



**UNIVERSIDAD AUTONOMA
DE AGUASCALIENTES**

CENTRO DE CIENCIAS DE LA SALUD

DEPARTAMENTO DE OPTOMETRIA

TESIS

**EVALUACION DE LA FUNCION VISUAL Y LA MORFOLOGIA
CORNEAL EN MIOPEs TRATADOS CON ORTOQUERATOLOGIA**

PRESENTA

Ana Mariela Jiménez Alcalá

**PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN REHABILITACION VISUAL**

TUTOR

MCO. Ricardo Mosqueda Villalobos

CO-TUTOR

Dr. Luis Fernando Barba Gallardo

Aguascalientes, Ags, 3 Junio del 2021

AUTORIZACIONES



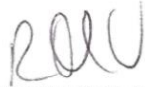
CARTA DE VOTO APROBATORIO TUTORES

DRA. PAULINA ANDRADE LOZANO
ENCARGADA DE DESPACHO
DECANATURA DEL CENTRO DE CIENCIAS DE LA SALUD
P R E S E N T E

Por medio del presente como **TUTOR RICARDO MOSQUEDA VILLALOBOS** y **CO TUTOR LUIS FERNANDO BARBA GALLARDO** designados de la estudiante **ANA MARIELA JIMÉNEZ ALCALÁ** con ID 141332 quien realizó *la tesis* titulado: **EVALUACIÓN DE LA FUNCIÓN VISUAL Y LA MORFOLOGÍA CORNEAL EN MIOPIES TRATADOS CON ORTOQUERATOLOGÍA** un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en el Artículo 175, Apartado II del Reglamento General de Docencia otorgamos el consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que nos permitimos emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que ella pueda proceder a imprimirla así como continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Ponemos lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, le enviamos un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"Se Lumen Proferre"
Aguascalientes, Ags., a día 3 de junio de 2021.



MCO. RICARDO MOSQUEDA VILLALOBOS
TUTOR DE TESIS



DR. LUIS FERNANDO BARBA GALLARDO
CO TUTOR DE TESIS

c.c.p.- Interesado
c.c.p.- Secretaría Técnica del Programa de Posgrado



DICTAMEN DE LIBERACIÓN ACADÉMICA PARA INICIAR LOS TRÁMITES DEL EXAMEN DE GRADO



Fecha de dictaminación dd/mm/aaaa: 03/06/2021

NOMBRE: ANA MARIELA JIMÉNEZ ALCALÁ **ID** 141332

PROGRAMA: MAESTRIA EN REHABILITACION VISUAL **LGAC (del posgrado):** CIENCIAS VISUALES BASICAS Y CLINICAS

TIPO DE TRABAJO: (X) Tesis () Trabajo Práctico

TITULO: EVALUACIÓN DE LA FUNCIÓN VISUAL Y LA MORFOLOGÍA CORNEAL EN MIOPEs TRATADOS CON ORTOQUERATOLOGIA

IMPACTO SOCIAL (señalar el impacto logrado): Contar un referente de cómo afecta la ortoqueratología en la visión periférica

INDICAR	SI	NO	N.A. (NO APLICA)	SEGÚN CORRESPONDA:
<i>Elementos para la revisión académica del trabajo de tesis o trabajo práctico:</i>				
SI				El trabajo es congruente con las LGAC del programa de posgrado
SI				La problemática fue abordada desde un enfoque multidisciplinario
SI				Existe coherencia, continuidad y orden lógico del tema central con cada apartado
SI				Los resultados del trabajo dan respuesta a las preguntas de investigación o a la problemática que aborda
SI				Los resultados presentados en el trabajo son de gran relevancia científica, tecnológica o profesional según el área
SI				El trabajo demuestra más de una aportación original al conocimiento de su área
N.A.				Las aportaciones responden a los problemas prioritarios del país
SI				Generó transferencia del conocimiento o tecnológica
SI				Cumple con la ética para la investigación (reporte de la herramienta antiplagio)
<i>El egresado cumple con lo siguiente:</i>				
SI				Cumple con lo señalado por el Reglamento General de Docencia
SI				Cumple con los requisitos señalados en el plan de estudios (créditos curriculares, optativos, actividades complementarias, estancia, predoctoral, etc)
SI				Cuenta con los votos aprobatorios del comité tutorial, en caso de los posgrados profesionales si tiene solo tutor podrá liberar solo el tutor
N.A.				Cuenta con la carta de satisfacción del Usuario
SI				Coincide con el título y objetivo registrado
SI				Tiene congruencia con cuerpos académicos
N.A.				Tiene el CVU del Conacyt actualizado
N.A.				Tiene el artículo aceptado o publicado y cumple con los requisitos institucionales (en caso que proceda)
<i>En caso de Tesis por artículos científicos publicados</i>				
N.A.				Aceptación o Publicación de los artículos según el nivel del programa
N.A.				El estudiante es el primer autor
N.A.				El autor de correspondencia es el Tutor del Núcleo Académico Básico
N.A.				En los artículos se ven reflejados los objetivos de la tesis, ya que son producto de este trabajo de investigación.
N.A.				Los artículos integran los capítulos de la tesis y se presentan en el idioma en que fueron publicados
N.A.				La aceptación o publicación de los artículos en revistas indexadas de alto impacto

Con base a estos criterios, se autoriza se continúen con los trámites de titulación y programación del examen de grado: Sí No

Elaboró:

* NOMBRE Y FIRMA DEL CONSEJERO SEGÚN LA LGAC DE ADSCRIPCIÓN:

FIRMAS

MCB LUIS HECTOR SALAS HERNANDEZ

NOMBRE Y FIRMA DEL SECRETARIO TÉCNICO:

MCO JAIME BERNAL ESCALANTE

* En caso de conflicto de intereses, firmará un revisor miembro del NAB de la LGAC correspondiente distinto al tutor o miembro del comité tutorial, asignado por el Decano

Revisó:

NOMBRE Y FIRMA DEL SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO:

DR. RICARDO ERNESTO RAMÍREZ OROZCO

Autorizó:

NOMBRE Y FIRMA DEL DECANO:

DRA. PAULINA ANDRADE ROSANO (ENCARGADA DE DESPACHO)

Nota: procede el trámite para el Depto. de Apoyo al Posgrado

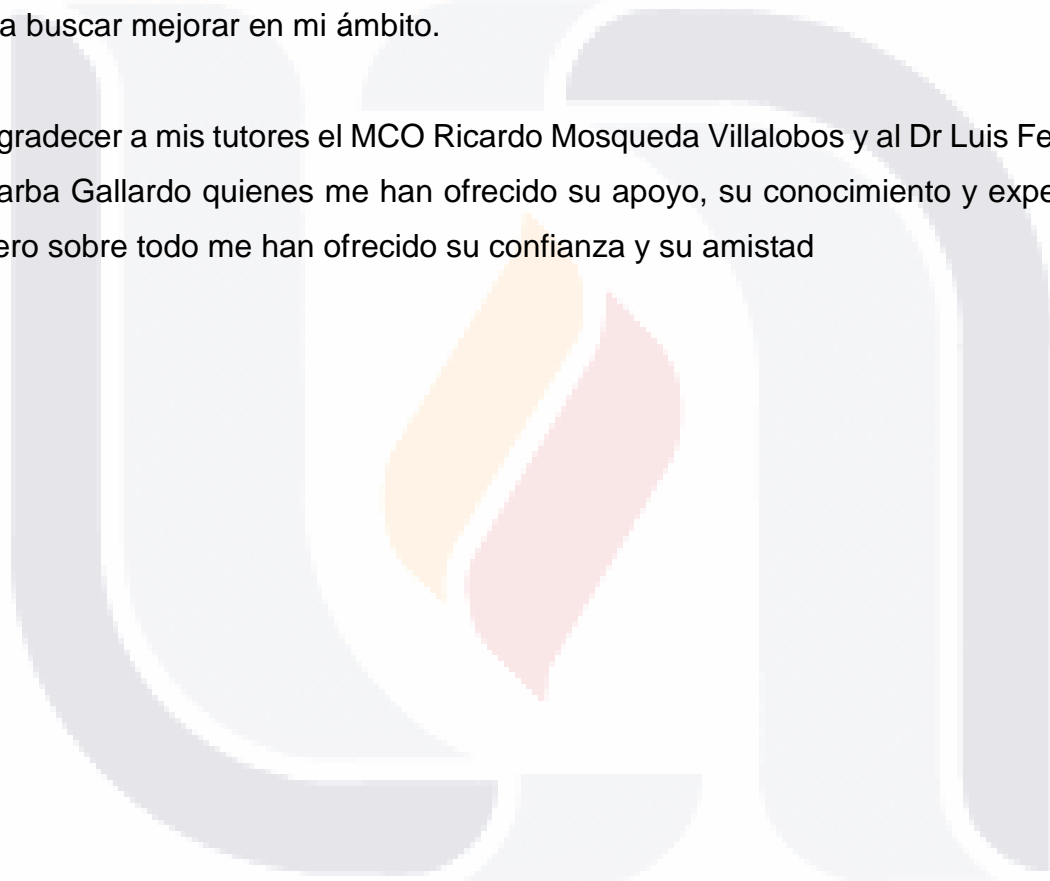
En cumplimiento con el Art. 105C del Reglamento General de Docencia que a la letra señala entre las funciones del Consejo Académico: ... Cuidar la eficiencia terminal del programa de posgrado y el Art. 105F las funciones del Secretario Técnico, llevar el seguimiento de los alumnos.

AGRADECIMIENTOS

Primero agradezco a Dios por darme la dicha de pertenecer a una familia llena de valores y me impulsan a ser mejor cada día.

Agradezco a mis padres por brindarme su apoyo incondicional en el proceso de mi preparación profesional en especial a mi madre que siempre me dio pie a superarme y a buscar mejorar en mi ámbito.

Agradecer a mis tutores el MCO Ricardo Mosqueda Villalobos y al Dr Luis Fernando Barba Gallardo quienes me han ofrecido su apoyo, su conocimiento y experiencia pero sobre todo me han ofrecido su confianza y su amistad



DEDICATORIA:

Este trabajo esta dedicado a JAIME JIMÉNEZ CASTELLANOS mi papá que día a día esta presente en todos mis proyectos; aunque ahora ya no este conmigo siempre sera un ejemplo e inspiración para poder alcanzar mis sueños y nunca darme por vencida.



TABLA DE CONTENIDO

LISTADO DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS Y SIGLAS5

RESUMEN:.....7

ABSTRACT.....8

INTRODUCCION.....10

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA11

JUSTIFICACION.....13

OBJETIVOS15

OBJETIVO GENERAL..... 15

OBJETIVOS ESPECIFICOS:..... 15

MARCO TEÓRICO16

MORFOLOGIA CORNEAL19

EPITELIO..... 21

MEMBRANA DE BOWMAN 21

ESTROMA 21

MEMBRANA DE DESCOMET 22

CAPA DUA..... 22

ENDOTELIO 23

FORMA CORNEAL 25

ASFERICIDAD CORNEAL..... 25

APICE CORNEAL..... 25

TOPOGRAFIA CORNEAL.....27

POLINOMIOS DE ZERNIKE..... 30

ABERRACION OPTICA 34

ABERRACION OCULAR..... 34

ABERRACION ESFERICA..... 34

ABERRACION COMA HORIZONTAL Y VERTICAL 36

RAIZ CUADRATICO MEDIO (RMS) 37

EXCENRICIDAD.....37

VALORES DE EXCENRICIDAD DE LAS SECCIONES CONICAS..... 37

MEDIDAS DE ASFERICIDAD 38

GEOMETRIA DE LA ANATOMIA CORNEAL	38
VALOR DE EXCENTRICIDAD DE LA CORNEA HUMANA	39
<i>METODOLOGIA</i>.....	40
<i>CRITERIOS:</i>.....	41
INCLUSION.....	41
EXCLUSION.....	41
ELIMINACION.....	42
<i>VARIABLES</i>	42
<i>MATERIALES</i>.....	43
<i>PROCEDIMIENTO</i>.....	45
RESULTADOS:.....	46
POLINOMIOS DE ZERNIKE.....	51
ANALISIS DESCRIPTIVO E INFERENCIAL DE LAS VARIABLES RMS,ABERRACIONES DE ALTO Y BAJO ORDEN, CAMPIMETRIAS	52
<i>DISCUSION</i>.....	74
<i>CONCLUSIONES</i>.....	82
<i>BIBLIOGRAFIA</i>.....	84

INDICE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1. Lente CRT Paragon</i>	7
<i>Ilustración 2. CRT Lens Paragon</i>	9
<i>Ilustración 3 Lente de Ortoqueratología sobre córnea</i>	10
<i>Ilustración 4 Capas de la córnea</i>	20
<i>Ilustración 5 Examen de paquimetría corneal</i>	24
<i>Ilustración 6 Forma corneal tomada OCT cirrus 5000</i>	24
<i>Ilustración 7 Tabla de las principales aberraciones de onda en uno de los sujetos de estudio,</i>	29
<i>Ilustración 8 Pirámide de los Polinomios de Zernike</i>	31
<i>Ilustración 9 Principales aberraciones de alto orden</i>	33
<i>Ilustración 10 Simulación de los efectos de las aberraciones,</i>	33
<i>Ilustración 11 Aberración ocular, Elaboración propia</i>	34
<i>Ilustración 12 Aberraciones globales del Ojo,</i>	34
<i>Ilustración 13 Aberración esférica y su efecto en la visión</i>	35
<i>Ilustración 14 Aberración coma,</i>	36
<i>Ilustración 15 Forma corneal Proporcionada por IACLE</i>	39
<i>Ilustración 16 Incremento del Diámetro Pupilar aumenta de manera proporcional en las aberraciones</i>	40
<i>Ilustración 17 Frente de onda, Topografo Zeiss,</i>	44
<i>Ilustración 18 MTF, Sensibilidad al contraste, topografo Zeiss,</i>	45
<i>Ilustración 19 Mapa tangencial, después de 15 días de uso de tratamiento OK</i>	47
<i>Ilustración 20 Mapa tangencial, antes de usar tratamiento de OK</i>	47
<i>Ilustración 21 Paquimetría mediante OCT se utiliza este tipo de análisis paquimétrico para la obtencion de datos</i>	48
<i>Ilustración 22 Diametro pupilar ,</i>	50

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Rango de normalidad vs anormalidad de las aberraciones de alto orden que más comprometen la calidad visual 32

Tabla 2 Valor estimado de la Agudeza Visual en relación a RMS 37

Tabla 3 Geometría de la anatomía corneal..... 38

Tabla 4 Variables 42

Tabla 5 Sexi de los sujetos 46

Tabla 6 Valores de Diámetro Pupilar 50

Tabla 7 Media y Desviación estándar de las aberraciones de bajo orden 51

Tabla 8 Media y Desviación estandar de las aberraciones de alto orden 51

Tabla 9 Analisis de los polinomios de Zernike,se observan los 3 momentos de obtención de datos de uno de los sujetos. 52

Tabla 10 Cambios en la RMS ho 53

Tabla 11 Cambios en la RMS total..... 54

Tabla 12 Cambios en la aberración de bajo orden 2,-2 55

Tabla 13 Cambios en la aberración de bajo orden 2,2 t..... 56

Tabla 14 Cambios en la aberración de alto orden 3,-3 t 57

Tabla 15 Cambios en la aberración de alto orden 3,-1 58

Tabla 16 Cambios en la aberración de alto orden 3,1 t..... 59

Tabla 17 Cambios en la aberración de alto orden 3,3..... 60

Tabla 18 Cambios en la aberración de alto orden 4,-4 t 61

Tabla 19 Cambios en la aberración de alto orden 4,-2 62

Tabla 20 Cambios en la aberración de alto orden esférica 4,0 63

Tabla 21 Cambios en la aberración de alto orden 4,2..... 64

Tabla 22 Cambios en la aberración de alto orden 4,4 t..... 65

Tabla 23Cambios en campimetría nasal, os 66

Tabla 24Cambios en campimetría temporal, 67

Tabla 25Cambios en campimetría superior, e,..... 68

Tabla 26 Cambios en campimetría inferior, s..... 70

Tabla 27 ANOVA y valor de P de las campimetrías nasales 71

Tabla 28 ANOVA y valor de P de las Campimetrías temporales 72

Tabla 29 ANOVA y valor de P de las campimetrías superiores 73

Tabla 30 ANOVA y valor de P de las campimetrías inferiores 74

Tabla 31Comparativa de los espesores corneales a lo largo del tiempo por grupo y localización de la córnea..... 77

Tabla 32 Comparativa de los parámetros de las estructuras corneales(espesor de las capas corneales 78

LISTADO DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS Y SIGLAS

AB Aberración

AV Agudeza visual.

cm Centímetros.

CRT Corneal Refractive Therapy, tipo de lentes de ortoqueratología comercializadas con el nombre Paragon CRT.

D Dioptrías.

dB Decibeles

Dm Diámetro.

LC Lentes de contacto.

mm² Milímetros cuadrados.

MTF Modulación Función de transferencia de Modulación

µm Micras.

OCT Tomografía de Optica coherente

OD Ojos derechos.

OI Ojos izquierdos.

OK Ortoqueratología.

RGP Rígidas permeables a los gases.

RMS raíz cuadrático media, RMS HO raíz cuadratica media alto orden, Rms total, raíz cuadratica media total

Rx, Refracción

SC sensibilidad al contraste

o Grados.

2,-2 Aberración astigmatismo oblicuo

2,0 Aberración astigmatismo *defocus*

2,2 Aberración astigmatismo

3,-3 Aberración trébol Oblicuo (*trefoil*)

3,-1 Aberración coma vertical

3,1 Aberración coma horizontla

- 3,3 Aberración trébol horizontal (*trefoil*)
- 4,-4 Aberración cuadrática oblicuo (*quadrafoil*)
- 4,-2 2do Astigmatismo oblicuo
- 4,0 Aberración esférica
- 4,2 2do Astigmatismo
- 4,4 Aberración cuadrática horizontal (*quadrafoil*)



RESUMEN:

La aplicación de lentes para ortoqueratología nocturna (Corneal Refractive Therapy, CRT) en pacientes miopes es un procedimiento relativamente novedoso en nuestro país, es fundamental que como profesional de salud visual se tenga el conocimiento de vanguardia para hacer su correcto uso en los pacientes que son adaptados con este tipo de lente.

La Ortoqueratología es un procedimiento para reducir la miopía reversible lo que hace esta técnica aún mas interesante, esta basado en la adaptación de lentes de contacto rígidos de tipo geometría inversa, el cual al colocarlos sobre el tejido corneal se aplica una presión hidraulica sobre la cornea (EPITELIO) y generando el 90 % de moldeo en el epitelio corneal. Esta presión se realiza de manera positiva en el centro corneal, y de manera negativa en la media periferica para expandir la zona de reserva



Ilustración 1. Lente CRT Paragon

Dicho procedimiento tiene su origen en la técnica Orthofocus en los años sesenta descrita por Jessen. Este tipo de técnica surgió al observar que pacientes usuarios de lentes de contacto rígidas PMMA presentaban una mejora de la AV después del uso de los mismos, posteriormente en los años 90 se empieza a describir dichos

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

cambios y en el año 2000 se empieza a difundir dicha terapia utilizando las bases que fueron descritas en los años sesenta.

En la presente tesis se presentan los cambios corneales y funcionales realizados en las diferentes adaptaciones de lentes de contacto de Ortoqueratología nocturna de la marca Paragon (Corneal Refractive Therapy, CRT) que se realiza con el apoyo de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), en las instalaciones de la Unidad de Diagnóstico Visual de la Escuela Nacional de Estudios Superiores en la ciudad de León Guanajuato y después de realizar para poder observar todos estos cambios.

Es indispensable que como profesionales de la salud visual al estar adaptando esta técnica se tenga previo conocimiento de todos los cambios morfológicos y funcionales que se pueda llegar a provocar en el globo ocular de nuestros pacientes. Ya que en nuestro país existe poca información de este tipo de cambios con el tratamiento de ortoqueratología avanzada¹⁵

ABSTRACT

The application of lenses for nocturnal orthokeratology (Corneal Refractive Therapy, CRT) in myopic patients is a relatively new procedure in our country, it is essential that as a visual health professional have the avant-garde knowledge to make its correct use in patients who are adapted with this type of lens.

Orthokeratology is a procedure to reduce reversible myopia which makes this technique even more interesting, it is based on the adaptation of rigid contact lenses of the inverse geometry type, which when placed on the corneal tissue, a hydraulic pressure is applied on the cornea. (EPITHELIUM) and generating 90% molding in the corneal epithelium. This pressure is done positively in the corneal center, and negatively in the peripheral media to expand.

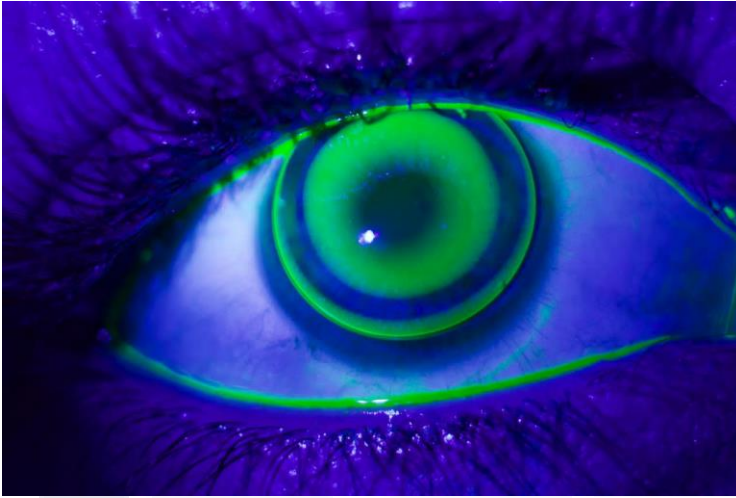


Ilustración 2. CRT Lens Paragon

This procedure has its origin in the Orthofocus technique in the sixties described by Jessen. This type of technique arose from observing that patients using rigid PMMA contact lenses presented an improvement in VA after their use, later in the 90s these changes began to be described and in 2000 this began to spread. therapy using the bases that were described in the sixties.

This thesis presents the corneal and functional changes made in the different adaptations of nocturnal orthokeratology contact lenses of the Paragon brand (Corneal Refractive Therapy, CRT) that were carried out with the support of the National Autonomous University of Mexico (UNAM), in the facilities of the Visual Diagnosis Unit of the National School of Higher Studies in the city of León Guanajuato to observe all these changes.

It is essential that as visual health professionals, when adapting this technique, we have prior knowledge of all the morphological and functional changes that may be caused in the eyeball of our patients.

In our country there is little information on this type of changes with advanced orthokeratology treatment

INTRODUCCION

La ortoqueratología avanzada es un procedimiento clínico en el cual, por medio de un método de moldeo se modifica la forma anterior corneal, cambiando así su estado refractivo en favor de la visión lejana del paciente, y esto es, en base de una adaptación programada de lentes de contacto de tipo geometría inversa que aplican una presión hidráulica sobre el epitelio corneal. Este cambio se realiza en un 90% sobre el epitelio corneal. La ortoqueratología avanzada produce un desenfoque periférico lo que a su vez provoca una disminución del crecimiento del eje axial, y produce una disminución en la evolución de la miopía.

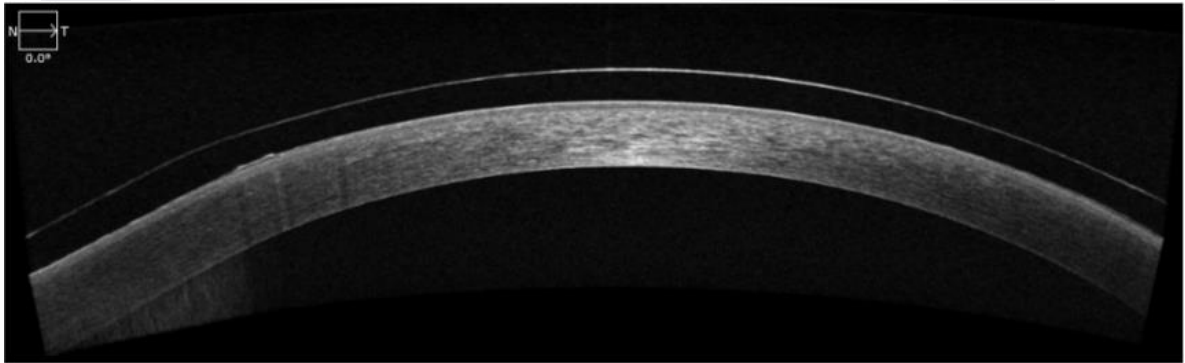


Ilustración 3. Lente de Ortoqueratología sobre córnea. Adquisición Propia

Para poder corregir la miopía por medio de la ortoqueratología, se aplanan el centro de la cornea para inducir un aplanamiento reversible en el grosor epitelial. La capa epitelial central se adelgaza y la potencia de la superficie central de la córnea disminuye de 4 a 5mm. La zona paracentral (de 1.5 a 2.0mm) o zona de transición que rodea la zona central aumenta en curvatura en relación directa con la cantidad de aplanamiento central necesario para corregir el error refractivo (miopía) del paciente.

Se estima que para el año 2025 prácticamente 90 por ciento de la población joven en México las personas que realizan actividades de visión cercana, incluyendo niños, tendrán una de esas condiciones; de ese porcentaje, cerca del 70 por ciento

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

tendrá miopía, debido básicamente al incremento en el uso de aparatos electrónicos y dispositivos móviles. Cada vez mas personas optan por esta tecnica (ortoqueratologia), con la finalidad de ver bien sin anteojos, y evitar asi la cirugia LASIK.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La forma corneal se asemeja a una elipse prolata (aplanamiento de la curva lejos del vértice). Con la ortoqueratología se aumenta el radio de curvatura del vertice y hace que la elipse se aleje de su vertice lo que lleva a formar una elipse oblata. Estas modificaciones producidas por la ortoqueratologia ayuda a corregir el defecto refractivo miopico pero resultan en aumentos dramaticos en los diferentes tipos de aberraciones axiales de orden superior; como lo es en la aberración esferica.

Los diámetros grandes de pupila se asocian con un mayor efecto de control, ya que el área retianana que se expone al desenfoque miope es mas grande. Este efecto es consecuencia del aumento periferico en la curvatura corneal inducida por estos tratamientos, y se espera que varie según el area que se aplanan por la zona de tratamiento del cristalino; tambien el tamaño mas grande de pupila puede cambiar el patron de refraccion periferica relativa, por eso el tamaño de pupila puede contribuir para mejorar la comprension de los principios de eficacia y funcionamiento de tales tratamientos

El ojo posee una serie especifica de aberraciones ópticas que llegan a afectar la calidad óptica. Las aberraciones de bajo orden representan aproximadamente el 90% de las aberraciones totales del ojo, mientras que las aberraciones de alto orden pueden llegar a causar síntomas molestos en la visión, como visión doble, deslumbramiento, halos, visión borrosa y problemas de visión nocturna. Existen numerosas aberraciones de alto orden, de las cuales solo la aberración esférica, el coma y el trébol son de interés clínico.

La sensibilidad al contraste podría disminuir debido a ciertas enfermedades oculares y también se puede ver afectada en el uso de Ortoqueratología nocturna.

Recientes estudios han demostrado que la ortoqueratología nocturna en adultos aumenta la irregularidad corneal y las aberraciones oculares de alto orden, y que estas a su vez deterioran la función de sensibilidad al contraste del ojo.

Sin embargo, existe poca información sobre el uso de Ortoqueratología en nuestro país.

Joslin et al.¹ han demostrado que las aberraciones axiales de orden superior aumentaron 2.5 veces en una pupila de 6 mm después de 1 mes de tratamiento, con aberración esférica y coma horizontal aumentando en cinco y siete veces, respectivamente.

Berntsen et al.² encontraron un aumento de cinco veces en la aberración esférica y dos veces mayor en las aberraciones de raíz cuadrática media de orden superior para las pupilas de 5 mm después de 1 mes de tratamiento. Las pérdidas en la agudeza de bajo contraste y la sensibilidad al contraste se atribuyeron a los altos niveles de aberración esférica producida por la ortoqueratología.²

De acuerdo con estudios longitudinales de ortoqueratología en niños miopes, de las aberraciones esféricas y de coma se asociaron con un alargamiento axial más lento con relación a los polinomios de Zernike ^{5,6}.

Lau et al.⁵ mostraron que la aberración esférica más positiva y el trébol vertical, y el trébol menos horizontal, se asociaron con un alargamiento axial más lento, mientras que Hiraoka et al.⁶ informaron una tendencia similar para la aberración esférica y el alargamiento axial, pero solo observaron una correlación significativa con el coma, no con el trébol. Por eso es de gran interés estudiar todos los cambios inducidos en la estructura corneal ya que las aberraciones de alto orden en niños se relacionan con el alargamiento axial y esto puede ayudar a tener una mayor comprensión de la forma en la que actúa la ortoqueratología avanzada en cualquier tipo de pacientes que utilicen esta técnica.

Los cambios de aberración inducidos por la ortoqueratología no se limitan a la visión axial. Charman et al. informaron los efectos de la ortoqueratología en la refracción periférica a $\pm 34^\circ$ a lo largo del campo visual horizontal para cuatro sujetos, descubriendo que la miopía se corrigió dentro de $\pm 10^\circ$ del campo visual central, pero produjo solo cambios menores en los ángulos del campo visual más grandes de 30° ³

En un estudio reciente realizado en USA llamado Ampliación de la profundidad de enfoque mediante la modificación de aberraciones de orden superior inducidas por un simulador visual de óptica adaptativa, nos menciona sobre una simulación de aberración esférica positiva o negativa tuvo el efecto de mejorar la profundidad de enfoque y resultó en un desplazamiento lineal del centro de enfoque en 2,6 dioptrías (D) / mm de error. Este aumento en la profundidad de enfoque alcanzó un máximo de aproximadamente 2,0 D con 0,6 mm de aberración esférica y se hizo más pequeño cuando la aberración se incrementó a 0,9 mm. El trébol y el coma no parecían cambiar el centro de enfoque ni modificar significativamente la profundidad de enfoque, y en este mismo nos menciona que la cantidad para que no haya pérdida de visión es de 0.56 micras

El presente trabajo describe la relación de los cambios estructurales del ojo, al utilizar ortoqueratología avanzada, utilizando tecnología de punta para obtener estos datos.

Partiendo de la pregunta de investigación ¿Cuáles son los cambios importantes que se deben tomar en cuenta a nivel estructural y sensorial al hacer una adaptación de ORTOQUERATOLOGIA AVANZADA?

JUSTIFICACION

La necesidad global de la corrección de la visión ha creado la invención de nuevas tecnologías para la misma, éste es el caso de la ortoqueratología, que poco a poco

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

ha ido teniendo mas aceptación entre la población en general, gracias a los avances y los resultados que brinda esta técnica, sin embargo, no debemos solo enfocarnos que el paciente vea 20/20, sino que también se debe evaluar como puede llegar a alterar a el campo visual del paciente, las aberraciones que ésta puede llegar a inducir, los cambios que se llegan a tener en la sensibilidad al contraste de un paciente adaptado con un lente de ortoqueratología y como esto puede llegar a relacionarse con la posición del lente sobre la cornea; y así analizar como las diferentes zonas del lente pueden o no afectar, el éxito de la adaptación.

Hoy en día tenemos la obligación de ofrecerle al paciente la seguridad total de nuestros tratamientos, sin tener sesgos de las afectaciones que estos podrían tener, es por ello que al tener esta técnica tan novedosa se tiene que indagar mas en todos los cambios que esto implica, tanto en el moldeado de la cornea, y si el campo visual continúa siendo el mismo o existe alguna restricción por la zona de reservorio lagrimal que se crea con el lente de ortoqueratología.

Es de gran importancia conocer todos los cambios que presenta un paciente con la ortoqueratología; así como se obtiene la refracción de cada paciente y como ésta va cambiando en el paso de los años, de igual manera debemos de integrar la información de todas las modificaciones que se realizan en el epitelio corneal y como estas repercuten o no en la interpretación de la visión en el campo visual y la sensibilidad al contraste.

Al no evaluar todos los cambios que sufre la córnea en cada adaptación de lente de contacto para ortoqueratología, son muchos los datos que se pierden y que pueden ser comparados o correlacionados con este tipo de tratamiento, por lo que se tienen que valorar a fondo los cambios que ocurren a nivel epitelial y neuronal para conocer con certeza las ventajas y desventajas de la ortoqueratología y su aportación en la parte sensorial de la visión. Esta investigación pretende evaluar las condiciones epiteliales, sensibilidad al contraste y de campo visual en los pacientes que se van a someter a un tratamiento de ortoqueratología para corregir su ametropía antes, durante y después del tratamiento.

El conocer los cambios de la visión en pacientes tratados con ortoqueratología nos ayuda a comprender como tener mayor éxito en el uso de este tratamiento para el control de miopía, ya que, al contar con los datos de todos los cambios en epitelio corneal, se puede ofrecer al paciente una mayor seguridad en el uso del tratamiento, además de que el paciente pueda ver claro sin sus lentes. Son pocos los casos en los que se evalúa la totalidad de cambios que ocurre en epitelio corneal y su correlación con la sensibilidad al contraste y el campo visual del paciente tratado con ortoqueratología; en consecuencia, de que no se cuenta con este tipo de aparatos en la mayoría de los consultorios de Optometría debido al alto costo en ellos y por lo tanto no se realiza en la mayoría de este tipo de pacientes. La mayor parte de los profesionales de la salud visual solo se limita a la corrección del estado refractivo y la adaptación de ayudas ópticas. El presente trabajo pretende crear un protocolo de la evaluación del epitelio corneal y su correlación con la sensibilidad al contraste y el campo visual de los pacientes que se someten a este tipo de tratamiento (Ortoqueratología).

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el campo visual, aberración corneal y sensibilidad al contraste, respecto al diámetro pupilar en pacientes que son tratados con ortoqueratología nocturna acelerada

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

1. Medir la amplitud de las zonas central, de reserva y media periferia en pacientes miopes previos a la adaptación de lentes de contacto para tratamiento con ortoqueratología avanzada.

2. Medir la amplitud de las zonas central, de reserva y media periferia en pacientes miopes 24 horas posteriores a la adaptación del tratamiento de ortoqueratología nocturna .
3. Analizar los cambios en el campo visual, sensibilidad al contraste, aberración corneal respecto al diámetro pupilar del paciente antes y después de la colocación del lente de ortoqueratología avanzada

MARCO TEÓRICO

Desde 1975 se tiene la idea de que las lentes de contacto pueden participar en la desaceleración de la progresión de la miopía con el descubrimiento de que los lentes de contacto rígidos pueden desacelerar la progresión en comparación con las lentes oftálmicas, pero no como lo hace la atropina.⁴⁹

Un estudio de la década de los 90s encontró que el uso diurno de lentes de contacto rígidos gas permeable (RGP) disminuyó la progresión de la miopía en comparación de los lentes oftálmicos; se encontró aplanamiento corneal con el uso de lentes rígidas pero el cambio de potencia refractiva atribuible no explico una diferencia significativa en la progresión entre el uso de lentes de contacto rígidos y lentes oftálmicos. Este hallazgo no fue respaldado ya que no se encontró diferencia en la progresión en pacientes que usan lentes de contacto rígidos frente a lentes oftálmicos.^{50,51}

Posteriormente se encontraron pruebas mas solidas en el uso de lentes de contacto multifocal blandos para retrasar la progresión de la miopía. Una de las modalidades mas efectivas para reducir la miopía después de la ortoqueratología y la atropina.^{57,58,}

Además en relación con la posición de corrección, las lentes de contacto blandas son superiores a los lentes oftalmicos porque las lentes de contacto se acoplan al movimiento del ojo.^{57,58}

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

En varios estudios en niños, el uso de las lentes de contacto blandas en comparación con los lentes oftálmicos no produce un cambio en la progresión de la miopía.⁵³⁻⁵⁸

La ortoqueratología (orto-k) cambia la refracción ocular mediante la aplicación programada de lentes de contacto rígidas permeables al gas de geometría inversa. Para corregir la miopía, la córnea central se aplanar para inducir un cambio reversible en el perfil del grosor epitelial. La capa epitelial central se adelgaza y la potencia corneal de la superficie frontal disminuye sobre la zona central central de 4 a 5 mm. La zona paracentral (zona de transición) de 1.5 a 2.0 mm que rodea la zona central aumenta en curvatura, en una relación directa con la cantidad de aplanamiento central necesario para corregir el error de refracción miope.⁹

Durante la última década, los informes de investigación sistemática, incluidos los ensayos clínicos aleatorizados y controlados, confirmaron que la ortoqueratología reduce la tasa de aumento de la longitud axial en un 40 a 60% en los niños en comparación con los lentes de visión única o las lentes de contacto.¹⁰ Ortoqueratología es una de las estrategias ópticas más efectivas para el control de la miopía y actualmente es la modalidad con el mayor volumen de evidencia acumulada relacionada con la eficacia para regular la progresión de la miopía en los niños^{19,20}.

La forma corneal a menudo se describe como una elipse prolata (aplanamiento de la curva lejos de su vértice). La ortoqueratología aumenta el radio de curvatura del vértice y hace que la elipse se aleje de su vértice (elipse oblato).¹² Estos cambios en la forma corneal corrigen la miopía de baja a moderada, pero resultan en aumentos dramáticos en las aberraciones axiales de orden superior, particularmente la aberración esférica.^{23 – 25}

Para la corrección de la miopía la cornea central se aplanar para lograr la reducción deseada en el poder de la superficie corneal anterior, mientras que la cornea

periférica media se inclina ^{19,20} como resultado de la redistribución del grosor epitelial desde el centro ²¹. Este tratamiento deteriora la calidad de visión ²²⁻²⁵ y se ha demostrado que tales cambios dependen del tamaño de la pupila¹⁷ y están fuertemente afectados por la cantidad de error de refracción que se corrige ²⁷

En varios casos los pacientes que utilizan ortoqueratología se han quejado de la percepción de fenómenos disfotópicos en forma de halos, efecto fantasma o resplandor, los cuales son mas intensos al comienzo del tratamiento y disminuyen con el tiempo. ^{28, 29}

Joslin et al.¹⁶ encontraron que las aberraciones axiales de orden superior aumentaron 2.5 veces para una pupila de 6 mm después de 1 mes de tratamiento, con aberración esférica y coma horizontal aumentando en cinco y siete veces, respectivamente. Berntsen et al.¹⁵ encontraron un aumento de cinco veces en la aberración esférica y dos veces mayor en las aberraciones de raíz cuadrática media de orden superior para las pupilas de 5 mm después de 1 mes de tratamiento. Las pérdidas en la agudeza de bajo contraste¹⁵ y la sensibilidad al contraste^{17,18} se atribuyeron a los altos niveles de aberración esférica producida por la ortoqueratología.

El aumento de las aberraciones de orden superior que llegan a afectar la calidad visual son las causas principales del bajo rendimiento visual después de las cirugías con la cirugía laser y PRK^{67,68}; ya que buscan corregir los problemas refractivos mediante una modificación quirúrgica de la forma corneal y así producir una cornea mas plana u oblata no fisiológica, de similar manera, la ortoqueratología crea una cornea mas plana u oblata con un área central plana y su potencia creciente a la periferia.^{15,}

Los cambios de aberración inducidos por la ortoqueratología no se limitan a la visión axial. Charman et al.³⁰ informaron los efectos de la ortoqueratología en la refracción periférica a +/-34 ° a lo largo del campo visual horizontal para cuatro sujetos, descubriendo que la miopía se corrigió dentro de +/-10 ° del campo visual central, pero solo produjo cambios menores en los ángulos del campo visual más grandes

de 30 °. El tratamiento fue efectivo para eliminar la hipermetropía periférica relativa de los sujetos. Esto es interesante porque se sospecha que la hipermetropía periférica relativa desempeña un papel en el desarrollo de la miopía.^{31,32}

Recientemente, se encontró una asociación³³ entre el tamaño de la pupila y el efecto de control de la miopía en los ojos tratados con ortoqueratología. Los diámetros de pupila más grandes se asociaron con un mayor efecto de control, hipotéticamente como resultado de un área retiniana más grande expuesta al desenfoque miope periférico. Este efecto puede venir como consecuencia del aumento periférico en la curvatura corneal inducida por estos tratamientos, y se espera que varíe según el área de la córnea aplanada por la zona de tratamiento del cristalino. Sin embargo, un tamaño de pupila más grande también puede cambiar el patrón de refracción periférica relativa, ya sea esfera o cilindro, y contribuir a la diferencia en los efectos de regulación encontrados. Por lo tanto, la evaluación teórica del efecto del tamaño de la pupila sobre las propiedades efectivas de enfoque óptico del ojo parece ser relevante para mejorar nuestra comprensión de los principios de funcionamiento y la eficacia de tales tratamientos.

Por lo tanto este estudio esta enfocado en detallar los cambios que existen a nivel epitelial, y medir detalladamente las zonas de aplanación, reservorio y de aterrizaje del lente, y ver como estos parámetros influyen a nivel sensorial.

MORFOLOGIA CORNEAL

Es un tejido conectivo transparente y es avascular, es la estructura con el mayor poder dioptrico en el ojo,

La córnea consta de seis capas: epitelio, capa de Bowman, estroma, membrana de Descemet, capa Dua y endotelio.

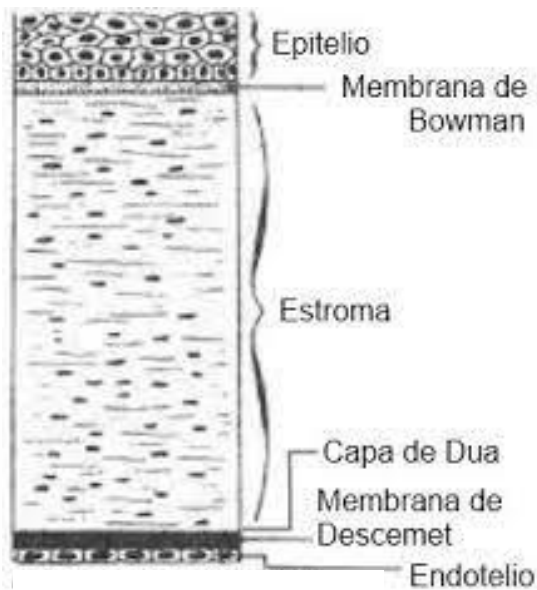


Ilustración 4. Capas de la córnea

La córnea es alimentada por la lágrima que cubre su superficie anterior y por el humor acuoso que baña su superficie posterior

La córnea de un humano adulto mide 11 a 12 mm en su diámetro horizontal y 9 a 11 mm en el vertical. El promedio de la DHIV (Distancia Horizontal Iris Visible) es de 11.7mm y 10.6mm

Su espesor es de 0.5mm en el centro y se incrementa gradualmente hacia la periferia donde alcanza hasta 0.7mm.

Valores normales del espesor corneal, elaboración propia

ESPESOR CORNEAL		
MEDIA 550 micras		
CENTRAL:	0.55	a
	0.57mm	
PERIFERIA:	0.66-0.76	
	mm	

Al utilizar la técnica de moldeo de ortoqueratología nocturna el 90% se hace en el epitelio

EPITELIO

El epitelio corneal es tejido escamoso, estratificado y no queratinizado y lo ubicamos en la parte mas anterior de la córnea; mide unas 53 micras de grosor y representa un aproximado del 10% del total del espesor corneal. Esta conformado de 4 a 6 capas de células que se encuentran acomodadas una encima de otras conociendolas como células columnares de tres tipos: basales intermedias y superficiales.⁶⁹

Como cualquier otro epitelio en el cuerpo, esta en constante renovación de sus capas. La proliferación de las células basales dan como resultado la renovación de este tejido.⁶⁹

MEMBRANA DE BOWMAN

No esta considerada una membrana como tal, ya que es el lugar de unión de las fibras de colágenos y proteoglicanos. Mide cerca de 15 micras de espesor, y actua como una barrera molecular que contribuye a la forma de la córnea⁷⁰; facilita la cicatrización rápida de las lesiones que suceden en el estroma y la restauracion de la inervacion del epitelio al momento de sufrir un traumatismo.⁷¹

ESTROMA

Aproximadamente representa un 90% de la estructura corneal y esta compuesto por 3 componentes no acuosos: colágeno, proteoglicanos y células; Proporciona un soporte mecanico y contiene propiedades biofisiologicas que son requeridas para la transparencia corneal.⁷²

Contiene fibrillas de colageno de un diámetro de aproximadamente 25 nanometros, son mas estrechas que en cualquier otro tejido conectivo del cuerpo.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Este factor es muy importante para la transparencia corneal. Las fibrillas de colágeno suponen el 70% del estroma y se distribuyen en unas 300 capas (lamelas) paralelas en la superficie corneal central y unas 500 en las zonas adyacentes al limbo.⁷³

Esta estructura permite una resistencia mayor a fuerza de tracción debidas a la presión intraocular y una mayor protección de los tejidos intraoculares de los traumas externos⁷⁴

MEMBRANA DE DESCOMET

Su espesor es cerca de 3 micras al nacer y un poco superior a 10 micras en la edad adulta; junto con al membrana de bowman representa cerca del 4% del espesor de la cornea.⁷⁹

Se compone de colágeno tipo IV Y VIII⁸⁰ Es una lámina compacta de biomoléculas; proteínas y glicosaminoglicanos

La función principal es la de distribuir de manera uniforme la tensión ocular a lo largo de los tejidos e impedir deformaciones

CAPA DUA.

Se descubrió recientemente, mide unas 15 micras de espesor y se describe como una capa acelular, delgada y firme de colágeno corneal. Se encuentra de manera anterior junto a la membrana de descemet; en recientes estudios se ha demostrado que esta capa resiste hasta 2 bares de presión, si esta capa se daña puede tener repercusión en la compresión biomecánica de la córnea, en la cirugía de cornea posterior así como en patologías que afectan principalmente esta zona como lo es las distrofias pre-Descemet, Dermatocele, Hidropesía aguda⁷⁶

ENDOTELIO

Capa mas posterior de la córnea, tiene un rol importante en el mantenimiento de la transparencia corneal y la regulación de la hidratación corneal.

Esta en contacto directo con el humor acuoso y cámara anterior del ojo 53; esta constituido por una monocapa continua de células (de forma hexagonal)

La densidad celular en niños es aproximadamente de 3500 a 4000 celulas por mm². Hay 390000 a 520000 de células en una cornea joven; este valor disminuye con la edad ^{75,76} y depende de la raza.⁷⁷

Al disminuir el numero de celulas las celulas van perdiendo progresivamente su forma hexagonal para cubrir los huecos de las otras celulas.

La pérdida de las células endoteliales llegan a inducir un edema estromal y/o epitelial, valores por debajo de las 400 a 500 células por mm² afectan la actividad de bombeo endotelial y por ende se ve comprometida la transparencia corneal ⁷⁸

El examen con el que podemos obtener el grosor exacto corneal se conoce como Paquimetría corneal, nos mapea la córnea y nos ofrece una escala de colores en el cual los colores cálidos (rojo, naranja) nos refiere un adelgazamiento corneal y los colores fríos (diferentes tonos de azul) para facilitar la comprensión de esta prueba.

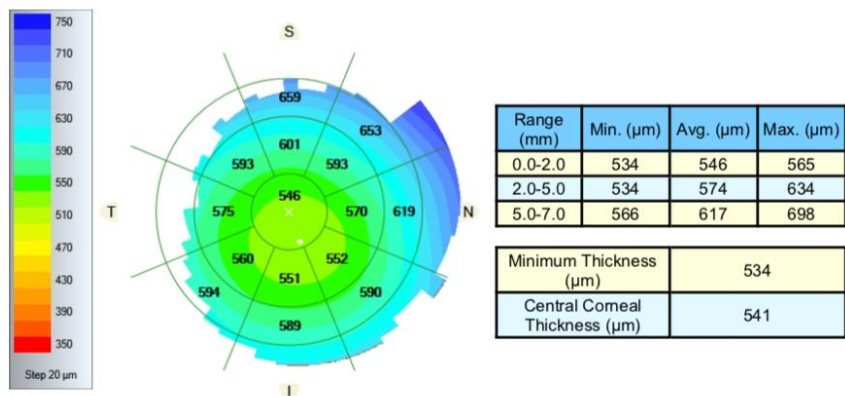


Ilustración 5. Examen de paquimetría corneal realizado en OCT Cirrus 5000, Adquisición propia

La forma de la superficie anterior es convexa siendo su curvatura mayor en la periferia que en el centro (geometría esférica). El radio de curvatura ronda aproximadamente 7.5 a 8.00 mm en el área central de la córnea (3 mm) donde la superficie es casi esférica. El centro de la curvatura no es un valor fijo debido al movimiento ocular y el valor varía en medidas repetidas.

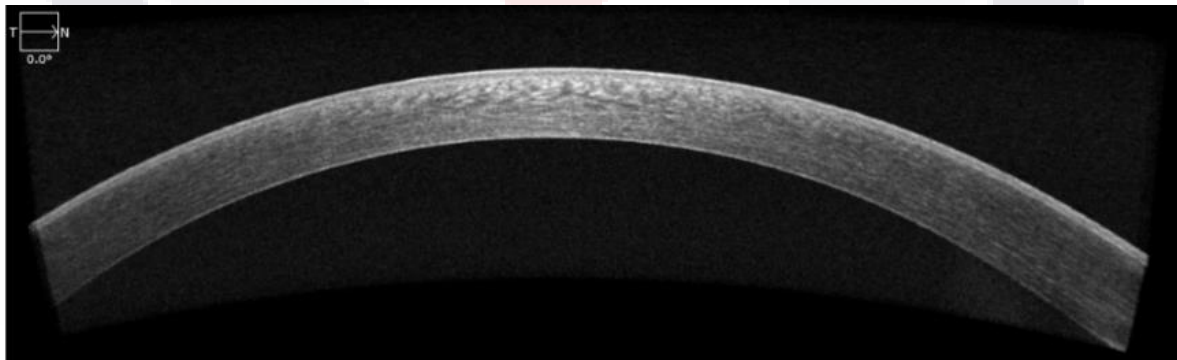


Ilustración 6. Forma corneal tomada OCT cirrus 5000 Adquisición propia

La córnea debe estar suminastrada por oxígeno para su transparencia y esto lo hace por medio de la atmósfera y por los vasos de la conjuntiva palpebral; esto es de vital importancia para que la córnea mantenga su integridad y se pueda llegar a

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

tener una adaptación exitosa de los lentes de contacto, éstos deben permitir el paso de oxígeno mínimo que la córnea requiere (Ballesteros, 2012 U, de la Salle)

Con la OK se redistribuyen las células epiteliales, de forma que la córnea central queda aplanada se menciona que el aplanamiento que realiza el lente paragon CRT (corneal refractive therapy) solo actúa en la porción superficial del epitelio y éste mismo no afecta a las láminas del estroma corneal. (Fernández, 2006).

FORMA CORNEAL

Asfericidad: Es una medida de la desviación de la curvatura de la superficie periférica a la curvatura del radio apical

ASFERICIDAD CORNEAL

La cornea es una superficie esférica ya que posee una periferia elipsoidal y ésta no necesariamente es simétrica

APICE CORNEAL

El ápice corneal es descrito con el punto de máxima curvatura o radio mas pequeño. Algún punto alejado tomado de la región periférica corneal tendrá un radio mayor de curvatura que el radio del ápice corneal.

Su potencia refractiva se sitúa en aproximadamente +43.05 D de poder, dividiendo su poder refractivo en cara anterior con un valor de +48.00 D y en cara posterior con el valor de -5.00 D. dioptrías y constituye las dos terceras partes del total de la potencia refractiva del ojo Nishida 1997. El índice de refracción de la córnea es de 1.376

Índices de refracción de las principales capas corneales, elaboración propia

INDICE DE REFRACCION 1.376

EPITELIO: 1.401 (+/- 0.005)

ESTROMA ANTERIOR: 1.380 (+/- 0.005)

ESTROMA POSTERIOR: 1.373 (+/- 0.001)

La característica mas importante de la córnea es su transparencia, Oyster 1999 la curvatura de la córnea determina el poder total, los radios de curvatura son diferentes en cada persona y en cada ojo, el radio de curvatura corneal anterior siempre es mayor que el posterior, la estructura básicamente no es esférica si no asférica porque su zona periférica es más plana y más gruesa que la zona central, conocer la asfericidad corneal es básica para corregir las aberraciones ópticas del ojo, el valor de la excentricidad corneal es menor dentro de los 3 mm centrales mientras en la periferia dentro de los 5 y 7 mm es geométricamente tiene mayor rango de excentricidad o elevación. Al realizar un análisis del mapa de poder refractivo en la topografía corneal este nos muestra el valor del poder refractivo corneal total donde en corneas regulares el punto de menor potencia lo podemos observar en el centro mientras se aleja del centro hacia la periferia el valor es mayor queratometrico.

La diferencia entre la córnea de un paciente y una esfera perfecta se denomina asfericidad, los radios son diferentes en su circunferencia que lo podríamos decir que es una forma oval. Para ejemplificarlo de una mejor manera siguiendo un eje de coordenadas geométrica una figura asférica prolata es más alargada en sentido vertical, y una figura asférica oblata es más alargada en sentido horizontal, ambas figuras son idénticas pero colocadas en diferente posición, por lo tanto, la

asfericidad es la misma. En la figura prolato el radio es mayor en el eje vertical, mientras en la figura oblata el radio es mayor en el eje horizontal.

TOPOGRAFIA CORNEAL

La topografía corneal se ha vuelto indispensable en el gabinete de optometría, para la adaptación de lentes de contacto de cualquier tipo; sobre todo en la adaptación de lentes de contacto de ortoqueratología avanzada siendo de vital importancia conocer la forma corneal del paciente en su totalidad, ya que la cornea aporta la mayor parte de la refracción total del ojo.

La topografía corneal nos ayuda para obtener las aberraciones corneales, ver si la cornea es regular o irregular, programar cirugías, ver patologías corneales y con mayor importancia para el especialista la adaptación de los lentes de contacto de ortoqueratología

Es indispensable ya que a diferencia del queratómetro que mide solo los 3mm centrales corneales, la topografía mide un área mucho mas amplia de hasta 9mm de diámetro.

Hay muchas tecnologías para hacer una topografía corneal pero la mas utilizada es la que esta basada en la reflexión de los anillos de placido sobre la lágrima; y dándonos como resultado mapas colorimétricos, el cual cada color corresponde a diferentes radios de curvatura

La córnea en la parte central se asemeja mas a una superficie esférica y como nos vamos alejando del ápice corneal, los radios de curvatura se van aplanando; entonces se puede decir que la cornea es una superficie asférica que posee una periferia elipsoidal no necesariamente simétrica y la asfericidad se entiende como una medida de la desviación de la curvatura de la superficie periférica a la curvatura del radio apical

El ápice corneal se describe con el punto de máxima curvatura o radio mas pequeño. Algún punto alejado tomado de la región periférica corneal tendrá un radio mayor de curvatura que el radio del ápice corneal.

Para obtener cuanto se va aplanando la cornea se utiliza el cálculo de la excentricidad y este se emplea para determinar el grado de desviación de una sección cónica respecto a una circunferencia. Se toman como valores normales entre 0.17 y 0.57 (Atchinson 2000).

Esta excentricidad juega un papel importante en la reducción de la aberración esférica positiva. Atchinson sitúa el valor de la excentricidad de 0.72 para que la cornea este libre de aberración esférica.

Se tiene un valor en la topografía corneal que se denomina I-S este es la diferencia dióptrica que existe entre la curvatura media del área inferior, situada a 3mm del centro de la corneal, y la curvatura media del área superior situada a la misma distancia, y según Rabinowitz encontró un valor I-S de 0.12 dpt (+/- 0.43) para los casos clasificados como corneas simétricas y de 0.36dpt (+/-0.67) para corneas clasificadas como asimétricas.

Los patrones simétricos se pueden relacionar con refracciones convencionales que se pueden corregir fácilmente con lentes oftálmicas, y por otro lado los patrones asimétricos o irregulares inducen aberraciones de alto orden tales como degeneraciones corneales.

En los mapas que se puede obtener con el topógrafo para medir aberraciones se tiene el Análisis de frente de onda corneal mediante el cual y la tecnología de seguimiento de rayo, el topógrafo corneal Atlas 9000 utilizado en este estudio muestra las principales aberraciones corneales y proporciona un valioso conocimiento para la información del paciente y el conocimiento de la modificación de las aberraciones mediante el uso del lente de ortoqueratología para nuestro estudio y así poder obtener datos las aberraciones corneales más importantes y simular la agudeza visual; medir la aberración corneal esférica mediante la gráfica

de los polinomios de Zernike la cual es una de las aberraciones de alto orden mas importantes por la baja de agudeza visual que ésta misma provoca, y con este estudio generar una tabla de los cambios que sufre el paciente. Est equipo ofrece la visualización de los efectos de las principales aberraciones corneales en cada paciente y como un plus se puede observar los cambios en la sensibilidad al contraste a través de la función de transferencia de la modulación (MTF)

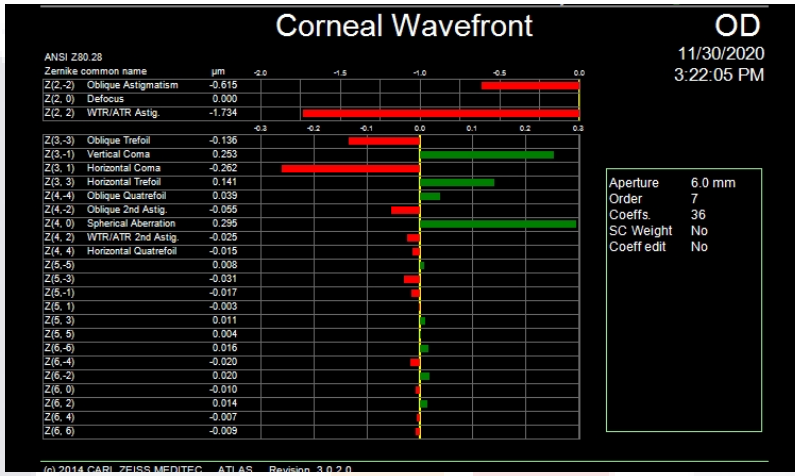
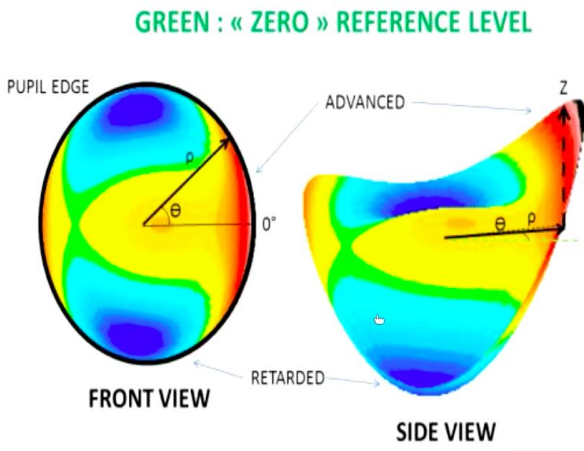


Ilustración 7. Tabla de las principales aberraciones de onda en uno de los sujetos de estudio, adquision propia



POLINOMIOS DE ZERNIKE

Los polinomios de Zernike son un modelo matemático que se utiliza para representar aberraciones del frente de onda y estos se han usado durante muchos años, obteniendo así una representación cuantitativa de las aberraciones; los cuales muestran desviaciones de una onda esférica perfecta, después de pasar a través de la superficie de refracción.⁸¹

Entre más arriba se ubique y más central al eje de la pirámide la aberración tendrá mayor impacto que las situadas en las partes periféricas.

Las aberraciones se clasifican en constantes, de bajo (2º grado) y alto orden, llamadas también orden superior

CONSTANTES	SEGUNDO ORDEN (85%)	ORDEN SUPERIOR (15%)
COMPUESTAS POR LAS ÓRDENES CERO Y UNO DE LA PIRÁMIDE DE ZERNIKE	Se diagnostican, se miden y se tratan diariamente con la refracción estándar.	Son consideradas a partir del tercer orden y pueden llegar a ser infinitas.
	Alcanzan a corregirse mediante los anteojos y los lentes de contacto	A nivel ocular hasta el sexto orden son las más significativas y representan los astigmatismos irregulares. Tienen su mayor impacto en la calidad de la visión.
PISTÓN. TILT Y TIP	Dos componentes del astigmatismo y un	Coma vertical y horizontal, esférica,

	desenfoque (astigmatismo, miopía e hipermetropía)	astigmatismo, trefoil, tetrafoil,
Z(0,0), Z(1,-1), Z(1,1)	Z(2,-2), Z(2,0) Z(2,2)	Z(3,-3), Z(3,-1), Z(3,1), Z(3,3), Z(4,-4), Z(4,-2), Z(4,0), Z(4,2), Z(4,4), Z(5,-5), Z(5,-3), Z(5,-1), Z(5,3), Z(5,5),

- En el año 2000 se adoptó su uso en optica oftálmica como el standard.

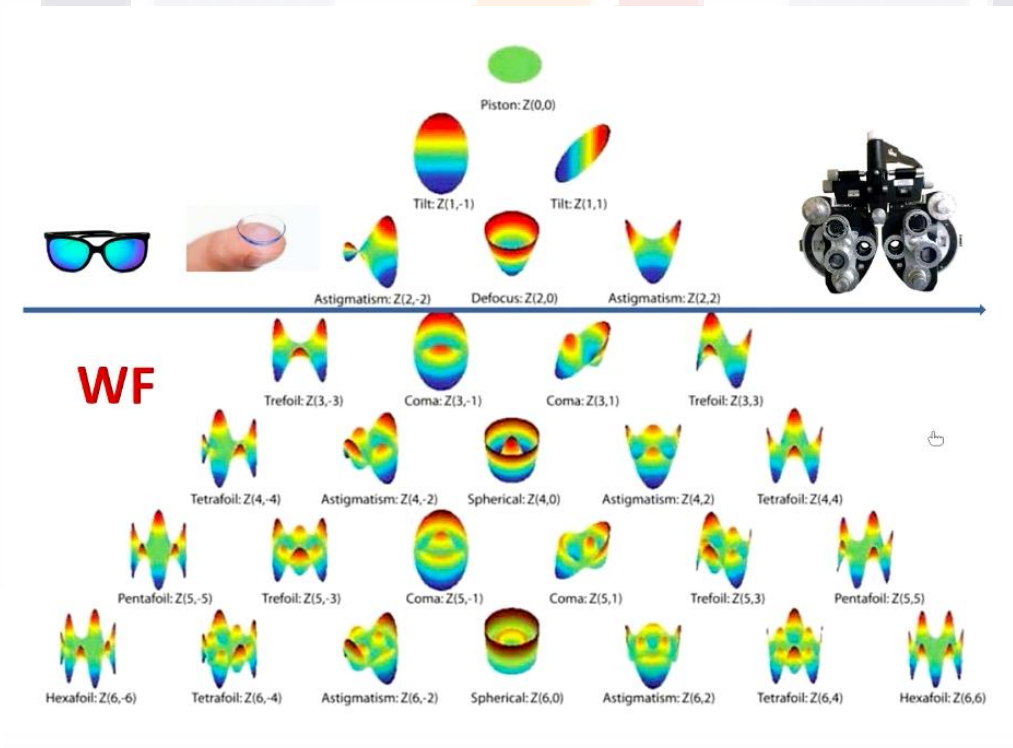


Ilustración 8. Pirámide de los Polinomios de Zernike Proporcionada por U. de la Salle R. Vidal 2020 Diplomado Exámenes Especiales

El error total del frente de onda de la córnea es calculado individualmente utilizando el trazado de rayos, las aberraciones de alto orden se derivan y son representadas en comparación con una población normal.⁸¹

Las aberraciones oculares y corneales medidas en diámetro pupilar promedio de 6mm en sujetos normales están alrededor de +0.1 y +0.3 respectivamente. Cada polinomio es nombrado de acuerdo con los defectos de imagen que representa, por ejemplo, astigmatismo, coma o esférica.⁶⁴⁻⁶⁶

Aberraciones en la superficie anterior y posterior de la córnea, producen ojos con degradación en la calidad visual.

Los astigmatismos irregulares inducen aberraciones de alto orden dependiendo la severidad, estas aberraciones logran producir una incapacidad visual significativa. Las más comunes son esférica, coma y trebol; las dos primeras afectan la visión central, mientras que el astigmatismo de alto orden compromete la visión periférica.⁶⁴

Tabla 1. Rango de normalidad vs anormalidad de las aberraciones de alto orden que más comprometen la calidad visual

TIPO DE ABERRACIÓN	VALOR DE NORMALIDAD	ANORMALIDAD
COMA Z (3+-1)	0 a +0-0,30µm	Mayor cambio esférico asimétrico
ESFÉRICA Z (4,0)	+0 µm a +0,30 µm	Más prolata y mayor extensibilidad
TREFOIL Z (3+-3) TETRAFOIL Z (4+-4)	0 a +0-20µm	Superficie irregular

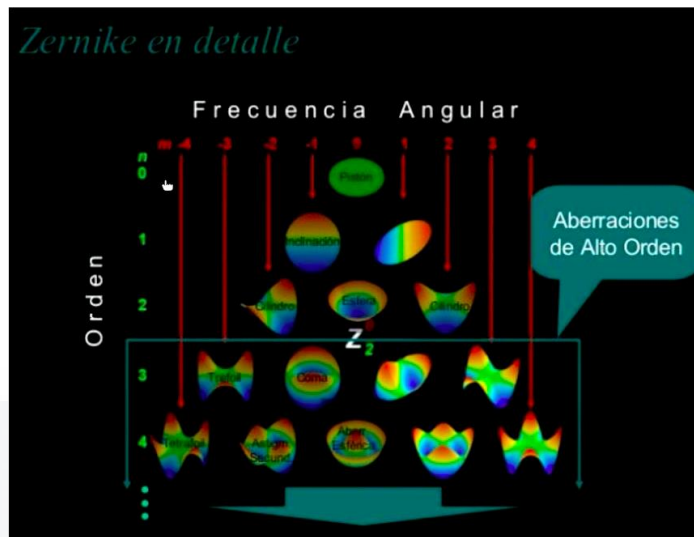


Ilustración 9. Principales aberraciones de alto orden, proporcionada por U. de la Salle R. Vidal 2020 Diplomado en Exámenes Especiales

Imagen retinal simulada de los Polinomios

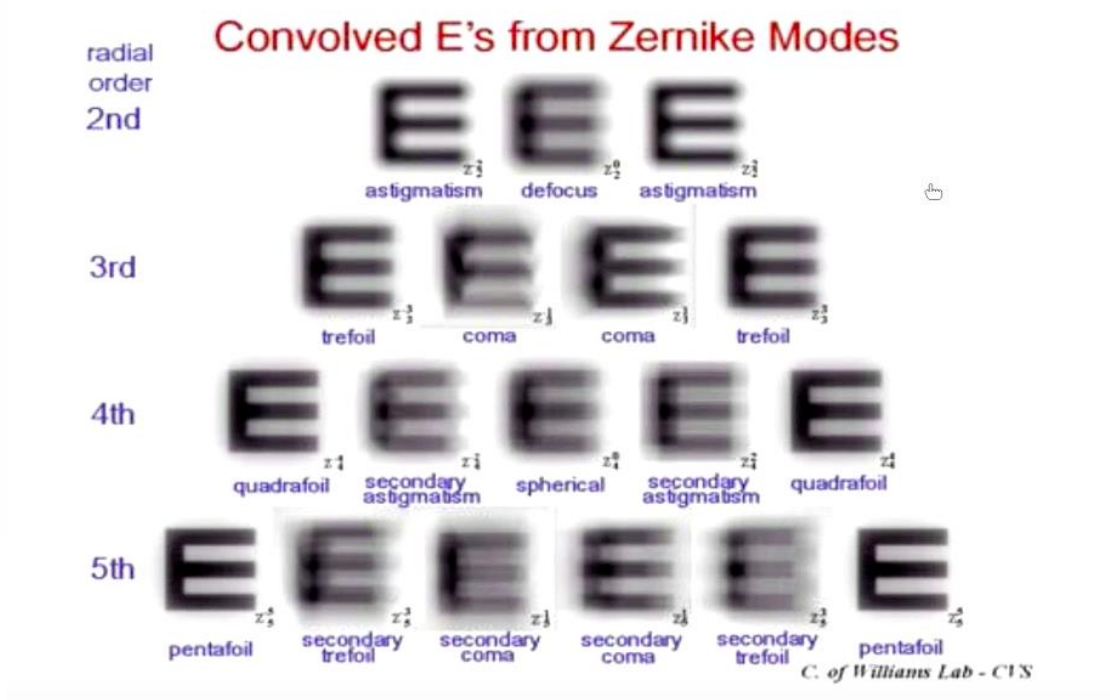


Ilustración 10. Simulación de los efectos de las aberraciones, Proporcionada por U. de la Salle R Vidal 2020 Diplomado Exámenes Especiales

ABERRACION OPTICA

Se deriva del latín *Aberratio* y significa salirse del camino o desviarse

ABERRACION OCULAR

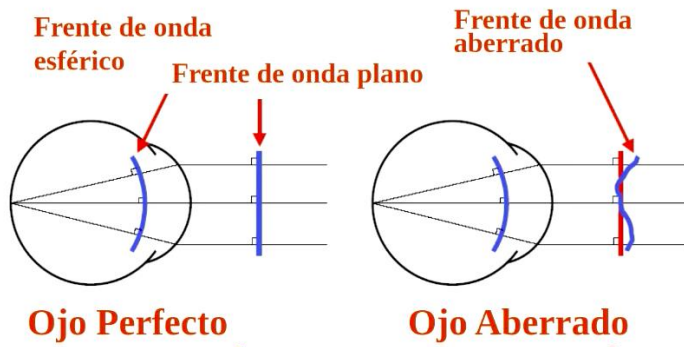


Ilustración 11. Aberración ocular, Elaboración propia

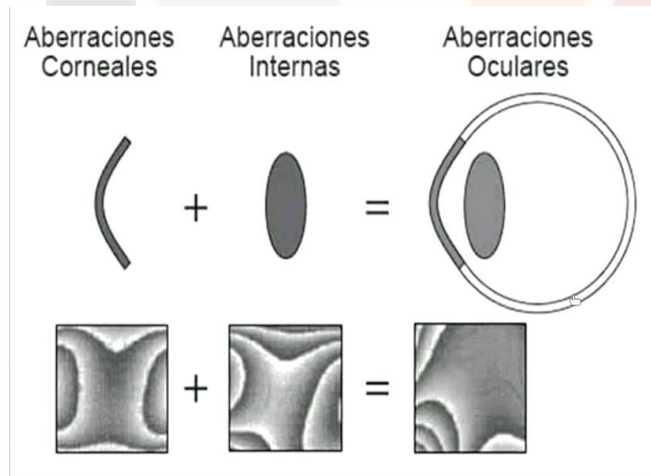


Ilustración 12. Aberraciones globales del Ojo, proporcionada por U. de la Salle R. Vidal 2020 Diplomado Exámenes Especiales

ABERRACION ESFERICA

Es inherente al sistema ocular y se reporta como un halo periférico en particular al fijar una luz por la noche que se mejora con la miosis. (Chalita 2004). La población humana en general tiene un promedio de $0.15 \mu m$ de AE (Aberración esférica) positiva en un diámetro pupilar de 6.0mm. El valor normal se encuentra entre

+0.15 μ m y +0.30 μ m (+0,18 \pm 0,08D), Mientras que algo de esta aberración esférica mejora la profundidad de campo visual y la pseudoacomodación, la visión es mas definida (20/15) con AE cero Este tipo de aberración al verse afecta nos provoca una disminución de la sensibilidad al contraste.

Una esfera, consta de una aberración esférica positiva, se difractan más los rayos de la periferia por que se tiene una mayor difracción que los rayos centrales, es por ello que se hace un enfoque por delante de los mismos.

La aberración esférica Z (4,0), tiene una relación con la forma corneal; una córnea prolata (mas plana en la periferia) por ello presenta aberacción esférica menos positiva o negativa.⁶⁴

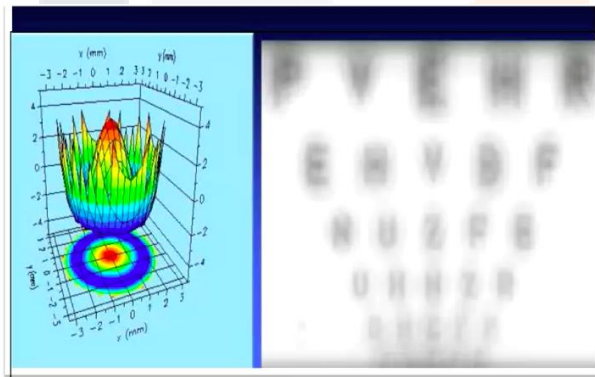
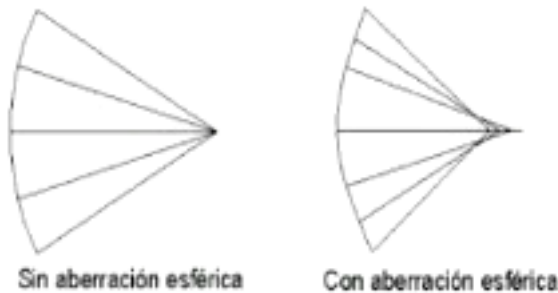


Ilustración 13. Aberración esférica y su efecto en la visión



La AE positiva de alto orden se ve posterior a cirugía refractiva miópica y altas cantidades de aberración esférica negativa después de la corrección de hipermetropía, es por ellos que se infiere que la ortoqueratología por el moldeo que realiza a la forma corneal induce un tipo de aberración esférica negativa que puede ser de gran importancia la medición de la misma antes y después del uso de el tratamiento de ortoqueratología.⁶⁴

ABERRACION COMA HORIZONTAL Y VERTICAL

No tiene simetría rotacional y produce imágenes dobles, difuminadas, halos además de deslumbramiento; afecta el contorno y las esquinas de las imágenes

El coma Z (3,1) Z (3,-1) es más alto en corneas cónicas que en los ojos normales

Los pacientes se quejan especialmente de imágenes fantasmas, halos o reflejos, resultado de las irregularidades no corregidas de la superficie corneal posterior.

Poliopia

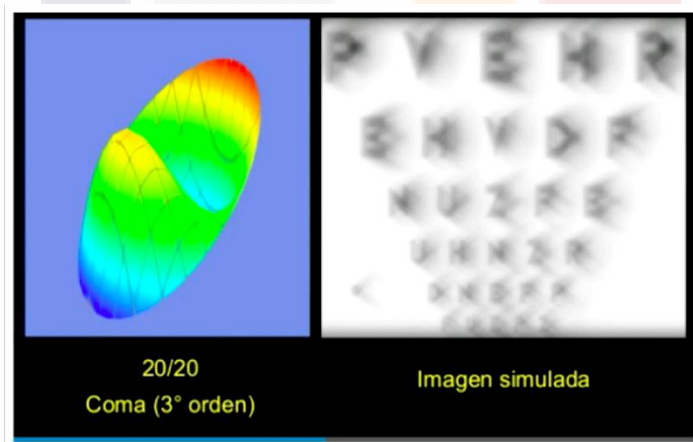


Ilustración 14. Aberración coma, Proporcionada por U. de la Salle R. Vidal 2020 Diplomado Exámenes Especiales Bogotá Colombia 2020

La aberración coma es dependiente de la asimetría vertical u horizontal de la curvatura o distribución dioptrica; la vertical dentro de las de alto orden, es una de

las que se detecta en los pacientes con queratocono en ambas superficies anterior y posterior.

RAIZ CUADRATICO MEDIO (RMS)

El error cuadrático medio del frente de onda o Root Mean Square, es la medida cuadrática de todas las aberraciones activadas, este mismo brinda una estimación sobre la variación entre el frente de onda y el de referencia.

La RMS se considera una medida objetiva de cuantificación de la calidad visual objetiva a nivel del plano pupilar; a mayor RMS mayor aberración y peor calidad visual

Tabla 2. Valor estimado de la Agudeza Visual en relación a RMS

RMS TOTAL	AV APROX
1.5	20/80
1	20/20
0.5	20/15

A menor valor del RMS mejor es el frente de onda real y mas optima la calidad visual del paciente

En el caso del RMS ho (high order), los valores de referencia, teniendo en cuenta un diametro pupilar de 6,0 mm son para normalidad entre 0,1 a 0,3 μm , normal limite superior, entre 0,3 y 0,5 μm ; astigmatismo irregular entre 0,5 y 0,7 μm y un posible queratoconomayor a 0,7 μm

EXCENTRICIDAD

VALORES DE EXCENTRICIDAD DE LAS SECCIONES CONICAS

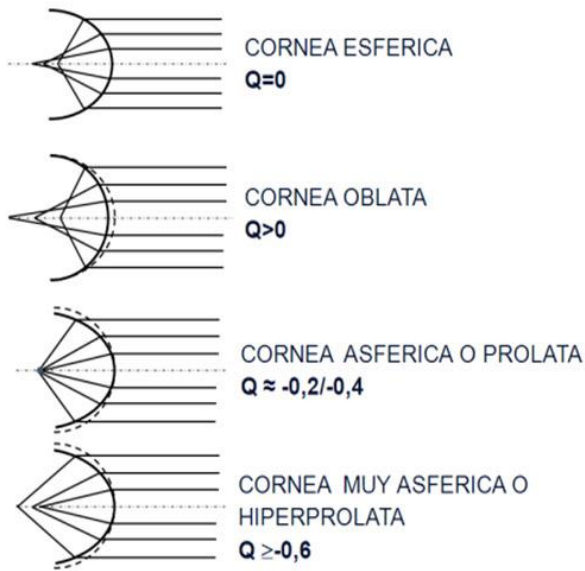
ELIPSE OBLATA $e^2 < 0$ (neg) ($p > 1$)

- CIRCULO $e^2 = 0$ ($p = 1$)
- ELIPSE PROLATA $0 < e^2 < 1$ ($0 < p < 1$)
- PARABOLA $e^2 = 1.0$ ($p = 0$)
- HYPERBOLA $e^2 > 1.0$ ($p < 0$ (neg))

- MEDIDAS DE ASFERICIDAD
- EXCENTRICIDAD = e
- FACTOR DE FORMA = p
- PARAMETRO DE ASFERICIDAD = Q

GEOMETRIA DE LA ANATOMIA CORNEAL

Tabla 3. Geometría de la anatomía corneal



- Q:
- Factor de forma
- Factor de excentricidad
- Asfericidad
- C: coeficiente Q
- Q: que tanto se aplana la cornea desde el centro hacia la periferia

EL OJETIVO DE DETERMINAR EL VALOR DE P

- Definir matemáticamente la excentricidad de la cornea
- El valor de p es definido como la derivación matemática de la excentricidad de la superficie corneal

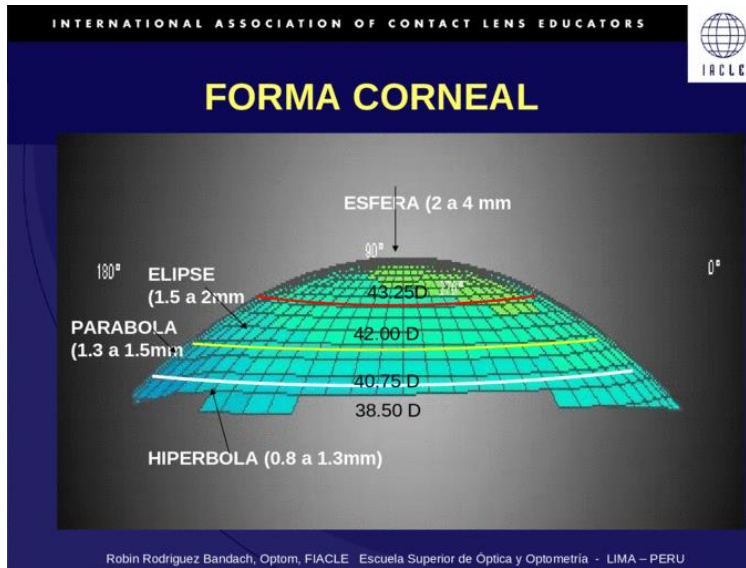


Ilustración 15. Forma corneal Proporcionada por IACLE

VALOR DE EXCENTRICIDAD DE LA CORNEA HUMANA

- La excentricidad es un grado de asfericidad periférico
- La córnea humana es una elipsoide
- Los valores de excentricidad que han sido medidos son:
- rango: 0.41-0.58
- promedio 0.47

DIAMETRO PUPILAR

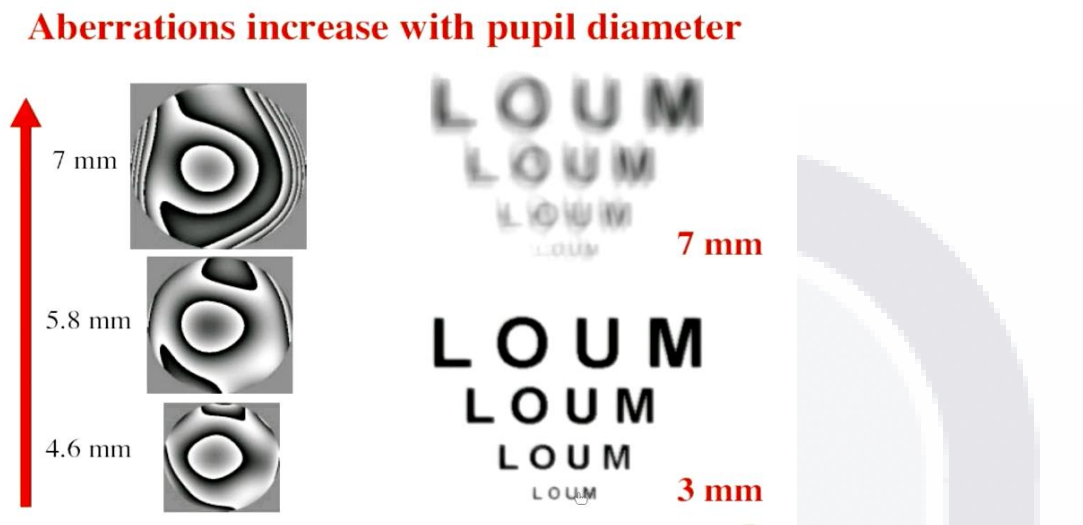


Ilustración 16. Incremento del Diámetro Pupilar aumenta de manera proporcional en las aberraciones

METODOLOGIA

Los sujetos adaptados con lentes CRT fueron acorde a los parámetros de adaptación de lente de contacto de OK de paragon

Se utiliza estadística descriptiva, análisis de varianza, Anova con prueba estadística de Dunnett, con IC 95% y nivel de significancia, valor de $p \leq 0.05$ y estadística inferencial T de student

Tipo de estudio: OBSERVACIONAL DESCRIPTIVO, PROSPECTIVO, LONGITUDINAL

Se utilizó un análisis Anova con prueba estadística de Dunnett, con IC 95% y nivel de significancia, valor de $p \leq 0.05$

UNIVERSO DE ESTUDIO: Pacientes de la Unidad de Diagnostico Visual

TAMAÑO DE LA MUESTRA:

15 PACIENTES obtenido mediante <https://www.netquest.com/es/calculadora-tamano-muestra>

La selección se realiza por conveniencia

Todos los lentes de la marca Paragon que se usaron tienen un diametro de 6mm, la zona de reserva cuenta con 1mm de cada lado y en la zona de aterrizaje un angulo generalmente a 32, 33 o 34 grados por lo tanto en los pacientes a todos se les midio la misma zona de tratamiento que fue de 6 mm

CRITERIOS:

INCLUSION

Sexo indistinto

Pacientes de 18 a 29 años

AMETROPIAS:

MIOPIA Y ASTIGMATISMO; no mayores a -4.50 y -1.50 respectivamente

Agudeza Visual equivalente al 20/20 en la escala de Snellen por cada ojo por separado con corrección

Sin alguna patología ocular

Sin patología sistémica

Acorde a los criterios de adaptación de el manual de adaptación de ortoqueratología de la marca Paragon para Ortoqueratología

Que firmen consentimiento informado

EXCLUSION

Pacientes fuera del rango de la Rx

Pacientes fuera del rango de edad

Pacientes que no firmen consentimiento informado

Cuando uno de los ojos no alcance el 20/20 con corrección por separado

ELIMINACION

Aquellos que abandonan su participación en la investigación

VARIABLES

Tabla 4. Variables

VARIABLE	DEFINICION	TIPOS DE VARIABLE	INSTRUMENTO DE MEDICION	UNIDADES DE MEDICION
AV	La agudeza visual es la <u>capacidad</u> del sistema de <u>visión</u> para percibir, detectar o identificar <u>objetos</u> especiales con unas condiciones de <u>iluminación</u> buenas	Cuantitativa	Optotipos de Snellen	Escala de Snellen
CAMPO VISUAL	El campo visual se puede definir como el espacio en el que nuestro sistema visual puede detectar la presencia de estímulos. Es decir, el campo visual es aquello que nuestro ojo puede ver cuando fijamos la mirada en un punto estático; lo que incluye el punto en el que posamos la vista y sus alrededores (periferia).	Cuantitativa	Humphrey	Decibeles
SENSIBILIDAD AL CONTRASTE	Es la capacidad que tiene nuestro sistema visual para diferenciar un objeto del fondo en el que se encuentra.	Cuantitativa	Topografo corneal (MTF)	Micras

	La medida de la sensibilidad al contraste (SC) determina el nivel de contraste más bajo que puede ser detectado por el paciente para una medida determinada de estímulo. Una persona puede tener una buena agudeza visual pero una mala o deficiente			
DIAMETRO PUPILAR	Tamaño de la pupila	Cuantitativa	Topógrafo corneal	milímetros
RX	Medida de la Ametropia encontrada en cada paciente.	Cuantitativa	Retinoscopia Estática	Dioptrías
ZONAS CENTRAL (ORTO-K)	Zona de aplanamiento de lente de ortoqueratología	Cuantitativa	OCT- CORNEA	micras
ZONA DE RESERVA (ORTO-K)	Zona de reserva	Cuantitativa	OCT- CORNEA	micras
ZONA DE ATERRIZAJE (ORTO-K)	Zona donde se hace el asentamiento del lente	Cuantitativa	OCT- CORNEA	micras
ABERRACIONES DE ALTO Y BAJO ORDEN	Imperfecciones corneales	Cuantitativa	TOPOGRAFO	micras

MATERIALES

AV= Pantalla Clear Chart 4P Polarized marca Reichert

Lámpara de hendidura SL 120 con monitor marca Carl Zeiss

Se utiliza para la revisión de la adaptación

OCT Cirrus 5000 marca Carl Zeiss

Se utiliza la lente accesoria de Cornea para tomar Paquimetría y la lente de Camara anterior para la revisión de los parametros de adaptación del lente de contacto de Ortoqueratología

Campímetro HFA 3 850 marca Carl Zeiss

SITA-ESTANDAR 30 -2

Topógrafo corneal Atlas 9000 marca Carl Zeiss

Para poder evaluar el tipo de aberración se utiliza el Corneal Wavefront map

1. • Muestra aberraciones de frente de onda corneal mediante trazado de rayos
2. • Se basa solo en la curvatura corneal anterior y no puede tener en cuenta la córnea posterior o la lente
3. • Mide la diferencia del frente de onda "perfecto" en micras
4. • Medición de aberraciones corneales de orden superior
5. • Medición de la aberración esférica corneal
6. • Obtención de aberraciones de orden bajo y superior

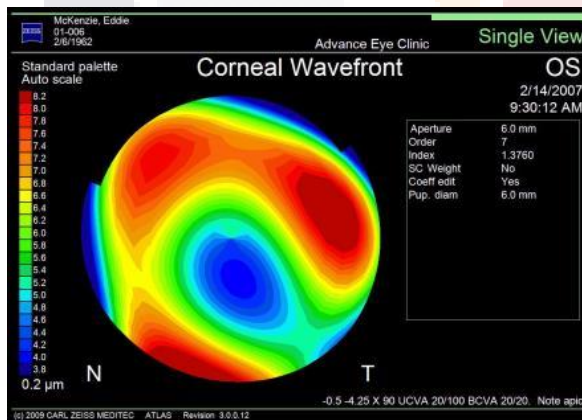


Ilustración 17. Frente de onda, Topografo Zeiss, adquisicion propia

Función de transferencia de modulación (MTF)

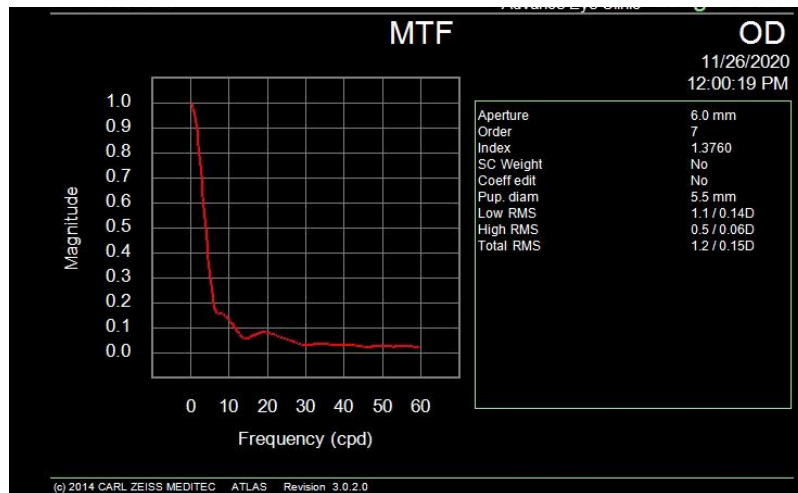


Ilustración 18. MTF, Sensibilidad al contraste, topografo Zeiss, adquisición propia

Observar cambios en la sensibilidad al contraste

PROCEDIMIENTO

- Se realizó una evaluación optométrica detallada del paciente, haciendo énfasis en todos los aspectos que se mencionaran posteriormente, esto se llevo a cabo en la Unidad de Diagnostico Visual de la Escuela Nacional de Estudios Superiores de la Enes UNAM León

Se utilizaron las pruebas:

- **Agudeza visual:** Se realizó con los optotipos de snellen de la pantalla marca Reichert Clear Chart calculados a 6 metros. Se evaluo la agudeza Visual de cada ojo por separado. Ésta medición se registra en pies. 20/20
- **Topografía:** Se tomaron las mediciones con Topografo para obtener los meridianos principales corneales y la medición de aberraciones de alto y bajo orden se realizó con el Corneal WaveFront map. Que incluye este Topografo
- **OCT de Cornea:** Se realiza para observar como esta adaptado el lente y valorar las 3 zonas. (Central, de reserva y media periferia)
- **Paquimetría:** Se obtiene la paquimetría con el OCT de Cornea

- **Sensibilidad al contraste:** Se evalúa con el topógrafo con la Función de transferencia de Modulación para obtener la raíz cuadrática media, lo que nos mide la sensibilidad al contraste objetiva en el plano pupilar
- **Campimetría:** Se realiza con el Campímetro Humphrey Field Analyzer 3 de la marca Zeiss mediante la prueba 30-2
- **Medición de aberraciones de alto y bajo orden:** Se realizó con el topógrafo mediante el análisis de Zernike del mismo aparato

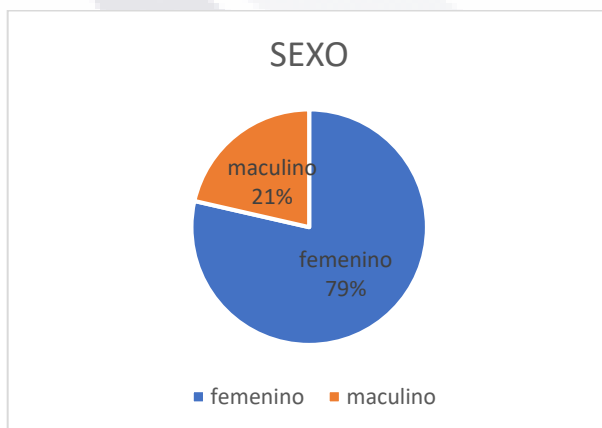
Selección de los pacientes: Por conveniencia las personas que cubran los requisitos y firmen el consentimiento informado, se seleccionaron 15 pacientes.

- El tiempo de uso del tratamiento fue de 15 días y después de esto, se realizó una segunda evaluación para registrar resultados.
- Se comparan resultados antes y después del uso del tratamiento.

RESULTADOS:

Se evalúan 28 ojos de 14 sujetos de los cuales 3 son pacientes masculinos y 11 femeninos. Como se muestra en la tabla 2.

Tabla 5. Sexo de los sujetos



Uno de los sujetos suspendió la adaptación programada de los lentes de contacto para Ortoqueratología, todos los pacientes entran en nuestro rango de edad.

Todos los pacientes que utilizaron los lentes tuvieron una visión del 20/20, con un promedio de Rx de -1.6875 esfera y -0.2083333 de astigmatismo.

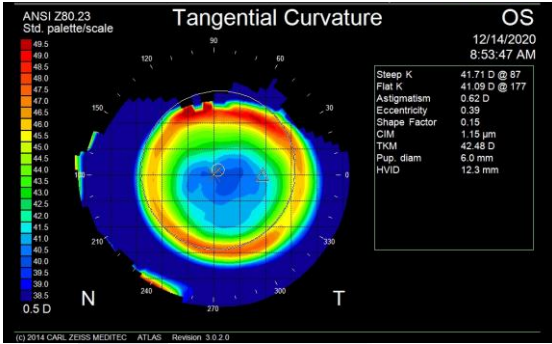


Ilustración 19. Mapa tangencial, después de 15 días de uso de tratamiento OK

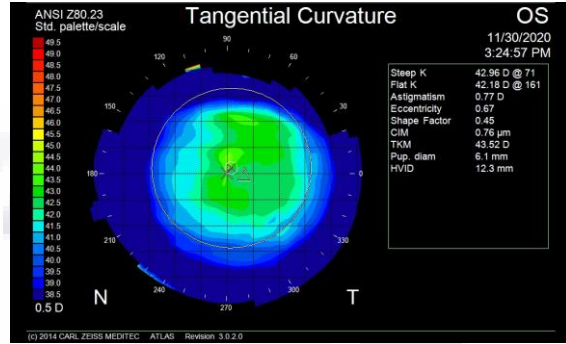


Ilustración 20. Mapa tangencial, antes de usar tratamiento de OK

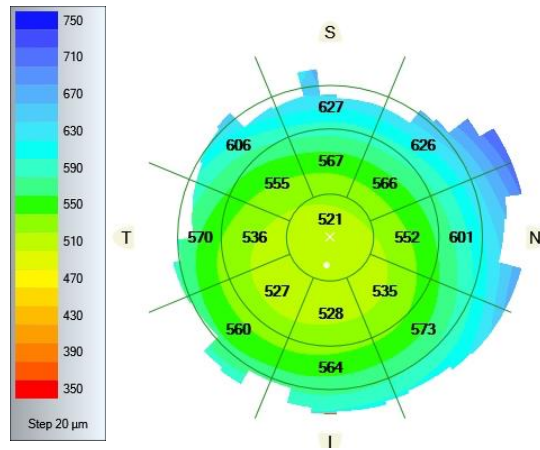
Se muestra el cambio que tuvo el sujeto al utilizar 15 días el tratamiento de Ortoqueratología, en donde se puede observar el anillo de color rojo característico del tratamiento en el mapa de tipo tangencial

Se revisan las paquimetrías de los 14 sujetos en 3 diferentes momentos, antes del uso del tratamiento, al día siguiente y a los 15 días de uso del tratamiento.

Pachymetry Analysis : Pachymetry

OD ● OS

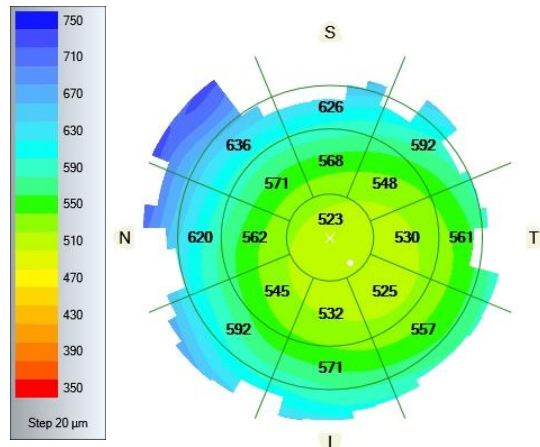
OD



Range (mm)	Min. (μm)	Avg. (μm)	Max. (μm)
0.0-2.0	513	521	537
2.0-5.0	515	546	601
5.0-7.0	540	591	669

Minimum Thickness (μm)	513
Central Corneal Thickness (μm)	518

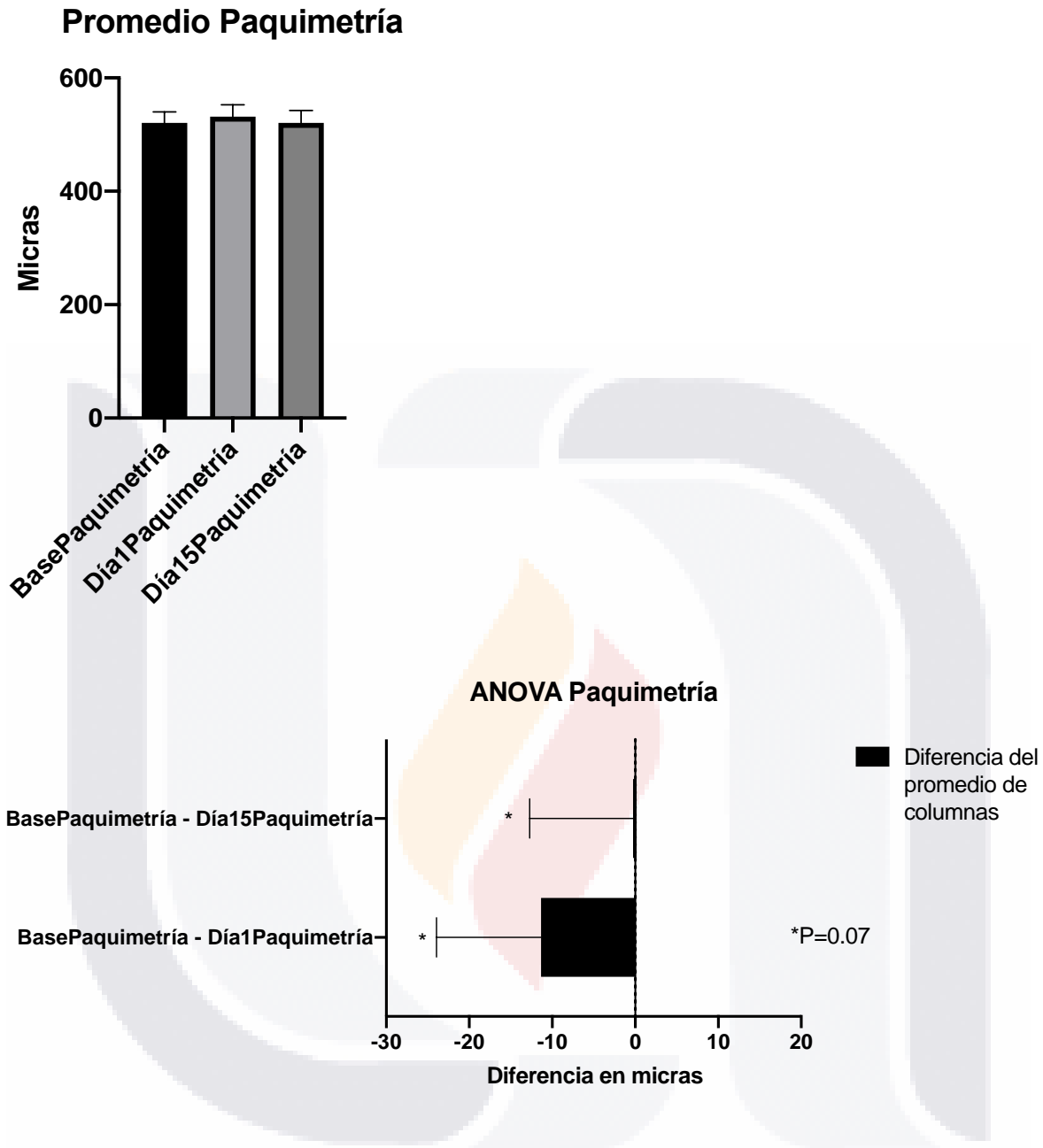
OS



Range (mm)	Min. (μm)	Avg. (μm)	Max. (μm)
0.0-2.0	515	523	539
2.0-5.0	516	548	606
5.0-7.0	537	594	676

Minimum Thickness (μm)	515
Central Corneal Thickness (μm)	519

Ilustración 21. Paquimetría mediante OCT se utiliza este tipo de análisis paquimetrico para la obtencion de datos



DIAMETRO PUPILAR

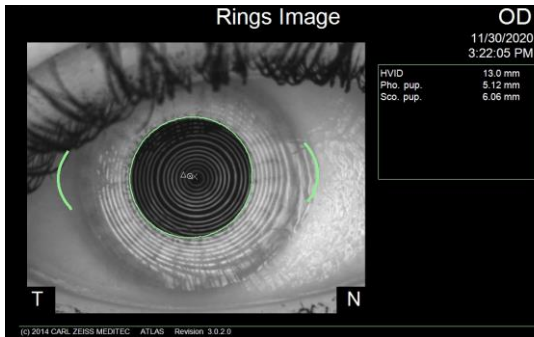


Ilustración 22. Diámetro pupilar obtenido mediante topografo Zeiss,

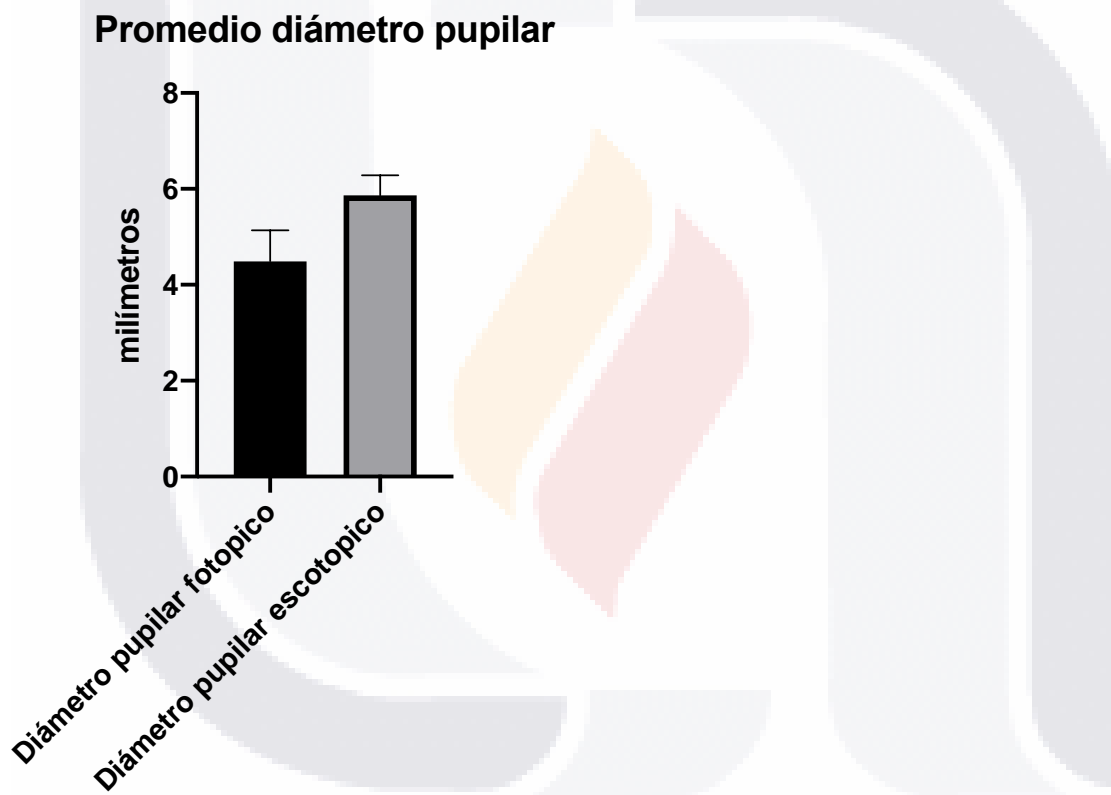


Tabla 6. Valores de Diámetro Pupilar

NUMERO DE VALORES	28	28
MÍNIMO	3.160	4.980
MÁXIMO	5.700	6.860
DISTANCIA	2.540	1.880
MEDIA	4.491	5.866
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0.6438	0.4155
ERROR ESTANDAR DE LA MEDIA	0.1217	0.07852

POLINOMIOS DE ZERNIKE

Tabla 7. Media y Desviación estándar de las aberraciones de bajo orden

ABERRACIÓN BAJO ORDEN (M +DESV.EST)	BASE	DÍA 1	DÍA 15	VALOR DE P
2,-2	0.0668 ± 0.5564	-0.0690 ±0.1284	-0.1284 ±0.6372	0.42
2,2	-1.0995± 0.4169	-1.4867 ±1.2458	-1.18 ±0.5843	0.19

Tabla 8. Media y Desviación estandar de las aberraciones de alto orden

ABERRACIÓN ALTO ORDEN (M +DESV.EST)	BASE	DÍA 1	DÍA 15	VALOR DE P
3,-3	-0.1321 ±0.1687	-0.1794 ±0.2054	-0.0847 ±0.1182	0.11
3,-1	-0.0122 ± 0.1621	0.1317 ±0.2986	-0.0946 ±0.6031	0.10
3,1	0.03575 ±0.2244	-0.0175 ±0.1811	-0.03896 ±0.3103	0.50
3,3	-0.0139 ±0.1539	0.0311 ±0.1918	0.0074 ±0.2266	0.68
4,-4	0.0082 ±0.4517	0.0209 ±0.0972	0.015 ±0.0951	0.84
4,-2	0.0002 ±0.0569	-0.0196 ±0.0704	-0.0014 ±0.0547	0.40
4,0	0.2393 ±0.0583	0.4236 ±0.1170	0.5990 ±0.2209	>0.0001
4,2	-0.0156 ±0.0504	-0.0120 ±0.0601	-0.0284 ±0.0528	0.50
4,4	0.0052 ±0.0557	-0.0542 ±0.1480	0.0016 ±0.1006	0.07

Tabla 9. Analisis de los polinomios de Zernike, se observan los 3 momentos de obtención de datos de uno de los sujetos.



ANALISIS DESCRIPTIVO E INFERENCIAL DE LAS VARIABLES RMS, ABERRACIONES DE ALTO Y BAJO ORDEN, CAMPIMETRIAS

Se realizó una prueba de Analisis de varianza para identificar las diferencias entre los promedios de la medición objetiva de la sensibilidad al contraste en el plano pupilar (raiz cuadrática media.- RMS) de la etapa 0 (antes de la adaptación de lente de contacto) a la etapa 1 y a la etapa 15, y se realiza con la (Anova con prueba estadística de Dunnett, con IC 95% y nivel de significancia, valor de $p \leq 0.05$)

Tabla 10. Cambios en la RMS ho (Raíz cuadrática media de alto orden) antes, al día siguiente y a los 15 días del tratamiento de Ortoqueratología nocturna. (A) La ortoqueratología aumento los valores RMS ho. A mayor RMS igual a mayor aberración y peor calidad visual(B) ANOVA RMS ho es significativa con un valor de P= 0.002

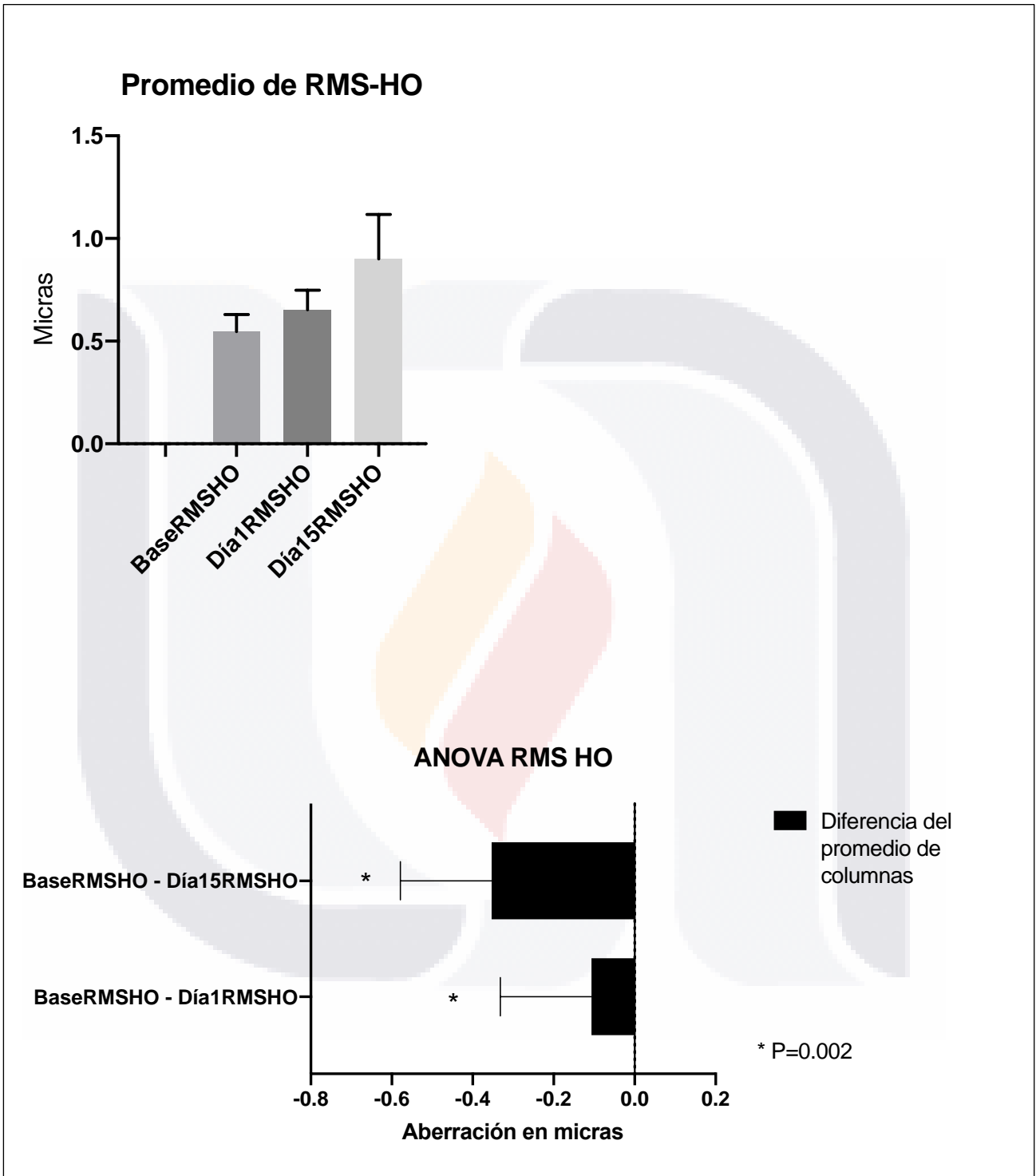


Tabla 11. Cambios en la RMS total antes, al día siguiente y a los 15 días del tratamiento de Ortoqueratología nocturna. (A) La ortoqueratología aumento levemente los valores RMS total. (B) ANOVA RMS total no es significativa con un valor de $P= 0.54$ en Dunnett

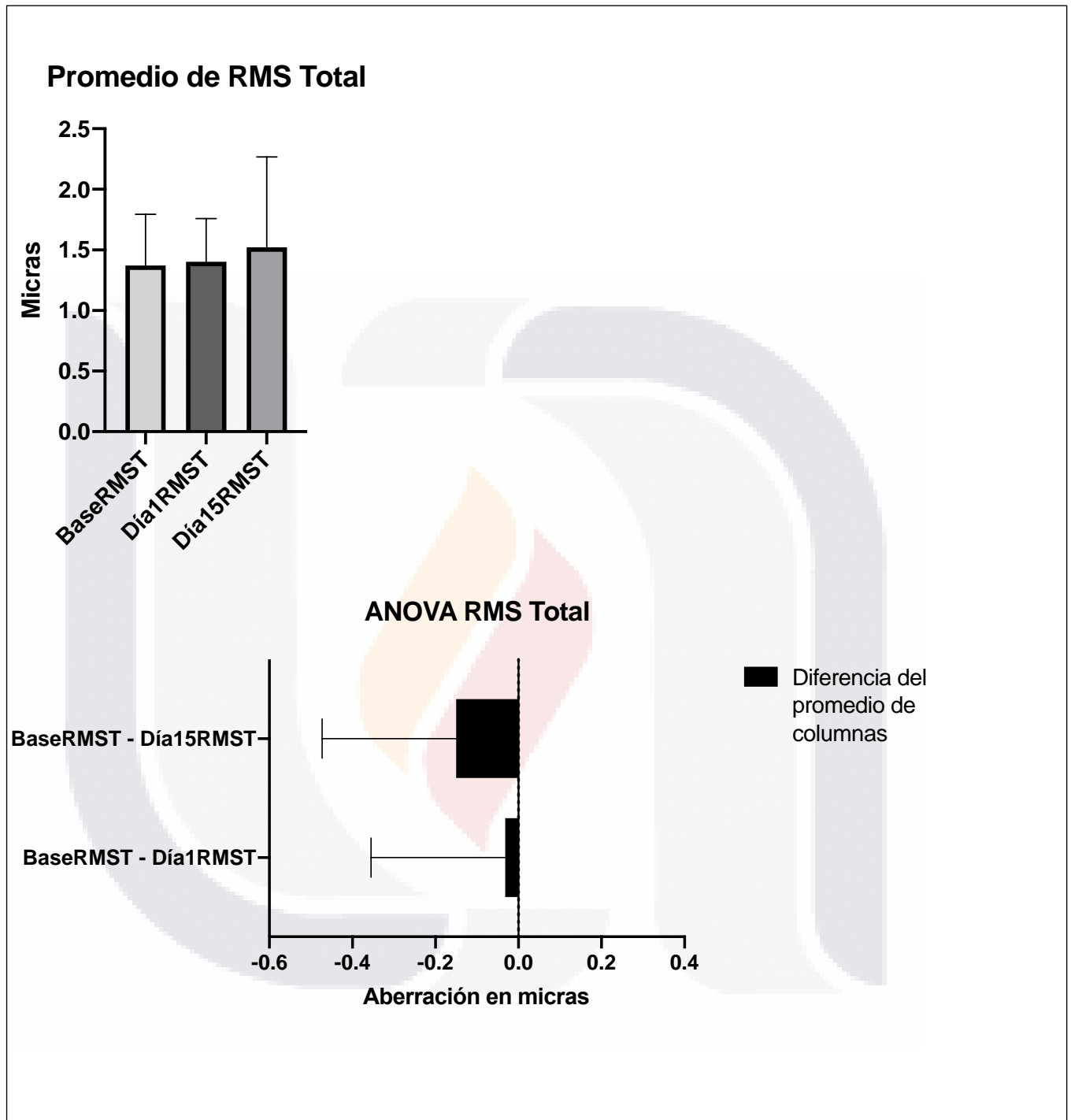


Tabla 12. Cambios en la aberración de bajo orden 2,-2 antes, al día siguiente y a los 15 días del tratamiento de Ortoqueratología nocturna. (A) La ortoqueratología disminuye los valores de aberración de bajo orden (Astigmatismo 2,-2). (B) ANOVA de aberración de bajo orden (Astigmatismo 2,-2) no es significativa con un valor de $P= 0.42$ en Dunnett

ABERRACIONES BAJO ORDEN

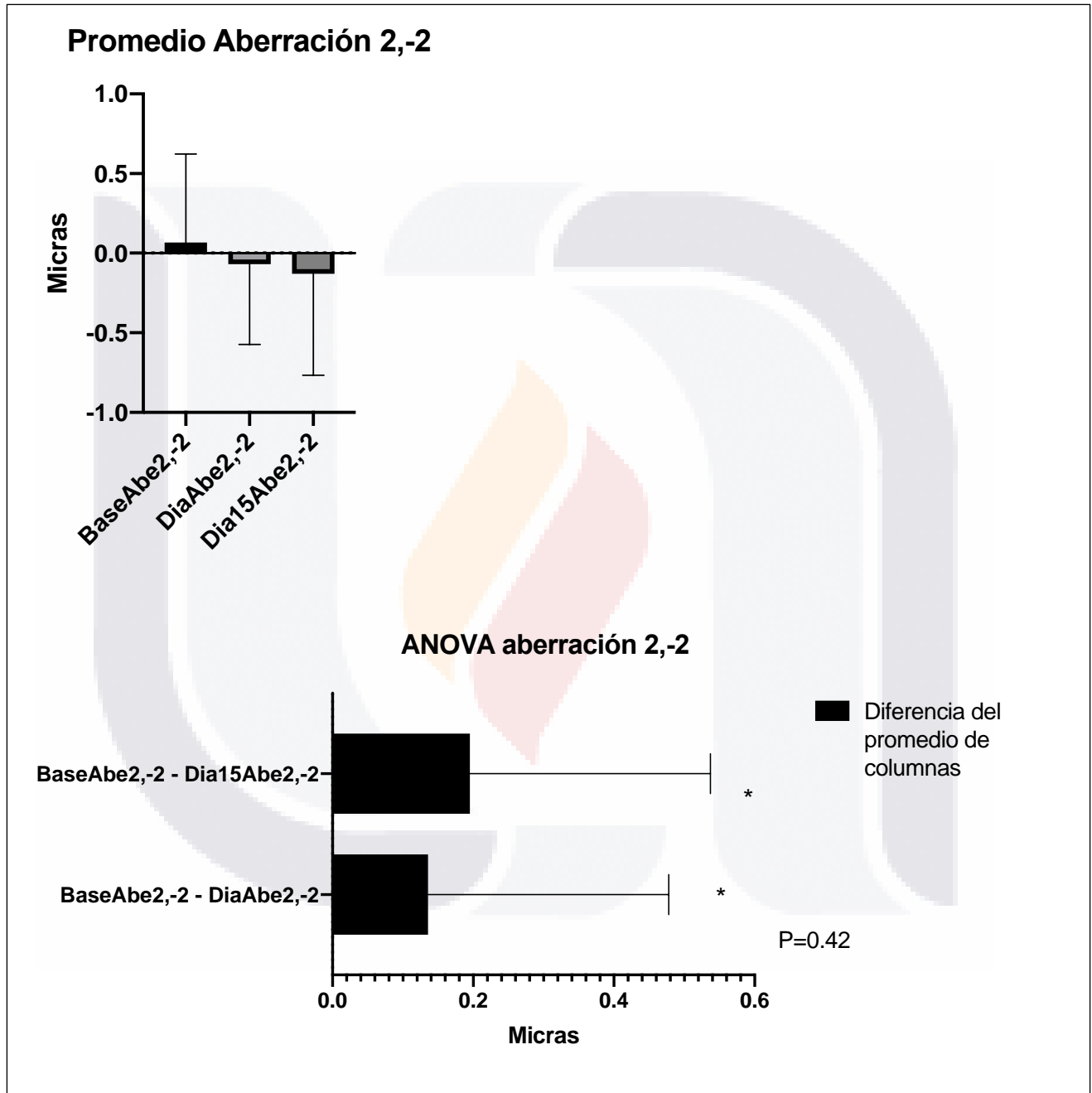


Tabla 13. Cambios en la aberración de bajo orden 2,2 antes, al día siguiente y a los 15 días del tratamiento de Ortoqueratología nocturna. (A) La ortoqueratología disminuye los valores de aberración de bajo orden (Astigmatismo 2,2). (B) ANOVA de aberración de bajo orden (Astigmatismo 2,2) no es significativa con un valor de P= 0.19 en Dunnett

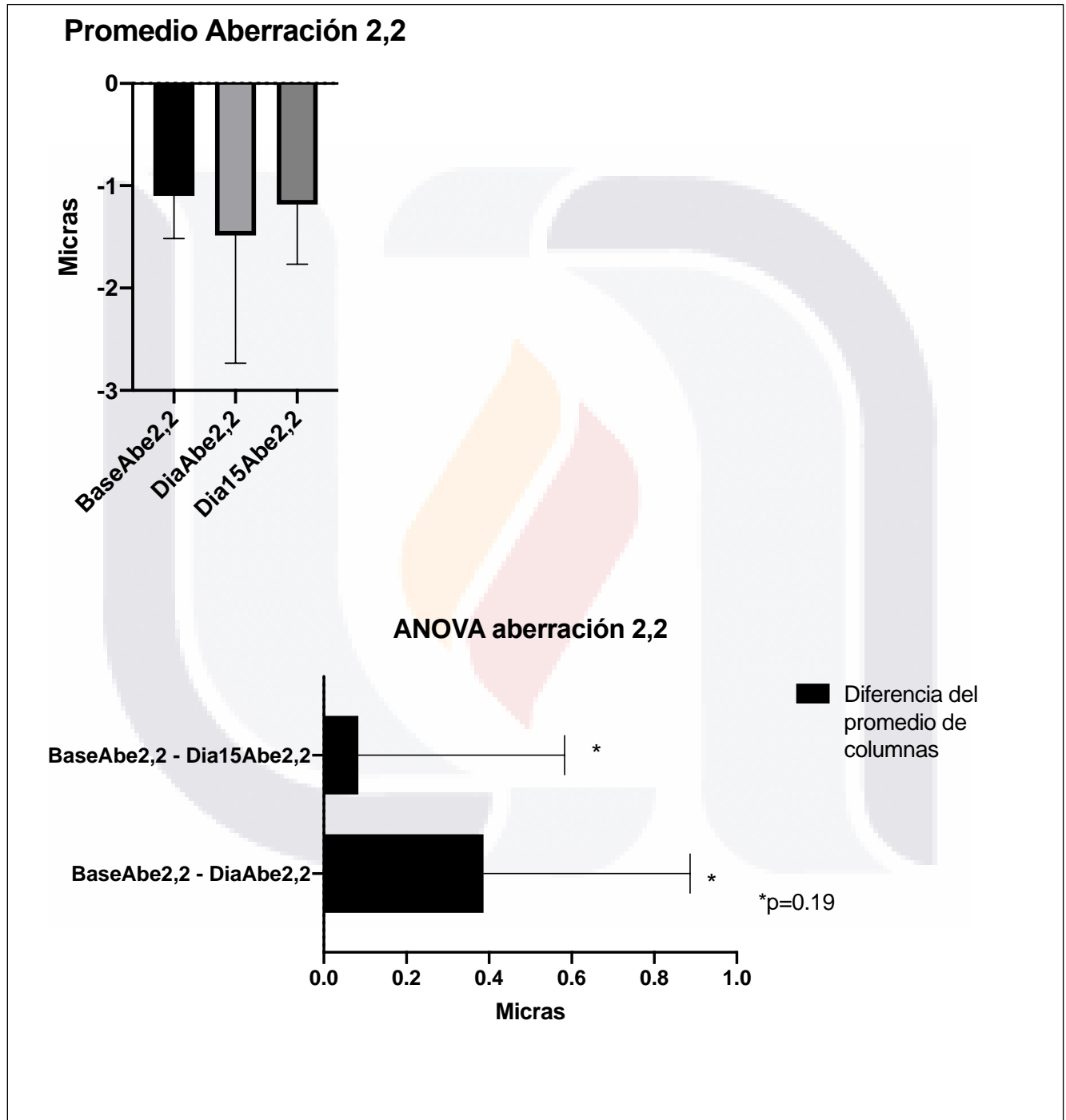


Tabla 14. Cambios en la aberración de alto orden 3,-3 antes, al día siguiente y a los 15 días del tratamiento de Ortoqueratología nocturna. (A) La ortoqueratología disminuye los valores de aberración de alto orden a los 15 días (Trefoil Oblicuo3,-3). (B) ANOVA de alto orden (Trefoil oblicuo 3,-3) no es significativa con un valor de $P=0.11$ en Dunnett

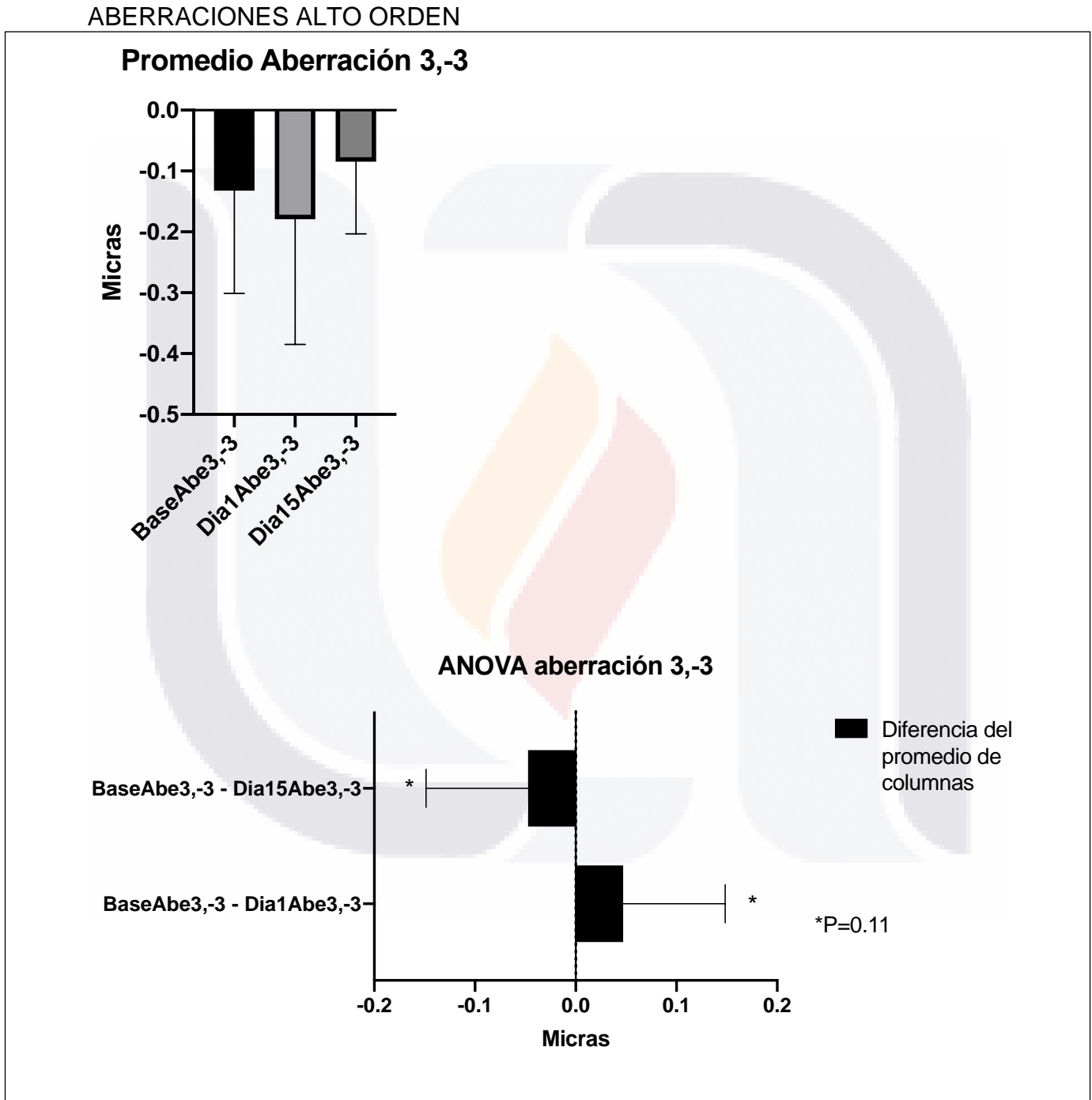


Tabla 15. Cambios en la aberración de alto orden 3,-1 antes, al día siguiente y a los 15 días del tratamiento de Ortoqueratología nocturna. (A) La ortoqueratología aumenta los valores de aberración de alto orden a los 15 días (Coma vertical 3,-1). (B) ANOVA de aberración de alto orden (Coma vertical 3,-1) no es significativa con un valor de $P=0.10$ en Dunnett

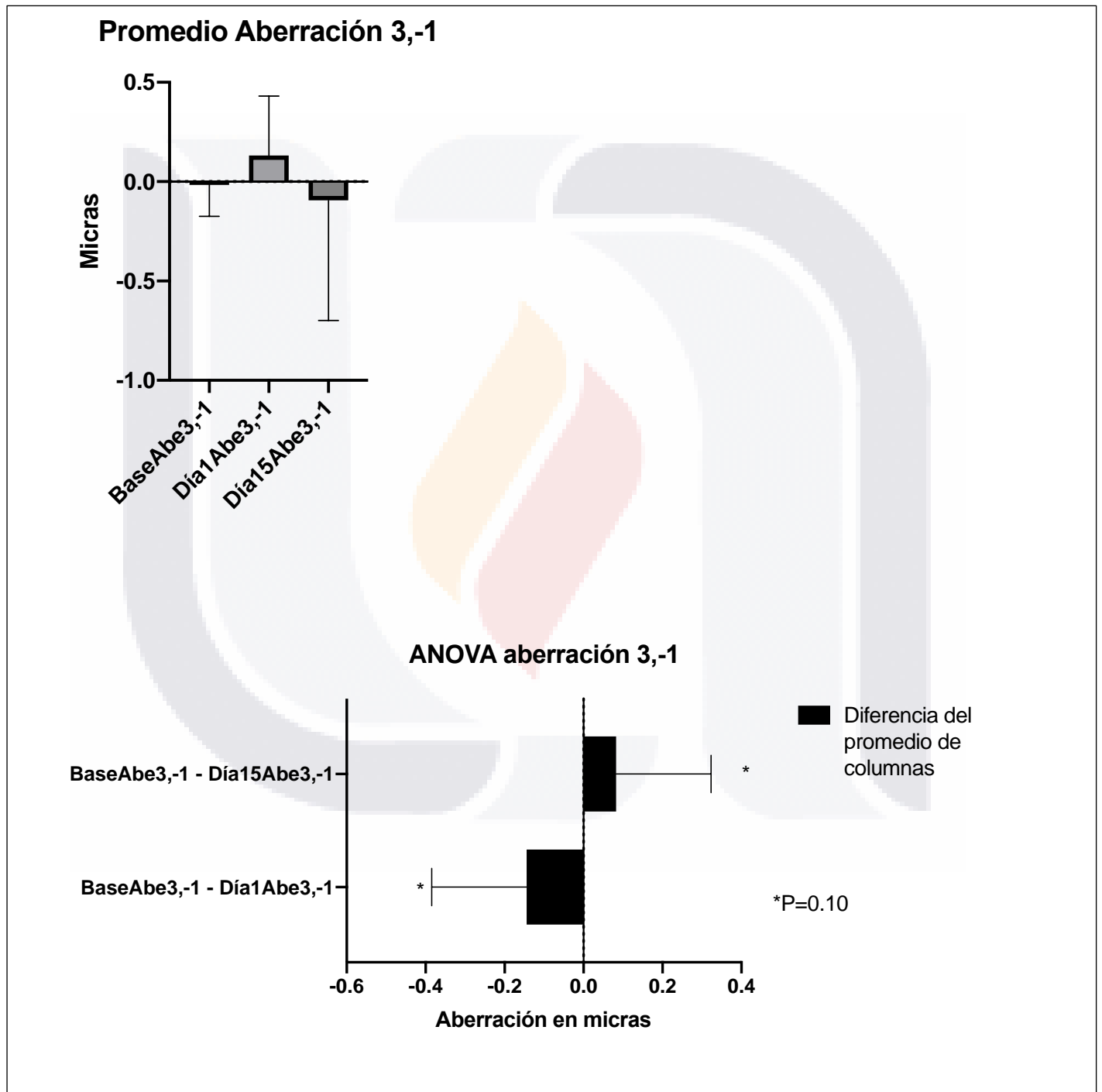


Tabla 16. Cambios en la aberración de alto orden 3,1 antes, al día siguiente y a los 15 días del tratamiento de Ortoqueratología nocturna. (A) La ortoqueratología no tiene cambios significativos de aberración de alto orden a los 15 días (Coma horizontal 3,1). (B) ANOVA de aberración de alto orden (Coma horizontal 3,1) no es significativa con un valor de $P= 0.50$ en Dunnett

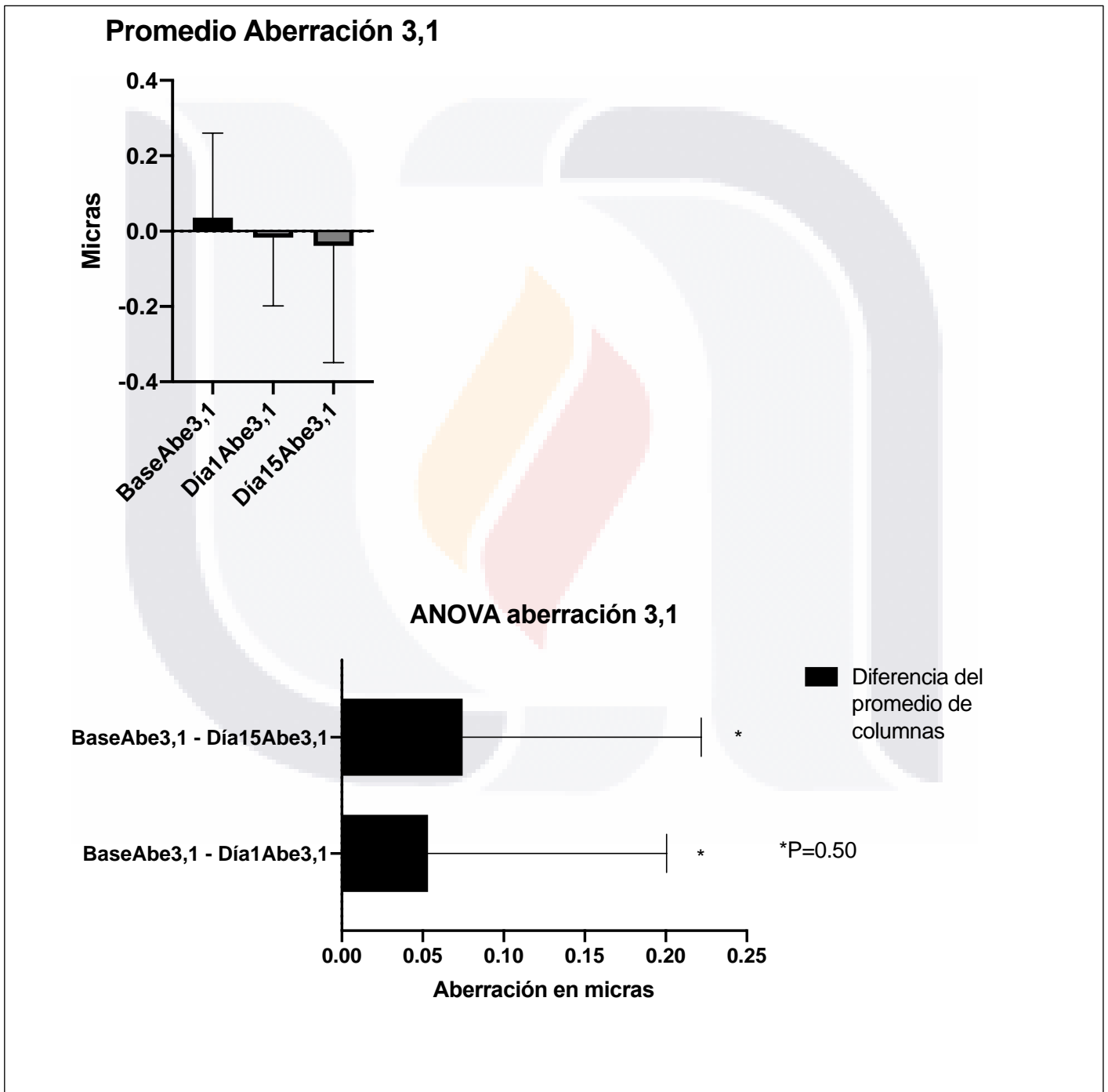


Tabla 17. Cambios en la aberración de alto orden 3,3 antes, al día siguiente y a los 15 días del tratamiento de Ortoqueratología nocturna. (A) La ortoqueratología disminuye los valores de aberración de alto orden a los 15 días (Trefoil horizontal 3,3). (B) ANOVA de aberración de alto orden (Trefoil horizontal 3,3) no es significativa con un valor de $P= 0.68$ en Dunnett

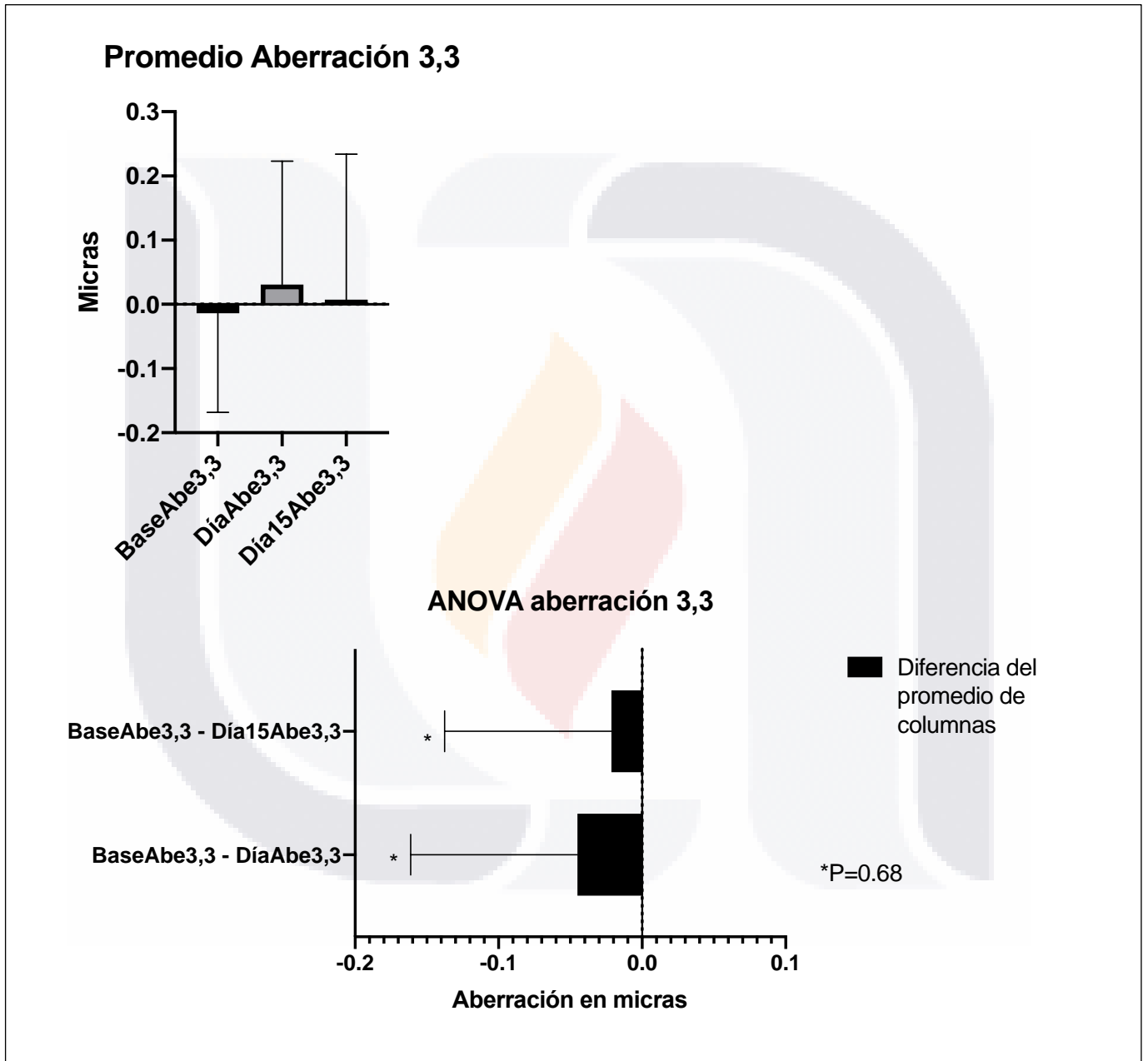


Tabla 18. Cambios en la aberración de alto orden 4,-4 antes, al día siguiente y a los 15 días del tratamiento de Ortoqueratología nocturna. (A) La ortoqueratología disminuye los valores de aberración de alto orden a los 15 días (Trefoil Oblicuo 3,-3). (B) ANOVA de aberración de alto orden (Trefoil Oblicuo 3,-3) no es significativa con un valor de $P=0.11$ en Dunnett

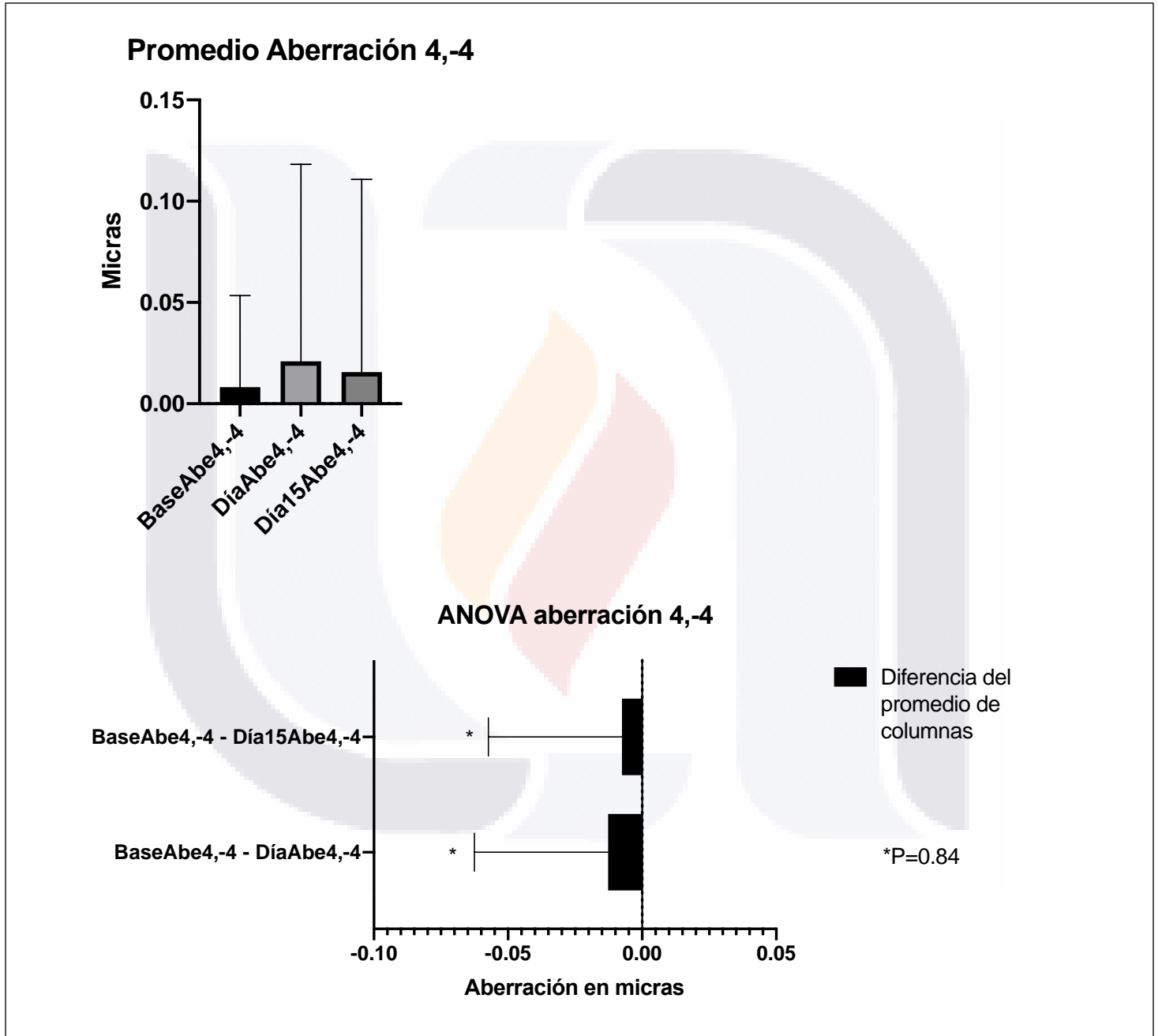


Tabla 19. Cambios en la aberración de alto orden 4,-2 antes, al día siguiente y a los 15 días del tratamiento de Ortoqueratología nocturna. (A) La ortoqueratología no tiene cambios de aberración de alto orden a los 15 días (2 Astigmatismo oblicuo 4,-2). (B) ANOVA de aberración de alto orden (2 Astigmatismo oblicuo 4,-2) no es significativa con un valor de P= 0.40 en Dunnett

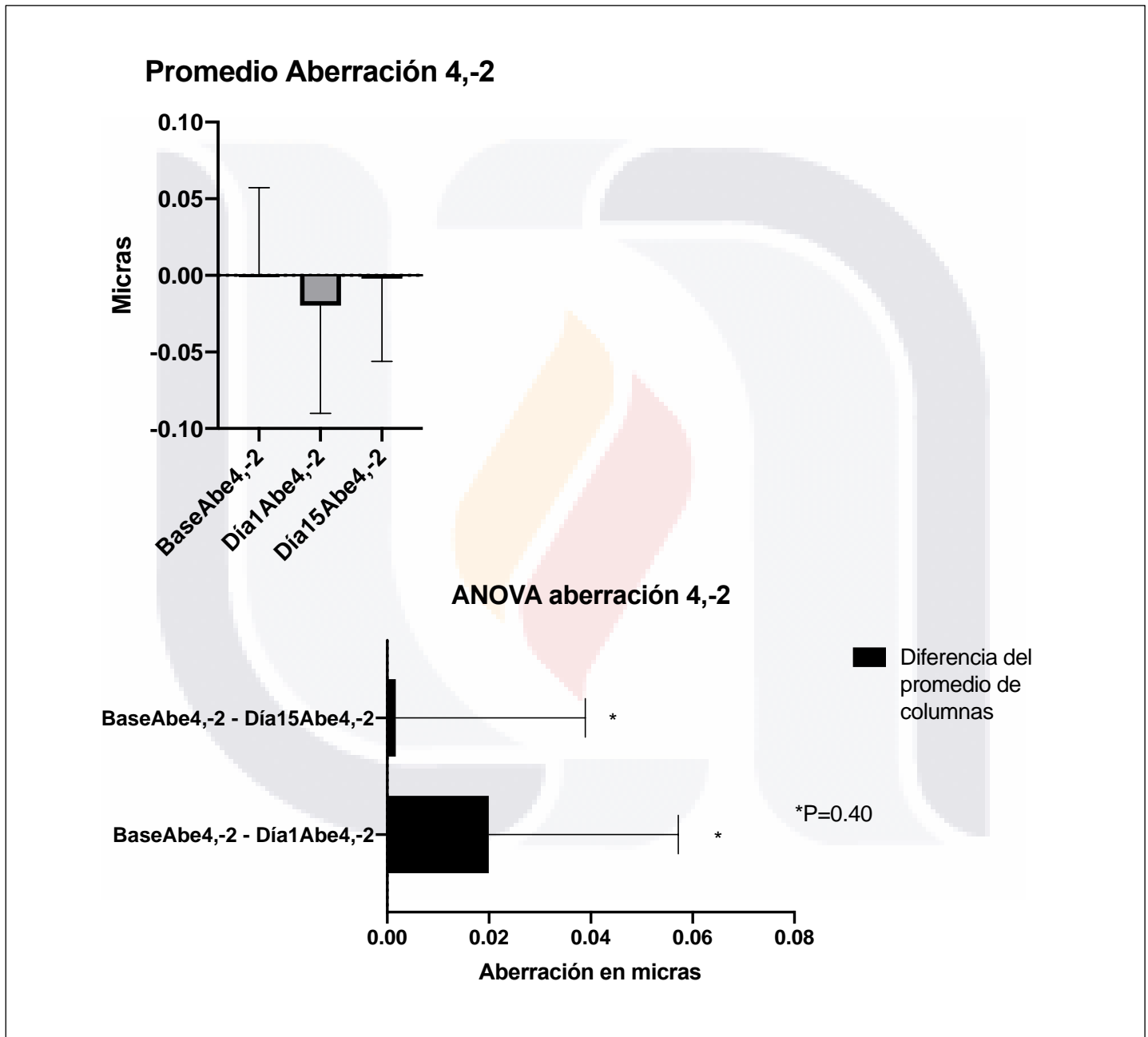


Tabla 20. Cambios en la aberración de alto orden esférica 4,0 antes, al día siguiente y a los 15 días del tratamiento de Ortoqueratología nocturna. (A) La ortoqueratología tiene cambios significativos de aberración de alto orden a los 15 días (Esférica 4,0). (B) ANOVA de aberración de alto orden (Esférica 4,0) es altamente significativa con un valor de $P = <0.001$ en Dunnett

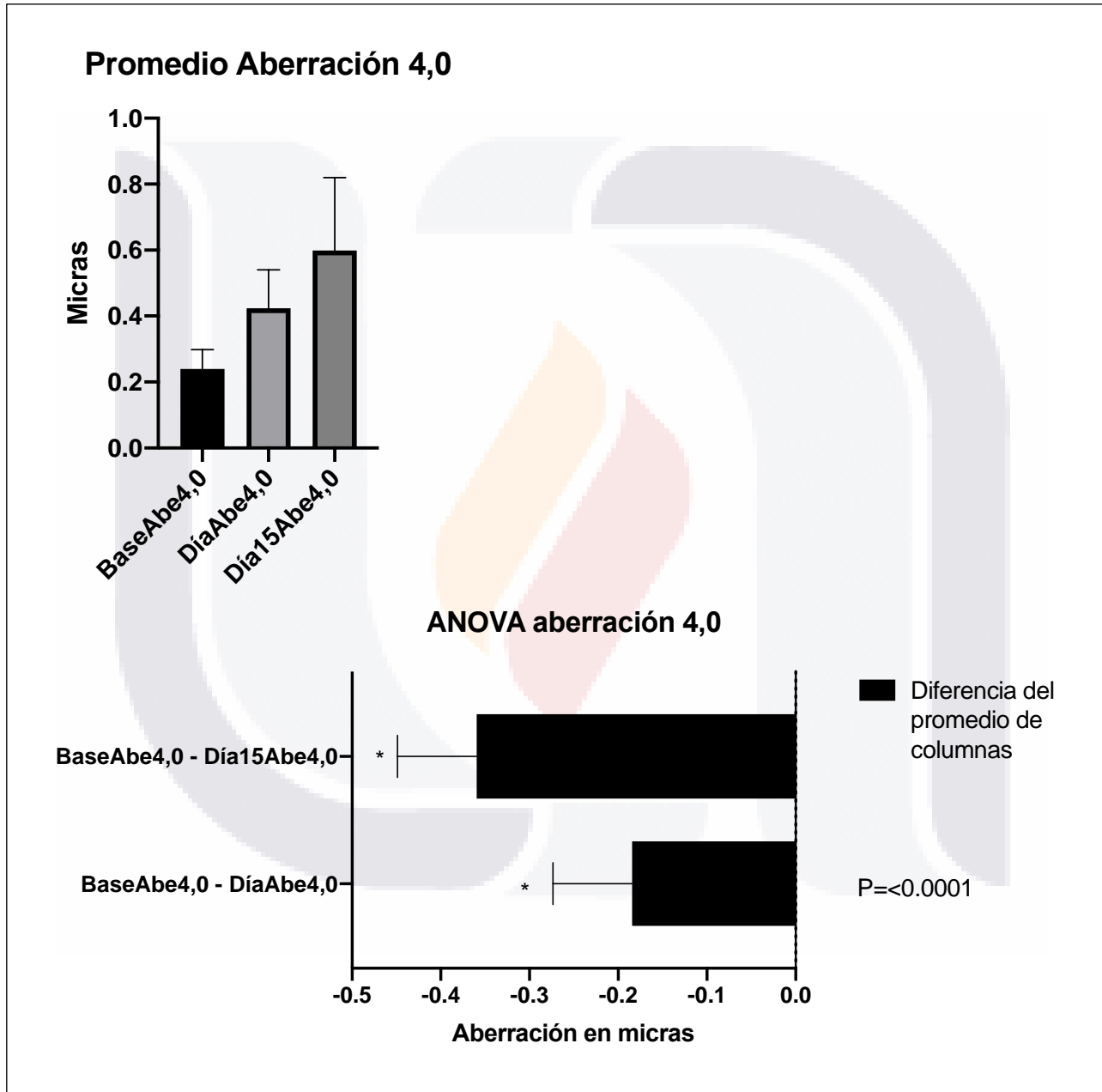


Tabla 21. Cambios en la aberración de alto orden 4,2 antes, al día siguiente y a los 15 días del tratamiento de Ortoqueratología nocturna. (A) La ortoqueratología aumenta la aberración de alto orden a los 15 días (Astigmatismo 4,2). (B) ANOVA de aberración de alto orden (Astigmatismo 4,2) no es significativa con un valor de P= 0.50 en Dunnett

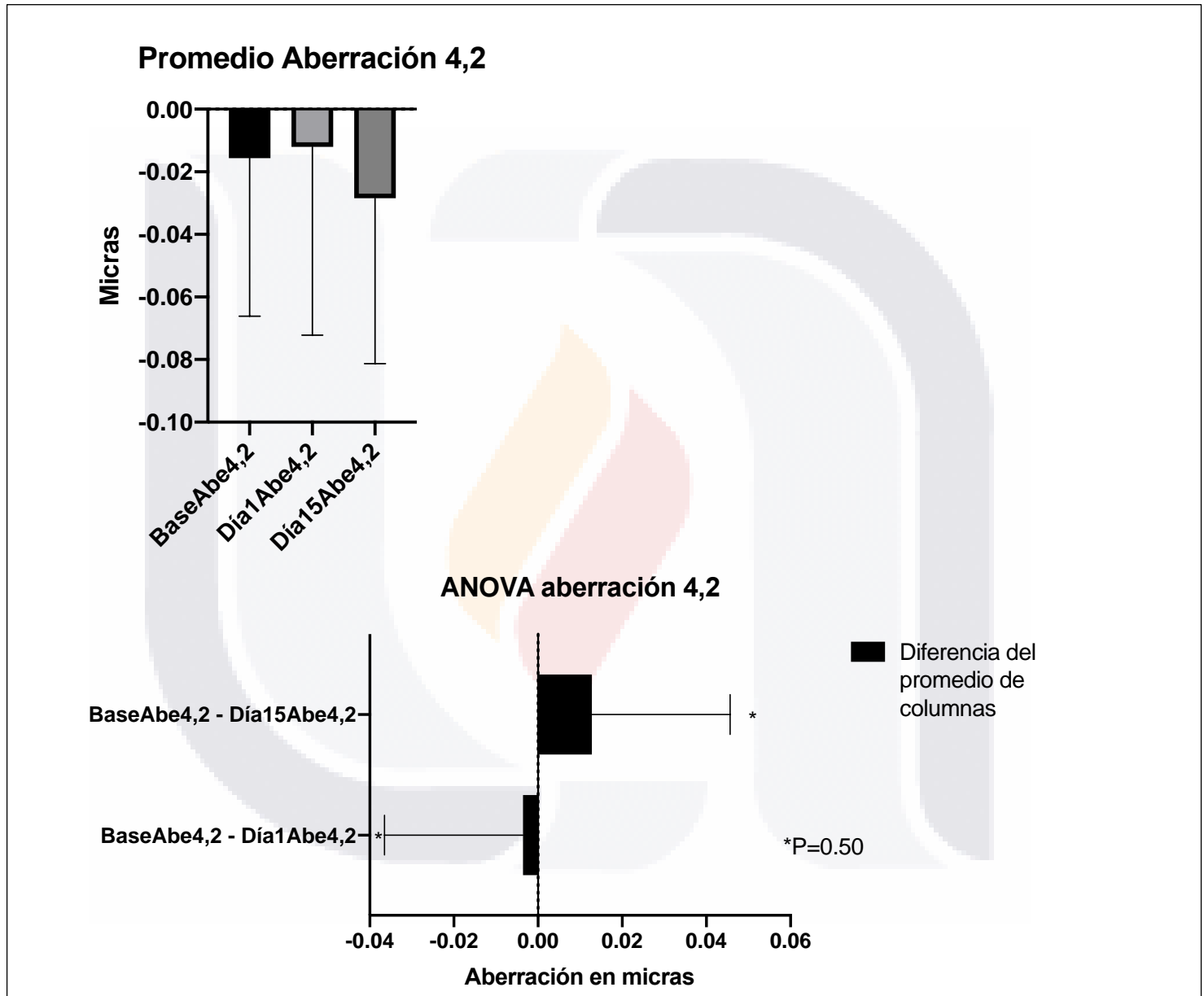


Tabla 22. Cambios en la aberración de alto orden 4,4 antes, al día siguiente y a los 15 días del tratamiento de Ortoqueratología nocturna. (A) La ortoqueratología disminuye aberración de alto orden a los 15 días (Cuadrafoil 4,4). (B) ANOVA de aberración de alto orden (Cuadrafoil 4,4) no es significativa con un valor de P= 0.07 en Dunnett

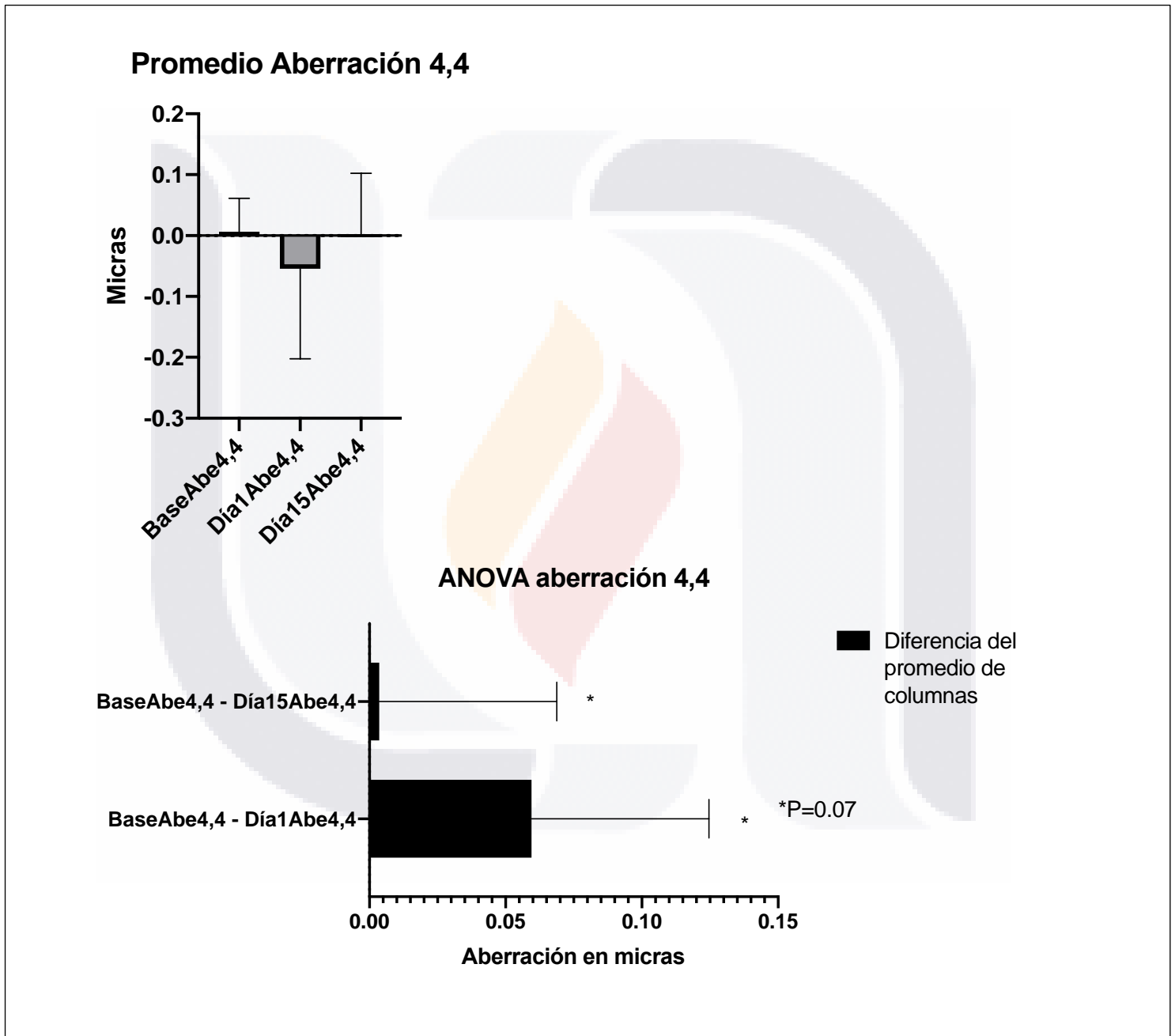
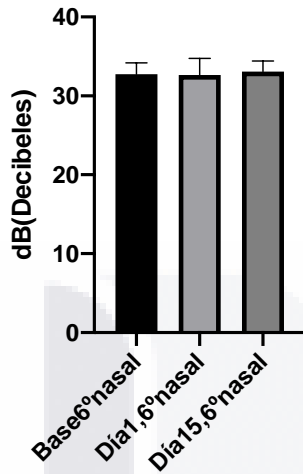
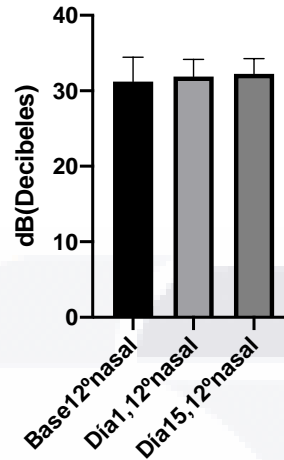


Tabla 23. Cambios en campimetría nasal, se observa cambios a los 24° y 30° en donde mejora la sensibilidad al contraste, sin embargo las diferencias fueron extremadamente mínimas y no se muestran datos estadísticamente significativos

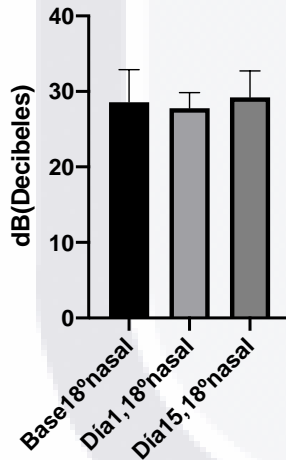
Promedio Campimetría nasal 6°



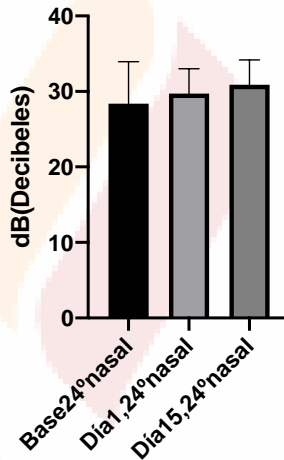
Promedio Campimetría nasal 12°



Promedio Campimetría nasal 18°



Promedio Campimetría nasal 24°



Promedio Campimetría nasal 30°

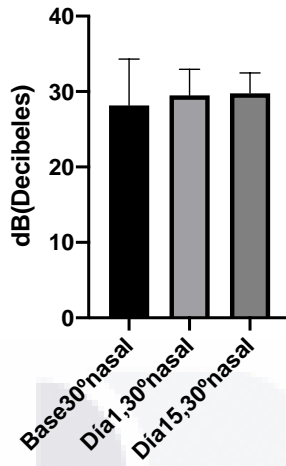
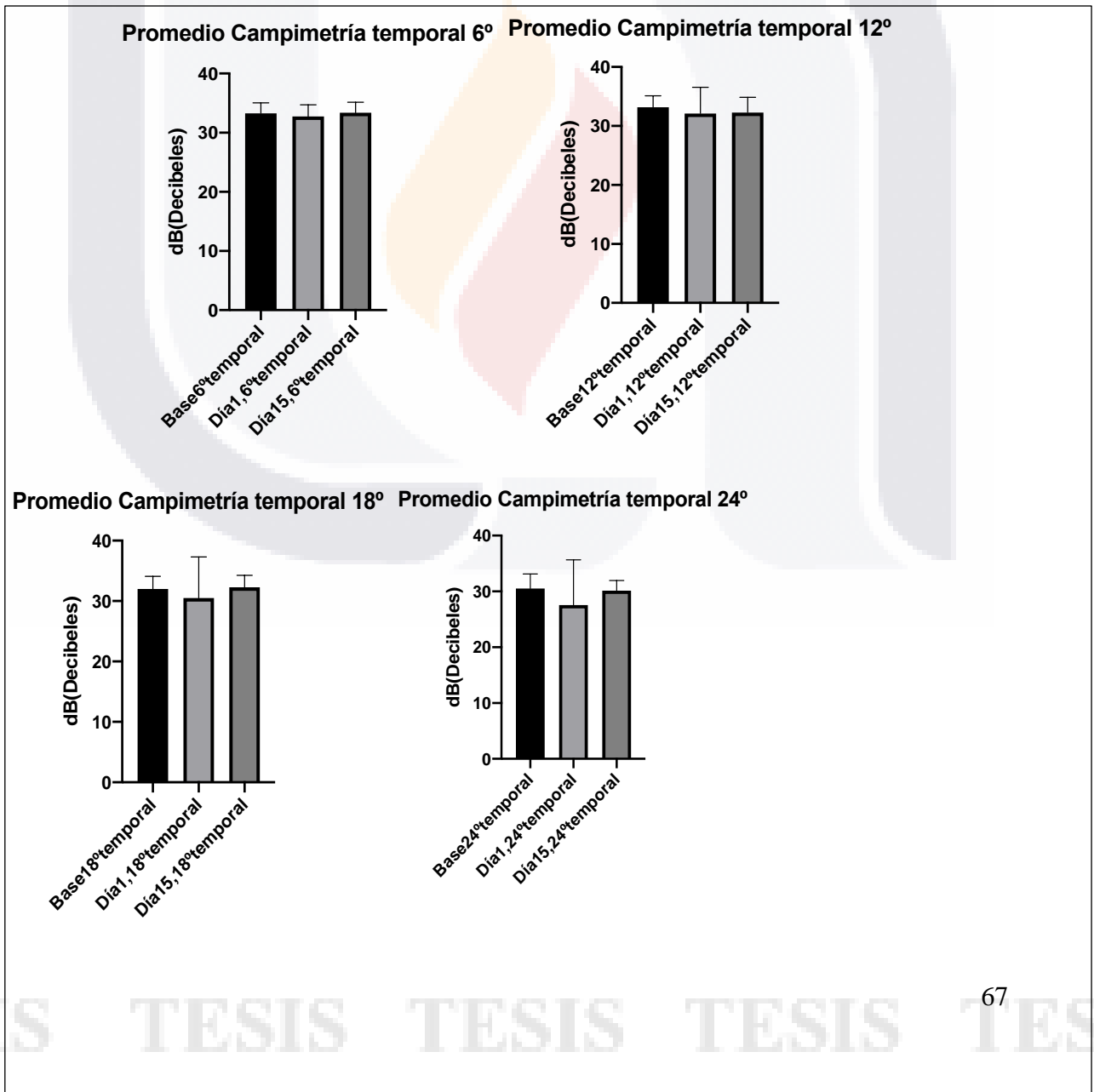


Tabla 24. Cambios en campimetría temporal, no se observa cambios significativos



Promedio Campimetría temporal 30°

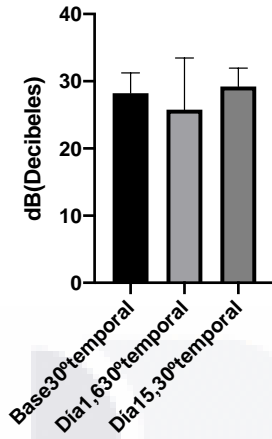
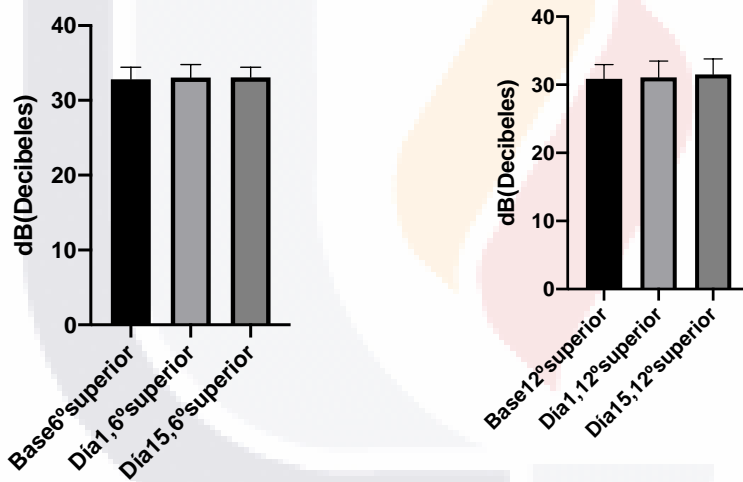
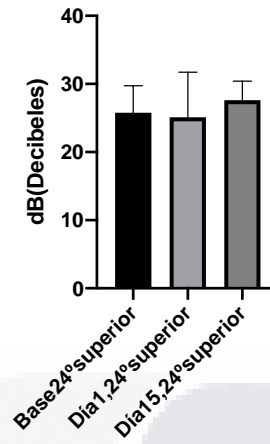
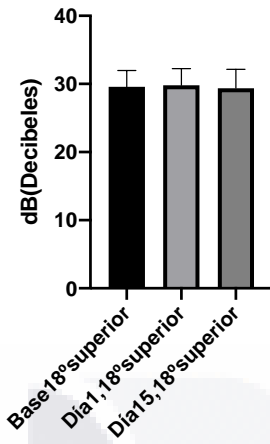


Tabla 25. Cambios en campimetría superior, se observa cambios a los 24° y 30° en donde mejora la sensibilidad al contraste,

Promedio Campimetría superior 6° Promedio Campimetría superior 12°



Promedio Campimetría superior 18° Promedio Campimetría superior 24°



Promedio Campimetría superior 30°

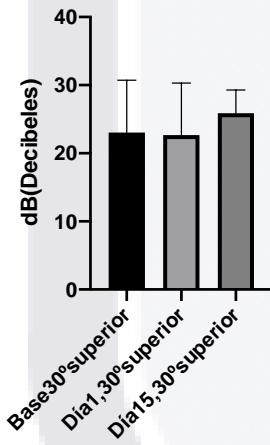


Tabla 26. Cambios en campimetría inferior, no se observa cambios significativos.

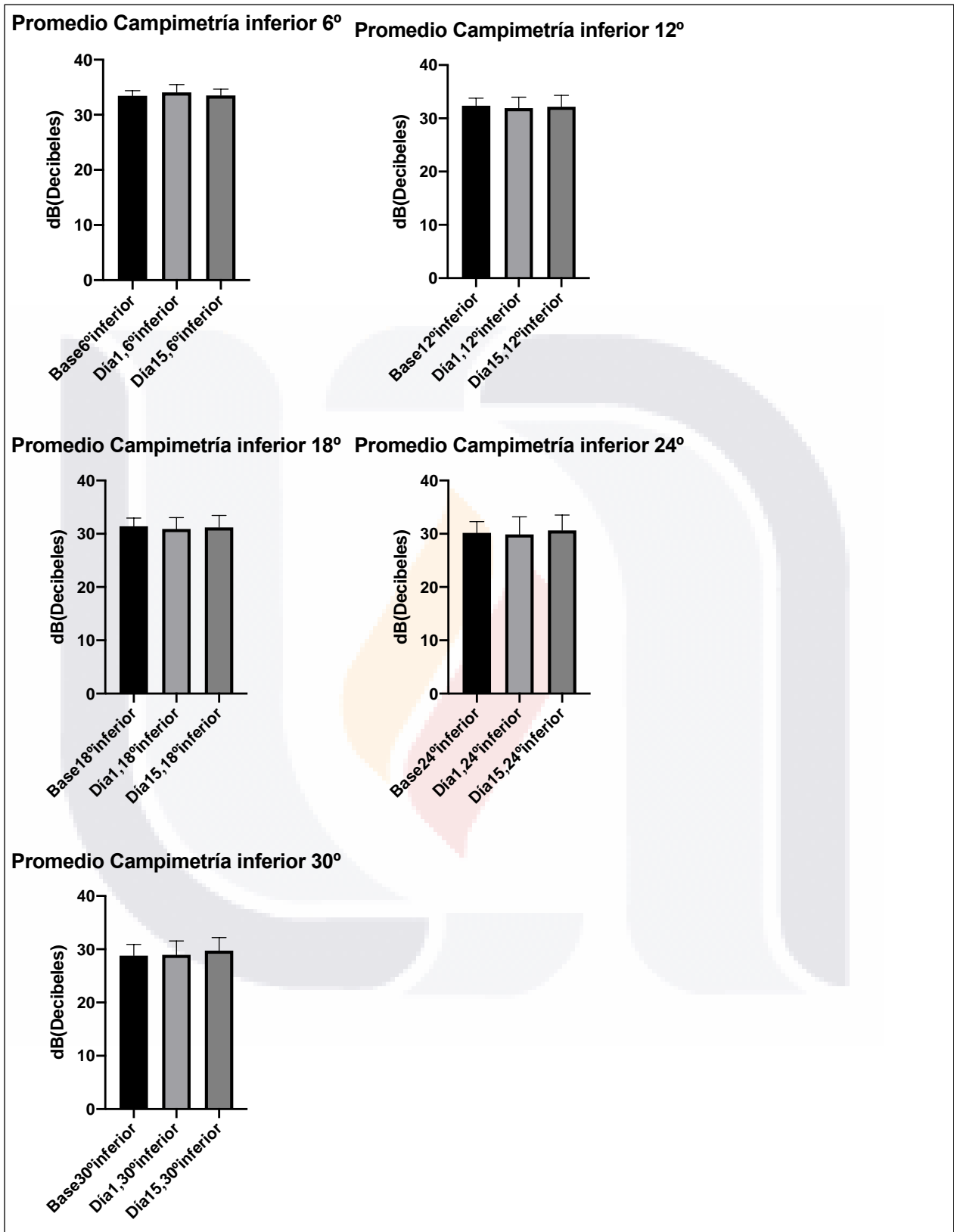


Tabla 27. ANOVA y valor de P de las campimetrías nasales

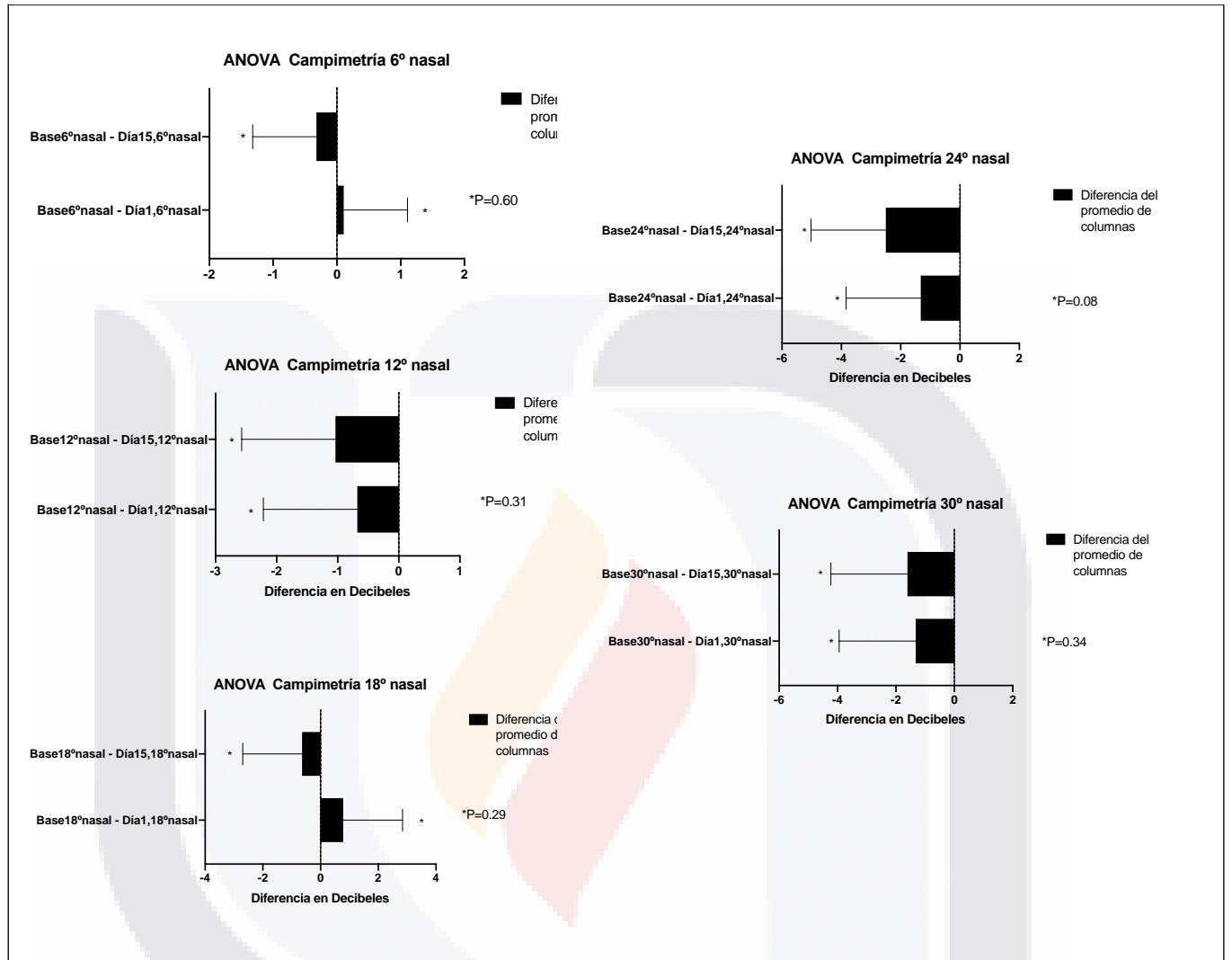


Tabla 28. ANOVA y valor de P de las Campimetrías temporales

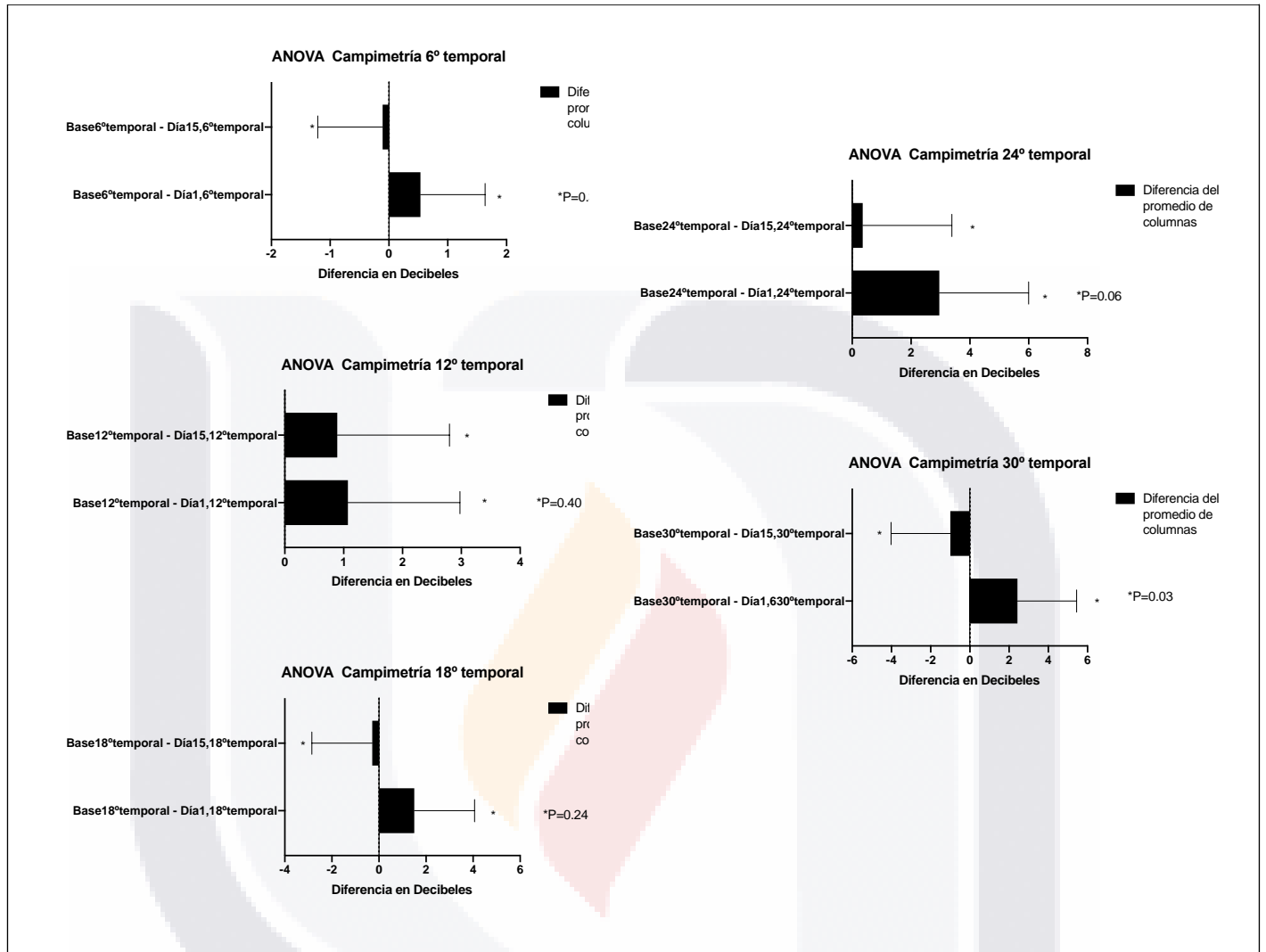


Tabla 29. ANOVA y valor de P de las campimetrías superiores

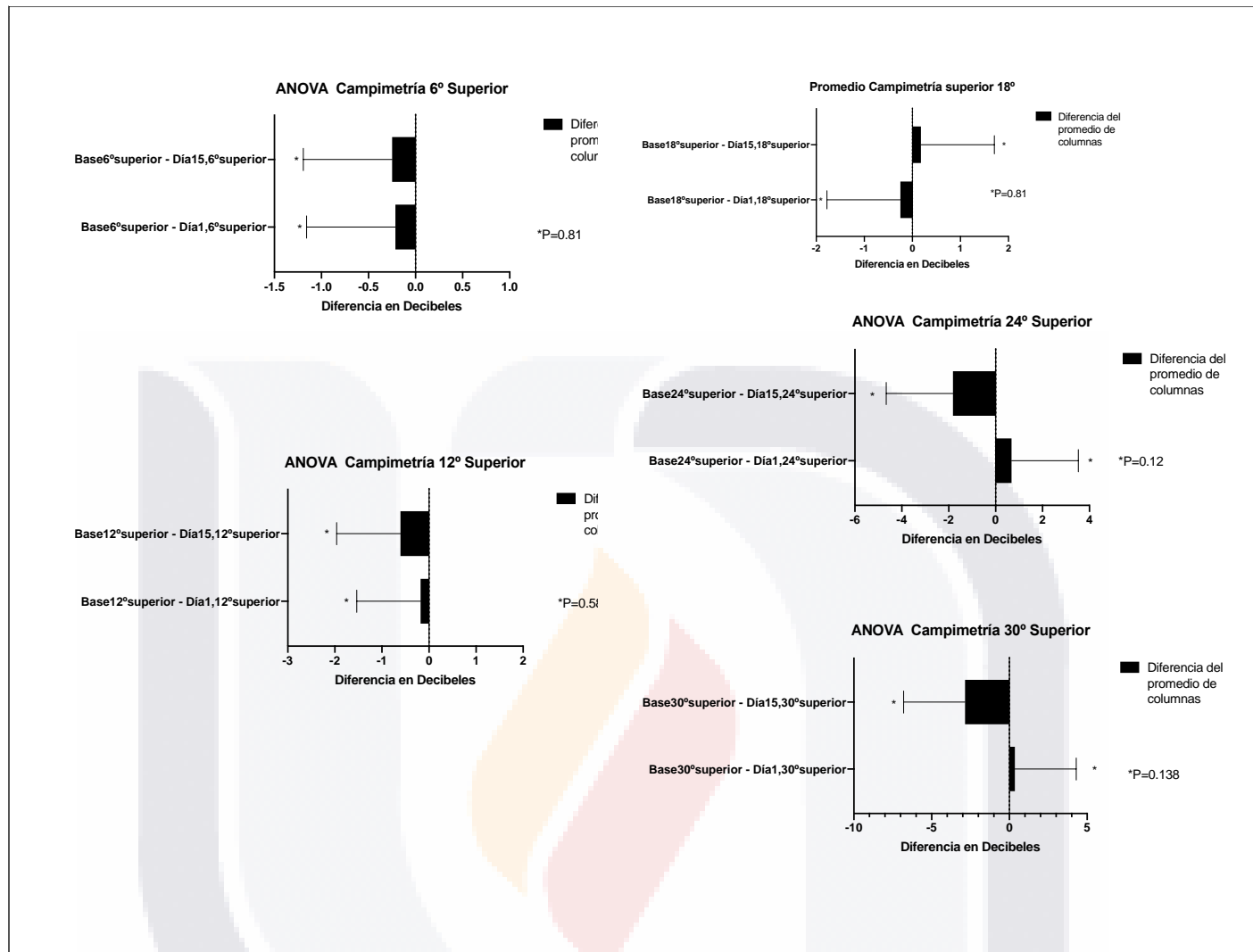
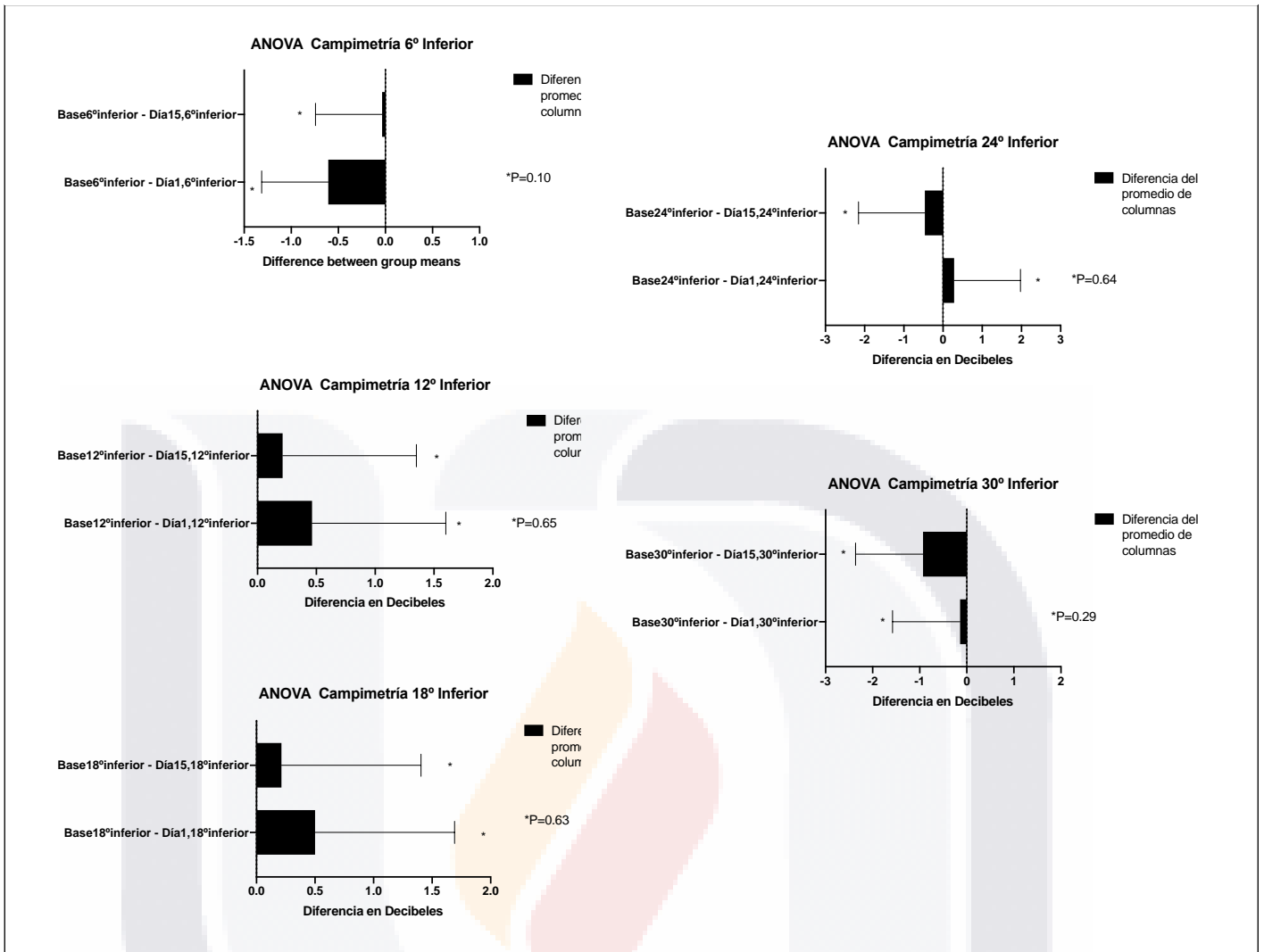


Tabla 30. ANOVA y valor de P de las campimetrías inferiores



DISCUSION

Se realizó una evaluación posterior a la adaptación de ortoqueratología con la marca CRT de Paragon apegado al protocolo del fabricante a 14 sujetos, 28 ojos, con la finalidad de identificar la relación que existe entre la sensibilidad al contraste, campos visuales central y periférico con la formación de aberraciones producto de la adaptación. Se realizaron analisis por medidas de tendencias central para analisis descriptivos y pruebas de ANOVA con la técnica estadística de Dunnett para la identificación de muestras relacionadas y la inferencia entre grupos con un índice de confianza del 95% y un valor de significancia estadística de 0.05.

La muestra de los sujetos evaluados fue de 28 ; 3 hombres y 11 mujeres con una media de edad de 24.78 y una desviación estandar de 4.02 años

Un estudio realizado en Taiwan por Chiung-Fang Chang et al, 2019 sobre el efecto de los lentes de Ortoqueratología sobre la función de sensibilidad al contraste y las aberraciones de orden superior en niños y adultos utilizando los lentes de contacto de ortoqueratología durante 28 días, al terminar el tratamiento se revela que la sensibilidad al contraste es mas significativa en adultos (>18) que en los niños a pesar de que no encontraron diferencias significativas en el cambio de las aberraciones oculares de orden superior entre ambos grupos de sujetos; el resultado fue un aumento claramente significativo en las aberraciones de orden superior totales, el coma y la aberración esférica, ellos proponen que los niños pueden tener una mejor adaptación neuronal para compensar las aberraciones ópticas inducidas por el uso de lentes de Ortoqueratología.

Podemos deducir con esta afirmación que se hace en este estudio, que las personas adultas >18 años que estan en edad productiva, y que inician su tratamiento son los que podrían descartar el uso de este tipo de tratamiento por alguna limitación mientras tanto si utilizan este tipo de tratamiento de una manera mas temprana debido a su adaptación neuronal son capaces de compensar las aberraciones y no tener estos problemas como las personas que inician en edad adulta; es por ello que al iniciar con este tipo de tratamiento de debe de tener en cuenta la edad de la persona que va iniciar con el uso de lentes de contacto para ortoqueratología nocturna; en nuestro estudio solo se valoran los 15 días del tratamiento para ver la modificación de este tipo de aberraciones, en la que se encuentra estadísticamente significativo la aberración esférica y solo 1 de los sujetos refiere perdida de calidad visual durante la noche.

Los resultados muestran que la agudeza visual promedio del grupo de estudio antes del tratamiento fue de AV lejana 20/114 y AV cercana 20/30 con un valor de $P=0.0002$ lo que significa que es estadísticamente significativo y para la interpretación

de los valores estadísticos se utilizó con una T de student para muestras relacionadas

Se realizaron paquimetrías en todos los sujetos con el OCT Cirrus 5000 marca Carl Zeiss el promedio fue de 520.5 micras antes del tratamiento con una desviación estandar de 19.74 y posterior al tratamiento fue de 520.64 con una desviación estandar de 22.13

La diferencia de las micras modificadas entre el día base y el día 15 fue de tan solo .14, lo cual hago referencia que a los 15 días de la adaptación de ortoqueratología nocturna la cornea sigue inflamada. En un trabajo de grado hecho en la Universidad Complutense de Madrid por María Nombela Palomo, 2018 llamado *Efecto de la ortoqueratología nocturna en la morfología del epitelio corneal y su relación con la sensibilidad corneal* realiza dos estudios uno a corto y otro a largo plazo, el primer estudio con duración de 13 meses relaciona los cambios en el epitelio corneal antes, al mes, al año y un mes después de retirar el uso de lentes de Ok para observar la recuperación corneal, se realizó en 71 sujetos entre los 18 y 30 años; este estudio lo realizó con diferentes grupos de estudio y en uno de sus grupos, 35 de los sujetos fueron adaptados con la misma técnica de OK Paragon CRT en la cual se observa una disminución del epitelio central al mes de uso de Ok de -6.1 con una desviación estandar 15.7, la cual no cambia mucho al año de uso con un promedio de -7.5 y una desviación estándar 14.5, revela que el epitelio corneal recupera su forma 1 mes después de dejar de usar el tratamiento de Ok con un promedio 1.3 y una desviación estandar de 15.2.

En este estudio solo se midieron paquimetrías y se tomaron en cuenta los datos centrales, fue un estudio a corto plazo y para fines comparativos se encuentra que en nuestro estudio se encontró un aumento en el grosor corneal central en el 75 % de los casos, en el 18% disminuyó el grosor corneal y el 7% se presentó sin cambios al siguiente día posteriormente a los 15 días se encuentra que el 53% de los casos el grosor corneal central disminuye, en el 43 % de los casos este grosor aumenta, y en el 4% el grosor se mantiene de la misma manera.

Esto es debido a que nuestros datos tomaron en cuenta toda la morfología corneal y no se tomaron las capas por separado; en el estudio realizado en Madrid por María Nombela Palomo, 2018 hace la comparación de las diferentes capas refiriendo que el epitelio central disminuye y el periférico aumenta al mes de tratamiento de ortoqueratología nocturna.

Nos indica una variable conocida como plexo y hace referencia al espesor del plexo nervioso que subyace bajo el epitelio y en el espesor de la membrana de Bowman ella refiere que este plexo tiene un aumento en el espesor durante y después del tratamiento, la membrana de Bowman también tiene un aumento del espesor durante el tratamiento y hace referencia que esta capa disminuye después de 1 mes de la suspensión del tratamiento, eso explica por que en este caso no se observó claramente una disminución en la paquimetría central en casi la mitad de los sujetos que se sometieron al tratamiento de 15 días.

Tabla 31. Comparativa de los espesores corneales a lo largo del tiempo por grupo y localización de la córnea, Nombela Madrid, 2018

Espesores (μm)	p-valor	Preliminar	Δ 1 mes OK	Δ 1 año OK	Δ Post OK
Epitelio corneal		m \pm DE			
CRT		n = 35	n = 35	n = 17	n = 31
Central	0.38	46.7 \pm 12.8	-6.1 \pm 15.7*	-7.5 \pm 14.5 [†]	1.3 \pm 15.2 ^º
Periférica	0.27	47.5 \pm 9.5	9.0 \pm 12.6 [‡]	7.4 \pm 12.9 [†]	2.5 \pm 11.3 ^º

Tabla 32. Comparativa de los parámetros de las estructuras corneales(espesor de las capas corneales)en pacientes que utilizan tratamiento de ortoqueratología, Nombela, Madrid,2018

Variable (m ± DE)		Preliminar (n=56)	1 mes (n=56)	1 año (n=32)	Post (n=50)	p-valor	
Espesor de las capas corneales	Epitelio (µm)	Central	38.96 ± 8.41	36.14 ± 9.81*	35.18 ± 8.11 ^a	38.61 ± 7.69 ^q	0.43
		Periferia	37.26 ± 7.34	38.27 ± 9.85*	39.74 ± 9.76 ^a	37.58 ± 7.72 ^q	0.28
	Plexo (µm)	Central	10.05 ± 1.56	10.18 ± 2.75	10.25 ± 2.98	11.08 ± 2.67	0.31
		Periferia	9.26 ± 4.12	9.34 ± 2.00	9.83 ± 2.05 ^a	9.24 ± 2.51 ^q	0.07
	Epitelio+Plexo (µm)	Central	47.04 ± 11.15	45.42 ± 9.74*	44.14 ± 8.14 ^a	48.00 ± 9.03 ^q	0.49
		Periferia	46.37 ± 9.13	47.00 ± 10.64*	48.64 ± 10.16 ^a	46.76 ± 9.47 ^q	0.33
	Bowman (µm)	Central	8.75 ± 2.49	9.30 ± 3.08	9.43 ± 2.87	8.20 ± 2.11	0.55
		Periferia	7.94 ± 2.68	8.18 ± 2.47	8.33 ± 3.02 ^a	8.03 ± 2.45 ^q	0.07
	Plexo+Bowman (µm)	Central	18.60 ± 3.79	19.02 ± 4.51	19.72 ± 4.38	18.45 ± 3.99	0.42
		Periferia	17.08 ± 4.69	17.21 ± 4.08	17.56 ± 4.06 ^a	17.11 ± 3.73 ^q	0.08

Se realizaron tomas de Diámetro pupilar mediante la función del topógrafo Zeiss En condiciones fotópicas con una media de 4.49 y escópicas de 5.86 teniendo una desviación estándar de 0.6338 y 0.4155 respectivamente.

Un estudio realizado en la Universidad de Zaragoza en España por Miguel Faria-Ribeiro et al, 2016 nos proporciona una comparación entre pupilas de 3mm y 6 mm ellos mencionan que para evaluar los cambios en la refracción axial y periférica inducidos, se observan que los ojos tratados con ortoqueratología nocturna sufren variaciones con los cambios de pupila, como lo es una degradación de la calidad visual dando como resultado un aumento de aberraciones de orden superior en consecuencia del diámetro pupilar. Dado que el tratamiento OK actúa sobre la superficie corneal anterior de la córnea, los resultados muestran una refracción periférica claramente miope que se puede interpretar como el cambio que inducirá el tratamiento en toda la óptica del ojo.

En nuestro grupo de estudio de acuerdo a la media del diámetro pupilar se puede deducir que para que nuestro tratamiento tenga la mayor probabilidad de ser exitoso y logremos una buena calidad visual tenemos que darle una especial importancia a la buena iluminación, en este estudio solo nos resultó relevante el cambio en la

aberración esférica 4,0 (central) pero si hubo cambios aunque no fueron significativos en el coma y trébol y esto dependiendo del entorno del paciente (iluminación) interfiere con la sensibilidad al contraste

Se identificó la raíz cuadrática media de los polinomios de Zernike que nos evalúa la sensibilidad al contraste en un plano pupilar objetivo mediante la función MTF del Topógrafo corneal Atlas 9000 marca Carl Zeiss el cual se obtuvo la RMS total y RMS ho con los siguientes resultados.

La RMS ho mostró un valor promedio antes de la prueba, al primer día 0.54 micras y al día 15 de 0.9 micras tanto al evaluar por el análisis estadístico de ANOVA se encuentra que hay una diferencia estadísticamente significativa entre la RMS antes de la adaptación y 15 días después lo que nos indica que hay una disminución de la sensibilidad al contraste al obtener datos más elevados de esta variable

Con respecto a la RMS TOTAL mostró un valor promedio antes de la prueba 1.37 , al primer día y al día 15 de 1.52, al evaluar empleando el mismo método de análisis se encuentra que no hay una diferencia estadísticamente significativa entre la RMS total antes de la adaptación, y 15 días después.

Las aberraciones de alto orden no mostraron un cambio significativo antes y a los 15 días del tratamiento, se observa cambio de signo el trebol y coma horizontal con el uso del tratamiento, pero esto no es estadísticamente significativo, con esto podemos inducir que si hay modificaciones en el plano horizontal, en el caso de aberración esférica 4,0 en la cual se obtiene un valor altamente significativo con un valor de $P < 0.0001$, lo que nos indica una pérdida de la sensibilidad al contraste, mas sin embargo varios autores refieren que el aumento de este tipo de aberración mejora la profundidad de enfoque como lo es en estudio similar realizado por Hiraoka et al, 2007 en Chiba, Japón con el propósito de evaluar las relaciones entre la función de sensibilidad al contraste, la aberración ocular de orden superior y corrección miope en ojos sometidos a ortoqueratología nocturna, con criterios de inclusión similares a los de este estudio que fueron refracción esférica equivalente entre -1,00 y -4,00 dioptrías (D), astigmatismo refractivo hasta 1,00 D y agudeza visual mejor corregida de 20/20 o mejor. Ellos evaluaron antes y tres meses después

del uso del tratamiento, refieren que mediante los tres índices de función de sensibilidad al contraste mediante el área bajo la función de sensibilidad al contraste de registro, agudeza visual de bajo contraste y sensibilidad al contraste de letras los cambios inducidos por ortoqueratología mostraron una correlación significativa con cambios en el tercer orden, cuarto orden y total de orden superior y los correlacionaron con la cantidad de corrección miope.

De acuerdo a los valores normales de la raíz cuadrática media en personas que no tienen astigmatismo alto o alguna ectasia corneal los valores son de 0,3 – 0,5 en este estudio el 75 % de los sujetos está por debajo de 0,5, y observando que después del tratamiento el 82.14 % de los sujetos se obtiene un valor arriba de estas cifras por lo tanto se puede decir que la Ortoqueratología sí disminuye la sensibilidad al contraste en el plano pupilar

Se realizó un análisis de correlación de Pearson entre la variable RMS_{ho} y la aberración esférica encontrándose un valor de $R=0.133$ y un valor de $P=0.32$ lo que nos indica que la sensibilidad al contraste objetiva no está determinada ni se relaciona con la aberración esférica 4,0 del polinomio de Zernike, nosotros suponemos que el cambio en la sensibilidad al contraste objetiva es debido a otro factor que pudiera ser el cambio en la asfericidad corneal y el nivel de la ametropía modificada por el moldeamiento corneal y su efecto en esta prueba visual.

Es relevante mencionar que la agudeza visual de todos los participantes alcanzó la unidad visual, esto se interpreta por que la aberración esférica de alto orden nos proporciona profundidad de enfoque y por lo tanto nos mejora la agudeza visual

Se ha demostrado que la presencia de aberración de alto orden, en particular la aberración esférica negativa, mejora la profundidad de enfoque. Cantu' et al, 2016 demostraron que la inducción de aberración esférica negativa después de la ablación con láser excimer puede conducir a un aumento medible en la profundidad de enfoque y una mejora en el rendimiento de la visión de cerca; esto al hacer como un tratamiento en el que se aplanan el centro corneal podría decirnos que con la ortoqueratología mejora nuestra profundidad de enfoque siempre y cuando nuestra

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

pupila este en miosis, además, Nio et al,2002, utilizando un modelo teórico del ojo, demuestran que la inducción de aberraciones esféricas e irregulares puede aumentar la profundidad de enfoque, pero no sin disminuir la función de transferencia de modulación a altas frecuencias espaciales. Cheng et al,2004 informan que un cambio en la aberración esférica en una dirección negativa se relaciona linealmente con la amplitud de acomodación. Esto nos puede hacer pensar que al modificar un poco esta aberración central el paciente tendrá mejor agudeza visual a lo lejos; pero si esto es demasiado tendrá un efecto adverso en la visión cercana, ya que me hace pensar que el paciente tendrá fatiga ocular si realiza un trabajo extendido en visión cercana.

Se intentó correlacionar la excentricidad con el cambio en las paquimetrías, para observar si estas tenían algún cambio más significativo a los 15 días de uso del tratamiento en excentricidades arriba de 0.50, pero al observar los datos no hubo relación en ninguno de los datos, o algo que me hiciera pensar que a mayor excentricidad puede ser más rápido el moldeo corneal o permanente más sin embargo yo estuve tratando con ojos sanos que tenían excentricidades normales: ya que en el 53% de los casos las paquimetrías centrales disminuyeron a los 15 días y en el 43 % de los casos aumentaron pero esto se debe a que la cornea está inflamada por esa disminución de paso de oxígeno entonces por lo tanto en este estudio no fue significativo el valor de excentricidad ya que tratamos con ojos con excentricidades normales y no observé diferencia al respecto

Se realizaron las tomas de campimetría visual a los 30° de los 4 cuadrantes en campímetro HFA 3 850 marca Carl Zeiss en la cual no se observaron resultados estadísticamente significativos, a los 15 días encontramos que las campimetrías centrales en dB son muy similares antes del tratamiento de OK, más sin embargo se observa una ligera mejoría de aproximadamente de 2dB en los 24° y 30°, al igual como menciona Charman et al, donde ellos reportan que obtienen cambios significativos dentro de los $\pm 10^\circ$ grados centrales y unos ligeros cambios en el campo visual más periférico después de los 30°

Mathur, Ankit and Atchison, David, 2009 en su estudio donde los sujetos utilizan dos semanas el lente de ortoqueratología como en este estudio evalúan hasta $\pm 34^\circ$ del campo visual con un aberrometro Hartmann-Shack modificado. Y observan que la ortoqueratología corrige la refracción esférica dentro de los 25° centrales de los campos visuales hubo aumentos en el coma axial, la aberración esférica, la raíz cuadrática media (RMS) de orden superior y la aberración cuadrática media total (excluyendo el desenfoque).

Al observar este tipo de aberraciones centrales que tienden a mejorar la profundidad de enfoque, se debe tener en cuenta su impacto relativo en la agudeza visual y la calidad. Utilizando el análisis que nos ofrece el topógrafo mediante el frente de onda junto con el análisis de los polinomios de Zernike se muestra previamente el impacto desproporcionado que surge en la campimetría de las aberraciones de alto orden individuales en la agudeza visual. Las aberraciones cerca del centro de la pirámide polinomial de Zernike (por ejemplo, coma, aberración esférica y astigmatismo secundario) causaron una mayor distorsión de calidad visual que los de la periferia de la pirámide. Tenemos que mantener una aberración deseable para mantener la calidad visual mientras se aumenta la profundidad de enfoque, cuando ésta es excesiva a menudo se asocia con la pérdida de la visión corregida a distancia y de cerca.

CONCLUSIONES

Del análisis de los resultados se puede constatar en referencia a la evaluación de la función visual y a los cambios inducidos en la morfología del epitelio corneal lo siguiente:

La OK corrige la refracción esférica al encontrar que en este estudio fue estable y muy cercana al plano 1 después de 15 días de uso correcto del tratamiento de OK

El campo visual tiene una ligera mejoría en los 24° y 30° de acuerdo a lo medido en el campímetro pero no es estadísticamente significativo.

Las aberraciones de orden superior tienen un cambio con el uso de tratamiento de OK mas sin embargo a los 15 días de uso estos cambios no fueron significativos, exceptuando la aberración esférica. Se tendría que evaluar posteriormente si las aberraciones de orden superior siguen aumentando con el uso de OK con el paso de los días y si estas pueden llegar a ser significativas.

La aberración esférica de 4to orden aumenta y es estadísticamente significativa, se puede interpretar, como pérdida de sensibilidad al contraste, pero hay resaltar que el sujeto no tendría problemas de desenfoque en vision cercana de acuerdo a la naturaleza y comportamiento de esta aberración, y los efectos serían mayores en visión lejana.

La ortoqueratología nocturna disminuye la sensibilidad corneal central objetiva a corto plazo (15 días) en el plano pupilar, la cual es proporcional al observar el aumento de RMS ho, ésta llega a afectar en mayor medida la calidad de visión del sujeto cuando se encuentra en diámetros pupilares mayores, debido a la mayor intervención de aberraciones periféricas (esto ocurre cuando el sujeto se encuentra en condiciones escotópicas).

Se sugiere continuar investigando los cambios corneales en nuestro tipo de población, así como su consecuencia en la función visual haciendo especial énfasis en el comportamiento de cada una de las 6 capas corneales y poder llevar a cabo la estandarización de la cantidad de aberración inducida deseable que nos permite tener una buena calidad de visión en las diferentes condiciones de iluminación.

BIBLIOGRAFIA

1. Joslin CE, Wu SM, McMahon TT, Shahidi M. Higher-order wavefront aberrations in corneal refractive therapy. *Optom Vis Sci* 2003;80:805–11
2. Berntsen DA, Barr JT, Mitchell GL. The effect of overnight contact lens corneal reshaping on higher-order aberrations and best-corrected visual acuity. *Optom Vis Sci* 2005;82:490–
3. Hiraoka T, Okamoto C, Ishii Y, Kakita T, Oshika T. Contrast sensitivity function and ocular higher-order aberrations following over- night orthokeratology. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2007
4. Charman WN, Mountford J, Atchison DA, Markwell EL. Peripheral refraction in orthokeratology patients. *Optom Vis Sci* 2006;83:641–8.
5. Lau JK, Vincent SJ, Collins MJ, Cheung SW, Cho P. Ocular higher-order aberrations and axial eye growth in young Hong Kong children. *Sci Rep*. 2018;8:6726.
6. Hiraoka T, Kotsuka J, Kakita T, Okamoto F, Oshika T. Relationship between higher-order wavefront aberrations and natural progression of myopia in schoolchildren. *Sci Rep*. 2017;7:7876.
7. Lu F, Simpson T, Sorbara L, Fonn D. The relationship between the treatment zone diameter and visual, optical and subjective performance in Corneal Refractive Therapy lens wearers. *Ophthalmic Physiol Opt* 2007;27:568Y78.
8. Charman WN. Myopia, posture and the visual environment. *Ophthalmic Physiol Opt* 2011;31:494Y501.
9. Lu F, Simpson T, Sorbara L, Fonn D. The relationship between the treatment zone diameter and visual, optical and subjective performance in Corneal Refractive Therapy lens wearers. *Ophthalmic Physiol Opt* 2007;27:568Y78.
10. Gonzalez- Meijome JM, Peixoto-de-Matos SC, Faria-Ribeiro M, Lopes-Ferreira DP, Jorge J, Legerton J, Queiros A. Strategies to regulate myopia progression with contact lenses: a review. *Eye Contact Lens* 2016;42:24Y34.

11. Zhou J, Xie P, Wang D, Guo X, Yang L. The long-term clinical effects of orthokeratology in high myopia children. *Zhonghua Yan Ke Za Zhi* 2015;51:515Y9.
12. Mountford J, Ruston D, Dave T. *Orthokeratology: Principles and Practice*. Edinburgh: Butterworth-Heinemann; 2004.
13. Sridharan R, Swarbrick H. Corneal response to short-term orthokeratology lens wear. *Optom Vis Sci* 2003;80:200–6.
14. Berntsen DA, Barr JT, Mitchell GL. The effect of overnight contact lens corneal reshaping on higher-order aberrations and best-corrected visual acuity. *Optom Vis Sci* 2005;82:490–7.
15. Joslin CE, Wu SM, McMahon TT, Shahidi M. Higher-order wavefront aberrations in corneal refractive therapy. *Optom Vis Sci* 2003;80:805–11.
16. Hiraoka T, Okamoto C, Ishii Y, Kakita T, Oshika T. Contrast sensitivity function and ocular higher-order aberrations following overnight orthokeratology. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2007;48:550–6
17. Hiraoka T, Okamoto C, Ishii Y, Kakita T, Okamoto F, Oshika T. Time course of changes in ocular higher-order aberrations and contrast sensitivity after overnight orthokeratology. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2008;49:4314–20
18. F. Lu, T. Simpson, L. Sorbara, and D. Fonn, “Corneal refractive therapy with different lens materials, part 2: effect of oxygen transmissibility on corneal shape and optical characteristics,” *Optometry and Vision Science*, vol. 84, no. 4, pp. 349–356, 2007.
19. A. Queirós, J. M. González-Méijome, J. Jorge, C. Villa-Collar, and A. R. Gutiérrez, “Peripheral refraction in myopic patients after orthokeratology,” *Optometry and Vision Science*, vol. 87, no. 5, pp. 323–329, 2010.
20. S. Haque, D. Fonn, T. Simpson, and L. Jones, “Corneal and epithelial thickness changes after 4 weeks of overnight corneal refractive therapy lens wear, measured with optical coherence tomography,” *Eye and Contact Lens*, vol. 30, no. 4, pp. 189–206, 2004.

21. T. Hiraoka, Y. Matsumoto, F. Okamoto et al., "Corneal higher-order aberrations induced by overnight orthokeratology," *American Journal of Ophthalmology*, vol. 139, no. 3, pp. 429–436, 2005.
22. R. G. Anera, C. Villa, J. R. Jiménez, and R. Gutierrez, "Effect of LASIK and contact lens corneal refractive therapy on higher order aberrations and contrast sensitivity function," *Journal of Refractive Surgery*, vol. 25, no. 3, pp. 277–284, 2009.
23. F. Lu, T. Simpson, L. Sorbara, and D. Fonn, "The relationship between the treatment zone diameter and visual, optical and subjective performance in Corneal Refractive Therapy™ lens wearers," *Ophthalmic and Physiological Optics*, vol. 27, no. 6, pp. 568–578, 2007.
24. T. Hiraoka, C. Okamoto, Y. Ishii, T. Kakita, F. Okamoto, and T. Oshika, "Time course of changes in ocular higher-order aberrations and contrast sensitivity after overnight orthokeratology," *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, vol. 49, no. 10, pp. 4314–4320, 2008.
25. Y. Wang, K. Zhao, Y. Jin, Y. Niu, and T. Zuo, "Changes of higher order aberration with various pupil sizes in the myopic eye," *Journal of Refractive Surgery*, vol. 19, no. 2, pp. S270–S274, 2003.
26. L. Llorente, S. Barbero, D. Cano, C. Dorransoro, and S. Marcos, "Myopic versus hyperopic eyes: axial length, corneal shape and optical aberrations," *Journal of Vision*, vol. 4, no. 4, pp. 288–298, 2004.
27. N. Yamane, K. Miyata, T. Samejima et al., "Ocular higher-order aberrations and contrast sensitivity after conventional laser in situ keratomileusis," *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, vol. 45, no. 11, pp. 3986–3990, 2004.
28. Z. Wang, J. Chen, and B. Yang, "Comparison of laser in situ keratomileusis and photorefractive keratectomy to correct myopia from -1.25 to -6.00 diopters," *Journal of Refractive Surgery*, vol. 13, pp. 528–534, 1997.
29. Charman WN, Mountford J, Atchison DA, Markwell EL. Peripheral refraction in orthokeratology patients. *Optom Vis Sci* 2006;83:641–8.

30. Hoogerheide J, Rempt F, Hoogenboom WP. Acquired myopia in young pilots. *Ophthalmologica* 1971;163:209–15.
31. Wallman J, Winawer J. Homeostasis of eye growth and the question of myopia. *Neuron* 2004;43:447–68.
32. ChenZ, NiuL, XueF, QuX, ZhouZ, ZhouX, ChuR. Impact of pupil diameter on axial growth in orthokeratology. *Optom Vis Sci* 2012;89:1636Y40.
33. González-Méijome, J. M., Collar, C. V., & García-Porta, N. (2010). Actualización en ortoqueratología: teoría y práctica de la terapia refractiva corneal moderna. *Gaceta óptica: Órgano Oficial del Colegio Nacional de Ópticos-Optometristas de España*, (452), 36-47.
34. Pérez Corral, J. E. (2014). *Análisis de los cambios en la refracción periférica de miopes bajos con ortoqueratología nocturna en función del diámetro de la zona óptica de la lente* (Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
35. Otegui Goya, A. (2014). *Calidad visual en miopes usuarios de lentes de contacto de ortoqueratología en función del diámetro de la zona óptica de la lente* (Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
36. Castillejo Santos, A. (2014). *Estudio de los cambios refractivos provocados por la adaptación de lentes RPG con un radio más plano que el de la córnea: implicaciones en la ortoqueratología* (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
37. Queirós, A., González-Méijome, J. M., Jorge, J., Villa-Collar, C., & Gutiérrez, A. R. (2010). Peripheral refraction in myopic patients after orthokeratology. *Optometry and Vision Science*, 87(5), 323-329.
38. Lu F, Simpson T, Sorbara L, Fonn D. The relationship between the treatment zone diameter and visual, optical and subjective performance in Corneal Refractive Therapy lens wearers. *Ophthalmic Physiol Opt* 2007
39. Lu F, Simpson T, Sorbara L, Fonn D. The relationship between the treatment zone diameter and visual, optical and subjective performance in Corneal Refractive Therapy lens wearers. *Ophthalmic Physiol Opt* 2007

40. Bennett JR, Stalboerger GM, Hodge DO, Schornack MM. Comparison of refractive assessment by wavefront aberrometry, auto-refraction, and subjective refraction. *J Optom* 2015
41. Shen J, Thibos LN. Measuring ocular aberrations and image quality in peripheral vision with a clinical wavefront aberrometer. *Clin Exp Optom* 2009
42. Mountford J, Ruston D, Dave T. *Orthokeratology: Principles and Practice*. Edinburgh: Butterworth-Heinemann; 2004.
43. Hiraoka T, Okamoto C, Ishii Y, Kakita T, Oshika T. Contrast sensitivity function and ocular higher-order aberrations following overnight orthokeratology. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2007
44. Buehren T, Collins MJ, Carney LG. Near work induced wavefront aberrations in myopia. *Vision Res* 2005
45. American National Standards Institute. *American National Standards for Ophthalmics. ANSI Z80.28-2004. Methods for Reporting the Optical Aberrations of Eyes*. Washington, DC: ANSI; 2004.
46. Kakita T, Hiraoka T, Oshika T. Influence of overnight orthokeratology on axial elongation in childhood myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2011;
47. Santodomingo-Rubido J, Villa-Collar C, Gilmartin B, Gutierrez-Ortega R. Myopia control with orthokeratology contact lenses in Spain: refractive and biometric changes. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2012
48. Bakaraju RC, Ehrmann K, Papas E, Ho A. Do peripheral refraction and aberrations profiles vary with the type of myopia – an illustration using a ray-tracing approach. *J Optom* 2009
49. Kelly TS, Chatfield C, Tustin G. Clinical assessment of the arrest of myopia. *Br J Ophthalmol* 1975; 59: 529– 538.
50. Grosvenor T, Perrigin D, Perrigin J, Quintero S. Rigid gas-permeable contact lenses for myopia control: effects of discontinuation of lens wear. *Optom Vis Sci* 1991; 68: 385– 389.
51. Katz J, Schein OD, Levy B et al. A randomized trial of rigid gas permeable contact lenses to reduce progression of children's myopia. *Am J Ophthalmol* 2003; 136: 82– 90

52. Kwok E, Patel B, Backhouse S, Phillips JR. Peripheral refraction in high myopia with spherical soft contact lenses. *Optom Vis Sci* 2012; 89: 263– 270.
53. Shen J, Clark CA, Soni PS, Thibos LN. Peripheral refraction with and without contact lens correction. *Optom Vis Sci* 2010; 87: 642– 655.
54. Wagner S, Conrad F, Bakaraju RC, Fedtke C, Ehrmann K, Holden BA. Power profiles of single vision and multifocal soft contact lenses. *Cont Lens Anterior Eye* 2015; 38: 2– 14.
55. de la Jara PL, Sankaridurg P, Ehrmann K, Holden BA. Influence of contact lens power profile on peripheral refractive error. *Optom Vis Sci* 2014; 91: 642– 649.
56. De la Jara PL, Sankaridurg P, Ho A et al. A silicone hydrogel contact lens produced less myopia progression than single vision spectacles in Chinese children over a 6 month period. *Invest Ophthal Vis Sci* 2010; 51: 2198.
57. He M, Xiang F, Zeng Y et al. Effect of time spent outdoors at school on the development of myopia among children in China: a randomized clinical trial. *JAMA* 2015; 314: 1142– 1148.
58. Wu PC, Tsai CL, Wu HL, Yang YH, Kuo HK. Outdoor activity during class recess reduces myopia onset and progression in school children. *Ophthalmology* 2013; 120: 1080– 1085.
59. Universidad Nacional Autonoma de Mexico, 2016
60. Faria-Ribeiro, M., Navarro, R., & González-Méijome, J. M. (2016). Effect of pupil size on wavefront refraction during orthokeratology. *Optometry and Vision Science*, 93(11), 1399-1408
61. Jansonius NM, Fidler V, Geraghty E, Norrby S, Kooijman AC. Spherical and irregular aberrations are important for the optimal performance of the human eye. *Ophthalmic Physiol Opt* 2002; 22:103–112
62. Cheng H, Barnett JK, Vilupuru AS, Marsack JD, Kasthurirangan S, Applegate RA, Roorda A. A population study on changes in wave aberrations with accommodation. *J Vis* 2004; 4:272–280. Available at: <http://www.journalofvision.org/4/4/3/>. Accessed July 11, 2009

- 63.13. Cantu´ R, Rosales MA, Tepich´in E, Curioca A, Montes V, Ramirez-Zavaleta JG. Objective quality of vision in presbyopic and non-presbyopic patients after pseudoaccommodative advanced surface ablation. *J Refract Surg* 2005; 21:S603–
64. Tomas J Aberrometria ocular: aplicaciones clinicas y limitaciones de los sensores de frente de onda. *Ciencia & Teconología para la Salud Visual y ocular* (internet) 2014 Jun (citado 2016 oct 16); 12 (1): 93-105. DOI <http://dx.doi.org/10.19052/sv.2597>
65. Vidal R. Variaciones en el grado de aberraciones opticas corneales de alto orden em pacientes diagnosticados con ectasias corneales implantados con anillos intraestromales. *Cienc Tecnol Salud Vis Ocul.* 2012;10(1):51-63
66. Gordon- Sahag A. Millodot M, Ifrah R, Shneor E. Aberrations and topography in normal, keratoconus-suspect and keratoconic eyes. *Optomm Vis Sci* (internet). 2012 (citado 2016 jul 20); 89 (4):411-418 Disponible en www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22311193
67. Mierdel P, Kaemmerer M, Krinke HE, Seiler T. Effects of photorefractive keratectomy and cataract surgery on ocular optical errors of higher order. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 1999;237: 725–729.
68. Seiler T, Kaemmerer M, Mierdel P, Krinke HE. Ocular optical aberrations after photorefractive keratectomy for myopia and myopic astigmatism. *Arch Ophthalmol.* 2000;118:17–21.
69. Ethier C.R, Johnson M, Ruberti J. Ocular biomechanics and biotransport. *Annu Rev Biomed Eng.* 2004;6:249.
70. Winkler M, Chai D, Krilling S, et al. Nonlinear optical macroscopic assessment of 3-D corneal collagen organization and axial biomechanics. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2011;52:8818.
71. Lagali N, Germundsson J, Fagerholm P. The role of Bowman´s layer in corneal regeneration after phototherapeutic keratectomy: a prospective study using in vivo confocal microscopy. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2009;50:4192-4198.

72. Meek K.M. Corneal collagen - its role in the maintaining corneal shape and transparency. *Biophys Rev.* 2009a;1:83-93. 144
73. Meek K.M, Boote. The use of X-ray scattering techniques to quantify the orientation and distribution of collagen in the corneal stroma. *Prog Retin Eye Res.* 2009b(28):369-392.
74. Bron A.J. The architecture of the corneal stroma. *Br J Ophthalmol.* 2001;85:379-381.
75. Yee R.W, Matsuda M, Schultz R.O, et al. Changes in the normal corneal endothelial cellular pattern as a function of age. *Curr Eye Res.* 1985;4:671-678.
76. Kenneth J and Manus C. Normal endothelial cell count range. *Ophthalmology.* 1980;87:861-866.
77. Matsuda M, Yee R.W, Edelhauser H.F. Comparison of the corneal endothelium in an American and Japanese population. *Arch Ophthalmol.* 1985;103:68-70.
78. Ventura A.C, Wälti R, Böhnke M. Corneal thickness and endothelial density before and after cataract surgery. *Br J Ophthalmol.* 2001;85(1):18-20.
79. Murphy C, Alvarado J, Juster R. Prenatal and postnatal growth of the human Descemet's membrane. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1984;25:1402-1415.
80. Dua H.S, Faraj L.A, Said D.G, et al. Human corneal anatomy redefined: a novel pre-Descemet's layer (Dua's layer). *Ophthalmology.* 2013;120(9):1778-1785.
81. Tomas J. Aberrometría ocular: aplicaciones clínicas y limitaciones de los sensores de frente de onda. *Ciencia y Tecnología para la Salud Visual y Ocular* .2014 jun