII. ANEXOS

XII.1 HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

**INSTRUMENTO DE RECOLECCION DE DATOS DEL PROYECTO:
“CAMBIOS ENDOTELIALES POR LÁSER MICROPULSADO TRANSESCLERAL
EN PACIENTES CON GLAUCOMA DE ÁNGULO ABIERTO”
HOSPITAL GENERAL DE QUERÉTARO**

FICHA CLÍNICA:

Nombre: _____
Fecha de recolección de datos: ____/____/____.
Sexo: F _ M _ Domicilio: _____
Municipio _____.
Tel casa _____ celular (044) _____
Otro teléfono donde localizarlo _____ Edad (años) _____

PROCEDIMIENTO:

Antecedentes familiares oftalmológicos _____.
Diagnóstico de glaucoma _____.
Tiempo de evolución _____.
Tratamiento actual _____.
Síntomas oculares frecuentes: _____.

	Basal	7 días	15 días	30 días	45 días
PIO					
Agudeza visual					
Conteo de células endoteliales					
Coeficiente de variación (polimegatismo)					
Hexagonalidad (Pleomorfismo)					
Grosor corneal central (Paquimetría)					

XII.2 CONSENTIMIENTO INFORMADO

CONSENTIMIENTO INFORMADO DE PARTICIPACIÓN EN EL PROYECTO: “CAMBIOS ENDOTELIALES POR LÁSER MICROPULSADO TRANSESCLERAL EN PACIENTES CON GLAUCOMA DE ÁNGULO ABIERTO”.

HOSPITAL GENERAL DE QUERÉTARO

Investigador: Dr. Fernando Garnés Rancurello

Usted ha sido invitado a participar en el proyecto de investigación arriba señalado, que ha sido registrado ante el Comité Local de Investigación en Salud con el No.....

Antes de aceptar participar es necesario que lea detenidamente la siguiente información.

INTRODUCCION Y JUSTIFICACION DEL ESTUDIO: El glaucoma es una de las principales causas de ceguera en el mundo. El síndrome de pseudoexfoliación (PEX) se asocia con mayor daño endotelial corneal y desarrollo de glaucoma de ángulo abierto. El láser micropulsado transescleral ha surgido como una opción terapéutica prometedora para el tratamiento del glaucoma, especialmente en casos en los que otros tratamientos han demostrado ser ineficaces o no están indicados.

OBJETIVO: Evaluar el cambio en células endoteliales/mm² por láser micropulsado transescleral entre pacientes con GPEX y otros tipos de glaucoma de ángulo abierto.

PROCEDIMIENTO: Se le realizará una historia clínica y examen oftalmológico completo. Si usted reúne los requisitos recibirá tratamiento con láser micropulsado transescleral. Deberá acudir a citas médicas a los 0, 7, 15, 30 y 45 días, en cada cita se realizará microscopia especular, medición de la presión intraocular y agudeza visual, incluyendo datos de eventos adversos mientras dure el estudio, independientemente de sus citas con su médico tratante. Si usted llegara a presentar cualquier complicación o tiene alguna duda durante el tiempo de estudio, deberá establecer comunicación con los médicos responsables del estudio; será examinado por ellos las veces que sea necesario para su seguridad.

BENEFICIOS: El beneficio potencial de su participación en este estudio sería el conocer si el láser micropulsado produce menor conteo de células endoteliales en pacientes con glaucoma de ángulo abierto secundario a síndrome de pseudoexfoliación que otros tipos de glaucoma de ángulo abierto. Además, contribuirá al conocimiento médico para una mejor comprensión y tratamiento de los pacientes

con glaucoma de ángulo abierto. Los procedimientos y exámenes requeridos en el estudio serán completamente gratuitos.

RIESGOS: Algunos estudios han informado que el riesgo de complicaciones por ciclofotocoagulación transescleral tradicional aumenta con energías más altas. Esto puede provocar complicaciones posoperatorias como inflamación intraocular prolongada, iridociclitis, dolor, hemorragia intraocular, derrame coroideo, pérdida de visión, hipotonía crónica, tisis bulbi y, en raras ocasiones, oftalmía simpática.

En caso de presentarse estos problemas, deberá contactar inmediatamente a los investigadores para garantizar su seguridad. La evaluación de presión intraocular y agudeza visual no representa riesgo adicional para su salud.

DERECHOS DEL PACIENTE: Su participación en este estudio es voluntaria. Si no desea participar o se retira en cualquier momento del estudio, no perderá sus derechos o beneficios continuando su atención médica.

El estudio podrá suspenderse en caso de:

1. Presencia de efectos adversos o complicaciones que lo pongan en riesgo
2. Imposibilidad para recibir láser micropulsado.
3. Dificultad para acudir a sus consultas programadas.

El investigador se ha comprometido a responder cualquier pregunta y aclarar cualquier duda que le plantee sobre los procedimientos, riesgos, beneficios, o cualquier otro asunto relacionado con la investigación.

El investigador principal me ha asegurado que no se me identificará en las presentaciones o publicaciones que deriven del estudio y que los datos relacionados con mi privacidad serán manejados en forma confidencial. También se ha comprometido a proporcionarme la información actualizada que se obtenga durante el estudio, aunque ésta pueda hacerme cambiar de parecer respecto a mi permanencia en el mismo.

CASO DE EMERGENCIA: Si presenta alguna reacción adversa o complicación médica deberá acudir al servicio de urgencias de su hospital correspondiente, donde tendrán conocimiento del estudio y cualquier duda deberá llamar al investigador responsable del proyecto: Dr. Fernando Garnés Rancurello: celular 317 101 3354.

Yo _____, he leído y entendido la información contenida en este documento. He tenido la oportunidad de hacer preguntas y todas mis dudas han sido aclaradas a mi entera satisfacción. Al firmar

voluntariamente este documento, estoy consintiendo participar en el estudio hasta que yo decida lo contrario.

Testigo 1 (nombre, dirección, teléfono y parentesco)

Testigo 2 (nombre, dirección, teléfono y parentesco)

Nombre, firma del paciente

Nombre, firma testigo1

Nombre, firma testigo 2

Dr. Fernando Garnés Rancurello

Investigador

_____ de _____ de 2026

XII.3 CARTA DE CONFIDENCIALIDAD DEL PROYECTO

CARTA DE CONFIDENCIALIDAD DEL PROYECTO: “CAMBIOS ENDOTELIALES POR LÁSER MICROPULSADO TRANSESCLERAL EN PACIENTES CON GLAUCOMA DE ÁNGULO ABIERTO”.

HOSPITAL GENERAL DE QUERÉTARO

_____ de _____ de 2026

Yo _____ investigador/a del Hospital General de Querétaro, hago constar, en relación con el protocolo titulado: *“Cambios endoteliales por láser micropulsado transescleral en pacientes con glaucoma de ángulo abierto”* que me comprometo a resguardar, mantener la confidencialidad y no hacer mal uso de los documentos, expedientes, reportes, estudios, actas, resoluciones, oficios, correspondencia, acuerdos, contratos, convenios, archivos físicos y/o electrónicos de información recabada, estadísticas o bien, cualquier otro registro o información relacionada con el estudio mencionado a mi cargo, o en el cual participo como co-investigador/a, así como a no difundir, distribuir o comercializar con los datos personales contenidos en los sistemas de información, desarrollados en la ejecución del mismo.

Estando en conocimiento de que en caso de no dar cumplimiento se procederá acorde a las sanciones civiles, penales o administrativas que procedan de conformidad con lo dispuesto en la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública Gubernamental, así como la Ley Federal de Protección de Datos Personales en Posesión de los Particulares.

A t e n t a m e n t e

Nombre y firma del Investigador/a