



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y POSGRADO



19° VERANO DE INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

U A Q



UAQ | CRECER EN LA DIVERSIDAD

Créditos

Editores

Dr. Manuel Toledano Ayala

Secretario de Investigación, Innovación y Posgrado

Dra. Azucena de la Concepción Ochoa Cervantes

Directora de Investigación



DIRECTORIO

Dra. Silvia Lorena Amaya Llano

Rectora

Dra. Oliva Solís Hernández

Secretaria Académica

Dr. Manuel Toledano Ayala

Secretario de Investigación, Innovación y Posgrado

Dra. Azucena de la Concepción Ochoa Cervantes

Directora de Investigación

M. en GIC. Karina Villarauz Camargo

Coordinadora de Difusión y Enlace

Dirección de Investigación y Posgrado

Dr. Manuel Toledano Ayala

Dra. Azucena de la Concepción Ochoa Cervantes

Comité Organizador

M. en GIC. Karina Villarauz Camargo

Coordinadora de Difusión y Enlace

C. Laura Pilar Wendolyn Vázquez Jasso

Secretaria de la Coordinación

Apoyo logístico

Publicación especial

Del 19° Verano de Introducción a la Investigación

Centro Universitario, Cerro de las Campanas s/n

Código Postal 76010, Querétaro, Qro., México.

INTRODUCCIÓN

Una de las funciones sustantivas de la universidad es la investigación, tarea a través de la cual la **Universidad Autónoma de Querétaro** asume el compromiso de atender a algunas de las problemáticas sociales más apremiantes. Aunado a lo anterior, la investigación, al estar vinculada con la docencia y, en la mayoría de los casos, con la vinculación permite proporcionar a las y los estudiantes una formación integral.

Desde la Secretaría de Investigación, Innovación y Posgrado, a través de la Dirección de Investigación se propone la realización de acciones que contribuyan a la formación en investigación de nuestro estudiantado, es por lo anterior que año con año se organizan los **Veranos de la Ciencia**. Esta actividad, consiste en una estancia de cinco semanas en donde las y los estudiantes colaboran dentro de un proyecto de investigación tutelado por una persona investigadora de nuestra universidad, con el objetivo de acercarlos a la ciencia, formarlos en investigación y despertar el interés por cursar un posgrado.

Los Veranos de la Ciencia se realizan en dos modalidades: el **Verano de la Ciencia UAQ**, dirigido a estudiantes que cursan del quinto semestre en adelante y el **Verano de Introducción a la Investigación** dirigido a estudiantes que cursan del primero al cuarto semestre. Estos programas, en comparación con otros similares, es que en los realizados por nuestra institución pueden participar estudiantes de cualquier semestre y docentes de cualquier facultad, lo cual amplía la oportunidad de formación tanto para estudiantes como para investigadoras e investigadores.

Es así que, este año celebramos la edición número **19° del Verano de Introducción a la Investigación**, en el que participaron **14 estudiantes asesorados por 7 investigadores**. En la presente compilación presentamos el producto final de cada uno de los participantes, el cual consiste en un informe de actividades de la estancia con formato de artículo científico.

Los trabajos presentados, además de que ejercitan a las y los estudiantes en la escritura con fines de comunicación académica, muestra el trabajo realizado y los aprendizajes adquiridos. Cabe señalar que todos trabajos fueron revisados y avalados por las personas investigadoras que fungieron como anfitriones.

Agradecemos a las y los estudiantes, a las personas investigadoras por su participación e interés.

Deseamos que lo aprendido trascienda en la formación personal y científica de todas y todos.

Atentamente

“Educo en la Verdad y en el Honor”

Dr. Manuel Toledano Ayala
Secretario de Investigación, Innovación y Posgrado

Dra. Azucena de la Concepción Ochoa Cervantes
Directora de Investigación

19° VERANO DE INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN, UAQ

INDICE

Participantes	Proyecto
Ángel Salvador Téllez Palma, Rodrigo Velázquez Castillo, Néstor Méndez Lozano, Fabiola Hernández Rosas.	Análisis estructural de nanofibras de hidroxiapatita dopadas con tierras raras y su relación con sus propiedades de emisión de luz.
Devany Jhoana Serna Bueno, Karen Janet Navarro García, Jorge Herrera Espinosa, Isabela del Rocío Cano Galván, Miguel Bernardo Olvera Rodríguez, Dra. María Carlota García Gutiérrez, Dra. Iza Fernanda Pérez Ramírez, MIM. Verónica Hernández Valle, MIM. Eustolia Pedroza Vargas, MCNH. Alejandra Torres Narváez.	Neuropatía diabética: investigación clínica y neurodinamia.
Iglesias Heredia, Diego Agustín, Velázquez Castillo, Rodrigo Rafael	Síntesis y caracterización de hidroxiapatita dopada con europio.
Elena Susana Vega Pérez, Sofía Armada Hernández, Dra. María Carlota García Gutiérrez, Dra. Iza Fernanda Pérez Ramírez, MIM. Verónica Hernández Valle, MIM. Eustolia Pedroza Vargas, MCNH. Alejandra Torres Narváez.	Desarrollo de competencias en técnicas inmunohistoquímicas para la detección de neuropatía diabética en etapa temprana.
Fernando Cárdenas González, Hugo Jiménez Hernández.	Uso de transformadas morfológicas en compresión de imágenes binarias.



Hernández Dimayuga, Francia Abril, Díaz Martel, Aida Guadalupe, Sánchez Tusie, Ana Alicia.	Impacto de las especies reactivas de oxígeno en la motilidad y fertilidad masculina.
Isabela del Rocío Cano Galván, Karen Janet Navarro García, Jorge Herrera Espinosa, Miguel Bernardo Olvera Rodríguez, Dra. María Carlota García Gutiérrez, Dra. Iza Fernanda Pérez Ramírez, MIM. Verónica Hernández Valle, MIM. Eustolia Pedroza Vargas, MCNH. Alejandra Torres Narváez.	Competencias en inmunohistoquímica cutánea para la detección temprana de neuropatía diabética
Magos Trejo, Jesús, Cepero González, María de los Ángeles, Moreno Celis, Ulisses.	Determinación de la prevalencia de resistencia a la insulina en mujeres con síndrome de ovario poliquístico.
Karen Janet Navarro García, Jorge Herrera Espinosa, Dra. María Carlota García Gutiérrez, Dra. Iza Fernanda Pérez Ramírez, MIM. Verónica Hernández Valle, MIM. Eustolia Pedroza Vargas, MCNH. Alejandra Torres Narváez.	Evaluación clínica integral de la neuropatía diabética.
Camacho Landaverde Daniela Pérez Reséndiz Luz Mariana Escalona Villalpando Ricardo Antonio Ledesma García Janet, Reséndiz Jaramillo Ariadna Yaneli.	Biosensores potenciométricos para la detección de iones Cloruro y Potasio.
Hernández García, María Paola, Díaz Martel, Aida Guadalupe, Sánchez Tusie, Ana Alicia.	Impacto de especies reactivas de oxígeno en fertilidad masculina.



**Ruth Andrea Pérez Rodríguez,
Rafaela Monje Torres.**

El significado del amor en familia
de Anna Karenina y Madame
Bovary.

**Sofia Armada Hernández,
Yazmín Ximena Ramos
Bermúdez, Elena Susana Vega
Pérez, Miguel Bernardo Olvera
Rodríguez, MIM. Verónica
Hernández Valle, MIM. Eustolia
Pedroza Vargas, Dra. María
Carlota García Gutiérrez, Dra.
Iza Fernanda Pérez Ramírez,
MCNH. Alejandra Torres
Narváez.**

Neuropatía diabética:
Competencias para la detección
con inmunohistoquímica cutánea



Análisis estructural de nanofibras de hidroxiapatita dopadas con tierras raras y su relación con sus propiedades de emisión de luz.

Ángel Salvador Téllez Palma, Rodrigo Velázquez Castillo, Néstor Méndez Lozano, Fabiola Hernández Rosas, UAQ facultad de ingeniería. angels_astp@hotmail.com

Resumen.

Las nanofibras que se forman a partir de hidroxiapatita (HAp) dopada con iones metálicos de elementos pertenecientes a las tierras raras tales como el europio (Eu^{3+}), utilizando el método hidrotérmico asistido por uso de microondas, son materiales de interés por su similitud estructural con la del hueso natural, una alta biocompatibilidad y la capacidad que tienen para incorporar dopantes que modifiquen sus propiedades.

La metodología seguida permite obtener nanofibras con alta pureza, cristalinidad y morfología controlada, que le otorgan una orientación cristalina preferencial. Usando ácido glutámico como un modulador que favorece la formación de fibras con superficies lisas y bordes definidos, incorporando europio para dopar la HAp, se logra que la red cristalina mejore sus propiedades fotoluminiscentes; otros dopantes como el magnesio (Mg^{2+}) muestran efectos en la biocompatibilidad y activación antimicrobiana.

La caracterización para este material dopado se realizó mediante las técnicas de difracción de rayos X (XRD) y espectroscopia infrarroja (FTIR), todo con el objetivo de confirmar la formación de nanofibras con

diámetros nanométricos además de la efectiva incorporación de los dopantes usados.

Con este procedimiento y análisis se busca lograr obtener una HAp dopada que se pueda usar como un biomaterial multifuncionales para diferentes áreas de la ciencia, una de ellas de relevante importancia la nanomedicina como medio para transporte y liberación controlada de fármacos, regeneración ósea y dispositivos optoelectrónicos.

Palabras clave:

Hidroxiapatita, dopante, nanofibras, hidrotérmico.

Introducción.

La HAp es un biomaterial que se distingue particularmente por su biocompatibilidad, bioactividad y su baja toxicidad, siendo además notable la capacidad que tiene para admitir sustituciones iónicas en algunos sitios iónicos y catiónicos de las redes cristalinas. Son estas las propiedades lo que las convierte en una plataforma versátil para poder crear mas diversos biomateriales multifuncionales, con propiedades que se pueden ajustar a la aplicación que se le busque dar. Entre las formas de lograr sintetizar la HAp es el método hidrotermal asistido por microondas (MAHM), el cual ha tenido una especial relevancia al poder ofrecer una transferencia de energía eficiente, control fino de los parámetros y tiempos de reacción reducidos de una manera drástica, favoreciendo las fases puras y morfológicas bien definidas.

A nivel cristalino, la HAp presenta de una estructura hexagonal que permite sustituciones iónicas tanto en sitios de calcio (Ca^{2+}) como en donde se encuentran los grupos fosfato (PO_4^{3-}) e hidroxilo (OH^-). Esto brinda a la HAp de una capacidad de ser dopada, lo que es una cualidad clave para poder modificar y ampliar sus propiedades al poder incorporar iones específicos en su red cristalina, esto hace posible alterar sus parámetros estructurales, mejorar su estabilidad térmica, optimizar la respuesta mecánica o incluso inducir nuevas funcionalidades al material

como lo pueden ser propiedades ópticas , magnéticas o antimicrobianas, permitiendo que el material tenga una amplia variedad de usos en aplicaciones donde se requiera de un biomaterial compatible para el uso necesitado.

Uno de los hallazgos que resulto clave durante la MAHM fue que con ácido glutámico como modulador para el crecimiento de la HAp, esta se puede organizar en nanofibras con sección transversal hexagonal y superficies lisas, así formando agregados ordenados como un haz de lápices. Es esta la morfología reproducible con orientación cristalina preferencial la que contrasta con los agregados irregulares de HAp comercial, facilitando su estudio en relaciones estructura-propiedad a escala nanométrica.

En los dopantes que se pueden usar para la HAp, están los iones de las tierras raras, los cuales han despertado un gran interés al poder aportar propiedades ópticas únicas, particularmente el Eu^{3+} es uno que activa las propiedades luminiscentes y de los más estudiados por su capacidad de emitir luz intensa y de un color definido en la región roja del espectro visible (permitiendo también el fácil análisis de la HAp dopada así en medios como el FTIR).

El dopaje es una forma de ampliar aún más las funcionalidades que se le puede dar a la HAp, teniendo por un lado la adición de tierras raras como lo es el Eu^{3+} en sitios de calcio de la apatita, conservando la fase HAp, esto induce el crecimiento preferente a lo largo del eje cristalográfico [001] y habilita la capacidad fotoluminiscente con bandas características $^5\text{D}_0 \rightarrow ^7\text{F}_j$, útil para las bioimágenes y rastreo de materiales implantables (en la emisión roja en aproximadamente 613 nm). Los análisis estructurales y de la microestructura confirman una cristalinidad elevada en la sección hexagonal y con orientación [001]; además de mapa elemental EDS muestra de distribución homogénea de Eu^{3+} sin alguna fase secundaria, esto con evidencia de una sustitución preferencial en sitios de calcio [001].

El otro dopante para HAp, el Mg^{2+} mantiene una morfología fibrilar lograda por el método MAHM, con extremos definidos, contando con separaciones laterales promedio

de 400 nm y longitudes que se encuentran en el rango de 20-30 μm , y a su vez introduce mejoras bifuncionales sin necesidad de desordenar la estructura cristalina preestablecida ni la organización jerárquica de las fibras (el ensamble de nanofibras conforma una microfibrilla hexagonal). La estabilidad morfológica obtenida por el medio de este dopaje es crucial para poder desacoplar efectos estructurales de los funcionales.

La evidencia que se obtuvo de literatura algo mas reciente demuestra que el método MAHM más la implementación de ácido glutámico permite sintetizar nanofibras de HAp altamente cristalinas con una orientación controlada (superficies dominadas principalmente por planos (300) ricos en calcio alineados con [001]), facilitando esto la sustitución iónica por Eu^{3+} y a su vez la activación de su respuesta óptica sin tener que comprometer su fase ni integridad estructural. Correlacionar las variables de síntesis (tiempo, potencia, composición, dopante) con parámetros cristalográficos (tamaño de cristalita y orientación) y salidas funcionales (intensidad, selectividad y sensibilidad fotoluminiscente) es posible gracias a los marcos anteriores.

Objetivos.

El objetivo de este trabajo consistió de sintetizar muestras base de HAp para su posterior dopaje con algún elemento para cambiar las propiedades que presenta la HAp por si sola y llevar a cabo un análisis mediante uso de diferentes técnicas instrumentales analizar como resultado el seguimiento de la metodología, así como a su vez, tener varias muestras preparadas para futuros usos que se le quieran dar a la HAp una vez que los análisis demuestren la calidad y pureza con las que hayan resultado hechas.

Se busca esto para que uno como estudiante, aprenda más usos de técnicas tanto para sintetizar materiales de métodos diferentes y a su vez que tipo de métodos instrumentales sirven para analizar lo que se busca, ya sea simplemente confirmar la formación de la HAp correctamente, o que el dopaje haya sido efectivo y realmente haya causado un cambio en la HAp para

cambiar sus propiedades despendiendo el dopante en uso.

Metodología.

Para la realización de la síntesis de HAp dopadas con iones de tierras raras se emplearon los siguientes reactivos:

- Fosfato de potasio tribásico (K_2HPO_4).
- Acido glutámico ($C_5H_9NO_4$).
- Hidróxido de potasio (KOH).
- Nitrato de calcio tetrahidratado ($Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$).

Se hizo una preparación de dos soluciones precursoras a partir de los 4 reactivos base.

La solución 1, es una solución catiónica, para la preparación de esta se tuvieron que disolver 4 gramos de ácido glutámico y 1.14 gramos de nitrato en agua destilada y se aforó hasta 300 mL.

En esta solución el $Ca(NO_3)_2$ se disocia liberando iones Ca^{2+} y NO_3^- . El ácido glutámico, por su parte al estar en un medio ligeramente ácido al inicio da pie a formar complejos con los iones liberados por el calcio mediante los grupos carboxilo ($-COO^-$), lo que posteriormente dejara modular la cristalización de la HAp.

La mezcla se mantuvo a 40 °C en agitación magnética a 300 rpm durante 1 hora (donde los últimos 10 minutos son esenciales, es el momento donde se incorporará la segunda solución).

La solución 2, es una solución aniónica, para su preparación se disolvió 0.97 gramos de fosfato de potasio y 0.73 gramos de hidróxido de potasio para después aforar hasta 250 mL de agua destilada. La mezcla se mantuvo igualmente a 40 °C, pero solo durante 10 minutos.

En esta solución la reacción que ocurre se debe a que el K_2HPO_4 proporciona iones HPO_4^{2-} y el KOH genera un medio alcalino, promoviendo así la conversión del ion HPO_4^{2-} a el ion PO_4^{3-} , que será

usado para ser la especie activa que cause la precipitación de la HAp.

Una vez la solución 2 este preparada y lista, se debe agregar a la solución 1 mientras sigue a 40 °C y agitándose, se añade esta segunda solución en los últimos 10 minutos de agitación sin bajar ningún parámetro en la solución 1, en este momento ocurre la reacción principal de precipitación dada (ecuacion1) por:



Ecuación 1.

Es por la lenta adición que se evita una nucleación descontrolada, permitiendo así que el ácido glutámico oriente el crecimiento cristalino hacia morfologías de fibra. Es de gran importancia el uso de soluciones catiónicas y aniónicas por separado para prevenir formación inmediata de precipitados de estructura amorfa y para controlar la etapa de nucleación, resultando en una obtención de producto de mayor pureza y cristalinidad como resultado final.

La mezcla resultante se transfiere a un horno sellado donde se somete a tratamiento hidrotérmico asistido por microondas a 170 °C y 80 bar, manteniendo constante la potencia y composición precursora. Este método va a favorecer la cristalización rápida y homogénea, además de una reducción significativa en el tiempo de síntesis con respecto a métodos de síntesis hidrotérmicos más convencionales.

Tras las muestras salir del horno, el producto se deja enfriar a temperatura ambiente y se filtra para quedar solo el precipitado como un sólido seco y blanco que ya puede ser usado para su caracterización.

Para el procedimiento con dopaje se hacen modificaciones a la síntesis de la HAp pura ($Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$), en el punto de la preparación de las soluciones los cuales son los siguientes:

En la primera solución (ácido + nitrato) se añade a la solución una cantidad calculada de nitrato de europio o nitrato de magnesio, sustituyendo a los iones

liberados por el calcio (Ca^{2+}) en proporciones controladas que se manejan $\leq 10\%$ molar respecto al calcio total.

Ahora como el calcio fue sustituido por nuevos iones (Eu o Mg) se obtiene resultados diferentes con respecto a la ecuación 1 donde ahora el Eu^{3+} sustituye parcialmente a Ca^{2+} . Esto introduce emisores responsables de la capacidad fotoluminiscente sin tener que desestabilizar la estructura hexagonal original de la HAp.

Por la parte del magnesio, su radio atómico mas pequeño, de igual forma sustituye a el ion Ca^{2+} , provocando en este caso, algunas distorsiones ligeras en la red que influyen en la cristalinidad y la bioactividad sin alterar la morfología obtenida.

Resultados.

Con las muestras ya preparadas para un análisis mediante herramientas instrumentales, se opta por un análisis rápido y sencillo, siendo que las mejores opciones para tener unos resultados aceptables son XDR y FTIR.

En la difracción de rayos X, se confirma que las muestras sintetizadas corresponden a la fase cristalina de la HAp (Figura 1.). En el patrón se observan picos característicos de esta estructura, $2\theta \approx 26^\circ, 31.7^\circ, 33^\circ, 34^\circ$ y 39.8° , lo que corresponde a las reflexiones (002), (211), (300), (202) y (310) respectivamente.

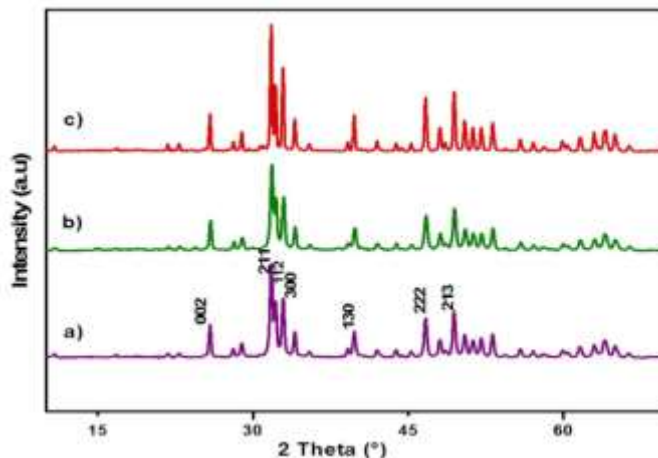


Figura 1.

No se detecta de alguna fase secundaria como fosfato tricálcico (β -TCP) o de algún óxido de calcio, evidenciando así una alta pureza en las muestras que se obtuvieron. Las intensidades relativas indican aquí una orientación cristalina preferencial, posiblemente fue favorecida por la acción del ácido glutámico como el agente modulador y el efecto que tuvieron los dopantes sobre el crecimiento cristalino.

El espectro FTIR (Figura 2), se muestran las bandas típicas de la HAp, se marca por las vibraciones de los grupos fosfato (PO_4^{3-}) se evidencian entre los $560\text{--}603\text{ cm}^{-1}$ (flexión O-P-O) y entre $1020\text{--}1100\text{ cm}^{-1}$ (estiramiento asimétrico P-O).

La banda en 3570 cm^{-1} corresponde al estiramiento del grupo hidroxilo, mientras que en la señal de alrededor de los 630 cm^{-1} se asocia a la flexión libracional del mismo grupo.

Se observan picos débiles entre los puntos $1410\text{--}1460\text{ cm}^{-1}$ los cuales se asignan a los grupos carbonato (CO_3^{2-}) incorporados por sustitución parcial en los sitios fosfato, por una posible interacción con CO_2 en el ambiente durante el procesado.

No se puede apreciar algún desplazamiento significativo en las posiciones de las bandas respecto a la HAp pura, lo que sugiere que la sustitución parcial por Eu^{3+} y Mg^{2+} no altera de una manera tan

notoria y sustancial la estructura fundamental aunque si logre modificar la intensidad de señales debido a el nuevo cambio en sus simetría local.

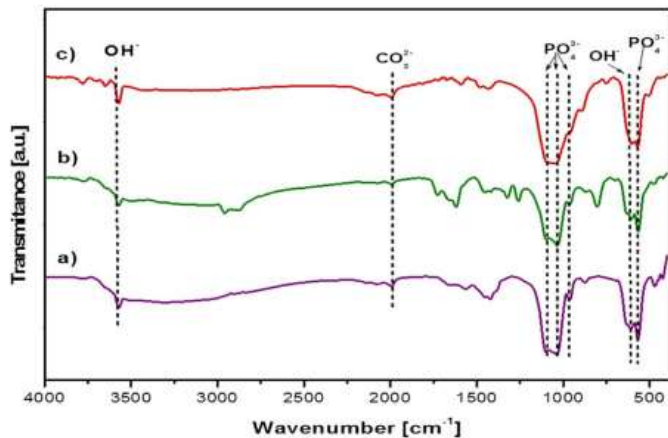


Figura 2.

Discusión y conclusiones.

Este proyecto de verano se pudo dar por una constancia y cierto seguimiento dado durante los semestres de la carrera, al poder dar una demostración practica de como es que se dan reacciones que en clase se escuchan normalmente como cristalización, por ejemplo, fue un trabajo interesante, que permite que vea a futuro lo que la HAp puede seguir ofreciendo principalmente como biomaterial, siendo esta una característica que estoy muy dispuesto a aprovechar en algún futuro cercano.

Agradecimientos.

En este apartado quiero dar mis agradecimientos al Dr. Rodrigo Velázquez Castillo por haberme aceptado en el proyecto para sintetizar y analizar hidroxiapatita, al Dr. Néstor Méndez Lozano por haber dado apoyo y seguimiento para el proceso de este verano, a Fabiola Hernández Rosas por habernos proporcionado la oportunidad de tener un sitio donde realizar la síntesis y análisis durante el verano, finalmente agradezco a Universidad Autónoma de Querétaro por haberme dado la oportunidad de participar en el verano de la

ciencia UAQ 2025, dándome la oportunidad de conocer nuevas técnicas y conocer mas personas a quienes poder seguir para un futuro próximo en la carrera.

Bibliografía.

- [1] N. Barakat, Physiochemical characterization of hydroxyapatite extracted from bovine bones by three different methods: extraction of biologically desirable HAp, *Mater. Sci. Eng.*
- [2] S. Joschek, B. Nies, R. Krotz, A. Göpferich, Chemical and physicochemical characterization of porous hydroxyapatite ceramics made of natural bone, *Biomaterials* 21 (2000).
- [3] L.-H. He, O. Standard, T. Huang, B. Latella, M. Swain, Mechanical behavior of porous hydroxyapatite, *ActaBiomater.* 4 (2008).
- [4] Lak, A., Ortega-Zarzosa, G., Rodríguez-Lugo, V., Díaz, G., & Rodríguez-García, M. E. (2025). Hydrothermal microwave-assisted synthesis of hydroxyapatite nanofibers using glutamic acid: Effect of reaction time on crystal orientation and morphology. *Ceramics International*, 51(5), 6812–6821. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2025.01.192>
- [5] Pérez-González, A., Ortega-Zarzosa, G., Rodríguez-Lugo, V., Lak, A., & Rodríguez-García, M. E. (2022). Influence of interconnected porosity on the mechanical and biological properties of hydroxyapatite scaffolds. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(14), 7658. <https://doi.org/10.3390/ijms23147658>
- [6] Lak, A., Ortega-Zarzosa, G., Rodríguez-Lugo, V., Pérez-González, A., & Rodríguez-García, M. E. (2025). Rare-earth doped hydroxyapatite nanostructures: Synthesis, structural characterization, and luminescence properties. *Journal of the European Ceramic Society*, 45(3), 512–524. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2025.01.015>

Neuropatía diabética: investigación clínica y neurodinamia

ELFT. Devany Jhoana Serna Bueno³ (dserna.alumnos.uaq.mx), ELFT. Karen Janet Navarro García³, ELFT. Jorge Herrera Espinosa³, ELFT. Isabela del Rocío Cano Galván³, ELFT. Miguel Bernardo Olvera Rodríguez³, Dra. María Carlota García Gutiérrez¹, Dra. Iza Fernanda Pérez Ramírez², MIM. Verónica Hernández Valle³, MIM. Eustolia Pedroza Vargas³, MCNH. Alejandra Torres Narváez^{1,3} ✉ (alejandra.torres@uaq.edu.mx).

¹ Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), ² Facultad de Química, UAQ, ³ Facultad de Enfermería, UAQ.

Palabras clave

Diabetes Mellitus, Neuropatía diabética, Neurodinamia, investigación clínica, escalas clínicas.

Keywords

Diabetes Mellitus, Diabetic Neuropathy, Neurodynamics, clinical research, clinical scales.

Resumen

El presente reporte expone el marco de estudio sobre el aprendizaje orientado al desarrollo de competencias clínicas y técnicas de neurodinamia. Se realizó una revisión sistemática sobre la

Diabetes Mellitus tipo 1 (DM1) y tipo 2 (DM2), los mecanismos de acción que se ven involucrados, el campo de aplicación de distintas evaluaciones dentro de la neuropatía diabética (NPD) y como se incorpora la neurodinamia para un mejor tratamiento terapéutico, esto con el fin de llegar a comprender la trayectoria de la Diabetes Mellitus (DM) desde procesos biológicos y con enfoque a la neuropatía.

Durante este estudio, se fortaleció el uso y análisis de escalas clínicas, la interpretación de signos y síntomas clínicos relacionados con la neuropatía y el desarrollo de trabajos visuales educativos, análisis de información y pensamiento científico.

Lo cual es de utilidad para evaluar candidatos al tratamiento con neurodinamia durante la práctica clínica y en próximos proyectos.

Summary

The present report outlines the study framework of learning oriented toward the development of clinical skills and neurodynamic techniques. A systematic review of Type 1 and Type 2 Diabetes Mellitus was accomplished, analyzing the underlying mechanisms of action, the applications of different evaluations within diabetic neuropathy, and how neurodynamics are incorporated to improve therapeutic treatment. In order to understand Diabetes Mellitus (DM) through its biological processes, the study focused specifically on neuropathy. Throughout this work, knowledge regarding the use and analysis of clinical scales was reinforced, as well as the interpretation of clinical signs and symptoms related to neuropathy, and the development of educational visual materials, information analysis, and scientific thinking. This framework is useful for evaluating candidates for treatment with neurodynamics during clinical practice and in future projects.

Introducción

Según Jiménez-Castillo, Martínez-Bravo y Anaya-Escamilla (2023), la neuropatía diabética representa una de las complicaciones más prevalentes de la diabetes mellitus, con una fisiopatología que involucra tanto daño periférico como sensibilización central. Su aparición se relaciona con niveles altos de glucosa en sangre de manera persistente (hiperglucemia), comunes en la DM1 y DM2.

En la DM1, la destrucción autoinmune de las células β pancreáticas genera una deficiencia absoluta de insulina, lo que favorece un descontrol glucémico sostenido si no se trata adecuadamente (Conget, 2002). Por su parte la DM2 es una enfermedad crónica en la cual destaca la resistencia de insulina y una secreción pancreática insuficiente, lo que genera hiperglucemia sostenida y riesgo de complicaciones metabólicas y vasculares (American Diabetes Association, s.f.).

La valoración de NDP es relevante para una orientación en el diagnóstico clínico y tratamiento terapéutico, esta investigación nos permite analizar estrategias de evaluación funcional y la neurodinamia aplicada, el reporte manifiesta la presentación de protocolos para la identificación de la neuropatía diabética, el uso de distintas evaluaciones clínicas como Toronto es utilizada de primera instancia para examinar la sintomatología en pacientes con DM1 o DM2, Cuestionario DN4 utilizado cuando el paciente refiere dolor con características neuropáticas y Escala de Gravedad de Michigan (MNSI) herramienta empleada a largo tiempo para monitoreo clínico continuo revisando la sintomatología.

Objetivo general

Aplicar estrategias de evaluación neurodinámica y fortalecer competencias clínicas, éticas y científicas mediante una experiencia formativa basada en investigación con pacientes con neuropatías asociadas a diabetes mellitus.

Objetivos específicos

- I) Identificar y seleccionar evidencia sobre neurodinamia como intervención en neuropatía diabética.
- II) Identificar y justificar pruebas clínicas para neuropatía diabética, integrando criterios diagnósticos basados en evidencia.
- III) Aplicar lectura crítica de literatura científica sobre neuropatía diabética para su traducción al abordaje fisioterapéutico.
- IV) Diseñar material gráfico y educativo actualizado sobre diabetes y neuropatía para fortalecer la comunicación clínica.

Metodología

A fin de abordar la complejidad de la neuropatía diabética y la neurodinamia, se implementó una metodología que integra comprensión teórica y refuerzo de habilidades prácticas con criterios éticos y científicos. La búsqueda bibliográfica se realizó en PubMed, Scihub, PEDro y MEDline. (I) Evaluación de técnicas neurodinámicas: se analizó la literatura sobre neurodinamia como tratamiento terapéutico en neuropatía diabética, organizando pautas de aplicación (criterios de inicio, progresión y suspensión) y consideraciones de seguridad. (II) Manejo de escalas clínicas: se identificaron y compararon pruebas/escalas clínicas según su eficacia y aplicabilidad, elaborando un diagrama de comparación con los ítems que las componen y su uso en pacientes con enfermedades metabólicas. (III) Integración teórica y lectura crítica: se analizaron investigaciones y se identificaron diferencias entre DM1 y DM2, generando un cuadro comparativo de signos y síntomas tempranos y tardíos e incluyendo su fisiopatología. (IV) Recopilación y divulgación: se

elaboró material educativo para pacientes con neuropatía diabética. Este enfoque vinculó la evidencia científica con la práctica clínica, fortaleciendo la toma de decisiones terapéuticas y la educación del paciente.

Resultados

(I) Neurodinamia: se identificaron y seleccionaron técnicas de movilización neural (NM) y se describieron sus efectos reportados, orientados a restablecer el equilibrio dinámico entre el movimiento de los tejidos neurales y su mecánica, reduciendo síntomas clínicos; entre los principales efectos se señalaron la mejora de la conducción nerviosa y del riego sanguíneo (Cuenca-Martínez et al., 2022). En la neuropatía diabética se observó mayor sensibilidad y rigidez neural con dolor y limitación funcional; por ello, la NM favoreció la recuperación del deslizamiento nervioso dentro de sus tejidos y vainas, beneficiando la conducción y modulando el dolor.

Tabla 1: Análisis comparativo de escalas clínicas

Criterio	Escala de Toronto	Escala de Gravedad de Michigan (MNSI)	Cuestionario DN4	Sensibilidad	Especificidad
Facilidad de aplicación	Moderada. Requiere evaluación clínica detallada.	Alta. Rápida y sencilla, puede ser aplicada por personal no especialista.	Muy alta. Solo 10 ítems, rápido y autoadministrable.	Alta (80-90%)	Alta (80-90%)
Utilidad clínica	Alta para el diagnóstico y estadificación de la neuropatía periférica.	Alta en el tamizaje de neuropatía diabética.	Alta en la identificación de dolor neuropático.	Variable (aprox. 70-80%)	Variable (aprox. 70-80%)
Recomendaciones de uso	Recomendado en entornos clínicos y de investigación por su objetividad.	Útil en atención primaria para cribado inicial.	Recomendado en clínica de dolor y neurología.	Muy alta (>80%)	Alta (80%)

Elaboración conjunta de Devany Jhoana Serna Bueno, Miguel Bernardo Olvera Rodríguez, Isabela del Rocío Cano Galván, 2025. Con base en Bouhassira, D., Attal, N., Alchaar, H., Boureau, F., Brochet, B., Bruxelle, J., et al. (2005), Ali Moghtaderi, Alireza Bakhshipour y Homayra Rashidi (2006), Bril, V., Tomioka, S., Buchanan,

R. A., Perkins, B. A., & the mTCNS Study Group (2009).

(II) Escalas clínicas: se realizó una revisión para la recopilación de información de tres escalas comúnmente utilizadas en la evaluación de la neuropatía diabética por enfermedades metabólicas, detalladas en la Tabla 1. La Toronto mostró alta sensibilidad y especificidad, aunque requiere mayor tiempo clínico; la MNSI resultó idónea para tamizaje rápido en consulta externa; y la DN4 permitió identificar con precisión el componente neuropático, confirmando mejor los casos de dolor neuropático.

(III) DM1 vs DM2: se elaboró un cuadro comparativo a partir de diversas fuentes, integrando sintomatología y aspectos fisiopatológicos relevantes, como se muestra en la Tabla 2; la DM1 se caracterizó por inicio agudo, dependencia de insulina, mayor sintomatología y deficiencia de péptido C, mientras que la DM2 fue de progresión lenta y se asoció a sobrepeso y triglicéridos elevados.

Tabla 2: Similitud de signos y síntomas de la DM1 y DM2

	DM1 (Diabetes Mellitus tipo 1)	DM2 (Diabetes Mellitus tipo 2)
SIGNOS TEMPRANOS	Aliento cetótico, piel seca y enrojecida, hiperglucemia, presencia de glucosa y cuerpos cetónicos en orina.	Sobrepeso u obesidad, hiperglucemia en ayunas, demencia diabética, dislipidemia diabética.
SIGNOS TARDÍOS	Obnubilación progresiva, pérdida de conciencia, heridas que no cicatrizan, retinopatía diabética, neuropatía periférica.	Úlceras, retinopatía diabética, nefropatía diabética, Neuropatía diabética, ETC.
SINTOMAS TEMPRANOS	Pérdida de peso, poluria, polidipsia, polifagia, astenia, labilidad emocional	Hormigueo en extremidades inferiores, infecciones urinarias, cansancio persistente, visión borrosa, sed excesiva.
SINTOMAS TARDÍOS	Entumecimiento, mareos y náuseas, visión borrosa, infecciones, dolor/ dolor digestivo	Pérdida de conciencia, pérdida de la visión, dificultad para respirar, hinchazón, mala cicatrización.
FISIOPATOLOGÍA	- Péptido C: es una cadena de 31 aminoácidos que se liberan al mismo tiempo que la insulina, comprende un papel fundamental en la salud de las fibras nerviosas; en la DM1 hay una ausencia casi total de este. - Sus objetivos principales son, aumentar la perfusión sanguínea y así evitar la hipoxia, estabilizar las bombas involucradas en el potencial de acción en las fibras nerviosas, lo que se ve alterado en esta patología	- Dislipidemia: se caracteriza por niveles elevados de triglicéridos, colesterol LDL (malo) y ácidos grasos libres (AGL), junto a un HDL reducido, lo que se relaciona con el daño de las fibras nerviosas. Causando: - Daño mitocondrial de fibras sensoriales por toxicidad de AGL. - Estrés oxidativo por LDL, liberando los ROS.

Elaboración conjunta de Devany Jhoana Serna Bueno, Miguel Bernardo Olvera Rodríguez, Isabela del Rocío Cano Galván, 2025. Con base en A. A., Zhang, W. X., & Sugimoto, K. (2001). Organización Panamericana de la Salud (2020), p. 12.

(IV) Material educativo: se elaboró un tríptico (Figura 1) que introdujo la neuropatía diabética, su fisiopatología, el diagnóstico clínico y la importancia de su evaluación; se redactó en lenguaje sencillo y de fácil comprensión para pacientes y acompañantes, fortaleciendo habilidades de redacción y comunicación.



Figura 1: Tríptico educativo de la Neuropatía Diabética

A) Neuropatía Diabética; B) Identificación, abordaje clínico y fisiopatológico. Elaboración conjunta de Devany Jhoana Serna Bueno, Miguel Bernardo Olvera Rodríguez, Isabela del Rocío

Cano Galván 2025. Con base en Chapple, B. (s.f.). Diabetes UK, Jiménez-Castillo, G. A., Martínez-Bravo, L. E., & Anaya Escamilla, A. (2023), Guillén-Núñez, M. R., et al. (2023), Diabetes UK (s.f.). Type 2 diabetes.

Discusiones y Conclusiones

El análisis de la información y la literatura presentó elementos clave para trasladar el aprendizaje al campo fisioterapéutico en futuras prácticas clínicas de DM1 y DM2, a partir de la identificación de los signos y síntomas de la neuropatía diabética. Se evidenció que la aplicación de técnicas neurodinámicas, junto con el uso de escalas clínicas, aportaran en el desarrollo de habilidades y experiencia práctica.

En conclusión, el manejo y la integración de escalas clínicas y de técnicas básicas de neurodinamia permitirán contribuir en la práctica clínica futura. Además, su divulgación permitió el desarrollo de competencias profesionales y abrió camino a futuras investigaciones dentro de esta área, con potencial de aplicación en contextos clínicos y académicos.

Agradecimientos

Con profunda estima y reconocimiento, extendo mi más sincera gratitud por la experiencia al Programa de Verano Ciencia UAQ 2025 tanto como al laboratorio de Ciencias Básicas de la Licenciatura en Fisioterapia, a la Universidad Autónoma de Querétaro que permite la implementación de los cursos para los alumnos.

Reconozco con aprecio a la Mrs. Alejandra Torres Narváez que con mucha dedicación nos auxilió en la práctica y entendimiento durante el curso, a mis compañeros su invaluable apoyo, tiempo y reflexiones para mejorar mi trabajo.

MCNH. Alejandra Torres Narváez¹, MIM. Verónica Hernández Valle¹, MIM. Eustolia Pedroza Vargas¹.

¹Facultad de Enfermería.

Referencias

- American Diabetes Association. (s.f.). Comprender la diabetes tipo 2. <https://diabetes.org/es/sobre-la-diabetes/tipo-2>
- Bouhassira, D., Attal, N., Alchaar, H., Boureau, F., Brochet, B., Bruxelle, J., Cunin, G., Fermanian, J., Ginies, P., Grun-Overdyking, A., Jafari-Schluep, H., Lanteri-Minet, M., Laurent, B., Mick, G., Serrie, A., Valade, D., & Vicaud, E. (2005). Comparison of pain syndromes associated with nervous or somatic lesions and development of a new neuropathic pain diagnostic questionnaire (DN4). *Pain*, 114(1–2), 29–36. <https://doi.org/10.1016/j.pain.2004.12.010>
- Bril, V., Tomioka, S., Buchanan, R. A., Perkins, B. A., & the mTCNS Study Group. (2009). Reliability and validity of the modified Toronto Clinical Neuropathy Score in diabetic sensorimotor polyneuropathy. *Diabetic Medicine*, 26(3), 240–246. <https://doi.org/10.1111/j.1464-5491.2009.02667.x>
- Brownlee, M. (2001). Biochemistry and molecular cell biology of diabetic complications. *Nature*, 414(6865), 813–820. <https://doi.org/10.1038/414813a>
- BridgetChapple. (s.f.). Diabetes health checks (annual review). Diabetes UK. <https://www.diabetes.org.uk/about-diabetes/looking-after-diabetes/care-to-expect>
- Castillo-González, F., Méndez-Rebolledo, G., & Guzmán-Muñoz, E. (2021). Effect of neurodynamic techniques on pain and function in patients with diabetic peripheral neuropathy: A randomized controlled trial. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 27, 213–219. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2021.02.012>
- Cuenca-Martínez, F., La Touche, R., Varangot-Reille, C., Sardinoux, M., Bahier, J., Suso-Martí, L., & Fernández-Carnero, J. (2022). Effects of neural mobilization on pain intensity, disability, and mechanosensitivity: An umbrella review with meta-meta-analysis. *Physical Therapy & Rehabilitation Journal*, 102(6), 1–8. <https://doi.org/10.1093/ptj/pzac040>
- Guillén-Núñez, M. R., Araujo-Navarrete, M. E., Duarte-Vega, M., Fonseca-Soliz, D. I., Hernández-Porras, B. C., Lara-Solares, A., Loyo-Galindo, A., Negrete-Corona, J., Madrigal-Rentería, K., & Sánchez-Mijangos, J. H. (2023). Manejo racional de las neuropatías diabéticas: consenso multidisciplinario de expertos. *Revista Mexicana de Anestesiología*, 46(3), 184–190. <https://doi.org/10.35366/111074>
- Jiménez-Castillo, G. A., Martínez-Bravo, L. E., & Anaya-Escamilla, A. (2023). Neuropatía diabética: Una revisión narrativa de fisiopatología, diagnóstico y tratamiento. *Acta Médica Peruana*, 40(3), 243–251. <https://doi.org/10.35663/amp.2023.403.2731>
- Moghtaderi, A., Bakhshipour, A., & Rashidi, H. (2006). Validation of Michigan neuropathy screening instrument for diabetic peripheral neuropathy. *Clinical Neurology and Neurosurgery*, 108(5), 477–481. <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2005.08.003>
- Olmos, P. R., et al. (2012). Bases fisiopatológicas para una clasificación de la neuropatía diabética. *Revista Médica de Chile*, 140(12), 1593–1605. Disponible en SciELO
- Organización Panamericana de la Salud. (2020). Diagnóstico y manejo de la diabetes de tipo 2 (HEARTS-D) (p. 12). OPSWNMHNV200043_spa.pdf

Ramírez Cabrales, A. (2021). Concepto de neurodinamia en neurorrehabilitación. FEDEMA informa, (10). Asociación Sevillana de Esclerosis Múltiple. [PDF]. Recuperado de NEURODINAMIA.pdf

Sima, A. A., Zhang, W. X., & Sugimoto, K. (2001). C-peptide prevents and reverses experimental diabetic neuropathy. Diabetes/Metabolism Research and Reviews, 17(6), 423–430. <https://doi.org/10.1002/dmrr.229>

Uk, D. (s.f.). Type 2 diabetes. Diabetes UK. <https://www.diabetes.org.uk/about-diabetes/type-2-diabetes>

Síntesis y caracterización de hidroxiapatita dopada con europio.

IGLESIAS HEREDIA, Diego Agustin ¹, VELÁZQUEZ CASTILLO, Rodrigo Rafael ²

¹Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería-Campus, Aeropuerto a Chichimequillas s/n C.P. 76140, Querétaro, Qro. diglesias18@alumnos.uaq.mx

¹²Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería-Campus, Aeropuerto a Chichimequillas s/n C.P. 76140, Querétaro, Qro. rodrigo.velazquez@uaq.mx

Resumen

En este trabajo primero se sintetizó hidroxiapatita (HAp) pura y dopada con europio al 2 % mediante una ruta asistida por microondas. La caracterización se llevó a cabo con difracción de rayos X (XRD) y espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR). Los resultados mostraron que ambas muestras conservaron la fase cristalina hexagonal característica de la hidroxiapatita, sin evidenciar formación de fases secundarias. En la muestra dopada se observaron ligeras variaciones en la intensidad y ensanchamiento de algunos picos, atribuibles a la sustitución parcial de Ca^{2+} por Eu^{3+} . Asimismo, el FTIR confirmó la presencia de los grupos funcionales típicos, con un incremento en la intensidad de la

banda de OH^- en la hidroxiapatita dopada. Estos hallazgos confirman que el dopaje con europio mantiene la estabilidad estructural de la hidroxiapatita.

Palabras clave: Hidroxiapatita, Europio, Dopaje, XRD, FTIR.

Abstract

In this work, pure hydroxyapatite (HAp) and europium-doped hydroxyapatite (2%) were synthesized using a microwave-assisted route. Characterization was performed through X-ray diffraction (XRD) and Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR). The results confirmed that both samples retained the characteristic hexagonal crystalline phase of hydroxyapatite, without evidence of secondary phase formation. The doped sample exhibited slight variations in peak intensity and broadening, attributed to the partial substitution of Ca^{2+} by Eu^{3+} . Additionally, FTIR spectra confirmed the presence of typical functional groups, with an increase in the OH^- band intensity in the doped hydroxyapatite. These findings demonstrate that europium doping preserves the structural stability of hydroxyapatite

Keywords: Hydroxyapatite, Europium, Doping, XRD, FTIR.

1. Introducción

La hidroxiapatita (HAp), es un fosfato cálcico cristalino cuya fórmula química es $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, es un constituye principal componente mineral de huesos y dientes. Tiene una estructura hexagonal lo que le otorga una alta biocompatibilidad y la convierte en un material clave en aplicaciones médicas como pueden ser injertos óseos, recubrimientos de implantes o en la regeneración de tejidos.

En el organismo, la hidroxiapatita se encuentra íntimamente asociada a fibras de colágeno, aportando rigidez y resistencia mecánica, mientras que su matriz orgánica otorga cierta elasticidad. Además de su origen biológico, se puede obtener por síntesis química o a partir de residuos naturales como huesos animales, lo que reduce el impacto ambiental y mantiene propiedades compatibles con el tejido óseo humano.

Su relevancia no se limita al área médica ya que hay investigaciones en donde se explora su uso en remediación ambiental, liberación controlada de fármacos o como soporte para ingeniería de tejidos. La versatilidad de la HAp radica en su similitud química con el mineral óseo natural, lo que favorece la osteointegración y minimiza reacciones adversas.

2. Objetivos

- Síntesis de hidroxiapatita para su posterior dopamiento con elementos de tierras raras (Europio) para un análisis de propiedades y estructura.

3. Metodología

Para la síntesis de la hidroxiapatita se utilizaron los siguientes reactivos:

- Fosfato de Potasio
- Hidróxido de Potasio
- Nitrato de Calcio
- Ácido Glutámico
- Nitrato de Europio



Figura 1. Proceso de síntesis.

1. Para realizar la síntesis de la hidroxiapatita pura se siguió la metodología mostrada en la figura 1. Se prepararon dos soluciones base que posteriormente se mezclaron y se colocaron en un horno microondas.
2. Para la primera solución, se colocaron 4.0097 gramos de ácido glutámico y 1.1492 gramos de nitrato de calcio en 300 mL de agua, y la mezcla se agitó en una parrilla a 40 °C durante 60 minutos.
3. Para la segunda solución, se disolvieron 0.9704 gramos de fosfato de potasio y 0.7759 gramos de hidróxido de potasio en 100 mL de

agua, y la mezcla se agitó en una parrilla a 40 °C durante 10 minutos.

4. Una vez obtenidas ambas soluciones, se mezclaron en un vaso de precipitados y se agitaron. La solución resultante se transfirió a viales de vidrio, los cuales se colocaron en un horno con un tiempo de calentamiento de 10 minutos para alcanzar la temperatura de reacción de 170 °C. Una vez alcanzada, los viales se mantuvieron en esas condiciones durante 45 minutos.
5. Finalizado el proceso, el contenido se vació en un papel filtro y se dejó reposar durante 24 horas. Posteriormente se raspó el polvo de hidroxiapatita del papel filtro y se colocó en tubos Eppendorf.
6. Para la síntesis de la hidroxiapatita dopada con europio, se sintetizó de la misma manera, pero se preparó una tercera solución en 10 mL de agua destilada con 0.058 gramos de Nitrato de Europio que se añadió en el último paso de la síntesis para obtener el 2 % de concentración.

Una vez obtenida la hidroxiapatita dopada y pura, se caracterizó con espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y Difracción de Rayos X (XRD).

4. Resultados

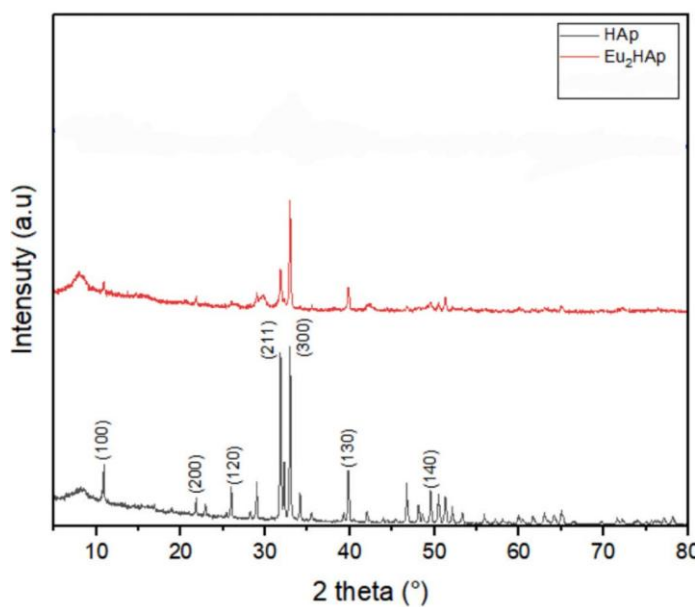


Figura 2. Resultados de XRD

La Figura 2 se muestran los difractogramas de hidroxiapatita pura (HAp) y de la muestra dopada con el 2% de europio (Eu₂HAp). En los dos casos se identificaron los picos característicos de la fase de hidroxiapatita, correspondientes a los planos (100), (200), (211), (300), (130) y (140). Para la muestra Eu₂HAp, además de la fase principal de HAp, se detectó una señal secundaria que se puede atribuir a el fosfato de potasio (K₃PO₄).

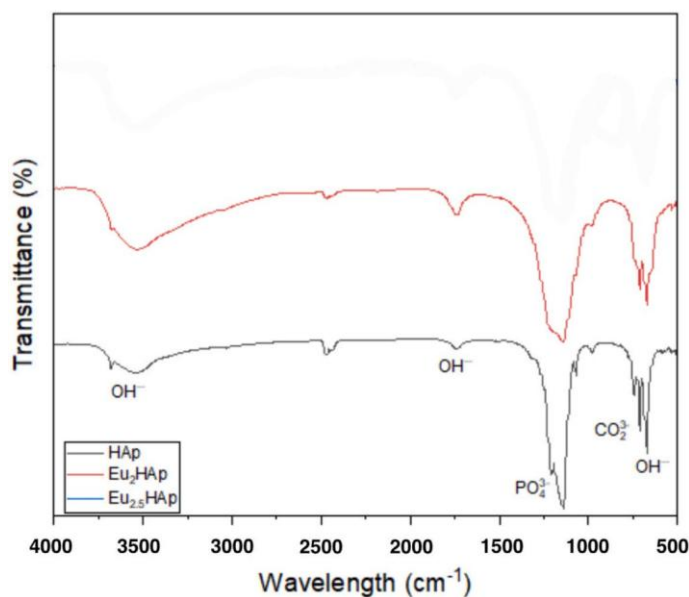


Figura 3. Resultado de espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier.

En la Figura 3 se presentan los espectros FTIR de HAp pura y Eu₂HAp. Ambos muestran las bandas características de la hidroxiapatita, los grupos fosfato (PO_4^{3-}) en 1076 y 1046 cm^{-1} , y los modos de flexión triple degenerado en 584 y 610 cm^{-1} . También se observa una banda ancha entre 3200 y 3600 cm^{-1} que puede ser asociada a la vibración de los grupos hidroxilo (OH^-). En la muestra Eu₂HAp la banda correspondiente al grupo OH^- aparece más intensa.

5. Discusión

El difractograma de Rayos X muestra que la hidroxiapatita dopada con europio conserva la fase cristalina hexagonal característica al igual que la muestra pura. No aparecen picos nuevos lo que nos indica que no se han formado fases secundarias y que la estructura principal permanece intacta.

Solo se observaron ligeras variaciones en la intensidad y el ensanchamiento de algunos picos en la muestra con europio, que se pueden atribuir a pequeños esfuerzos internos en la red cristalina. Estos esfuerzos surgen al sustituirse parcialmente Ca^{2+} por Eu^{3+} .

Por otro lado, los espectros FTIR de ambas muestras muestran las señales típicas de hidroxiapatita, confirmando que la estructura fundamental se conserva tras el dopaje. Sin embargo, en Eu₂HAp se observa un ensanchamiento en la banda de estiramiento (1046 cm^{-1}), lo que indica una pérdida parcial de simetría cristalina. Además de que la mayor intensidad de la banda OH^- sugiere que los iones Eu^{3+} se incorporan preferentemente en los sitios del Ca^{2+} de la red a lo largo de la dirección [001].

6. Conclusión

Primero se logró sintetizar la hidroxiapatita pura y dopada con europio al 2 %, después se realizó la caracterización lo que nos confirmó en ambos casos la formación de la fase cristalina hexagonal característica.

Además, los análisis de XRD mostraron que la estructura principal de la hidroxiapatita se conserva tras el dopaje, sin formación de fases secundarias, aunque con ligeras variaciones en la intensidad y anchura de los picos, atribuibles a la sustitución parcial de Ca^{2+} por Eu^{3+} .

Por su parte, los espectros FTIR confirmaron la preservación de los grupos funcionales típicos de la hidroxiapatita, con un incremento en la intensidad de la banda de OH⁻ en la muestra dopada, lo que sugiere la incorporación efectiva del europio en la red cristalina.

Estos resultados nos indican que el dopaje con europio no compromete la estructura de la hidroxiapatita, lo que abre la posibilidad de explorar sus aplicaciones en diferentes campos.

7. Agradecimientos

Quiero expresar mi agradecimiento al Dr. Rodrigo Rafael Velázquez Castillo quien me aceptó y guio dentro del proyecto, a la Dra. Fabiola Hernández y al Dr. Néstor Méndez, así como a la tesista Carolina Arleth por enseñanza y ayuda en la síntesis. De igual manera a mi compañera y amiga Cinthia Ponce por su apoyo y acompañamiento en el proyecto y a la Dirección de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma de Querétaro quienes realizaron el Verano de la ciencia.

8. Referencias

- [1]. García-Garduño, Margarita Victoria, & Reyes-Gasga, José. (2006). La hidroxiapatita, su importancia en los tejidos mineralizados y su aplicación biomédica. TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas, 9(2), 90-95. Recuperado en 22 de agosto de 2025, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-888X2006000200090&lng=es&tlng=es.
- [2]. Alanís-Gómez, J. R., Rivera-Muñoz, E. M., Cervantes-Medina, J. S., Almanza-Reyes, H., Nava Mendoza, R.,

- Cortes-Romero, C., & Velázquez-Castillo, R. (2016). Synthesis of micro and nanosized hydroxyapatite fibers through the microwave assisted hydrothermal method. Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 16(7), 75577566. <https://doi.org/10.1166/jnn.2016.12829>
- [3]. Méndez-Lozano, N. (2025). Influence of europium doping on the crystalline and photoluminescence properties of hydroxyapatite nanofibers. Ceramics International. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0272884225016190>)

Desarrollo de competencias en técnicas inmunohistoquímicas para la detección de neuropatía diabética en etapa temprana.

ELFT. Elena Susana Vega Pérez³ (evega03@alumnos.uaq.mx), ELFT. Sofía Armada Hernández³, Dra. María Carlota García Gutiérrez¹, Dra. Iza Fernanda Pérez Ramírez², MIM. Verónica Hernández Valle³, MIM. Eustolia Pedroza Vargas³, MCNH. Alejandra Torres Narváez^{1, 3} ✉ (alejandra.torres@uaq.edu.mx). ¹ Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), ² Facultad de Química, UAQ, ³ Facultad de Enfermería, UAQ.

Resumen

En el presente reporte se exponen los temas estudiados en inmunohistoquímica (IHQ) cutánea para un estudio preclínico sobre neuropatía diabética. Se llevó a cabo un estudio teórico para el diseño de un protocolo estandarizado, complementando con prácticas orientadas al conocimiento y dominio de la técnica. Además, se establecieron criterios visuales para la valoración de fibras nerviosas intraepidérmicas. El trabajo realizado permitió desarrollar habilidades como síntesis de información, creación de diagramas de procedimientos científicos, análisis cualitativo de cortes histológicos y práctica de la técnica en laboratorio, proporcionando bases sólidas para el uso correcto de la técnica.

Palabras clave: neuropatía diabética, inmunohistoquímica, fibras nerviosas intraepidérmicas.

Abstract

This report presents the topics studied in skin immunohistochemistry (IHC) for a preclinical study on diabetic neuropathy. A theoretical study was conducted to design a standardized protocol, complemented by practical exercises aimed at acquiring knowledge and mastery of the technique. In addition, visual criteria were established for the assessment of intraepidermal nerve fibers. The work carried out allowed for the development of skills such as information synthesis, creation of scientific procedure diagrams, qualitative analysis of histological sections, and practice of the technique in the laboratory, providing a solid foundation for the correct use of the technique.

Keywords: diabetic neuropathy, immunohistochemistry, intraepidermal nerve fibers.

Introducción

La neuropatía diabética es una complicación crónica de la diabetes y una de las principales causas de lesiones y amputaciones (Botas Velasco et al., 2017) y en la mayoría de los casos es detectada en etapas avanzadas provocando alteración en la sensibilidad. Un estudio IHQ cutáneo permite identificar la pérdida de fibras nerviosas afectadas en etapas tempranas (Mangus et al., 2020).

Objetivo general

Desarrollar habilidades en la técnica de inmunohistoquímica cutánea para identificar daño neuropático por diabetes en etapa temprana.

Objetivos específicos

1. Elaborar un protocolo unificado para inmunohistoquímica en muestras cutáneas.
2. Ejecutar prácticas de laboratorio para consolidar habilidades técnicas.

3. Establecer parámetros cualitativos para la evaluación visual de las fibras nerviosas intraepidérmicas.

Metodología

La capacitación incluyó: (i) El desarrollo de un protocolo conforme a las normas de bioseguridad para la práctica correcta de la técnica, integrando las fases de fijación, inclusión, corte, desparafinización, recuperación antigénica, bloqueos, incubaciones, revelado y montaje. (ii) Prácticas de laboratorio: Se ejecutó el flujo completo de la técnica para adquirir habilidades en el manejo de muestras, recuperación antigénica, bloqueos, incubaciones, revelado y montaje, cuidando tiempos críticos y control de artefactos; así como la realización de una práctica de prueba en donde se reforzaron conocimientos teóricos de la técnica de inmunohistoquímica. (iii) Análisis y extracción de la bibliografía especializada en donde se realizó una infografía con la que se comprendió la función de las fibras intraepidérmicas, y su deterioro, así como los cambios que se observan en las diferentes fases de la diabetes; y la creación de un diagrama que explica los criterios para la cuantificación de las fibras nerviosas en microscopía de fluorescencia, además del análisis comparativo de imágenes histológicas aplicando dichos criterios.

Resultados

(i) El protocolo realizado permitió analizar cortes con marcaje específico para valorar fibras intraepidérmicas y quedó documentado en un diagrama de flujo donde se detalla mediante ilustraciones el proceso de la técnica, así como tiempos, materiales utilizados y especificaciones para una práctica correcta (Figura II). (ii) En laboratorio se ejecutó el flujo completo conforme a esos tiempos y materiales, con manejo de muestras, recuperación antigénica, bloqueos, incubaciones, revelado y montaje, cuidando tiempos críticos y control de artefactos (Figura II). (iii) Con base en

la bibliografía especializada, se elaboró una infografía donde se resaltó la importancia de las fibras intraepidérmicas en la función en la sensibilidad protectora y la importancia de un diagnóstico temprano y oportuno mediante la biopsia de tejido cutáneo (Figura I); se elaboró un diagrama que explica de forma detallada cómo se realiza la cuantificación de fibras intraepidérmicas así como los criterios que se tienen que tomar en cuenta para que la fibra se considere, realizado mediante una revisión de artículos que sustentó la elección de marcadores y la definición de criterios visuales (Figura III); y se realizó un análisis comparativo de imágenes extraídas de bibliografía especializada donde se pudo poner en práctica lo aprendido como la identificación de fibras intraepidérmicas en una imagen histológica y los criterios de cuantificación de las mismas (Figura IV).

Discusión y conclusiones

Los trabajos realizados evidenciaron la importancia de un diagnóstico temprano con el estudio de fibras intraepidérmicas. La realización de un protocolo unificado permitió establecer los pasos necesarios para una práctica correcta, la práctica piloto destacó la factibilidad de implementar IHQ cutánea en un entorno preclínico y la definición de parámetros cualitativos de lectura microscópica fortaleció la identificación e interpretación de fibras; en conjunto, la formación recibida constituyó un avance sustancial para adquirir habilidades de ciencias básicas aplicadas al área de la salud y dejó una base factible y reproducible para la evaluación temprana del daño neuropático mediante el análisis de la densidad de fibras intraepidérmicas, con una ruta clara hacia cuantificación estandarizada y futura validación clínica. En cuanto a las limitaciones, el laboratorio se encuentra en crecimiento, con infraestructura, equipamiento y procedimientos aún en desarrollo. Esta jornada de investigación representó una experiencia formativa valiosa que permitió un acercamiento en ciencias básicas y estableció bases

sólidas para proyectos futuros orientados a la detección temprana de afectaciones nerviosas.

Agradecimientos

Se agradece al Programa Verano de la Ciencia UAQ 2025 y al Laboratorio de Ciencias Básicas de

la Licenciatura en Fisioterapia por el espacio proporcionado, a la MCNH. Alejandra Torres Narváez por la confianza y paciencia hacia nosotros y a todos mis compañeros del verano.



La piel como biomarcador temprano para la neuropatía diabética

Sofía Armada Hernández, Elena Susana Vega Pérez

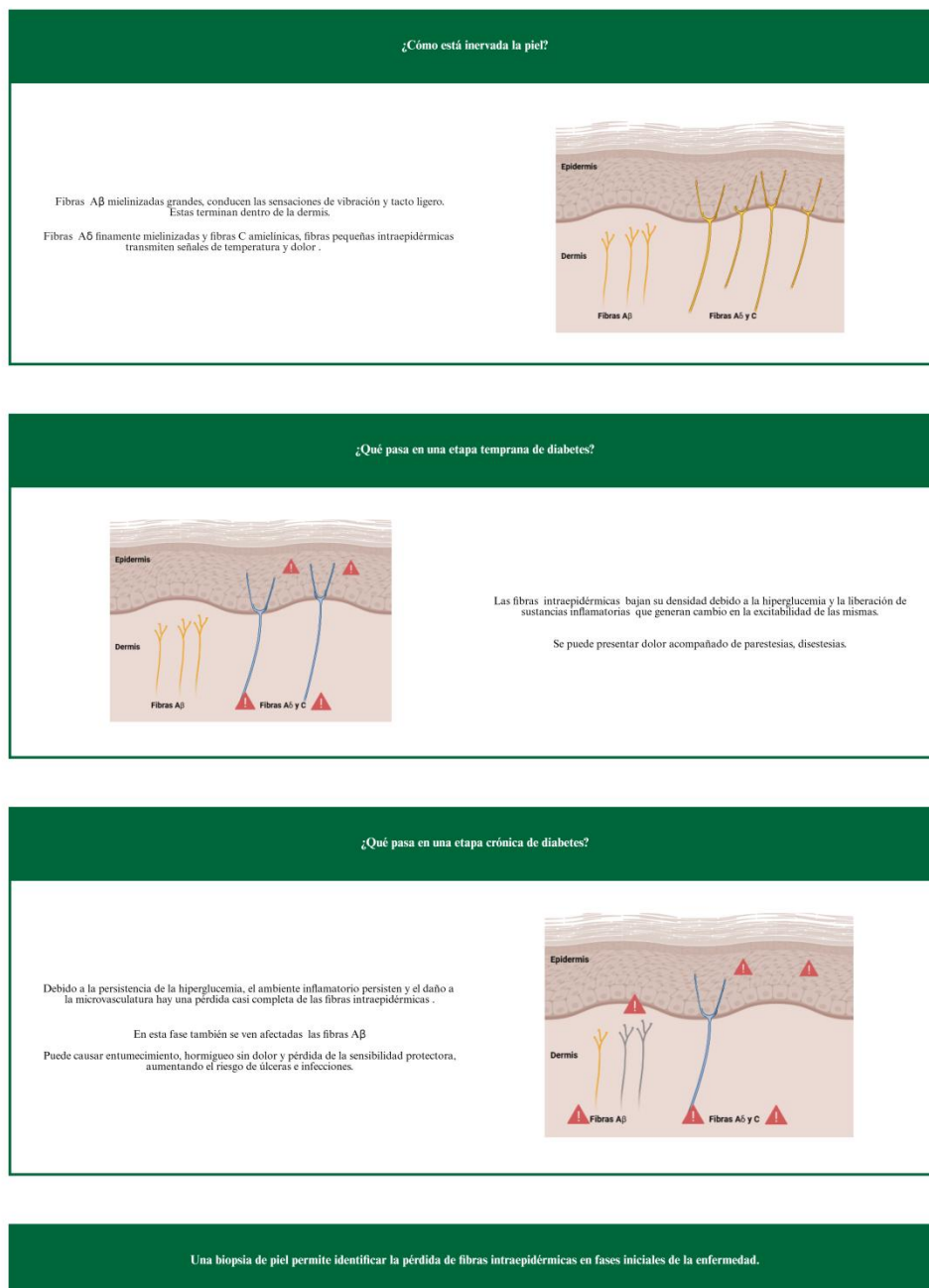
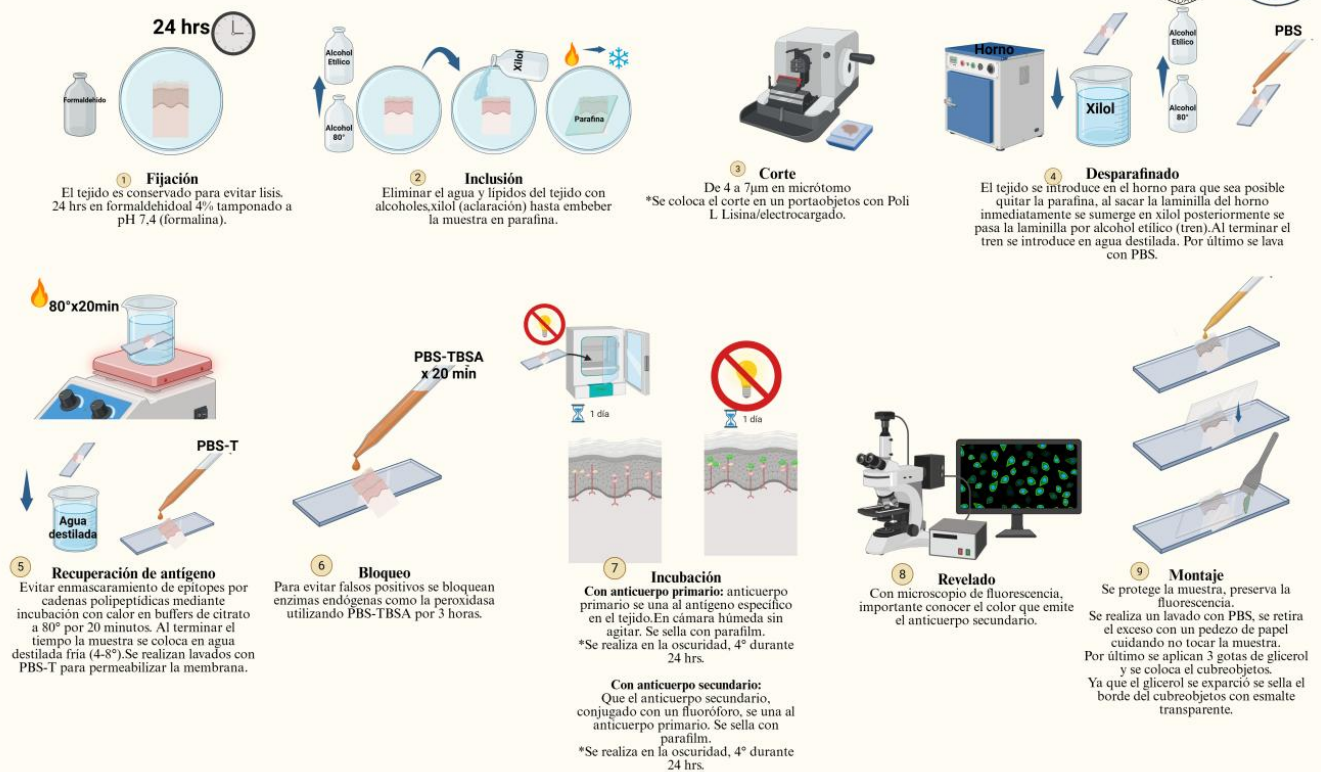


Figura 1 Infografía la piel como biomarcador temprano para la neuropatía diabética, elaboración propia.

Protocolos de inmunohistoquímica: Inmunofluorescencia

Sofía Armada Hernández
Elena Susana Vega Pérez



Referencias: -Labclínica. (2018). *Decálogo para principiantes en inmunohistoquímica*. Recuperado de <https://www.labclinica.com/2018/06/18/decálogo-para-principiantes-en-inmunohistoquímica/>-Peña Galicia, R. (2017). *Manual básico de inmunohistoquímica para diagnóstico de lesiones de cabeza y cuello* (Tesis para obtener el título de Cirujano Dentista, Facultad de Odontología, Universidad Nacional Autónoma de México) (pp. 14-21). UNAM. Recuperado de <https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/1/20501000756124/3/0756124.pdf>-Vaquero, M. (2007). *Manual de calidad de inmunohistoquímica en anatomía patológica*. Servicio de Anatomía Patológica. Recuperado de <https://www.euskadi.eus/informacion/publicaciones/web01-s2osa/es/adjuntos/ManualInmunohistoquímica.pdf>
Parra-Medina, R., & Polo, J. F. (2017). Inmunofluorescencia en tejidos fijados y preservados en parafina (IF-P). Una mirada desde la patología quirúrgica. *Revista Repertorio de Medicina y Cirugía*, 26(4), 202-207. <https://doi.org/10.1016/j.reper.2017.08.009>
Hoff, F. (2022, 10 enero). *How to Prepare your Specimen for Immunofluorescence Microscopy*. Learn & Share | Leica Microsystems. <https://www.leica-microsystems.com/science-lab/life-science/how-to-prepare-specimen-for-immunofluorescence-microscopy/>

Figura II Diagrama protocolos de inmunohistoquímica: Inmunofluorescencia, elaboración propia.

Cuantificación de fibras intraepidérmicas



FUENTES

- Mangus, L. M., Rao, D. B., & Ebenezer, G. J. (2020). Intraepidermal Nerve Fiber Analysis in Human Patients and Animal Models of Peripheral Neuropathy: A Comparative Review. *Toxicologic Pathology*, 48(1), 59-70. <https://doi.org/10.1177/0192623319855969>
- Pereira, M. P., Mühl, S., Pogatzki-Zahn, E. M., Agelopoulos, K., & Ständer, S. (2016). Intraepidermal Nerve Fiber Density: Diagnostic and Therapeutic Relevance in the Management of Chronic Pruritus: a Review. *Dermatology and Therapy*, 6(4), 509-517. <https://doi.org/10.1007/s13555-016-0146-1>

Figura III Diagrama criterios para cuantificación de fibras intraepidérmicas, elaboración propia.

Análisis Comparativo de Imágenes

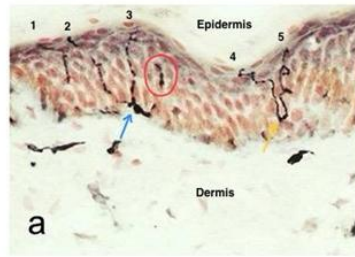


Imagen 1 (Shillo, P., et.al., 2021)

Piel de individuo (humano) sano de la zona sural (pantorrilla) con inmunorreactividad proporcionada por PGP9.5

Las fibras nerviosas intraepidérmicas identificadas y cuantificadas se encuentran numeradas del 1-5. El círculo rojo indica una fibra nerviosa que no cruza la membrana basal. La flecha de color azul indica una ramificación en la dermis por lo que las ramificaciones son contadas individualmente, mientras que la flecha amarilla indica una ramificación en la membrana basal por lo que las ramificaciones también son contadas individualmente como fibras nerviosas intraepidérmicas individuales.

Figura IV Análisis de imágenes histológicas, elaboración propia

Referencias

Botas Velasco, M., Cervell Rodríguez, D., Rodríguez Montalbán, A.

I., Vicente Jiménez, S., & Fernández de Valderrama

Martínez, I. (2017). Actualización en el diagnóstico, tratamiento y prevención de la neuropatía diabética periférica. *Angiología*, 69(3), 174-181.

<https://doi.org/10.1016/j.angio.2016.06.005>

Contijoch Roqueta, C., Izquierdo, M. F., & Arrabal Solano, L. (2020).

Neuropatía de fibras pequeñas: Una revisión. *Medicina de Familia. SEMERGEN*, 46(4), 277-282.

<https://doi.org/10.1016/j.semerg.2019.11.003>

Mangus, L. M., Rao, D. B., & Ebenezer, G. J. (2020). Intraepidermal

Nerve Fiber Analysis in Human Patients and Animal Models of Peripheral Neuropathy: A Comparative Review. *Toxicologic Pathology*, 48(1), 59-70.

<https://doi.org/10.1177/0192623319855969>

Pop-Busui, R., Boulton, A. J. M., Feldman, E. L., Bril, V., Freeman,

R., Malik, R. A., Sosenko, J. M., & Ziegler, D. (2016).

Diabetic Neuropathy: A Position Statement by the

American Diabetes Association. *Diabetes Care*, 40(1), 136-154. <https://doi.org/10.2337/dc16-2042>

Raicher, I., Ravagnani, L. H. C., Correa, S. G., Dobo, C.,

Mangueira, C. L. P., & Macarenco, R. S. e S. (s. f.).

Investigation of nerve fibers in the skin by biopsy:

Technical aspects, indications, and contribution to diagnosis of small-fiber neuropathy. *Einstein*, 20, eMD8044.

https://doi.org/10.31744/einstein_journal/2022MD8044

Thomas, S., Enders, J., Kaiser, A., Rovenstine, L., Heslop, L.,

Hauser, W., Chadwick, A., & Wright, D. (2023). Abnormal Intraepidermal Nerve Fiber Density in Disease: A Scoping Review. *medRxiv*, 2023.02.08.23285644.

<https://doi.org/10.1101/2023.02.08.23285644>

Uso de transformadas morfológicas en compresión de imágenes binarias

Fernando Cárdenas González

Facultad de Informática, Universidad Autónoma de Querétaro
fcardenas04@alumnos.uaq.mx

Hugo Jiménez Hernández

Facultad de Informática, Universidad Autónoma de Querétaro
hugo.jimenez@uaq.edu.mx

Julio 2025

Resumen

Gran parte de los algoritmos de compresión de imágenes, y consecuentemente de video, dependen de funciones de transformación y pueden llegar a causar la pérdida de información; por esta razón en este trabajo se evalúa un algoritmo que utiliza transformadas morfológicas (provenientes de la disciplina de Morfología Matemática) para compresión de imágenes binarias creado previamente para determinar su capacidad para retener la estructura original de una imagen binaria, disponiendo de miles de imágenes de posibles casos de aplicación y modificando la magnitud de compresión para evaluar la retención de píxeles en su estado original. Este algoritmo distingue casi siempre perfectamente los píxeles que pertenecen al fondo de la imagen, mientras la retención de píxeles que pertenecen a la forma de la imagen depende de la morfología de los componentes comprimidos, favoreciendo componentes con figuras más sencillas; en general, el algoritmo sí retiene la información de las imágenes, siendo la reducción del tamaño por un factor de 3:1, un punto óptimo entre reducción de tamaño y reducción de pérdida de información, por lo que se recomienda para futuras implementaciones diseñar estrategias para hacer uso más eficiente de memoria para este algoritmo.

Palabras clave: algoritmo, compresión de imágenes, imágenes binarias, morfología matemática, pérdida de información.

Abstract

Several image compression algorithms make use of mathematical transformations which make these processes lossy, therefore, this affects video compression algorithms as well; an algorithm which compresses binary images using morphological transformations (from Mathematical Morphology) in order to reduce their components according to their shapes has been evaluated to determine its capacity to retain the original structure of the images. Thousands of images from various use scenarios, along with modifications of the compression magnitude, have been used to carry out this test. The algorithm can distinguish almost all of the time perfectly which pixels belong to the background to the image, however, the original shapes of the contracted components affect its ability to retain pixels which contained the foreground of the image; generally, the algorithm can retain information from the original images, and a compression factor of 3 provides balance between compression magnitude and loss reduction; for future implementations of the algorithm it's recommended to include strategies for better computer memory usage.

Keywords: algorithm, image compression, binary images, Mathematical Morphology, information loss.

Introducción

La Morfología Matemática (MM), de la cual se basó el algoritmo probado, es una subdisciplina de las matemáticas francesa derivada del estudio de medios porosos en la década de 1960; a partir de esa fecha se formalizaron transformaciones basadas en conjunto según si un patrón plantilla (elemento estructurante) cabe en los objetos de la imagen; específicamente la erosión, que mantendrá todo píxel en el que el elemento estructurante se pueda centrar y pueda entrar en píxeles activos, y la dilatación, que hará que todo píxel que se encuentre, el elemento estructurante se centre y active todos los píxeles adyacentes necesarios para que pueda caber en los objetos.

Esta subdisciplina de las matemáticas se ha visto aplicado en varios proyectos de análisis de imágenes. Por ejemplo, en 1979, Beucher y Lantuéjoul propu-

sieron una definición de la transformada Watershed, usada para delimitar y separar objetos en imágenes binarias, en base a las transformaciones previamente mencionadas [2].

Varias partes de proyectos que involucran Visión por Computadora y Procesamiento de Imágenes sólo involucran imágenes binarias (v. gr. detección de movimiento o de figuras específicas), por lo que, se propone explorar la aplicación de esta disciplina en la compresión de imágenes, iniciando por imágenes binarias.

Varios algoritmos de compresión de imágenes, como JPEG y MPEG usan *Direct Cosine Transform* (DCT) para comprimir imágenes y JPEG2000 depende de *Direct Wavelet Transform* (DWT) y derivaciones de tal, sin embargo, estos algoritmos son conocidos por tener pérdida, si el tamaño objetivo es suficientemente pequeño, mucha información de la imagen comprimida se pierde. Por lo tanto, usar MM para orientar la compresión puede llevar a reducir la pérdida del contenido de las imágenes, dado que las transformadas de MM pueden servir para mantener la forma general del contenido de las imágenes. [1] Ya existen implementaciones de MM en compresión de imágenes; Guzmán et al. [1] presentan un algoritmo que además de este tipo de transformadas morfológicas dispone de memorias asociativas morfológicas, un elemento dentro del área de estudio de redes neuronales, el cual presenta un nivel de pérdida similar al de algoritmos de compresión con pérdida, como JPEG, mientras que es más rápido porque sus operaciones son más simples que las transformadas de las que dependen tales algoritmos bien establecidos; mientras que Vincent [3] especifica algoritmos basados en ejecución paralela y escaneo ráster y anti-ráster en ese orden de reconstrucción de imágenes binarias y en escalas de grises diseñados para ser eficientes, pero que se les dificulta lidiar con estructuras en rollo.

En este informe se presentan los resultados de un algoritmo de compresión de imágenes binarias basada en una pila de registros de transformadas morfológicas cuyo objetivo es la reducción de pérdida en la compresión.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar la pérdida causada por un algoritmo de compresión de imágenes binarias de creación propia para determinar la viabilidad de su implementación en proyectos de análisis de tráfico para ciudades inteligentes en la línea de investigación existente en la Facultad de Informática de la UAQ.

Objetivos específicos

- Establecer imágenes binarias que representen posibles casos de uso del algoritmo previamente mencionado.
- Desarrollar una implementación computacional para evaluar la pérdida de información en imágenes después de someterse al algoritmo de compresión para cuantificar la retención de la información de cada imagen original.
- Sintetizar resultados de retención de información de cada imagen para representar la retención esperada de información para cada conjunto de imágenes.

Metodología

De la base de datos de imágenes procesadas *CD-Net 2014*, se descargaron los conjuntos de imágenes *highway*, *pedestrians*, *pets2006*, *office* (de *baseline*) y *winter driveway* (de *intermittentObjectMotion*) para realizar pruebas con el algoritmo.

Las siguientes medidas se aplicaron a cada imagen que pudo ser procesada.

Se midió el sesgo (*bias*) y la raíz del error cuadrático medio (*RMSE*) para cada píxel de la imagen evaluada con los siguientes cálculos (sea *O* la imagen original y *R* su versión reconstruida), retornando matrices binarias.

$$\text{bias} = O - R \quad (1)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{(O - R)^2} \quad (2)$$

El error *bias* identifica qué píxeles de la imagen reconstruida corresponden a un componente recuperado en su posición original (0), a uno que se perdió

en la compresión (1) o uno que apareció injustificadamente (−1); esta medida identifica la tendencia global que tiene el método para efectuar la reconstrucción de la imagen. Por su parte, *RMSE* mide la cantidad de píxeles erróneos en total, es decir, que representan componentes perdidos en la compresión o bien componentes que no están en la imagen original; esta medida cuantifica el error de reconstrucción de la imagen original con la imagen una vez descomprimida. Ambas medidas se usaron para asistir en la obtención de las medidas posteriores.

Para la imagen evaluada se creó una matriz de confusión según el valor de cada píxel original y su píxel correspondiente en la imagen replicada.

Tabla 1: Valores en matriz de confusión usada para evaluar modelo de compresión.

	Predicción verdadera	Predicción Falsa
Positivo	Verdadero Positivo (VP) - Pixel de forma detectado adecuadamente.	Falso Negativo (FN) - Pixel detectado como parte del fondo que pertenece a la forma.
Negativo	Falso Positivo (FP) - Pixel detectado como parte de la forma que pertenece al fondo.	Verdadero Negativo (VN) - Pixel del fondo detectado adecuadamente.

Y los valores de estas matrices se usaron para obtener las siguientes medidas, para evaluar la integridad de una imagen después de ser comprimida y descomprimida.

- Exactitud (*Accuracy*): proporción de predicciones correctas respecto al total

$$Accuracy = \frac{VN + VP}{VN + VP + FP + FN} \quad (3)$$

- Precisión (*Precision*): proporción de casos realmente positivos entre todos los casos positivos.

$$Precision = \frac{VP}{VP + FP} \quad (4)$$

- Sensibilidad (*Recall*): capacidad de detectar positivos reales.

$$Recall = \frac{VP}{VP + FN} \quad (5)$$

- Especificidad (*Specificity*): capacidad de identificar negativos verdaderos correctamente.

$$Specificity = \frac{VN}{VN + FP} \quad (6)$$

- F1-Score: media armónica entre Precisión y Sensibilidad

$$F1-Score = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall} \quad (7)$$

A cada conjunto de imágenes previamente mencionado, se aplicó el algoritmo de compresión y descompresión a la mayor cantidad de imágenes posibles usando 7 variaciones del parámetro de magnitud de compresión (*TCMR*).

Se intentó maximizar la cantidad de imágenes descomprimidas por subconjunto (cada uno proviene de uno de los 5 conjuntos de imágenes con una variación del *TCMR*). Al obtener los subconjuntos de imágenes de pruebas, se estableció que cada uno debería tener al menos 30 imágenes por subconjunto; sin embargo, si este límite se superaba con pocas adversidades, este incrementaba a 200. Casi todos los subconjuntos cumplen con este límite, y algunos incluso tienen miles de imágenes; el único subconjunto que no cumplió con este límite fue uno creado usando *pedestrians* con *TCMR* = 20.

A cada imagen que se pudo comprimir y descomprimir, se le aplicaron las medidas de error usando la imagen reconstruida y la original; de estas medidas se usaron las matrices creadas por el error *bias* para poder crear la matriz de confusión, los valores 1 indican falsos negativos y los valores −1 indican falsos positivos; y para obtener los verdaderos positivos se aplicó una operación lógica de intersección entre ambas imágenes, mientras que para los verdaderos negativos se aplicó la misma operación lógica entre versiones lógicamente invertidas de las imágenes.

Con la matriz de confusión completa, se obtuvo cada medida de precisión para cada imagen de cada subconjunto. Los resultados de cada subconjunto se agruparon por métrica para obtener el valor esperado de cada medida.

Para obtener el valor esperado de cada medida, primero se filtraron los resultados para extraer únicamente los valores numéricos (debido a que algunos resultados de las medidas resultaron en $\frac{k}{0}$, donde $k \geq 0$, sin embargo la cantidad de estos resultados es

ignorable), luego los valores numéricos de la medida se representaron en un histograma, donde la cantidad de barras es la raíz cuadrada de la cantidad de valores numéricos, después se obtuvo la barra con la mayor probabilidad (es decir, la barra con la mayor cantidad de resultados). El valor esperado es el promedio de los intervalos de esta barra.

Resultados

Tabla 2: Valores esperados para *highway*

TCMR	Exac.	Prec.	Sens.	Espec.	F1
140	0.9931	0.9260	0.9142	0.9956	0.9158
120	0.9931	0.9260	0.9142	0.9956	0.9158
100	0.9931	0.9260	0.9142	0.9956	0.9158
80	0.9920	0.9205	0.9015	0.9956	0.9136
60	0.9895	0.8939	0.8804	0.9937	0.8966
40	0.9916	0.8598	0.8526	0.9964	0.8555
20	0.9904	0.5281	0.2364	0.9964	0.8555

Tabla 3: Valores esperados para *pedestrians*

TCMR	Exac.	Prec.	Sens.	Espec.	F1
140	0.9972	0.8400	0.8400	0.9985	0.8333
120	0.9972	0.8400	0.8400	0.9985	0.8333
100	0.9972	0.8400	0.8400	0.9985	0.8333
80	0.9972	0.8400	0.8400	0.9985	0.8333
60	0.9972	0.8400	0.8400	0.9985	0.8333
40	0.9964	0.8308	0.8308	0.9983	0.8324
20	0.9842	0.3209	0.1216	0.9977	0.1418

Tabla 4: Valores esperados para *winter driveway*

TCMR	Exac.	Prec.	Sens.	Espec.	F1
140	0.9990	0.8801	0.8801	0.9995	0.8874
120	0.9990	0.8801	0.8801	0.9995	0.8874
100	0.9990	0.8801	0.8801	0.9995	0.8874
80	0.9990	0.8801	0.8801	0.9995	0.8874
60	0.9976	0.8589	0.8762	0.9996	0.8733
40	0.9975	0.8544	0.8733	0.9995	0.8733
20	0.9973	0.8865	0.8667	0.9995	0.8667

Tabla 5: Valores esperados para *pets2006*

TCMR	Exac.	Prec.	Sens.	Espec.	F1
140	0.9978	0.7986	0.7986	0.9989	0.7986
120	0.9978	0.7986	0.7986	0.9989	0.7986
100	0.9972	0.8434	0.8081	0.9987	0.8078
80	0.9975	0.8119	0.7957	0.9988	0.8052
60	0.9956	0.8048	0.8167	0.9976	0.7892
40	0.9980	0.8160	0.8178	0.9988	0.8102
20	0.9938	0.5205	0.1421	0.9995	0.2580

Tabla 6: Valores esperados para *office*

TCMR	Exac.	Prec.	Sens.	Espec.	F1
140	0.9381	0.6234	0.6234	0.9694	0.6234
120	0.9418	0.6566	0.6591	0.9696	0.6578
100	0.9374	0.6147	0.6147	0.9660	0.6284
80	0.9434	0.6681	0.6147	0.9725	0.6598
60	0.9273	0.8073	0.8073	0.9899	0.7973
40	0.9901	0.8065	0.8065	0.9958	0.8071
20	0.9913	0.7943	0.061146	0.9952	0.7058

Para todos los casos, la exactitud y especificidad son $> 0,98$; esto se debe a que, por la naturaleza del algoritmo (encontrar componentes y comprimirlos), casi todos los negativos (píxeles negros) son detectados adecuadamente, es muy poco probable que los elementos del fondo sean reinterpretados como elementos de forma. Y algunos de esos casos se pueden atribuir a desplazamientos mínimos generados por el algoritmo de reconstrucción de imágenes; el algoritmo necesita obtener un centro aproximado de cada componente, y la manera en que se obtienen tales es mediante las mitades de las dimensiones del rectángulo envolvente (*bounding box*) de este; y al colocar los componentes en una imagen de nuevo, se usan esos centros para determinar la posición respecto al componente padre del rectángulo envolvente; se está obteniendo una medida continua de un espacio discreto, y se convierte para poder usarse en ese espacio discreto, lo que implica que habrá un desplazamiento de cada componente, sin embargo, este debería ser de 1 pixel cuando sucede.

La precisión y estabilidad son muy variables a lo largo de todos conjuntos de datos. Los valores que se hayan obtenido de estas medidas depende de las figuras que se intentan comprimir. Las diferentes figuras de cada componente causan las caídas en la precisión y sensibilidad de las imágenes; la sobresimplificación de los componentes y la reconstrucción incompleta de estos hace que hayan menos verdaderos positivos y más falsos positivos.

Todas las imágenes de prueba son de 360×240 , son de 240p. y, empíricamente, para $TCMR \leq 60$ hay una distinción en la que ya se empieza a sacrificar calidad por mayor compresión. $TCMR = 80$ es un punto óptimo entre magnitud de compresión y reducción de pérdida. Si se establece $TCMR = 60$, el factor de reducción mínimo es de 4, cada componente de una imagen se puede reducir a un cuarto de su tamaño y la pérdida no sería muy notoria; mientras

que con $TCMR = 80$ el factor de reducción mínimo es de 3, indicando que se puede comprimir cada componente de una imagen a un tercio de su tamaño y la pérdida sería mucho menor.

El algoritmo propuesto por Vincent [3] cubre únicamente la reconstrucción de imágenes, pero al igual que reducir pérdida, es mucho más eficiente que el algoritmo de creación propia, que hace una descomposición y reintegración exhaustiva de cada componente detectado y propiamente recuperado.

Mientras que el algoritmo evaluado en este documento está especializado únicamente para imágenes binarias, el algoritmo presentado por Guzmán et al. [1] puede trabajar con escalas de grises, pero el algoritmo de creación propia suele presentar un nivel de pérdida mucho menor, al costo de una velocidad de operación que puede reducir considerablemente según el contenido de la imagen.

Conclusiones y discusiones

En general, el algoritmo cumple con el requisito de reducción de pérdida de información, sin embargo, es un método exhaustivo y que dispone de muchos recursos, así que para iteraciones futuras se debería considerar la creación de implementaciones que hagan un mejor uso de memoria y establecer un criterio para la compresión de componentes más específico para evitar compresiones excesivas. Presenta menores pérdidas cuando los componentes de las imágenes tienen formas simples, como las siluetas de los carros de *highway* y *winter driveway*, a comparación de las siluetas de personas en *pedestrians*, *pets2006* y *office*; debido a que las abstracciones provenientes de alterar la forma de los componentes de

las imágenes son más similares a los componentes originales; por lo que la implementación de más criterios para determinar el factor de compresión adecuado, como la circularidad de un componente, podría reducir la pérdida en un mayor factor. Durante la implementación, se recomienda que $TCMR$ sea un tercio o más de la resolución vertical de las imágenes que se desean comprimir para reducir la pérdida posible.

Agradecimientos

El autor principal, Fernando Cárdenas González, desea agradecer al Dr. Hugo Jiménez Hernández, por la aceptación de la estancia y el asesoramiento proporcionado en el programa; y a la Universidad Autónoma de Querétaro por proporcionar un espacio y oportunidad de participar en proyectos de investigación y el patrocinio proporcionado para este proyecto.

Bibliografía

- E. Guzmán, O. Pogrebnyak, C. Yáñez y L. P. S. Fernandez, «Morphological Transform for Image Compression,» *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, vol. 2008, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1155/2008/426580>.
- P. Soille, *Morphological Image Analysis: Principles and Applications*. Springer Berlin Heidelberg, 2013, ISBN: 9783662039397. dirección: <https://books.google.com.mx/books?id=ZsX3CAAQBAJ>.
- L. Vincent, «Morphological grayscale reconstruction in image analysis: applications and efficient algorithms,» *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 2, n.º 2, págs. 176-201, 1993. DOI: <https://doi.org/10.1109/83.217222>.

Impacto de las especies reactivas de oxígeno en la motilidad y fertilidad masculina

Autor. HERNÁNDEZ DIMAYUGA, Francia Abril¹, **Coautor.** DÍAZ MARTEL, Aida Guadalupe², **Coautor.** SÁNCHEZ TUSIE, Ana Alicia³.

¹Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Química-Campus Centro Universitario. Universidad 231, Cerro de las Campanas S/N, Las Campanas, C.P. 76010, Querétaro, Qro. fhernandez85@alumnos.uaq.mx

²Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Medicina-Campus Aeropuerto. Carr. A Chichimequillas S/N, Ejido Bolaños, C.P. 76140, Querétaro, Qro. diazmartellag@gmail.com

³Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Medicina-Campus Aeropuerto. Carr. A Chichimequillas S/N, Ejido Bolaños, C.P. 76140, Querétaro, Qro. ana.sanchez@uaq.mx

Resumen. El presente estudio evalúa el impacto de las especies reactivas de oxígeno (ROS) intracelulares en la motilidad espermática enfocándose en individuos con sobrepeso y obesidad. Se recolectaron muestras de semen, se evaluaron en parámetros macro y microscópicos (motilidad, concentración y morfología). Se realizó un swim-up para separar espermatozoides móviles de los inmóviles, así mismo, se realizaron análisis mediante microscopía óptica y microscopía de fluorescencia. Se analizó una muestra a detalle, revelando baja motilidad progresiva (16%) y baja morfología normal (10%). Los resultados revelan el papel negativo del estrés oxidativo en la calidad seminal, sugiriendo intervenciones antioxidantes para mitigar los efectos.

Palabras clave: motilidad, estrés oxidativo, fertilidad masculina, espermatozoides, especies reactivas de oxígeno.

Abstract. This study evaluates the impact of intracellular reactive oxygen species (ROS) on sperm motility, focusing on overweight and obese individuals. Semen samples were collected and evaluated for macro- and microscopic parameters (motility, concentration, and morphology). A swim-up was performed to separate motile sperm from immotile sperm, and analyses were performed using optical microscopy and fluorescence microscopy. One sample was analyzed in detail, revealing low progressive motility (16%) and low normal morphology (10%). The results reveal the negative role of oxidative stress on semen quality, suggesting antioxidant interventions to mitigate the effects.

Key words: motility, oxidative stress, male fertility, spermatozoa, reactive oxygen species.

Introducción

La motilidad espermática es un componente esencial de la fertilidad masculina, ya que permite a los espermatozoides viajar a través del tracto reproductivo femenino para alcanzar y fertilizar el óvulo. A su vez, la motilidad es regulada por diferentes mecanismos fisiológicos, dentro de estos mecanismos las ROS desempeñan diferentes funciones fisiológicas en el espermatozoide humano indispensables para la fertilización, entre ellas se encuentran la capacitación espermática y la reacción acrosomal. La capacitación es un proceso al que se somete un espermatozoide para lograr fecundar el óvulo, comienza con la hiperactivación de este logrando un movimiento curvilíneo del flagelo, mientras que la reacción acrosomal es la fusión de la membrana del acrosma (organelo membranoso que contiene enzimas hidrofílicas) con la membrana del espermatozoide (Del Río et al., 2007), liberando enzimas capaces de hidrolizar el óvulo y lograr la fecundación.

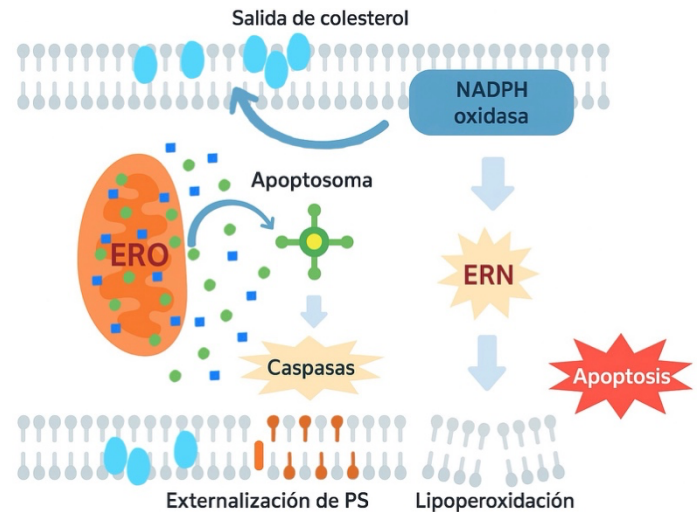
Las ROS son producto de la cadena de transporte de electrones llevada a cabo en la mitocondria. De acuerdo a Jakubczyk et al. (2020) las ROS son moléculas que contienen al menos un átomo de oxígeno y uno o mas electrones desapareados por lo que son moléculas altamente reactivas y tóxicas que están reguladas principalmente por el potencial de la membrana mitocondrial: un potencial más alto está asociado con una mayor generación de ROS (Madamanchi y Runge, 2007). Estas moléculas representan una amenaza para los niveles de moléculas de oxidación lo que puede llevar a dos principales procesos que pueden concluir en la apoptosis de las células.

Impacto del estrés oxidativo en el espermatozoide

Los espermatozoide son células altamente susceptibles al estrés oxidativo, dentro de todos los procesos donde estos pueden verse vulnerados se encuentra la espermiogénesis, pues el contenido genético de estas células se ve expuesto debido a los cambios que la misma célula requiere para su maduración. Entre los daños oxidativos al ADN de los espermatozoides se encuentra la fragmentación del ADN ya sea por roturas de una sola cadena o de doble cadena.

Los lípidos contenidos en las membranas de los espermatozoides son un blanco perfecto para los ataques oxidativos, pues esta membrana es rica en ácidos grasos poliinsaturados (Wathes et al., 2007). Al tener mas dobles enlaces tiene mas sitios susceptibles a dichos ataques oxidativos. La llamada lipoperoxidación lipídica es un proceso donde las ROS activan una casacada de caspasas lo que permite la salida de colesterol, esto vuelve a la célula vulnerable al daño oxidativo, para producir especies reactivas de nitrógeno (ERN) mediante la NADPH oxidasa contenida en las membranas de los espermatozoides y esto conduce al daño a los lípidos de la membrana (López-Trinidad et al., 2007). Como resultado final se tiene una membrana que perdió su integridad, lo que facilita la apoptosis, un tipo de muerte programada.

Fig 1. Probable proceso de apoptosis del espermatozoide por especies reactivas de oxígeno



Infertilidad masculina

Según la OMS la infertilidad es una enfermedad del sistema reproductivo femenino o masculino consistente en la imposibilidad de conseguir un embarazo después de 12 meses o más de relaciones sexuales regulares sin protección, esto es de origen multifactorial. Dentro de estos múltiples factores, uno de los que ha tomado mayor relevancia ha sido el sobrepeso y la obesidad ya que estas condiciones afectan el equilibrio REDOX y a su vez favorecen la producción de ROS; algunas de las vías de infertilidad por sobrepeso u obesidad son:

- Incremento de tejido adiposo
De acuerdo a Cannarella et al. (2024), el aumento de tejido adiposo, especialmente la grasa visceral, está asociado con un incremento en la producción de ROS, lo que se relaciona directamente con la disminución en la motilidad progresiva de los espermatozoides
- Estado inflamatorio de bajo grado
La obesidad induce un estado inflamatorio crónico de bajo grado, caracterizado por la liberación de citoquinas proninflamatorias y la activación de leucocitos circulantes tales como los macrófagos. Estos macrófagos producen ROS adicionales potenciando el estrés oxidativo sobre el espermatozoide

- Producción de especies reactivas de oxígeno
- Disminución de la activación de enzimas antioxidantes

Las ROS son capaces de neutralizar las enzimas antioxidantes presentes en el plasma seminal reduciendo su capacidad para contrarrestar el daño oxidativo, además, el exceso de grasa visceral agota las reservas de estas enzimas.

Objetivo

Identificar el impacto de las especies reactivas de oxígeno

- Evaluar el porcentaje de espermatozoides humanos con especies reactivas de oxígeno intracelulares y su impacto en la motilidad y fertilidad masculina.

Metodología

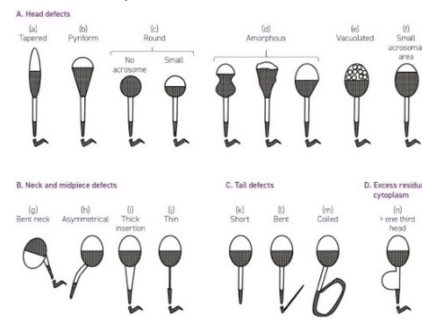
Se obtuvieron muestras de participantes con abstinencia sexual de 2 a 3 días y se mantuvieron a una temperatura de 37° C hasta su licuefacción y posterior procesamiento.

Una vez la muestra se licuefactuó se evaluó tanto las características microscópicas como macroscópicas de la muestra de semen. La porción macroscópica comprendió la evaluación del volumen de la muestra, viscosidad (normalmente de 1 cm a 2 cm), pH (7-8) y apariencia, siendo una apariencia normal un semen homogéneo, gris opalescente.

Por el lado microscópico se evaluó la concentración, motilidad y morfología.

Morfológicamente, los espermatozoides se evaluaron según los criterios indicados por la OMS, como ilustra el siguiente diagrama.

Fig 2. Defectos en los espermatozoides humanos



Para lograr visibilizar los espermatozoides requerimos de dos principales pasos: un frotis y una tinción. Para este último paso requerimos el frotis ya seco: se introduce 10 segundos en metanol, se escurre, luego 15 segundos en hematoxilina, se escurre y por último 10 segundos en eosina y se deja secar por completo. Finalmente, su aspecto se evaluó utilizando el objetivo de 100X.

La evaluación de la motilidad se basó en colocar 10µl en un portaobjetos con su cubreobjetos para observar y clasificar los espermatozoides en progresivos, no progresivos e inmóviles. La concentración se realizó con la ayuda de una cámara Makler, se colocan cuidadosamente 10µl en la cámara y se observa al microscopio para realizar un conteo por filas o columnas, de izquierda a derecha o de abajo hacia arriba.

El llamado “Swim up” se realizó con el fin de recuperar los espermatozoides motiles. Este se realizó con una parte de muestra y otra parte de medio HAMS con BSA, en este punto se debe observar una diferencia de fases. Este tubo se inclinó a 45° y se colocó en la incubadora a 37° C durante 60 minutos. Pasado este tiempo se recuperó la fase motil.

Una vez separada la fase móvil se evalúan los siguientes parámetros: especies reactivas de oxígeno o reacción acrosomal. Para especies reactivas de oxígeno se establece un control positivo con peróxido de hidrógeno y un control negativo sin peróxido de hidrógeno pero con dimetil sulfoxido, se centrifuga y se adiciona la sonda fluorescente, se incuba y luego se realizan frotis con las muestras y se guarda en cámara oscura para efectos de su correcta conservación. Para reacción acrosomal se utiliza el

FITC TUNEL assay kit de la marca BioActs (BioActs, s.f.) con modificaciones adecuadas al experimento llevado a cabo; luego se establece el control positivo que se le adiciona progesterona para inducir la reacción acrosomal y el control negativo sin progesterona pero con dimetil sulfóxido, luego, todas las muestras se incuban, se centrifugan, se decantan, se resuspenden en metanol a -20°C y se conservan en hielo 60 segundos para luego conservar en cámara húmeda con FITC y luego extender en portaobjetos a manera frotis.

El microscopio de fluorescencia fue una herramienta clave en este estudio, pues permitió la visualización de los espermatozoides mediante luz ultravioleta o luz visible para excitar fluorocromos, emitiendo luz de longitud de onda diferente. Las sondas utilizadas en este estudio absorben la luz a 480 nm y emiten luz a 512 nm.

Para evaluar fragmentación de DNA se utilizan laminillas previamente almacenadas en cámara oscura y se lee de la siguiente manera: si los espermatozoides emiten fluorescencia presentan DNA fragmentado, y si no emiten fluorescencia mantienen su material genético conservado.

Para reacción acrosomal se sigue el mismo procedimiento pero se lee de la siguiente manera: si los espermatozoides emiten fluorescencia en la región del acrosoma no presentan reacción acrosomal y si no emiten fluorescencia si presentan reacción acrosomal.

Materiales y equipo

- Propipeta automática
- Pipeta estéril
- Tiras pH
- Micropipetas
- Portaobjetos
- Cubreobjetos
- Tubos Eppendorf
- Tubos Falcon
- Cámara Makler
- Incubadora
- Centrífuga
- Microscopio óptico
- Microscopio de fluorescencia

Resultados

Durante la estancia en el verano tuvimos muy pocas muestras del sector de la población de interés, sin embargo, de las muestras de interés se tuvo una de parámetros significativos siendo los siguientes:

Tabla 1. Evaluación macroscópica de la muestra

Característica	Valor
Color	Blanco opalescente
Volumen	3 ml
pH	7
Viscosidad	Viscoso

Tabla 2. Evaluación microscópica de la muestra

Característica	Valor
Motilidad	• Progresivos: 16 • No progresivos: 36 • Inmotiles: 48
Concentración	39 millones/ml
Morfología	• Normales: 10 • No normales: 90

Lo interesante de esta muestra fue lo obtenido luego del Swim up, pues este paso es esencial para la evaluación de reacción acrosomal o ROS.

La concentración obtenida luego de realizar el Swim up fue de 7.6 millones/ml, lo cual indica que no es una muestra viable y no se continuó con el resto del procedimiento.

Discusión y conclusiones

La motilidad espermática es un elemento fundamental para el espermatozoide humano, sin embargo, muchos factores ajenos a la propia célula se ven involucrados en el correcto desempeño de la célula.

Aunque el estudio fue relativamente limitado por el número de muestras disponibles se proporcionan datos significativos sobre la calidad seminal en individuos con posibles factores de riesgo para infertilidad masculina, tales como el sobrepeso y la obesidad.

Los hallazgos en este estudio indican que las muestras de varones con sobrepeso y obesidad tienden a presentar baja motilidad y reacción acrosomal, así como un incremento en las formas con morfología anormal, lo que se sugiere podría ser resultado del impacto negativo del estrés oxidativo en la fertilidad masculina.

Si bien, los resultados obtenidos durante este corto tiempo de investigación no nos permiten realizar afirmaciones contundentes respecto a los efectos del estrés oxidativo en la fertilidad masculina, no obstante, la información recabada nos da pauta a continuar con las investigaciones en salud reproductiva. A su vez, estos sugieren que modificaciones en las moléculas antioxidantes podrían mitigar los efectos de las ROS, dando paso a nuevas investigaciones en la salud reproductiva.

Agradecimientos

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que han apoyado en el desarrollo y éxito de este proyecto.

En primer lugar, a mi asesora, la investigadora Aída Guadalupe Díaz Martek por su invaluable orientación, apoyo constante y sabiduría a lo largo del proceso. Agradezco también a la Dra. Ana Alicia Sánchez Tusie por su generosidad y experiencia proporcionada.

Finalmente agradezco a la Facultad de Medicina por la facilitación de sus instalaciones y sus equipos, sin esto nada hubiera sido posible.

Referencias

Jakubczyk, K., Dec, K., Kalduńska, J., Kawczuga, D., Kochman, J. & Janda, K. (2020). Especies reactivas de oxígeno - fuentes, funciones, daño oxidativo. *Polski merkuriusz lekarski : organ Polskiego Towarzystwa Lekarskiego*, 48(284), 124–127. PMID: 32352946.

Madamanchi, N. R., & Runge, M. S. (2007). Mitochondrial dysfunction in atherosclerosis. *Circulation research*, 100(4), 460–473. <https://doi.org/10.1161/01.RES.0000258450.44413.96>

Del Río, M. J., Godoy, A., Toro, A., Orellana, R., Cortés, M. E., Moreno, R. D., & Vigil, P. (2007). La reacción acrosómica del espermatozoide: avances recientes. *Revista Internacional de Andrología*, 5(4), 368-373. [https://doi.org/10.1016/s1698-031x\(07\)74086-4](https://doi.org/10.1016/s1698-031x(07)74086-4)

D. Claire Wathes, D. Robert E. Abayasekara & R. John Aitken. (2007). Polyunsaturated Fatty Acids in Male and Female Reproduction, *Biology of Reproduction*, 77(2), 190–201. <https://doi.org/10.1095/biolreprod.107.060558>

López-Trinidad, B. P., Konigsberg, M. F., Ávalos-Rodríguez, A., Rodríguez-Tobón, A., Rodríguez-Tobón, E., Retana S., F. M., & Arenas-Ríos, E. (2016). Apoptosis en espermatozoides. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 3(3), 23–27. <https://www.reibci.org/publicados/2016/jul/33100106.pdf>

Cannarella, R., Crafa, A., Curto, R., Condorelli, R. A., La Vignera, S., & Calogero, A. E. (2024). Obesity and male fertility disorders. *Molecular Aspects Of Medicine*, 97, 101273. <https://doi.org/10.1016/j.mam.2024.101273>

https://www.bioacts.com/item/item_view.php?gcode=14530



UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE
QUERÉTARO



Competencias en inmunohistoquímica cutánea para la detección temprana de neuropatía diabética

ELFT. Isabela del Rocío Cano Galván³ (icano03@alumnos.uaq.mx), ELFT. Karen Janet Navarro García³, ELFT. Jorge Herrera Espinosa³, ELFT. Miguel Bernardo Olvera Rodríguez³, Dra. María Carlota García Gutiérrez¹, Dra. Iza Fernanda Pérez Ramírez², MIM. Verónica Hernández Valle³, MIM. Eustolia Pedroza Vargas³, MCNH. Alejandra Torres Narváez^{1,3} ✉ (alejandra.torres@uaq.edu.mx).

¹ Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), ² Facultad de Química, UAQ, ³ Facultad de Enfermería, UAQ.

Resumen

En este documento se muestra la información que se me brindó en el área de inmunohistoquímica cutánea para el estudio preclínico de la neuropatía diabética. Se puso en práctica un protocolo estandarizado (conteo de fibras intraepidérmicas), debido a que este se considera un biomarcador temprano para la detección de la neuropatía diabética, se realizaron prácticas muestra para el aprendizaje de la técnica antes de la aplicación de este y se establecieron criterios visuales para la valoración de las fibras nerviosas. La experiencia fortaleció nuestras habilidades de ejecución de la técnica y análisis cualitativo de cortes histológicos, preparándonos para la siguiente fase de la investigación (la parte clínica).

Abstract

In this document, you'll find the information I was given in the cutaneous immunohistochemistry area for the preclinical study of diabetic neuropathy. A standardized protocol (intraepidermal nerve fiber count) was put into practice. Practice samples were used to learn the technique before its application and visual criteria were established for the assessment of nerve fibers. The experience strengthened our skills in performing the technique and the qualitative analysis of histological sections, preparing us for the next phase of the research (the clinical part).

Palabras clave

Neuropatía diabética, fibras intraepidérmicas, inmunofluorescencia, inmunohistoquímica, diabetes, inervación cutánea, fibras sensitivas

Key words

Diabetic neuropathy, intraepidermal nerve fibers, immunofluorescence, immunohistochemistry, diabetes, cutaneous innervation

Introducción

La diabetes mellitus es una enfermedad crónica que se caracteriza por la alteración en la producción o el uso de la insulina en el organismo. Esta es una hormona que controla los niveles de glucosa en la sangre. Este problema puede deberse a fallas en la función del páncreas o a la resistencia de los tejidos del cuerpo a la acción de la insulina. Este órgano contiene diferentes tipos de células, entre las cuales las β pancreáticas son las encargadas de producir insulina.

La neuropatía diabética en la diabetes mellitus tipo 1 o tipo 2 es un resultado de una hiperglucemia crónica sostenida, generando daño por la acumulación de productos tóxicos en el tejido nervioso periférico.



UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE
QUERÉTARO



Este proceso patológico causa el deterioro de la vaina de mielina que recubre los axones de las fibras nerviosas, alterando la conducción del impulso nervioso.

Asimismo, se afecta la microvasculatura de esta, lo que disminuye el aporte de oxígeno y nutrientes a los nervios, causando a su vez el aumento del daño en el tejido nervioso.

En esta investigación se estudiará el daño que es causado en las fibras intraepidérmicas, que se encuentran en la piel, innervada por varios subtipos de fibras nerviosas como lo son las somatosensoriales mielinizadas y amielínicas, observable mediante el proceso de inmunohistoquímica cutánea. Usándolo así como un biomarcador temprano en la diabetes mellitus.

Objetivos generales

Desarrollar competencias teórico-prácticas en inmunohistoquímica e inmunofluorescencia para reconocer biomarcadores tempranos de neuropatía diabética en piel y transferir ese conocimiento al entorno clínico.

Objetivos específicos

- Identificar y cuantificar los cambios morfológicos de las fibras nerviosas intraepidérmicas, aplicando los requerimientos y normas de bioseguridad en laboratorio.
- Desarrollar una práctica simulada de inmunofluorescencia para reconocer los pasos críticos de la técnica.
- Relacionar el conocimiento de la práctica inmunohistoquímica con la práctica clínica.

Metodología

La formación incluyó diversas etapas.

Para el primer objetivo, se realizó una revisión exhaustiva de literatura científica enfocada en el análisis morfológico de fibras nerviosas intraepidérmicas como biomarcadores de

neuropatía diabética. Con base en ello, se elaboró un protocolo experimental conforme a las normativas de bioseguridad y manejo de muestras biológicas. En este protocolo se integraron los tipos de fibras presentes en el tejido y se llevó a cabo una práctica simulada utilizando tejido de referencia, con el fin de mejorar la técnica de cada participante. Se trabajó en la aplicación de la concentración del anticuerpo primario y secundario, así como en los tiempos de incubación, procesos de desparafinización y montaje de muestras. Se hizo énfasis en la correcta identificación de las estructuras histológicas clave, epidermis, dermis y membrana basal epidérmica, esta última como punto anatómico de referencia para la emergencia de las fibras nerviosas intraepidérmicas, con el objeto de análisis y cuantificación. Se excluyeron del conteo aquellas fibras fragmentadas o ramificadas. Además, se diseñó una guía ilustrada para la interpretación cualitativa y sistemática, con énfasis en el método de cuantificación de fibras.

Para el segundo objetivo, se desarrolló una práctica simulada de inmunofluorescencia, donde se aplicaron los pasos de tinción, recuperación antigénica y montaje, con especial atención a la estandarización de tiempos críticos y al control de artefactos en las muestras.

Finalmente, para el tercer objetivo, se realizó una investigación bibliográfica enfocada en el cuadro clínico de pacientes diabéticos con neuropatía, analizando cómo las alteraciones en las fibras nerviosas intraepidérmicas se relacionan con las manifestaciones clínicas. Esto permitió establecer un vínculo entre la práctica de laboratorio en inmunohistoquímica y la relevancia de su aplicación clínica.



Resultados

En la primera etapa se revisó bibliografía especializada y se elaboraron materiales de apoyo que permitieron identificar y cuantificar los cambios morfológicos de las fibras intraepidérmicas. En la Figura 1, se muestran ejemplos de su morfología y distribución en epidermis y dermis, así como los criterios utilizados para distinguir fibras completas de aquellas fragmentadas o ramificadas, las cuales se excluyeron del análisis.

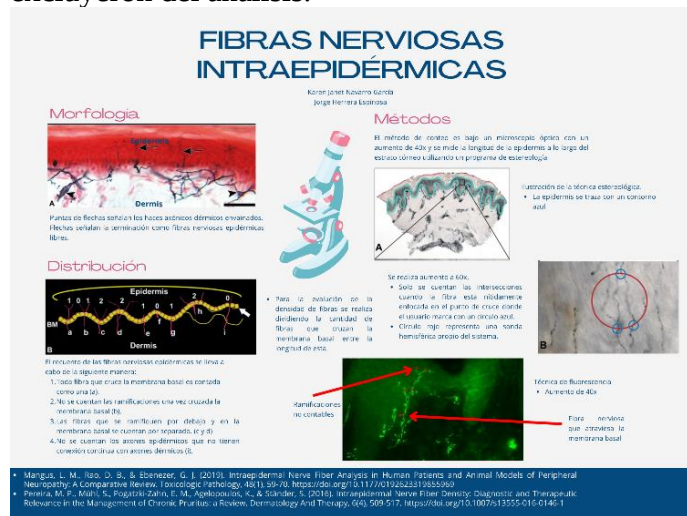


Figura 1. Fibras nerviosas intraepidérmicas.

Realizado por Karen Janet Navarro García, Jorge Herrera Espinosa, 2025.

Posteriormente, se desarrolló la práctica simulada de inmunofluorescencia, en la que se trabajó con la aplicación de concentraciones de anticuerpos primarios y secundarios, los procesos de desparafinización y recuperación antigénica, y la estandarización de tiempos de incubación y montaje. Esto se sistematizó en la Figura 2, que resume de manera esquemática cada paso y los puntos críticos a considerar para un montaje

exitoso. La práctica permitió avances significativos en la identificación de fibras y el reconocimiento de alteraciones estructurales compatibles con daño neuropático.

Finalmente, se estableció una relación entre los hallazgos histológicos y la sintomatología neurológica de pacientes con diabetes mellitus o estados prediabéticos, enfatizando la importancia clínica de la biopsia cutánea. En la Figura 3, se resume cómo la densidad reducida de fibras se asocia con disminución en la percepción de estímulos y con neuropatía diabética temprana. Estas actividades favorecieron la comprensión de la utilidad de la inmunohistoquímica cutánea como biomarcador y su relevancia para la práctica clínica.

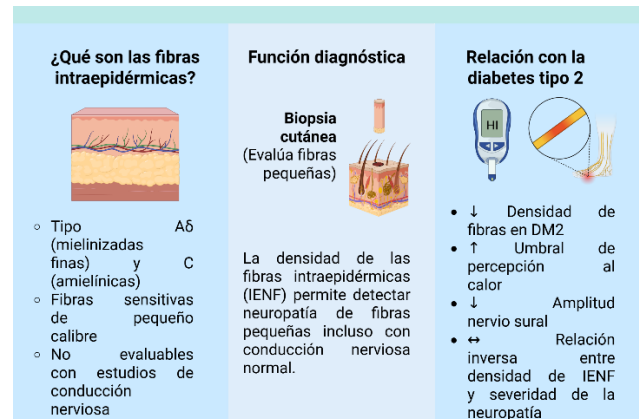


Figura 3. Relación de fibras intraepidérmicas con la diabetes tipo 2.

Realizado por Karen Janet Navarro García, Jorge Herrera Espinosa, 2025.

Discusión y Conclusión

Las prácticas permitieron aplicar la inmunohistoquímica cutánea con el objetivo de reconocer y cuantificar las fibras nerviosas intraepidérmicas, considerando su grosor y trayecto, lo que facilitó la identificación



UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE
QUERÉTARO



histológica de la epidermis, dermis y membrana basal, así como la distinción entre fibras incluidas y excluidas del análisis. Se observaron alteraciones estructurales compatibles con daño neuropático y se relacionaron con la sintomatología diabética y prediabética descrita en la literatura. Las simulaciones reforzaron los conocimientos adquiridos en la revisión teórica y facilitaron su aplicación en la práctica de laboratorio de manera más eficiente y sistemática. Asimismo, la comparación con artículos especializados permitió comprender la utilidad de la densidad y morfología de las fibras intraepidérmicas como posibles biomarcadores tempranos de neuropatía diabética. La aplicación de protocolos lograda en este proceso constituye una base formativa sólida y un acercamiento valioso entre la investigación básica y la práctica clínica, con potencial de integrarse en proyectos interdisciplinarios futuros.

Agradecimientos

Se extiende un reconocimiento al Programa Verano de la Ciencia UAQ 2025, al Laboratorio de Ciencias Básicas de la Licenciatura en Fisioterapia y a MCNH. Alejandra Torres Narváez, por su invaluable contribución en la formación académica y científica de los participantes. La transmisión de conocimientos especializados, en particular en el ámbito de la inmunohistoquímica cutánea y la cuantificación de fibras nerviosas intraepidérmicas, así como la guía metodológica para la identificación histológica, el análisis de alteraciones estructurales y la estandarización de protocolos, han sido elementos determinantes en el logro de los objetivos planteados. Asimismo, se reconoce la labor de fomentar valores esenciales como el respeto, la empatía y los principios éticos y morales, que se destacaron en el desarrollo de esta experiencia académica y de investigación.

Referencias bibliográficas

- Martínez-Flores, K., Zamudio-Cuevas, Y., Fernández-Torres, J., & López-Macay, A. (2024). Técnicas para la determinación de proteínas: inmunofluorescencia y ELISA. *Investigación en Discapacidad*, 10(2), 135–144.
- Pombal, M. M. P. M. M. Á. (s. f.). Técnicas histológicas. 5. Tinción.
- Inmunohistoquímica. Atlas de Histología Vegetal y Animal. <https://mmegias.webs.uvigo.es/6-tecnicas/5-inmuno.php>.
- Vaquero, M. (2007). Manual de calidad de inmunohistoquímica en anatomía patológica. Hospital Donostia, Unidad de Comunicación.
- Sommer, C., & Lauria, G. (2007). Skin biopsy in the management of peripheral neuropathy. *The Lancet Neurology*, 6(7), 632–642. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(07\)70172-2](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(07)70172-2).
- Raicher, I., Ravagnani, L. H. C., Correa, S. G., Dobo, C., Manguiera, C. L. P., & Macarenco, R. S. E. S. (2022). Investigation of nerve fibers in the skin by biopsy: technical aspects, indications, and contribution to diagnosis of small-fiber neuropathy.
- Einstein (São Paulo), 20. https://doi.org/10.31744/einstein_journal/2022md8044.
- Sloan, G., Donatien, P., Privitera, R., Shillo, P., Caunt, S., Selvarajah, D., Anand, P., & Tesfaye, S. (2024). Vascular and nerve biomarkers in thigh skin biopsies differentiate painful from painless diabetic peripheral neuropathy. *Frontiers In Pain Research*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpain.2024.1485420>
- Mangus, L. M., Rao, D. B., & Ebenezer, G. J. (2019). Intraepidermal Nerve Fiber Analysis in Human Patients and Animal Models of Peripheral Neuropathy: A Comparative Review. *Toxicologic Pathology*, 48(1), 59–70. <https://doi.org/10.1177/0192623319855969>.
- Pereira, M. P., Mühl, S., Pogatzki-Zahn, E. M., Agelopoulos, K., & Ständer, S. (2016). Intraepidermal Nerve Fiber Density: Diagnostic and Therapeutic Relevance in the Management of Chronic Pruritus: a Review. *Dermatology And Therapy*, 6(4), 509–517. <https://doi.org/10.1007/s13555-016-0146-1>.

Anexo figura 2

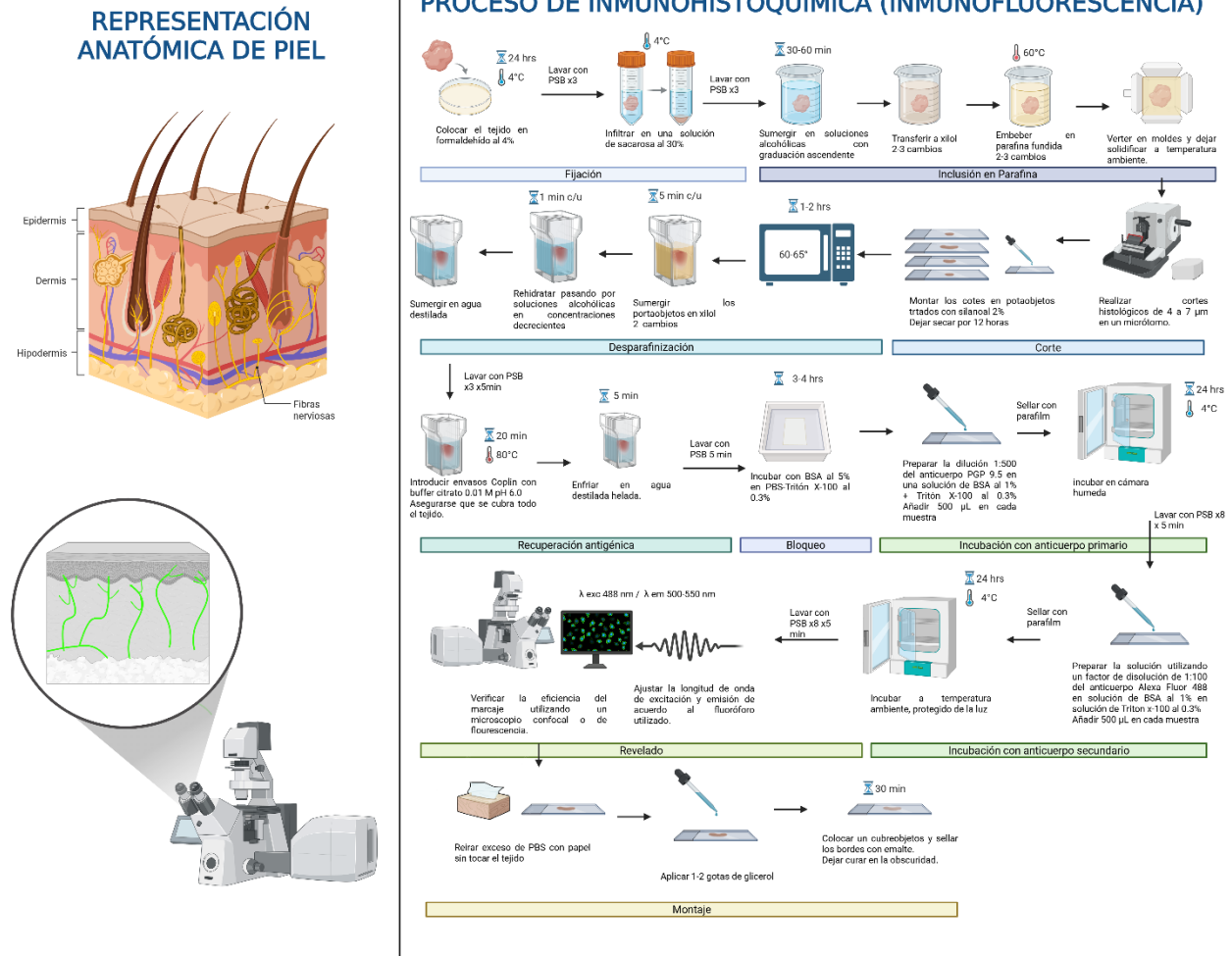


Figura 2. Proceso de inmunohistoquímica (inmunofluorescencia)

Realizado por Karen Janet Navarro García, Jorge Herrera Espinosa, 2025.

Determinación de la prevalencia de resistencia a la insulina en mujeres con síndrome de ovario poliquístico

MAGOS TREJO, Jesús¹, CEPERO GONZÁLEZ, María de los Ángeles², MORENO CELIS, Ulisses²

¹Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Química-Campus Centro Universitario. Cerro de las Campanas S/N, Centro Universitario, 76017 Santiago de Querétaro, Qro. jmagos20@alumnos.uaq.mx

²Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ciencias Naturales-Campus Juriquilla. ulisses.moreno@uaq.mx

²Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ciencias Naturales-Campus Juriquilla ceperomaria1996@gmail.com

RESUMEN

Una de los trastornos endocrinos más comunes en mujeres en el mundo y el país es el Síndrome de Ovario Poliquístico. Entre los síntomas que se presentan, uno de los más prevalentes es la resistencia a la insulina, la cual puede conllevar a enfermedades crónico degenerativas y cardiovasculares. No obstante, este está subdiagnosticado. En el presente estudio se tomaron 165 muestras de suero sanguíneo, de las cuales 88 fueron de pacientes con SOP y 77 de controles. Las muestras se sometieron a una cuantificación de insulina mediante un procedimiento ELISA, y en conjunto con los datos de cuantificación de glucosa se calculó el coeficiente HOMA-IR, para ver cuantas pacientes presentaban resistencia a la insulina. Los resultados permitieron observar que, aunque en su mayoría las pacientes presentaban niveles normales de insulina, debido a la alta cantidad de glucosa en sangre, estas tenían resistencia a la insulina. Por lo cual es imperativo realizar exámenes

para observar si las pacientes con SOP presentan resistencia a la insulina, lo que permitirá brindar tratamientos más enfocados, mejorando así su calidad de vida.

Palabras clave: resistencia a la insulina, síndrome de ovario poliquístico, HOMA-IR

ABSTRACT

One of the most common endocrine disorders in women in the world and the country is the Polycystic Ovarian Syndrome. Among the symptoms that occur, one of the most prevalent is insulin resistance, which can lead to chronic degenerative and cardiovascular diseases. However, it is underdiagnosed. In the present study, 165 blood serum samples were collected, of which 88 were from PCOS patients and 77 from controls. The samples were subjected to an insulin quantification using an ELISA procedure, and together with the glucose quantification data, the HOMA-IR coefficient was calculated to see how many patients had insulin resistance. The results showed that, although most of the patients had normal insulin levels, due to the high amount of glucose in their blood, they had insulin resistance. Therefore, it is imperative to perform tests to observe whether patients with PCOS have insulin resistance, which will allow us to provide more focused treatments, thus improving their quality of life.

Key words: insulin resistance, polycystic ovary syndrome, HOMA-IR.

INTRODUCCIÓN

El síndrome de ovario poliquístico (SOP) o también conocido como Anovulación Hiperandrogénica (HA) es uno de los trastornos endocrinos más comunes en mujeres en edad reproductiva. Es una condición donde al menos un ovario tiene un volumen ovarárico superior a 10 ml, hay engrosamiento de la túnica albugínea y microquistes múltiples (Sir P., *et. al.*, 2013; Singh S., *et. al.*, 2023), así como solo se diagnostica ante condiciones que reducen la calidad de vida de la paciente (como pérdida de cabello, alopecia, acné, problemas de infertilidad) (Singh S., *et. al.*, 2023).

Se debe agregar que este síndrome se caracteriza por disfunción menstrual, infertilidad, hirsutismo, acné, obesidad; además de defectos metabólicos como metabolismo anormal de glucosa, hipertensión, disfunción endotelial, dislipidemia y resistencia a la insulina (Singh S.,*et. al.*, 2023; Pekcan *et. al.*, 2019)

Hay que mencionar, además, quienes padecen SOP pueden padecer hiperinsulinemia compensatoria por acción de la resistencia a la insulina, así como esta condición es la principal causa de la producción excesiva de andrógenos, la disminución de la síntesis hepática de la SHBG y si no se maneja de forma adecuada puede conllevar al desarrollo de diabetes tipo 2 (Sir P., *et. al.*, 2013; Singh S.,*et. al.*, 2023).

En México el SOP afecta entre al 21-22% de las mexicanas en edad reproductiva según el sitio del Gobierno de México (2024). Un estudio de Reyes-Muñoz *et. al.* (2016) permitió observar una prevalencia variable de resistencia a la insulina (RI) en mujeres con SOP y el índice de masa corporal (IMC), de igual manera se calcula que el 80% de las pacientes con SOP y obesidad tiene RI (Olavarría-Guadarrama, *et. al.*, 2024).

No obstante, el IR no está incluido como criterio diagnóstico para el SOP como son los criterios de Rotterdam 2003 (Olavarría-Guadarrama, *et. al.*, 2024; Reyes-Muñoz *et. al.*, 2016), e incluso algunos clínicos asumen que todas las mujeres con SOP exhiben cierto grado de RI con hiperinsulinemia compensatoria (Reyes-Muñoz *et. al.*, 2016); por ende, llevando a una subdiagnóstico del IR.

Por tal motivo, el determinar su prevalencia en mujeres con SOP permitirá dimensionar su impacto clínico y metabólico, y facilitará la implementación de estrategias de detección temprana, prevención y tratamiento oportuno.

OBJETIVO GENERAL

Determinar la prevalencia de resistencia a la insulina en mujeres diagnosticadas con síndrome de ovario poliquístico, con el fin de identificar la magnitud del compromiso metabólico asociado y aportar evidencia que contribuya al diagnóstico oportuno y al diseño de estrategias de manejo integral.

METODOLOGÍA

A. Selección de sujetos

Se recolectaron 165 muestras de suero sanguíneo. De las cuales 88 fueron mujeres con SOP. Dichas muestras habían sido obtenidas previamente a la estancia mediante una encuesta. Las otras 77 fueron seleccionadas de un banco de muestras de alumnos y personal de la universidad.

B. Cuantificación de insulina

La cuantificación de insulina de las 165 muestras se realizó mediante el kit de ELISA ALPCO siguiendo las instrucciones del fabricante. La cuantificación de las muestras se realizó por un espectrofotómetro marca Thermo electron corporation, modelo multitask ascent. Mientras que el paso de la agitación en el ensayo ELISA fue realizado por un agitador marca Labnet, modelo Vortemp 56.

C. Cálculo del HOMA-IR

Se realizó el cálculo del HOMA-IR (Homeostasis Model Assessment for Insulin Resistance) con los datos obtenidos durante la cuantificación de la insulina y sus respectivos datos correspondientes a su concentración de glucosa (dichos datos habían sido recolectados previo a la estancia de verano).

La cuantificación se realizó mediante la ecuación 1.

$$HOMA - IR = \frac{Gluc_{ser} \times Ins_{ayuno}}{405}$$

$Gluc_{ser}$ - Glucosa sérica en ayuno (mg/dL)
 Ins_{ayuno} - Insulina en ayuno (mUI/L)

Ecuación 1. Método diagnóstico para la resistencia a la insulina en la práctica diaria. (Olavarría-Guadarrama,*et. al.*, 2024)

D. Tratamiento estadístico

Los datos obtenidos fueron compilados y tratados en Excel, realizándose una clasificación categórica basados en los siguientes criterios.

Insulina µIU/ml	Hipoinsulinemia	<5
	Insulina normal	5 - 25
	Hiperinsulinemia	>25
HOMA-IR	Sin resistencia a la insulina	<2.5
	Sospecha de resistencia	2.5 - 3
	Resistencia a la insulina	>3

Tabla 1. Intervalos categóricos en los valores de insulina en $\mu\text{IU/ml}$. *UI – Unidades de insulina (ALPCO, 2018). Intervalos categóricos en los valores de HOMA-IR (los cuales fueron adaptados de Olavaria-

Guadarrama, *et. al.*, 2024; Malanco H., *et. al.*, 2018; Ibarra S. A., *et. al.*, 2024)

RESULTADOS

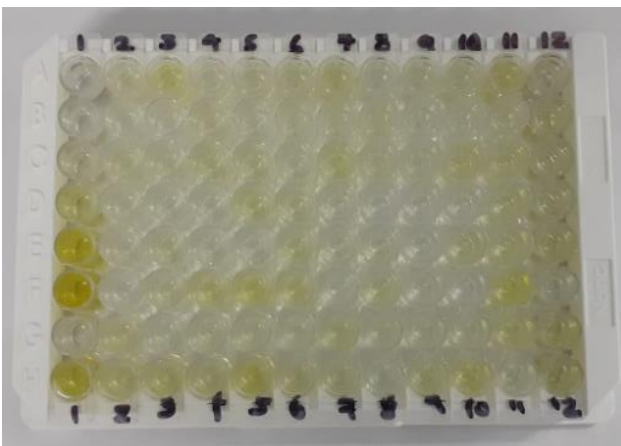
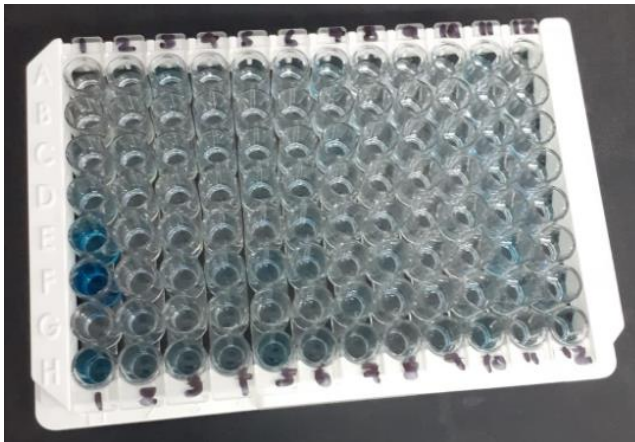
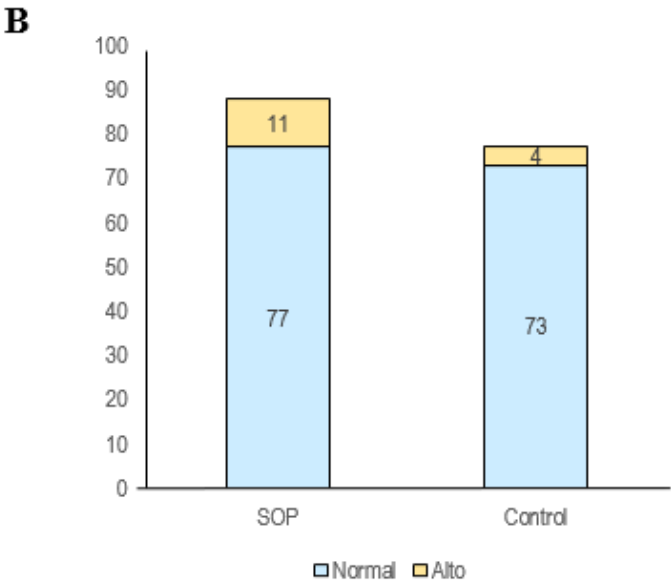
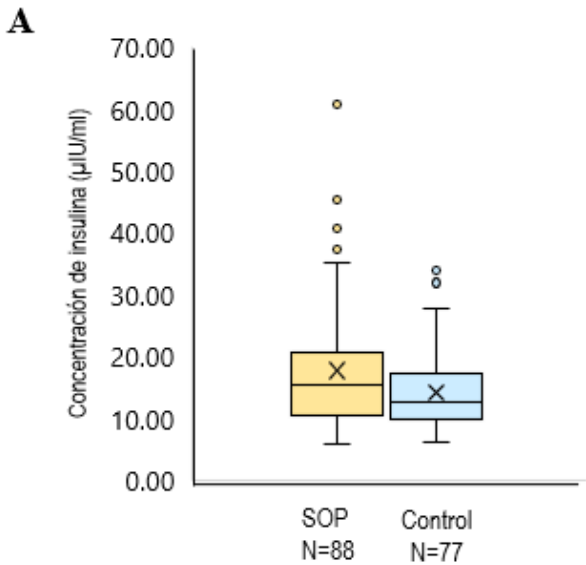


Imagen 1 y 2. Prueba ELISA para la cuantificación de insulina en muestra de suero.



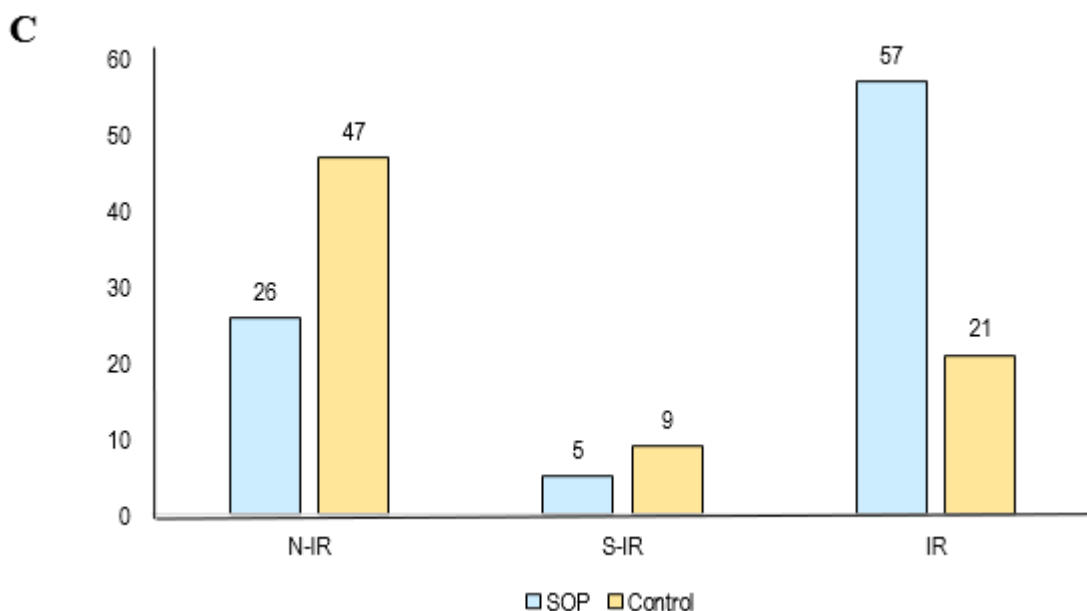


Figura 1. Cuantificaciones y categorizaciones en las pacientes con SOP y los controles. **A)** Se muestra la distribución de los valores de insulina en los sujetos del estudio. **B)** Se observa que el valor de insulina obtenido se encuentra dentro de los intervalos normales, solo siendo un 12.5% y 5.11% los que obtuvieron niveles de insulina altos para SOP y controles, respectivamente. **C)** Comparación de situación de HOMA-IR: SOP contra CONTROL. N-IR (Sin resistencia a la insulina), S-IR (Sospecha de resistencia a la insulina), IR (Resistencia a la Insulina)

En el caso de las pacientes con SOP se observa un valor medio de 17.61 ± 10.52 $\mu\text{IU/ml}$ de insulina. Por otra parte, en las mujeres control se observó una menor cantidad de insulina sérica siendo de 14.04 ± 15.94 $\mu\text{IU/ml}$ (Figura 1A). En ambos casos se observó la presencia de outliers, siendo el más destacable una paciente con SOP con 60.65 $\mu\text{IU/ml}$ de insulina.

Al realizar la estimación de HOMA-IR se observó que gran cantidad de las participantes con SOP (64.78%) tienen resistencia a la insulina, mientras que en caso contrario los pacientes control mostraron no tener resistencia a la insulina (Figura 1C).

DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

En este estudio se cuantificó la insulina sérica de 165 muestras, 88 pacientes con SOP y 77 controles mediante una técnica ELISA, además se calculó el HOMA-IR. Dentro de los resultados obtenidos se observó una prevalencia de resistencia a la insulina en las pacientes con SOP del 64.78%, lo cual es semejante a lo reportado en la literatura del 60 a 80% (Sir P., *et. al.*, 2013; Olavaria-Guadarrama, *et. al.*, 2024).

Si bien los datos obtenidos de insulina tanto en los pacientes como en los controles mostraron resultados normales, dado que el cálculo del HOMA-IR es el producto de la concentración de insulina y la concentración de azúcar, se puede sospechar que las pacientes sufren de hiperglicemia, así como podrían desarrollar una hiperinsulidemia compensatoria, según el cuadro clínico descrito por Carrasco, *et. al.*, (2013).

Los resultados observados refuerzan la necesidad de una evaluación sistemática de RI en las pacientes con SOP, pudiendo incluso complementarse con la prueba de TgyGlu (Triglicéridos y Glucosa) (Olavaria-Guadarrama, *et. al.*, 2024), así como con mediciones antropométricas según lo descrito por Sir P. *et. al.*, (2013).

En la población mexicana debido al estilo de vida y hábitos e incluso la genética, el SOP tiene mayor prevalencia (Gobierno de México, 2024), por lo que es necesario la creación de protocolos de detección temprana de IR con el fin de poder manejar el SOP de mejor manera, disminuir la posibilidad de enfermedades consecuentes como la diabetes mellitus 2 y así mejorar la calidad de vida de las pacientes.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al doctor Ulisses Moreno Celis por permitirme realizar la estancia de verano; a la doctora Mariela Camacho Barrón, a María de los Ángeles Cepero González quienes me instruyeron en diversas técnicas de laboratorio con las que se realizó el proyecto. Así como también a Daniela Bernal, mi amiga y compañera de investigación con quién genere una muy buena amistad durante el periodo de la estancia.

REFERENCIAS

S. Singh *et al.*, "Polycystic Ovary Syndrome: Etiology, Current Management, and Future Therapeutics," *Journal of Clinical Medicine*, vol. 12, no. 4, p. 1454, Feb. 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/jcm12041454>.

N. Fernando. Carrasco, F. J. E. Galgani, and J. M. Reyes, "Síndrome de resistencia a la insulina. estudio y manejo," *Revista Médica Clínica Las Condes*, vol. 24, no. 5, pp. 827–837, Sep. 2013, doi: [https://doi.org/10.1016/s0716-8640\(13\)70230-x](https://doi.org/10.1016/s0716-8640(13)70230-x).

M. Olavarria-Guadarrama *et al.*, "Diagnóstico y tratamiento de la resistencia a la insulina en el síndrome de ovario poliquístico: consenso de expertos," *Perinatología y Reproducción Humana*, vol. 38, no. 3, Dec. 2024, doi: <https://doi.org/10.24875/per.24000019>.

Meryem Pekcan *et al.*, "Assessment of the Relationship Between Serum High Molecular Weight Adiponectin Hormone Levels and Insulin Resistance in Patients with Polycystic Ovary Syndrome," *Hormone and Metabolic Research*, vol. 51, no. 04, pp. 261–266, Apr. 2019, doi: <https://doi.org/10.1055/a-0867-0886>.

E. Reyes-Muñoz *et al.*, "Association of obesity and overweight with the prevalence of insulin resistance, pre-diabetes and clinical–biochemical characteristics among infertile Mexican women with polycystic ovary syndrome: a cross-sectional study," *BMJ Open*, vol. 6, no. 7, p. e012107, Jul. 2016, doi: <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2016-012107>.

Secretaría de Salud, "096. Síndrome de ovario poliquístico, común entre las mujeres mexicanas," *gob.mx*, 2024. <https://www.gob.mx/salud/prensa/096-sindrome-de-ovario-poliquistico-comun-entre-las-mujeres-mexicanas>

P. T. Sir, R. J. Preisler, and N. A. Magendzo, "Síndrome de ovario poliquístico. diagnóstico y manejo," *Revista Médica Clínica Las Condes*, vol. 24, no. 5, pp. 818–826, Sep. 2013, doi: [https://doi.org/10.1016/s0716-8640\(13\)70229-3](https://doi.org/10.1016/s0716-8640(13)70229-3).

L. M. Malanco Hernández, "Dos formas cuantitativas de cálculo de resistencia a la insulina: HOMA (Homeostasis Model Assessment) e Índice Glucosa/Insulina, en un grupo de pacientes obesos del servicio

de consulta externa del servicio de endocrinología del Hospital General de México," Tesis, Universidad Nacional Autónoma de México, 2018. Available: <https://ru.dgb.unam.mx/server/api/core/bitstreams/cbab2822-a03b-4f34-ae45-d61995e133dd/content>

A. Ibarra Sánchez, C. Soto Félix, Y. V. Carrasco Padilla, S. A. Durán Pérez, L. Cano Barraza, and D. Barraza Sámano, "Evaluación Comparativa de los Índices HOMA-IR y HOMA-IR CP en la Detección de Resistencia a la Insulina y su Relación con el Perfil Lipídico," *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 8, no. 5, pp. 4673–4688, Oct. 2024, doi: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.13923.

ALPCO, "Insulin ELISA For the quantitative determination of insulin in serum and plasma.," 2018. <https://s3.amazonaws.com/alpcodocs/80/80-INSHU-E01.1,E10.1.pdf>

Evaluación clínica integral de la neuropatía diabética.

ELFT. Karen Janet Navarro García³ ✉ (knavarro17@alumnos.uaq.mx), ELFT. Jorge Herrera Espinosa³, Dra. María Carlota García Gutiérrez¹, Dra. Iza Fernanda Pérez Ramírez², MIM. Verónica Hernández Valle³, MIM. Eustolia Pedroza Vargas³, MCNH. Alejandra Torres Narváez^{1,3} ✉ (alejandra.torres@uaq.edu.mx).

¹ Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), ² Facultad de Química, UAQ, ³ Facultad de Enfermería, UAQ.

Resumen

El presente reporte compara perfiles de diabetes mellitus tipo 1 y tipo 2 para identificar que escala diagnóstica estandarizada resulta más relevante al priorizar la evaluación sensorial en la primera consulta. Además, se revisó la evidencia clínica sobre el uso de la neurodinamia en humanos con neuropatía diabética. Este análisis fortaleció el razonamiento clínico y las habilidades prácticas, lo cual permitirá seleccionar pruebas más pertinentes y a la orientación del paciente hacia estrategias de autocuidado preventivo.

Abstract

This report compares profiles of type 1 and type 2 diabetes mellitus to identify which standardized diagnostic scale is most relevant when prioritizing sensory evaluation during the first consultation. In addition, clinical evidence on the use of neurodynamics in humans with diabetic neuropathy

was reviewed. This analysis strengthened clinical reasoning and practical skills, allowing for the selection of more pertinent tests and guiding patients toward preventive self-care strategies

Palabras clave

Neuropatía diabética; fisioterapia clínica; diabetes mellitus; neurodinamia; movilización neural

Key Words

Diabetic neuropathy; clinical physiotherapy; diabetes mellitus; neurodynamics; neural mobilization

Introducción

La diabetes mellitus es una enfermedad crónica metabólica caracterizada por una afectación en la producción o el uso de la hormona encargada de controlar los niveles de glucosa en sangre, la insulina. Cuando estos niveles se mantienen elevados por tiempos prolongados, a lo que se le conoce como hiperglucemia crónica, se activan diversas vías metabólicas que terminan generando complicaciones en múltiples órganos y tejidos, incluyendo el sistema nervioso periférico, conduciendo al desarrollo de neuropatía diabética (ND) (Pop-Busui,2016).

La neuropatía diabética se describe como una afectación en los nervios somáticos o autonómicos, del sistema nervioso periférico, cuya causa se asocia exclusivamente a la diabetes mellitus. Mayormente, la afectación es principalmente sensorial y suele iniciar en las extremidades inferiores desde la zona distal. (Mayo Clinic,2022).

En la actualidad, el abordaje terapéutico de la neuropatía diabética periférica se enfoca

principalmente en un control de la hiperglucemia y en la mejora de la sintomatología. Es por eso por lo que la implementación de programas preventivos que permitan detectar de manera oportuna las alteraciones sensoriales derivadas del daño neuropático es esencial para disminuir el riesgo de desarrollar complicaciones posteriores (Velasco, 2016).

La detección temprana de neuropatía diabética es fundamental y este reporte relaciona el problema clínico con la toma de decisiones en la primera consulta, resaltando la importancia de la correcta selección de escalas diagnósticas y la priorización de pruebas sensoriales, así como la planificación de intervenciones fisioterapéuticas, como la neurodinamia y la educación del paciente en la identificación de signos clínicos relevantes y en estrategias de prevención.

Objetivo general

Integrar conocimientos teóricos y prácticos sobre la neuropatía diabética en el contexto clínico de la fisioterapia.

Objetivos específicos

1. Comparar la fisiopatología y manifestaciones clínicas de la diabetes Mellitus tipo 1 y diabetes mellitus tipo 2.
2. Seleccionar y justificar escalas estandarizadas para la evaluación inicial de la neuropatía diabética y determinar su uso en el seguimiento.
3. Analizar evidencia clínica del uso de la neurodinamia en pacientes con neuropatía diabética.

Metodología

La formación incluyó un proceso de recopilación y análisis de información con base en literatura científica y documentos clínicos. La búsqueda bibliográfica se realizó en PubMed, Scielo y Google Scholar. (i) Se elaboró un cuadro comparativo entre diabetes mellitus tipo 1 y tipo 2, a partir de fuentes seleccionadas, registrando fisiopatología y manifestaciones clínicas con criterios uniformes. (ii) Se recopilaron y organizaron escalas estandarizadas para la evaluación de neuropatía diabética, justificando su uso en primera valoración y seguimiento, y sistematizando sus indicaciones y forma de aplicación. (iii) Se revisó la evidencia clínica sobre el uso de la neurodinamia en neuropatía diabética y con esa base, se plantearon escenarios clínicos y la aplicabilidad del comparativo DM1–DM2 y de las escalas seleccionadas en la práctica fisioterapéutica supervisada.

Resultados

En relación con el primer objetivo, la comparación de la fisiopatología y las manifestaciones clínicas de la diabetes mellitus tipo 1 y tipo 2, permitió identificar que la neuropatía diabética presenta mecanismos fisiopatológicos comunes en ambos tipos, entre los que destacan la vía de los polioles, la vía de las hexosaminas y la formación de productos finales de glicación avanzada (AGEs). Estos mecanismos generan estrés oxidativo, inflamación, microangiopatía y daño en fibras nerviosas (Brownlee, 2001). Los primeros síntomas suelen incluir dolor, hormigueo y parestesias, mientras que en etapas avanzadas puede presentarse pérdida de la sensibilidad protectora, problemas de la propiocepción y mayor riesgo de úlceras en los pies (Mayo Clinic, 2022).

En la DM1, la neuropatía aparece generalmente años después del diagnóstico y se relaciona al mal control glucémico, predominando el daño estructural en fibras nerviosas grandes. En la DM2 puede presentarse antes del diagnóstico, favorecida por factores como dislipidemias y obesidad, predominando el daño en fibras nerviosas pequeñas (O'Brien, 2021). La prevalencia estimada es del 6-30% en DM1 y del 26% en DM2, con mayor riesgo de complicaciones en esta última (Pop-Busui, 2016). Este análisis permite orientar la priorización de pruebas sensoriales y decisiones clínicas más precisas en futuras consultas.

Respecto al segundo objetivo, se seleccionaron y justificaron escalas estandarizadas utilizadas para detectar y clasificar la neuropatía diabética periférica. La escala de Toronto Modificada (mTCNS) destaca por su alta sensibilidad (96.7-98%) y especificidad (85-97%), combinando preguntas y pruebas sensoriales sencillas para identificar cambios tempranos, especialmente sensitivos (Isiaquez, 2023). El instrumento de detección de neuropatía de Michigan (MNSI) combina un cuestionario de 15 ítems y exploración física con monofilamento, vibración, reflejos aquileos e inspección de pies, con una sensibilidad de 40-80% y especificidad de 80-95%, útil tanto en cribado como en seguimiento clínico (Herman, 2012). El neuropathy disability score (NDS) evalúa la percepción vibratoria y térmica, reflejos y dolor punzante, clasificando la neuropatía en nula, leve, moderada o grave, con sensibilidad de 67-93% y especificidad de 70-78% (Velasco, 2016).

Otras herramientas incluyen la escala de neuropatía temprana de Utah (UENS), enfocada en la neuropatía sensitiva inicial con alta especificidad (81-94%) (Singleton, 2008), y el cuestionario DN4, diseñado para identificar dolor neuropático con sensibilidad y especificidad superiores al 80% (Marta Ríos-

León, 2024). Las comparaciones indican que la mTCNS es más sensible para estadificación temprana, el MNSI es más versátil y aplicable en atención primaria, y el DN4 es preferente en contextos de dolor neuropático. Todas las escalas revisadas muestran utilidad clínica complementaria, siendo su elección dependiente del objetivo ya sea cribado, diagnóstico temprano o seguimiento y del contexto asistencial. Esta revisión refuerza la capacidad de seleccionar la escala más adecuada para la primera consulta y planificar evaluaciones de seguimiento.

Finalmente, en relación con el tercer objetivo, el análisis crítico de la evidencia clínica, junto con el planteamiento de escenarios clínicos que integraron el comparativo DM1-DM2 y las escalas priorizadas, permitió delinear pautas de aplicación seguras y potencialmente efectivas para la neurodinamia en contexto supervisado, incluyendo criterios de inicio, progresión y suspensión (Ashoori et al., 2024). Se identificaron beneficios clínicos reportados en neuropatía diabética, reducción del dolor neuropático; incremento de la sensibilidad táctil, térmica y vibratoria; aumento de la velocidad de conducción nerviosa y del rango articular; y mejora de la marcha y el equilibrio, que orientan la aplicabilidad futura (Azharuddin, 2023). Estos efectos podrían explicarse por mecanismos propuestos como la mejora de la vascularización intraneural, la modulación de mediadores proinflamatorios, la facilitación del flujo axoplásmico y la redistribución de cargas mecánicas (O'Brien et al., 2021). No obstante, la literatura presenta limitaciones: predominio de estudios centrados en un solo nervio pese al carácter polineuropático de la NPD, heterogeneidad de protocolos y dosificación, escaso uso de medidas objetivas y seguimiento limitado a largo plazo, además de poca evidencia en poblaciones frágiles o con comorbilidades (Ashoori et al., 2024).

Discusión y conclusiones

La recuperación de información muestra que, aunque la neuropatía diabética en la diabetes tipo 1 y tipo 2 comparten mecanismos fisiopatológicos como la vía de los polioles, la formación de productos finales de glicación avanzada y la vía de las hexosaminasa, existen diferencias importantes en su aparición y en la forma de afectación nerviosa. En la DM1 suele presentarse años después del diagnóstico, asociada al mal control glucémico y con predominio de daño en fibras nerviosas grandes, mientras que en la DM2 puede aparecer antes de su detección clínica, afectando principalmente a fibras nerviosas pequeñas y con mayor riesgo de tener complicaciones. Estas diferencias resaltan la necesidad de estrategias de detección y del manejo ajustadas a cada tipo de diabetes.

La revisión de las herramientas diagnósticas mostró que no existe un único método capaz de cubrir todas las necesidades clínicas. La escala de Toronto modificada destaca por su alta sensibilidad en etapas tempranas, el MNSI por su efectividad en el cribado y el seguimiento y el DN4 en la detección del dolor neuropático. En conjunto, se sugiere que la combinación de varias escalas, adaptadas al contexto del paciente, ofrece una valoración más precisa y favorece la detección temprana la neuropatía diabética.

En cuanto a la neurodinamia, se han identificado beneficios significativos, como lo son los antes ya mencionados, sin embargo, la falta de estandarización de protocolos, el enfoque limitado a nervios aislado y la falta del seguimiento a largo plazo de los pacientes limitan su aplicación. Por ello, resulta fundamental impulsar investigaciones más homogéneas, con poblaciones diversas y evaluaciones muy objetivas, así como establecer criterios claros de inicio, progresión y suspensión de ejercicios, de modo que se

refuerce la evidencia disponible y se optimice su uso seguro en la práctica clínica.

Agradecimientos

Se agradece al Programa Verano de la Ciencia UAQ 2025 y a la MCNH. Alejandra Torres Narváez por permitirme ser parte de este proyecto.

Referencias bibliográficas

Azharuddin, M., et al. (2023). Effects of Neural Mobilization in Diabetic Peripheral Neuropathy: A Scoping Review. *Journal of Chiropractic Medicine*, 22(4), 313-321. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2023.10.002>

Ashoori, M., et al. (2024). The effectiveness of neurodynamic techniques in patients with diabetic peripheral neuropathy: Study protocol for a randomized sham-controlled trial. *Advanced Biomedical Research*, 13, 6. https://doi.org/10.4103/abr.abr_180_23

Brownlee, M. (2001). Biochemistry and molecular cell biology of diabetic complications. *Nature*, 414(6865), 813-820. <https://doi.org/10.1038/414813a>

Herman, W. H., et al. (2012). Use of the Michigan Neuropathy Screening Instrument as a measure of distal symmetrical peripheral neuropathy in Type 1 diabetes. *Diabetic Medicine*, 29(7), 937-944. <https://doi.org/10.1111/j.1464-5491.2012.03644.x>

Idiaquez, J. F., et al. (2023). Optimal cut-off value of the modified Toronto Clinical Neuropathy Score in the diagnosis of polyneuropathy. *European Journal of Neurology*, 30(8), 2481-2487. <https://doi.org/10.1111/ene.15870>

Marta Ríos-León, J., et al. (2024). Usefulness

of the DN4, S-LANSS, and painDETECT screening questionnaires to detect the neuropathic pain components in people with acute whiplash-associated disorders: a cross-sectional study. *Pain Medicine*, 25(5), 344–351. <https://doi.org/10.1093/pm/pnad165>

Mayo Clinic. (2022, 11 junio). Neuropatía diabética - Síntomas y causas. <https://www.mayoclinic.org/es/diseases-conditions/diabetic-neuropathy/symptoms-causes/syc-20371580>

O'Brien, P. D., et al. (2021). Dyslipidemia-induced neuropathy: A role for oxidized low-density lipoproteins. *Acta Neuropathologica*, 141, 515–536. <https://doi.org/10.1007/s00401-021-02292-1>

Pop-Busui, R., et al. (2016). Diabetic Neuropathy: A Position Statement by the American Diabetes Association. *Diabetes Care*, 40(1), 136-154. <https://doi.org/10.2337/dc16-2042>

Singleton, J. R., et al. (2008). The Utah Early Neuropathy Scale: a sensitive clinical scale for early sensory predominant neuropathy. *Journal of the Peripheral Nervous System*, 13(3), 218-227. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8027.2008.00180.x>

Velasco, M. B., et al. (2016). Actualización en el diagnóstico, tratamiento y prevención de la neuropatía diabética periférica. *Angiología*, 69(3), 174-181. <https://doi.org/10.1016/j.angio.2016.06.005>

Biosensores potenciométricos para la detección de iones Cloruro y Potasio

Camacho Landaverde Daniela dcamacho32@alumnos.uaq.mx, Pérez Reséndiz Luz Mariana luzmpresendiz@gmail.com, Escalona Villalpando Ricardo Antonio ricardo.escalona@uaq.edu.mx, Ledesma García Janet janet.ledesma@uaq.edu.mx, Resendiz Jaramillo Ariadna Yaneli aresendiz72@alumnos.uaq.mx

Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería, Campus Aeropuerto, Querétaro, México.

RESUMEN

El sudor es un fluido biológico de interés para el monitoreo no invasivo de parámetros fisiológicos, debido a que refleja el estado electrolítico del organismo. En este trabajo se desarrollaron nanobiosensores potenciométricos para la detección de iones potasio (K^+) y cloruro (Cl^-). Para los electrodos se utilizó como soporte papel Toray, sobre el cual se depositaron aerogeles nanoestructurados y membranas selectivas de iones, y se evaluaron mediante la técnica de potencial a circuito abierto (OCP) en sudor sintético. A su vez, se elaboró una referencia experimental a partir de nanopartículas de plata y $FeCl_3$, el cual presentó un desplazamiento de ≈ 250 mV respecto a la referencia comercial Ag/AgCl. A pesar de esta diferencia, el potencial se mantuvo estable y reproducible.

El sensor de potasio presentó incrementos progresivos de potencial con cada adición de KCl, por otro lado, el sensor de cloruros mostró una disminución del potencial conforme aumentó la concentración de Cl^- , una respuesta coherente con el comportamiento Nernstiano esperado.

Las curvas de calibración obtenidas a 350 s confirmaron la sensibilidad de los sensores, demostrando su potencial aplicación en sistemas portátiles de monitoreo iónico.

PALABRAS CLAVE: biosensor, aerogel, potasio, cloruro, potenciométrico, papel Toray, OCP.

ABSTRACT

Sweat is a biological fluid of interest for non-invasive monitoring of physiological parameters, as it reflects the electrolyte balance of the body. In this work, potentiometric nanobiosensors were developed for the detection of potassium (K^+) and chloride (Cl^-) ions. Toray paper was used as the electrode substrate, onto which nanostructured aerogels and ion-selective membranes were deposited. The sensors were evaluated using the open circuit potential (OCP) technique in synthetic sweat. Additionally, an experimental reference electrode was fabricated from silver nanoparticles and $FeCl_3$, which exhibited a potential shift of approximately 250 mV compared to a commercial Ag/AgCl reference. Despite this difference, the potential remained stable and reproducible.

The potassium sensor exhibited progressive increases in potential with each KCl addition, while the chloride sensor showed a decrease in potential as the Cl^- concentration increased, a response consistent with the expected Nernstian behavior. Calibration curves obtained at 350 s confirmed the sensitivity of the sensors, demonstrating their potential application in portable ionic monitoring systems.

KEYWORDS: biosensor, aerogel, potassium, chloride, potentiometric, Toray paper, OCP.

I. INTRODUCCIÓN

Los biosensores se han propuesto como una tecnología de diagnóstico no invasivo para el monitoreo de biomarcadores en tiempo real [1]. Uno de los analitos frecuentemente utilizado es el sudor ya que ofrece ventajas notables: es accesible, no invasivo y refleja el estado electrolítico del organismo. Dicho estado puede evaluarse mediante sensores potenciométricos, capaces de cuantificar de manera simultánea electrolitos y metabolitos como sodio, potasio, cloruro, glucosa, ácido úrico, entre otros. [2]. Los niveles de estos biomarcadores se ven alterados si el individuo presenta alguna patología [1].

Particularmente los iones cloruro (Cl^-) y potasio (K^+) en el sudor han sido estudiados debido a su relación con enfermedades como fibrosis quística, desequilibrios electrolíticos y trastornos metabólicos [3].

Los iones cloruro (Cl^-) son electrolitos esenciales que participan en funciones como el mantenimiento del equilibrio osmótico, la regulación del volumen celular y la transmisión de impulsos nerviosos. Cuando los niveles se ven anormales y duplican la concentración normal en sudor de <30 mM, es indicador de enfermedades como la fibrosis quística [3]. También se puede relacionar con problemas de deshidratación e insuficiencia renal [4].

Los iones potasio (K^+) se utilizan como biomarcador para detectar enfermedades relacionadas con desequilibrios electrolíticos, fibrosis quística, cirrosis hepática y diversas nefropatías [5].

Sin embargo, la mayoría de los dispositivos de detección reportados enfrentan limitaciones en estabilidad, selectividad iónica y reproducibilidad, dificultando su aplicación en sistemas portátiles [3]. Esto motiva la búsqueda de nuevos materiales que mejoren la respuesta de los electrodos y su viabilidad en escenarios clínicos [6,7].

Por ello, se plantea que la incorporación de aerogeles nanoestructurados combinados con membranas selectivas puede incrementar la

sensibilidad y confiabilidad de los biosensores [7]. El presente estudio tiene como propósito desarrollar y validar sensores potenciométricos soportados sobre electrodos de papel Toray modificados para poder establecer una base confiable para la detección de iones en un buffer de fosfatos.

II. OBJETIVOS

1. Desarrollar electrodos para la detección de iones cloruro y potasio basados en aerogeles nanoestructurados y membranas selectivas de iones sobre papel Toray.
2. Validar y estandarizar la funcionalidad del sensor electroquímicamente mediante pruebas de potencial a circuito abierto (OCP).
3. Fabricar electrodos de referencia con AgNP/FeCl_3 sobre papel toray.
4. Comparar el potencial obtenido del electrodo de referencia respecto a electrodos comerciales de Ag/AgCl .

III. METODOLOGÍA

Preparación de sudor sintético (buffer de fosfatos)

Se pesaron 6 g de Fosfato de Potasio Monobásico KH_2PO_4 y 0.3 g de Fosfato de Sodio Dibásico heptahidratado Na_2HPO_4 y se disolvieron en 500 mL de agua destilada, ajustando el pH a 5.6

Electrodos de cloruro

Se mezclaron 5 mg de aerogel de plata con 500 μL de agua desionizada y 250 μL de Nafion en un vortex, posteriormente se sometió a baño ultrasónico durante 20 minutos. Sobre el papel Toray 3×0.5 cm se depositaron 2 capas de 10 μL cada una, de la tinta nanoestructurada de plata, dejando secar 1 hora a temperatura ambiente entre cada capa. Finalmente, se añadieron 10 μL de membrana de hidroxietilcelulosa 3% y se dejó secar por 24 horas a temperatura ambiente.

Electrodos de potasio

Para la síntesis de la membrana selectiva de iones se preparó una mezcla de valinomicina, KTCIPB, poliuretano y bis(2-etilhexil)sebacato (DOS), disueltos en 1 mL de tetrahidrofurano (THF).

Por otro lado, para el soporte se dispersó 1 mg de aerogel de carbono funcionalizado en 1 mL de etanol. Sobre el papel Toray se depositó 1 capa de soporte de 10 μL por drop-casting y se dejó secar 10 minutos. Finalmente, se depositaron 5 capas de 10 μL de la membrana sobre papel Toray, dejando secar durante 1 hora a temperatura ambiente.

Electrodos de referencia

Como método de comparación, se utilizó un electrodo de referencia comercial Ag/AgCl con la cual se estandarizó la referencia experimental. Para ello, se depositó 1 capa de 10 μL de una tinta comercial de Nanopartículas de plata sobre el papel Toray en un área de 0.5x0.5 cm, posteriormente se depositó 1 capa de 10 μL de FeCl_3 y se dejó secar por 5 días.

Evaluación electroquímica

La validación del biosensor se realizó utilizando un potenciostato BioLogic SP-3300 en modo OCP (Open circuit potential): Para ello, se empleó una solución Buffer (pH 5.6) como electrolito y dos electrodos: trabajo y referencia, tal como se muestra en la Figura 1. Se realizaron tres pruebas a 0 mM de 10 minutos cada una; posteriormente se hicieron adiciones de 10 μL de KCl en un rango de 2 a 16 mM. Entre cada adición se llevó a cabo una medición OCP de 10 min.

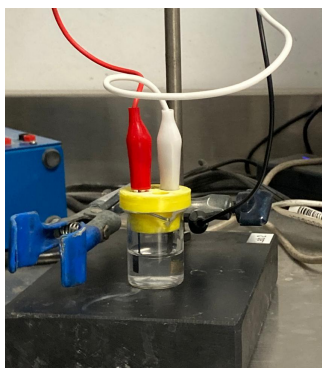


Figura 1. Montaje de la celda electroquímica para las pruebas potenciométricas.

IV. RESULTADOS

En la Figura. 2 se muestran los electrodos elaborados sobre papel Toray. Las capas depositadas

de aerogel y membranas selectivas se observaron bajo microscopio presentando una apariencia homogénea, así como se observa en la Figura 2.



Figura 2. Microscopía de las capas funcionales sobre el electrodo de papel Toray para el biosensor de K^+ .

En la Figura 3a se muestran los electrodos para el sensor de potasio utilizando el ionóforo de tipo I y II. La Figura 3b muestra electrodos del sensor de cloruro y las referencias fabricadas en el laboratorio.

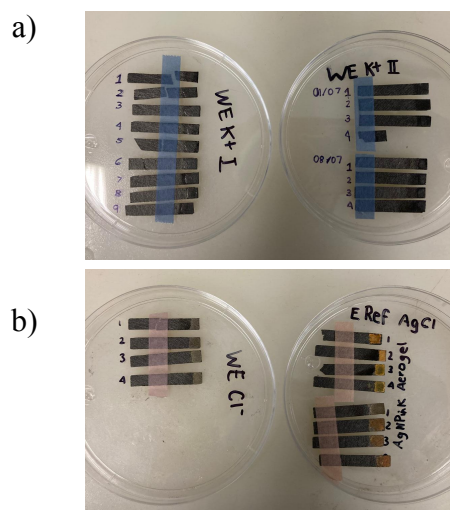


Figura 3. Electrodos fabricados sobre soporte de papel Toray.

En la Figura 4 se observa la respuesta del electrodo selectivo de potasio. Durante la medición a 0 mM el potencial permaneció estable y tras cada adición de KCl (2 mM), el valor del potencial incrementó progresivamente. Este comportamiento demuestra la sensibilidad del sensor respecto a la concentración iónica.

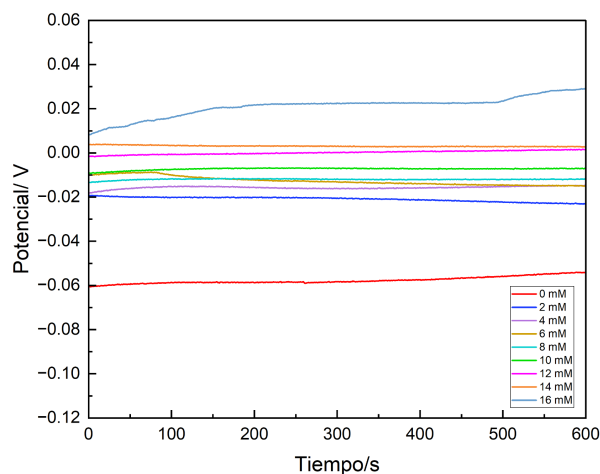


Figura 4. Respuesta potenciométrica del sensor de potasio (K^+) a adiciones sucesivas de KCl (2 mM).

La Figura 5 presenta la respuesta del sensor selectivo a cloruros. En este caso, la tendencia general de su comportamiento fue una disminución del potencial conforme se incrementaba la concentración de Cl^- , respondiendo a lo esperado de acuerdo con el equilibrio electroquímico del sistema $AgNP/FeCl_3$. Sin embargo, se registraron desviaciones en algunas adiciones, posiblemente asociadas a defectos en la homogeneidad en la tinta de los electrodos.

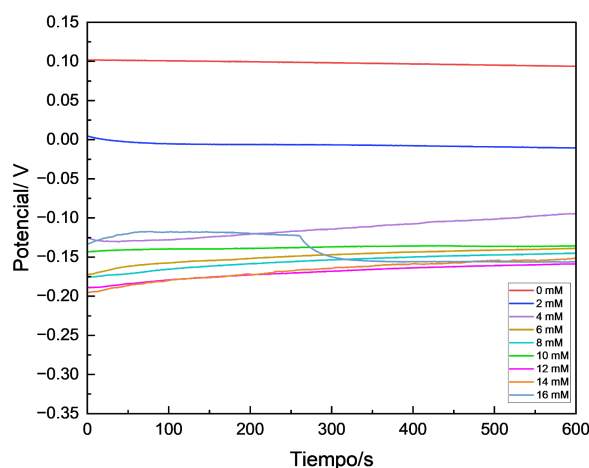


Figura 5. Respuesta potenciométrica del sensor de cloruro (Cl^-) a adiciones sucesivas de KCl (2 mM).

En la Figura 6 se comparan los potenciales registrados entre la referencia sobre Toray ($AgNP/FeCl_3$) y la referencia comercial ($Ag/AgCl$).

Se observó que el potencial de la referencia elaborada en papel Toray (+0.065 V) se encuentra desplazado aproximadamente 250 mV respecto a la referencia comercial (-0.187 V). Aunque su comportamiento fue estable y reproducible, esta diferencia limita reproducir el potencial estándar de $Ag/AgCl$.

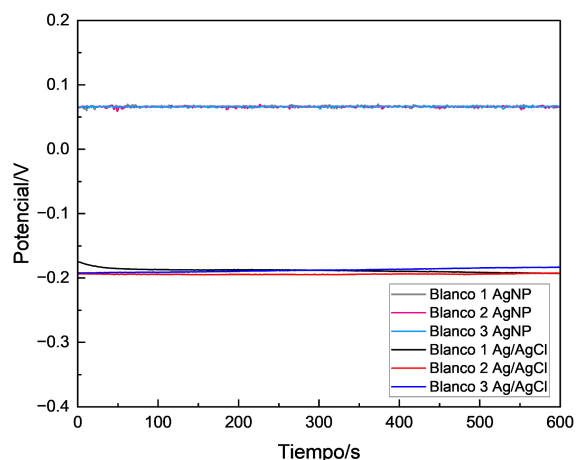


Figura 6. Estandarización de electrodos de referencias comparando el comportamiento entre el electrodo de referencia experimental $AgNP/FeCl_3$ y un electrodo de referencia comercial $Ag/AgCl$ en pruebas en blanco (0 mM).

Finalmente, la Figura 7 resume la respuesta de los sensores ya que se observa la tendencia del potencial registrado a los 350 segundos contra la concentración de ion.

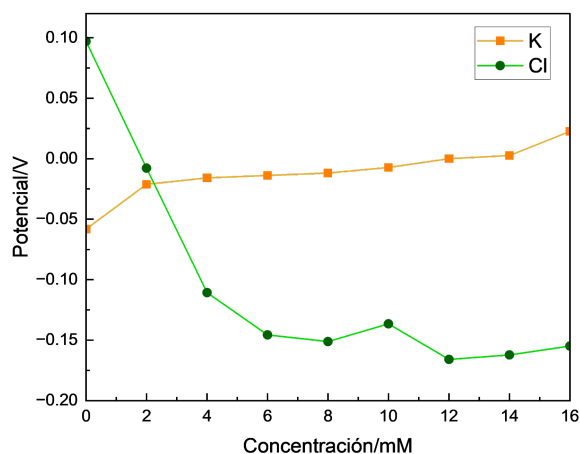


Figura 7. Curvas de calibración de electrodos de iones potasio y cloruros vs electrodo de de referencia experimental $AgNP/FeCl_3$

En el caso del sensor de potasio, la relación fue lineal y positiva, mientras que para cloruros la pendiente fue negativa, como se esperaba teóricamente. Aunque se observan algunos datos anormales en el sensor de cloruro específicamente a 10, 14 y 16 mM en donde se tiene un aumento del potencial respecto a la concentración anterior.

V. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los biosensores desarrollados en papel Toray mostraron una respuesta potenciométrica estable frente a variaciones en la concentración de iones. En el sensor de potasio (Figura 4), los incrementos de potencial observados en cada adición de KCl confirman la capacidad de selectividad a iones K^+ de la membrana con valinomicina, mostrando una tendencia coherente con el comportamiento Nernstiano esperado. La reproducibilidad de la señal a lo largo de las adiciones sugiere que se obtuvo un recubrimiento lo suficientemente estable para la detección del ion.

Por otro lado, el sensor de cloruros (Figura 5) mostró una disminución progresiva del potencial en cada adición de KCl. Sin embargo, algunas variaciones menores entre las adiciones de 10, 14 y 16 mM sugieren que el electrodo no alcanzó una homogeneidad completa, lo que pudo afectar la difusión iónica y la estabilización del potencial. A pesar de ello, la tendencia general respalda el funcionamiento del electrodo para la detección del anión.

En cuanto a la estandarización de las referencias, la comparación entre la referencia experimental y la comercial, presentada en la Figura 6, reveló un desplazamiento de aproximadamente 250 mV en el potencial. Si bien esta diferencia indica que la referencia experimental no reproduce el potencial estándar de Ag/AgCl, el hecho de que se mantuviera estable y reproducible durante las mediciones permite considerarla como una alternativa flexible, de bajo costo y con oportunidades de mejora.

Finalmente, la curva concentración–potencial de la Figura 7 obtenida a los 350 segundos permitió resumir y cuantificar el desempeño de ambos

sensores. La linealidad de la respuesta en el caso de potasio, y la pendiente negativa en cloruros, corroboran la sensibilidad de los electrodos.

VI. AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a la Universidad Autónoma de Querétaro y al programa de Verano de la Ciencia 2025 por apoyar la formación en la investigación y brindarnos la oportunidad de introducirnos a este proyecto.

Al Laboratorio Nacional de Micro y Nanofluidica, sede UAQ, por el espacio y recursos para el desarrollo de este proyecto de investigación

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Tang, Y., Zhong, L., Wang, W., He, Y., Han, T., Xu, L., Mo, X., Liu, Z., Ma, Y., Bao, Y., Gan, S., & Niu, L. (2022). Recent advances in wearable potentiometric pH sensors. *Membranes*, 12(5), 504. <https://doi.org/10.3390/membranes12050504>
- [2] Pirovano, P., Dorrian, M., Shinde, A., Donohoe, A., Brady, A. J., Moyna, N. M., Wallace, G., Diamond, D., & McCaul, M. (2020). A wearable sensor for the detection of sodium and potassium in human sweat during exercise. *Talanta*, 219, 121145. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2020.121145>
- [3] Queralto, N., Vargas, J., & Gallardo, J. (2024). Advances in sweat-based chloride detection for cystic fibrosis. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 948, 117086. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2024.117086>
- [4] Manjakkal, L., Dervin, S., & Dahiya, R. (2020). Flexible potentiometric pH sensors for wearable systems. *RSC Advances*, 10(15), 8594–8617. <https://doi.org/10.1039/d0ra00016g>
- [5] Özbek, O. (2023). A potentiometric sensor for the determination of potassium in different baby follow-on milk, water, juice and pharmaceutical samples. *Journal of Food Composition and Analysis*, 115, 104937. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104937>
- [6] Raza, T., Qu, L., Khokhar, W. A., Andrews, B., Ali, A., & Tian, M. (2021). Progress of wearable and flexible electrochemical biosensors with the aid of conductive nanomaterials. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.761020>
- [7] Zhang, T., Zhao, Y., Muhetaer, M., & Wang, K. (2020). Silver nanoparticles cross-linked polyimide aerogels with improved high temperature microstructure stabilities and high mechanical performances. *Microporous and Mesoporous Materials*, 297, 110035. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2020.110035>

IMPACTO DE ESPECIES REACTIVAS DE OXÍGENO EN FERTILIDAD MASCULINA

Autor. HERNÁNDEZ GARCÍA, María Paola,
Coautora. DÍAZ MARTEL, Aida Guadalupe,
Coautor. SÁNCHEZ TUSIE, Ana Alicia.

Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Medicina-Campus la Capilla. Clavel 200, Prados de la Capilla, C.P. 76176, Querétaro, Qro. mhernandez308@alumnos.uaq.mx

Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Medicina-Campus Aeropuerto. Carr. A Chichimequillas S/N, Ejido Bolaños, C.P. 76140, Querétaro, Qro. diazmartellag@gmail.com

Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Medicina-Campus Aeropuerto. Carr. A Chichimequillas S/N, Ejido Bolaños, C.P. 76140, Querétaro, Qro. ana.sanchez@uaq.mx

Resumen.

El objetivo de esta investigación fue evaluar el porcentaje de espermatozoides humanos que presentan especies reactivas de oxígeno (ERO) intracelulares y su relación con la calidad seminal. Se obtuvieron muestras de pacientes con abstinencia sexual de 2 a 5 días, que fueron procesadas y analizadas mediante evaluaciones macroscópicas (color, volumen, pH y viscosidad) y microscópicas (concentración, motilidad y morfología), además de la técnica *Swim up* para la selección de espermatozoides con motilidad progresiva.

Posteriormente, se aplicó un método complementario de detección de fragmentación de

ADN espermático utilizando microscopía de fluorescencia. Los resultados mostraron que, aunque la mayoría de las muestras se mantuvieron dentro de parámetros normales en volumen, pH y concentración espermática, se observó una disminución en la motilidad y alteraciones morfológicas en algunos casos, lo que se asoció a un aumento en las ERO intracelulares. Estos hallazgos destacan la importancia de evaluar el estrés oxidativo como un factor determinante en la infertilidad masculina, ya que influye directamente en la integridad del ADN y en la capacidad fecundante de los espermatozoides.

En conclusión, el estudio aporta evidencia sobre la necesidad de incluir parámetros relacionados con las ERO y la fragmentación espermática dentro de la valoración rutinaria de la calidad seminal, lo que podría mejorar el diagnóstico y manejo de la infertilidad masculina.

Palabras clave:

Especies reactivas de oxígeno (ERO), espermatozoides, calidad seminal, motilidad espermática, morfología espermática, infertilidad masculina, swim up.

Abstract.

The aim of this study was to evaluate the percentage of human spermatozoa presenting intracellular reactive oxygen species (ROS) and their relationship with semen quality. Samples were obtained from patients with 2–5 days of sexual abstinence and analyzed through macroscopic evaluation (color, volume, pH, viscosity) and microscopic assessment (concentration, motility, morphology), in addition to the *Swim up* technique for the selection of progressively motile spermatozoa.

A complementary method for sperm DNA fragmentation detection was also applied using fluorescence microscopy. Results showed that, although most samples remained within normal ranges for volume, pH, and concentration, decreased motility and morphological alterations were observed in some cases, which were associated with increased intracellular ROS. These findings highlight the importance of oxidative

stress as a key factor in male infertility, as it directly impacts DNA integrity and sperm fertilizing capacity.

In conclusion, this study provides evidence supporting the inclusion of ROS-related parameters and sperm fragmentation in routine semen analysis to improve the diagnosis and management of male infertility.

Key Words:

Reactive oxygen species (ROS), spermatozoa, semen quality, sperm motility, sperm morphology, male infertility, swim up.

Introducción

La infertilidad masculina es un problema de salud que afecta aproximadamente al 50 % de las parejas que presentan dificultades para concebir, constituyendo una de las principales causas de consulta en medicina reproductiva (Agarwal et al., 2021). En este contexto, las especies reactivas de oxígeno (ROS) han cobrado un papel central en la investigación, ya que en niveles fisiológicos participan en procesos como la capacitación espermática, la hiperactivación y la reacción acrosómica; sin embargo, cuando su producción excede la capacidad antioxidante del sistema, generan un estado de estrés oxidativo que compromete la calidad espermática (Aitken, 2017).

Diversos estudios han demostrado que el exceso de ROS provoca peroxidación lipídica en las membranas, fragmentación del ADN espermático y reducción significativa de la motilidad, lo que impacta directamente en la capacidad fecundante de los espermatozoides (Agarwal et al., 2014; Sharma et al., 2021). Asimismo, se ha reportado que el estrés oxidativo se asocia con fallas en la fertilización, desarrollo embrionario deficiente y resultados adversos en técnicas de reproducción asistida (Aitken & Baker, 2020). A pesar de estos hallazgos, aún persisten vacíos en la literatura respecto a los mecanismos precisos de daño y a la eficacia de intervenciones antioxidantes que permitan mejorar los resultados reproductivos.

El propósito de esta investigación es analizar el impacto de las especies reactivas de oxígeno en la fertilidad masculina, destacando su doble papel como mediadores fisiológicos y agentes de daño celular. Este estudio tiene gran importancia, ya que la infertilidad no solo representa una condición médica, sino también un problema social y emocional que afecta la calidad de vida de millones de parejas a nivel mundial (Sharma et al., 2021).

Objetivo:

- Evaluar el porcentaje de espermatozoides humanos que presentan especies reactivas de oxígeno intracelulares.

Metodología

Se recolectaron muestras seminales tras un periodo de abstinencia de 2 a 5 días, garantizando así parámetros adecuados de concentración y motilidad. Cada muestra se analizó entre los 30 y 60 minutos posteriores a su recolección para preservar la viabilidad, manteniéndose a temperatura fisiológica mediante su transporte cercano al cuerpo. Previamente, los pacientes respondieron un cuestionario sobre hábitos y condiciones de salud, además de otorgar consentimiento informado.

El análisis macroscópico incluyó la evaluación del color, esperado como blanco opalescente; el volumen, que en condiciones normales varía entre 1.5 y 5 mL, siendo el máximo registrado de 4 mL; el pH, medido con tiras reactivas (rango fisiológico de 7 a 8), y la viscosidad, determinada por observación directa.

La evaluación microscópica contempló la concentración espermática mediante cámara de Neubauer, colocando 20 µL de muestra y realizando conteo en tres filas con ayuda de un contador manual; la motilidad, al observar 10 µL de muestra bajo cubreobjetos y clasificar los espermatozoides en progresivos, no progresivos e inmóviles; y la morfología, a partir de un frotis teñido con hematoxilina-eosina tras fijación en

metanol, analizado a 100x y categorizado en formas normales o anormales.

Posteriormente se aplicó la técnica *swim-up* para enriquecer la fracción de espermatozoides con motilidad progresiva. Como complemento metodológico se realizó la técnica TUNEL para evaluar la fragmentación del ADN.

A continuación se describe la técnica empleada:

Inicialmente se prepararon frotis celulares que, tras el secado, fueron lavados con PBS para permeabilizar las membranas y posteriormente fijados con paraformaldehído al 4 %. Posteriormente, las muestras se incubaron a 4 °C durante 25 minutos, se lavaron con PBS y se trataron con Tritón X en PBS a temperatura ambiente, con el fin de lisar las células sin comprometer su estructura. A continuación, se realizaron incubaciones en tampón pH 7.5 y en buffer 1X preparado con enzima TdT y colorante fluorescente, manteniendo tiempos de exposición controlados para garantizar la estabilidad celular. Las láminas fueron colocadas en cámara húmeda a 37 °C, sometidas a tinciones de excitación y lavadas en PBS antes de su observación final. Finalmente, las muestras se analizaron en un microscopio de fluorescencia, donde, si bien no se cuantificaron resultados, fue posible apreciar los patrones característicos de señal fluorescente indicativos de fragmentación de ADN.

Resultados

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 1. Análisis macroscópico

	Volumen (ml)	Color	pH	Viscosidad
Paciente 1	2.5	Blanco opalescente	7	sí
Paciente 2	1.8	Blanco opalescente	8	sí
Paciente 3	4	Blanco opalescente	7	no

Tabla 2. Análisis microscópico. Motilidad y morfología

	Motilidad			Morfología	
	Progresiva	No progresiva	Inmotiles	Normales	Anormales
Paciente 1	44	14	42	22	78
Paciente 2	38	12	50	13	87
Paciente 3	39	13	47	10	90

Tabla 3. Análisis microscópico. Concentración espermática

	Sin capacitar (millones/ml)	Con capacitación/Swim up (millones/ml)
Paciente 1	110	58.3
Paciente 2	63.3	31.3
Paciente 3	99.6	68

Discusión y conclusiones

El análisis seminal evidenció variaciones en parámetros macroscópicos y microscópicos. Algunos pacientes presentaron volumen bajo y viscosidad aumentada, lo que puede limitar la movilidad espermática, aunque el pH se mantuvo dentro de lo normal.

En la evaluación microscópica, si bien la concentración estuvo dentro de los rangos de referencia, se observó un alto porcentaje de espermatozoides inmóviles y con morfología anormal, factores que impactan de manera más significativa en la fertilidad que el conteo total.

La técnica *Swim up* permitió recuperar espermatozoides con motilidad progresiva, aunque con reducción en la concentración. Este procedimiento refuerza la utilidad de seleccionar células con mejor capacidad fecundante en pacientes con alteraciones seminales.

En conclusión, la calidad espermática (motilidad y morfología) representa un factor más decisivo que la cantidad absoluta de espermatozoides. El análisis integral del semen, complementado con métodos de capacitación, resulta indispensable en la evaluación y manejo de la infertilidad masculina.

Agradecimientos

Le agradezco a mi tutora, la investigadora Aida Guadalupe Díaz Martel por la paciencia y disposición para compartir sus conocimientos. También agradezco a la Doctora Ana Alicia

Sánchez Tusie por amabilidad y generosidad para llevar a cabo mi estancia en el CIBA.

Finalmente agradezco a mis compañeros Francia Hernández y Jesús por su grata compañía y enriquecer mis conocimientos y habilidades dentro del laboratorio.

Referencias bibliográficas

Agarwal, A., Baskaran, S., Parekh, N., Cho, C. L., Henkel, R., Vij, S., Arafa, M., Panner Selvam, M. K., & Shah, R. (2021). Male infertility. *The Lancet*, 397(10271), 319–333. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)32667-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)32667-2)

Agarwal, A., Virk, G., Ong, C., & du Plessis, S. S. (2014). Effect of oxidative stress on male reproduction. *The World Journal of Men's Health*, 32(1), 1–17. <https://doi.org/10.5534/wjmh.2014.32.1.1>
Aitken, R. J. (2017). Reactive oxygen species as mediators of sperm capacitation and pathological damage. *Molecular Reproduction and Development*, 84(10), 1039–1052. <https://doi.org/10.1002/mrd.22871>

Gharagozloo, P., & Aitken, R. J. (2011). The role of sperm oxidative stress in male infertility and the significance of oral antioxidant therapy. *Human Reproduction*, 26(7), 1628–1640. <https://doi.org/10.1093/humrep/der132>

Sharma, R., Biedenharn, K. R., Fedor, J. M., & Agarwal, A. (2021). Lifestyle factors and reproductive health: Taking control of your fertility. *Reproductive Biology and Endocrinology*, 11, 66. <https://doi.org/10.1186/1477-7827-11-66>

EL SIGNIFICADO DEL AMOR EN FAMILIA DE ANNA KARENINA Y MADAME BOVARY.

Autora: Ruth Andrea Pérez Rodríguez.
Universidad Autónoma de Querétaro.
Facultad de Artes, Licenciatura en Arte
Danzario.

rperez45@alumnos.uaq.mx

Asesora: Rafaela Monje Torres.
Universidad Autónoma de Querétaro.
Facultad de Artes, Doctorado en Artes y
Humanidades.
rmonje24@alumnos.uaq.mx

Resumen

Las historias que a continuación se analizan, versan sobre cómo distintas mujeres viven y buscan la felicidad por medio del matrimonio. En primer lugar, en la novela *Ana Karenina*, se encuentra, Anna, quien por su pasión y romanticismo enloquece de amor por su amante Vrosky. Sin embargo, la sociedad la etiqueta de adúltera. En esta misma novela se conocerá a personajes secundarios como Steva y Dolly, quienes forman un matrimonio donde se tienen respeto, a pesar de los errores de Stiva. Dolly decide seguir formando una familia pesar de las constantes infidelidades de Stiva. Mientras en Levin y Kitty existe un refugio y apoyo mutuo. Los dos sienten la necesidad de formar una familia, y al final esto les permite tener una buena convivencia. Los sentimientos de ambos les permite formar

una familia. En la novela *Madame Bovary*, Emma, personaje principal, vive entregada a la imaginación y al romanticismo, el cual lo vive fuera del matrimonio. Finalmente se interpretará el significado del baile de la época, el cual representa un ambiente que recrea la búsqueda de emociones que desde la vida cotidiana no tienen.

PALABRAS CLAVE: amor, familia, esposo, esposa e hijo

Abstrac

The stories analyzed are about how different women live and seek happiness through marriage. First of all, in the novel *Anna Karenina*, we meet Anna, who, driven by her passion and romance, goes mad with love for her lover Vronsky. However, society labels her as an adulteress. In this same novel, we encounter secondary characters like Stiva and Dolly, who form a marriage, where there is mutual respect. Despite Steva's mistakes. Dolly decides to continue building a family despite Steva's constant infidelities. Meanwhile, Levin and Kitty share a refuge and mutual support. Both feel the need to start a family, and in the end, this allows them to have a Good coexistence. Their feelings enable them to create a family. In the novel *Madame Bovary*, Emma, the main character, lived absorbed in imagination and romanticism, which she experiences outside of marriage. Finally, the meaning of the dance will be interpreted.

Key Words: Love, family, husband, wife and child.

Introducción

Liev N. Tolstoi escritor ruso, nacido el 09 de septiembre de 1828 muere el 20 de noviembre de 1910. Sus novelas más conocidas son *Guerra y paz* y *Ana Karenina*. Esta última la publicó en 1878.

El tema más importante de la obra fue el adulterio. La narrativa gira en torno a tres matrimonios diferentes, donde el amor adquiere diferentes significados.

Gustave Flaubert escritor francés nacido en 1821 y fallecido en 1880, escribió *Madame Bovary*, *Tres Cuentos* y *La Educación Sentimental*, etc. Ambos autores son representantes clásicos de la novela del siglo XIX. En ambos el matrimonio es el tema central de las obras discutidas. También dejan ver que, para este momento, las mujeres dependían del esposo. Y la apariencia estética era muy importante para que alguien se interesara por ellas. Además, la dote todavía jugaba un papel importante en el arreglo del matrimonio. También asistían a bailes para encontrar a un prospecto. Normalmente, eran los padres quienes elegían con quien se casarían. Como fue el caso de Ana Karenina y Emma Bovary. Ambos autores Tolstoi y Flaubert exploraron la humanidad femenina, por eso optaron que las protagonistas fueran mujeres, quienes cometen adulterio y otros cuantos errores, como el suicidio. Por eso, en su tiempo fueron obras que generaron mucho ruido; provocaron conflicto en el lector. La análisis de estas obras se hizo en base al método hermenéutico.

1.El matrimonio en Ana Karenina

1.1 El matrimonio karenina

Ana se denomina como una mujer con la capacidad de ser buena esposa y madre. Su estética corporal era muy exuberante se distinguía por su piel blanca y su cabello rizado. Era admirada y tomada como un ejemplo en su círculo social. Cumplía con el concepto de una “mujer perfecta” y que todo hombre quiere tener. Por otro lado, su esposo Alexis Alexandrovich Karenin, es un

hombre que está en un buen estatus social, era reconocido y admirado por su deber. Además, tenía una familia ejemplar, honor y trabajo, del cual tenía ingresos muy favorables. Sin embargo, no era un hombre cercano a su esposa e hijo. Sí, era una persona agraciada, con carácter moral, religioso e inteligente. Aunque cumplía su propósito como hombre de sociedad, en su matrimonio carecía de afectos y tacto hacia su esposa Ana, y hacia su único hijo, Sergio. Él no intervenía en decisiones de su esposa, porque pensaba que ella también cuidaba el sentido del deber. Por eso al ver que Anna empieza actuar de manera imprudente, no intervino de forma enérgica.

En relación a su esposa, le decía: “como jefe de familia tengo el deber de orientarla y soy, pues, en cierto modo responsable de cuanto pueda suceder. Por tanto, debo advertir a Ana el peligro que veo amonestarla, y en caso necesario, imponer mi autoridad.” (Tolstoi, 2023, P. 199). Cuando Ana daba señales de que le estaba siendo infiel, él, dentro de su prudencia, trató de convencer a Ana para que retrocediera su conducta.

Vronsky el amante de Anna Karenina, era un hombre atractivo y de buena posición económica. Físicamente, era moreno, con cabello rizado y no tan alto. Tenía antecedentes familiares donde la figura paterna estaba ausente. Su madre constantemente tenía diferentes encuentros amorosos. No dio suficiente afecto a sus hijos. Tenía un entorno familiar con tendencia al libertinaje. Por eso, Vronsky tenía un perfil mujeriego. No se comprometía con ninguna mujer, hasta que conoció a Ana. Al conocer a Anna Karenina, ambos quedan flechados, en

aquella visita a Moscú. Y aunque Vronsky y Anna sabían que no había posibilidad de estar juntos, el deseo de ambos no fue contenido. Era el baile de la princesa Kitty, a quien también pretendía, pero al final se decide por Anna. Y Kitty quedó decepcionada. La conducta de Anna cayó en lo romántico, es aquí donde conoce la experiencia de los sentimientos, estos que jamás encontró junto a su esposo: “Jamás podrán comprenderlo, ni yo explicarlo. Para los demás es un hombre religioso, moral, honrado, inteligente...Pero no ven lo que yo he visto. No saben que durante ocho años ese hombre ha ahogado mi vida”. (P. 383). Ana se sentía apagada en el matrimonio junto a un hombre como Karenin. Cuando inicio el romance con Vronsky, los sentimientos de ella hacia su marido e hijo cambiaron. No toleraba ni a su propio hijo, tampoco su propia vida. Esto la obligó a alejarse de su núcleo familiar, aun en oposición de su marido, quien le insistía en que permanecieran juntos: “La familia no puede ser desechada por el capricho, el deseo o incluso el crimen de uno de los cónyuges. Nuestra vida debe de seguir como antes. Eso es necesario para usted, para mí y para nuestro hijo. En caso de lo contrario puede suponer lo que le espera a usted y a su hijo.” (P. 373) Al final, la pasión que Ana sentía por Vronsky fue más fuerte. Abandonó a su esposo e hijo y huyó a París junto al hombre que la hacía sentir viva.

1.2. Matrimonio de Stiva y Dolly

Stiva el hermano de Anna, era un hombre con buen estatus social. Tenía una familia grande. Dolly su esposa era una mujer criada en una familia noble y con valores cristianos. Pero, su marido solía tener encuentros con diversas amantes.

Este hecho la decepcionaba profundamente, sin embargo, había decidido ignorar estas conductas de su esposo. Y aunque dice en el texto que él ama a su familia y a Dolly, esto no representa un impedimento para que él la lastime constantemente. Al final ellos deciden por voluntad propia estar juntos, por el amor que se tienen, además de la responsabilidad y amor hacia sus seis hijos. En Dolly, el engaño o infidelidad -cuando recién la descubrió- la aisló y dejó de realizar las actividades básicas de su hogar y de sus hijos. Pensó en pedir el divorcio a Stiva, pero al final su cuñada, Ana, logra disuadirla. Ana Karenina le recomendó no pensarlo, ni hacerlo, ya que, a los hombres les está permitido ser adúlteros, mientras que, a ellas, las mujeres, se les deja desprotegidas y se les culpa de tales sucesos. Al final Dolly decidió perdonarle, pero él no cambió, sabía que ella siempre lo iba a amar.

1.3 Matrimonio de Levin y Kitty

Levin es un hombre con un esquema claro sobre el tipo de mujer que necesita. Estaba enamorado de la princesa Kitty. En ellos no ocurrió un enamoramiento instantáneo. Al principio, aunque Kitty se sentía atraída por él, no era suficiente para que sintiera que era un prospecto para casarse. Él no era tan agraciado como su entonces pretendiente militar Vronsky. Levin al enterarse que Kitty estaba enamorada perdidamente del militar, decidió alejarse. Sin embargo, Levin sigue deseando un amor y una familia. Finalmente se da la oportunidad de coincidir con Kitty nuevamente. Ella se da cuenta que él siempre fue el que debió elegir, desde un principio.

Al final ellos fueron una familia, donde había un amor sano, confianza y resguardo mutuo. Creo yo que llegar a una realidad familiar así, para su época es un logro importante. Porque Levin no era un hombre con etiqueta social, era un hombre en busca de una estabilidad económica, amor en familia. También se interesaba por el bienestar de su comunidad. Y Kitty demostraba tener los mismos intereses que él.

2.El matrimonio Bovary

El matrimonio Bovary, estaba constituido por el doctor rural Charles Bovary. Aunque, no era su plan ser médico lo hizo porque su madre así lo dispuso. También fue ella la que escogió la primera esposa, pero mientras él estaba cuidando a un enfermo de campo. Sin embargo, su primera esposa murió. Él no guardó mucho duelo. Aunque fue triste, él no estaba enamorado de ella. Él ya estaba interesado por Emma, la hija de uno de sus pacientes granjero.

Emma es una mujer de campo, muy agraciada físicamente. Creció sin una figura materna. Fue educada en un colegio de monjas y cuando lo dejó se fue a vivir con su padre en la granja. Es aquí donde conoció a Charles. Era una mujer fantasiosa e imagina que cuando se casara sería como en las novelas que leía en el colegio donde pasó de su adolescencia. Ella en un inicio sentía fascinación por Charles porque era de ciudad. Esto les permitió tener un vínculo. Desde el primer momento del matrimonio, Emma empezaba a imaginar otro tipo de vida. Pronto se dio cuenta que su esposo no tenía los recursos suficientes para darse el nivel de vida que deseaba. Porque seguían perteneciendo a una clase baja. Charles parecía ser un hombre sin fines personales

y profesionales. No tenía amistades y tampoco le interesaba ser un médico ejemplar, solo trabajaba sin mayor aspiración. Él daba lo que ella pedía, ya que al casarse lo hizo por una pasión romántica. En cambio, ella, no sentía lo mismo por él: “Cuanto más se entregaba a uno, más execrable al otro; nunca le parecía” (P. 232). Emma Bovary vivía en la fantasía de ser amada, no tanto por el amor si no por la pasión. Esta fantasía la alejaba de la realidad en que vivía. Es decir, la realidad de esposa. Cuando conoció al joven Léon sintió una gran atracción, él era alto y algo tímido, pero lo suficiente interesante para que Bovary se sintiera enamorada. Para ella no fue una imposibilidad imaginar una vida con él. Con todo y que ya tenía una hija con Charles. Lamentablemente, jamás tuvo cariño maternal por ella y la habían dado a la nodriza para que la criara. Léon la acompañaba a ver a su hija. Había otras ocasiones donde pasaban tiempo juntos. El trataba a la pequeña Berthe cariñosamente y se hizo cercano al médico, tanto que la familia Bovary se convirtió en sus allegados. Y aunque jamás tuvieron sus encuentros, -Emma y Léon- empezaron a reconocer su mutuo interés. Hasta que Léon se fue a estudiar en París.

En cambio, cuando Emma conoció a Rodolphe, empezó a comportarse más egocéntrica y ambiciosa. Rodolphe tenía una posición social, era rico y Bovary se enamoró de él perdidamente, tanto que se escapaba en las mañanas a la casa de él. Se propusieron escapar, pero cada vez que Rodolphe podía, retrasaba el día. También le recordaba que tenía a Berthe, su hija, y ella proponía que se la llevaran. Él pensaba que, recordándole a su hija, pensaría mejor sobre la locura de escapar. Al final, el día que decidieron escapar, él

desistió. ¿Quién podía hacer entrar en razón a una mujer así?

Porque, aunque él la deseaba, prefirió una despedida dramática, justificando que se iba lejos. Y el romanticismo de él se hizo presente en el último momento: “Me castigaré con el destierro por todo el mal que te he hecho, me marcharé. Conserva el recuerdo de quien te ha perdido. Enseña mi nombre a tu hija, que lo invoque en sus oraciones”. (P. 251). Emma se sentía muy triste por la pérdida de su amante. Posteriormente, le entró el amor maternal, pero solo le duró pocos días.

Además de la vida romántica que Emma vivía junto a sus amantes, las deudas que había adquirido por las compras a crédito eran muy grandes. Tanto que ya no podía pagarlas y los embargaron -Charles no estaba enterado- por eso pidió ayuda a sus amantes. Léon se lo negó, porque apenas estaba estableciéndose económicamente. Mientras Rodolphe la humilló diciendo que no iba a prestarle dinero. En su desesperación ella ingirió arsénico. Dejó a su familia embargada. Charles no pudo reponerse de la pena. Y la pequeña Berthe quedó a resguardo de un orfanato.

Emma nunca demostró tener amor hacia su esposo e hija, y Charles, sí demostraba amor hacia ellas, pero no fue capaz de poner límites a la conducta de Emma.

3. La importancia del Baile en Ana Karenina y Madame Bovary

Desde los principios de la civilización humana, hemos utilizado la danza como herramientas de convivencia y creaciones que van formando culturas y costumbres, digamos que, de alguna manera, el ser humano, por una extraña razón, en ciertos siglos era necesario que

las mujeres fueran presentadas ante la sociedad en bailes. Con esto se iniciaba al cortejo de los varones hacia las mujeres.

En cuanto a nuestras protagonistas para la que más fue relevante un baile fue para Emma Bovary. Al matrimonio los invitaron a un baile en la casa del marqués de Andervilliers. Asistieron y este fue un acontecimiento para Emma. Porque se sentía como en un sueño, ya que bailó con un apuesto militar, al que le coqueteo durante todo el baile. Por cierto, se negó rotundamente a bailar con su marido, Charles. Pero eso no impidió que se sintiera soñada bailando en los brazos del militar. Este baile fue un evento más, en el que Emma demostró el desprecio hacia su esposo.

Mientras tanto a Ana Karenina, no le era importante el baile. Pero era esencial para la clase social a la que pertenecía. Cuando fue el baile de presentación de Kitty, Emma asistió. Fue cuando se produjo uno de los encuentros más importantes en Anna y Vronsky. Para ambos, el baile les provocó una conexión de la que no pudieron desligarse. Fue aquí quedaron flechados.

Para algunos es solo danza o baile, pero para esta época, es el principio de una búsqueda personal.

Conclusiones

En estas obras, los hijos son identificados como el núcleo de la familia. Son el fruto de dos individuos. En los cuatro matrimonios de los que se dio cuenta, hubo hijos. Algunos fueron afortunados, otros no tanto. El tipo de vida que llevaban los hijos, en cierta forma, dependió de la relación matrimonial de los padres.

¿Qué pasa si el entorno familiar y figuras de amor son disueltas por el romanticismo?

Los romances, tanto de Emma y Ana, no solo cambiaron las vidas de ellas, sino también transformó el destino de los hijos. El hijo de Ana tuvo la fortuna de que su padre quedara a su cargo, pero en el caso de Berthe, no fue así, ella perdió a sus padres y quedó huérfana. Por otro lado, los hijos de Dolly y Kitty quedaron en el resguardo de los respectivos matrimonios. Ambos con sus defectos y virtudes, pero permanecieron unidos. Dolly era una madre responsable, aunque una esposa infeliz. Kitty, aunque era una madre muy joven, dio muestras de ser una madre atenta y dedicada. Sin embargo, Ana y Emma, dejan sus responsabilidades. Se deslindan de la maternidad y eligen la pasión romántica. En el caso de Berthe después de que su madre se envenenara, su padre cayó en desgracia y se murió, se fue con la abuela Bovary, pero ella murió un año más tarde, dejando a la niña sola.

“NO CONFUNDAMOS AMOR CON ROMANTICISMO”

Agradecimientos

Agradezco a la Institución Autónoma de Querétaro por gestionar espacios como estos, en donde se apertura la investigación, en una edad temprana en sus estudiantes, a los anfitriones “La Secretaría de Investigación, Innovación y Posgrado”, y a su programa “Verano de la Ciencia UAQ 2025”.

A mi anfitriona investigadora Rafaela Montes Torres, por permitirme ser parte de su investigación “Amor, Ética y Poética en la Familia”, para mí ha sido un placer y honor, aconteciendo un evento como este, ya que ha tenido relevancia en mi estadía cómo universitaria.

Encontrando un lugar donde pude experimentar, adquirir conocimientos y reforzar mi interés por la investigación.

Referencias bibliográficas

Tolstói, L: *Ana Karenina*, Editorial Planeta, 2017.

Flaubert, G. (1857): *Madame Bovary* (1857), Alianza, 2023

Abila, R: *El amor desbordado y la miseria de Anna Karenina*. (s.f.). Gaceta 22. <https://share.google/4P9hPJcixsoKOeILw>

Neuropatía diabética: Competencias para la detección con inmunohistoquímica cutánea

ELFT. Sofia Armada Hernández² (sarmada13@alumnos.uaq.mx), ELFT. Yazmín Ximena Ramos Bermúdez² (yramos03@alumnos.uaq.mx), ELFT. Elena Susana Vega Pérez, ELFT. Miguel Bernardo Olvera Rodríguez, MIM. Verónica Hernández Valle², MIM. Eustolia Pedroza Vargas², Dra. María Carlota García Gutierrez¹, Dra. Iza Fernanda Pérez Ramírez³, MCNH. Alejandra Torres Narváez^{1,2} (alejandra.torres@uaq.edu.mx).

¹ Facultad de Medicina, ² Facultad de Enfermería, ³ Facultad de Química.

Resumen

El presente reporte expone la formación recibida en inmunohistoquímica (IHQ) cutánea para la detección temprana de neuropatía diabética, como parte del Verano de Introducción a la Ciencia UAQ 2025. La cual proporcionó bases para una fase próxima del proyecto. Durante el desarrollo de dicha formación, se estudió, desarrolló y afinó un protocolo estandarizado para la técnica; se realizaron prácticas piloto en el laboratorio para el aprendizaje y desarrollo de competencias y habilidades en la técnica; y se establecieron criterios visuales en base a la literatura disponible para la valoración de fibras intraepidérmicas. La experiencia fortaleció las competencias teórico-prácticas incluyendo habilidades como la ejecución de la técnica, análisis cualitativo de cortes histológicos, análisis de la literatura, diseño metodológico y planeación para protocolos dentro del laboratorio.

Palabras clave

Inmunohistoquímica; neuropatía diabética; fibras intraepidérmicas; PGP9.5

Abstract

The present report exposes the received training in immunohistochemistry (IHC) in cutaneous tissue for the early detection of diabetic neuropathy as part of the program “Verano de Introducción a la Ciencia UAQ 2025”. In which the fundamental knowledge for a subsequent phase of the project was provided. A standardized protocol for the technique was studied, developed and refined; pilot practices in the laboratory were conducted to learn and develop practical skills of the technique; visual criteria for assessing intraepidermal fibers was established according to the literature available on the subject. The experience strengthened theoretical and practical competences including skills such as technique execution, qualitative analysis of histological sections, literature analysis, methodological design and planning for laboratory protocols.

Keywords

Immunohistochemistry; diabetic neuropathy; intraepidermal nerve fiber; PGP9.5

Introducción

La neuropatía diabética es una complicación frecuente en pacientes diabéticos al presentarse en un 60% de esta población (Callaghan, B.C., et.al., 2020) siendo la causa más común de neuropatía en el mundo (Jiménez-Castillo, G.A., et.al., 2023). Esta complicación lleva a la pérdida de fibras intraepidérmicas debido a la promoción de estrés oxidativo, inflamación y daño celular propiciados por la hiperglucemia y la resistencia a la insulina (Bodman, M.A., et.al., 2024).

El análisis de las fibras nerviosas intraepidérmicas ha tomado una gran importancia para el diagnóstico temprano de la neuropatía diabética (Ebenezer, G.J., et.al., 2007), ya que ha demostrado ser seguro y menos invasivo en comparación de otros procedimientos, como lo es la biopsia de nervio sural (Dahlin, L.B., et.al.,

1997). Además, de ser más sensible que pruebas electrofisiológicas (Mangus, L.M., et.al., 2019). La neuropatía diabética, al ser una complicación progresiva y comúnmente silenciosa su diagnóstico temprano permite una intervención oportuna evitando así mayores complicaciones como lo son las úlceras y amputación de la extremidad afectada (Pop-Busui, R., et.al., 2017). Este reporte describe el desarrollo de competencias teórico-prácticas del análisis de fibras intraepidérmicas con el uso de inmunohistoquímica cutánea para integrar dicha metodología en un estudio preclínico.

Objetivo general

Desarrollar competencias teórico-prácticas en el análisis de fibras intraepidérmicas a través de la inmunohistoquímica cutánea para evaluar el daño neuropático temprano como consecuencia de la diabetes mellitus.

Objetivos específicos

1. Desarrollar un protocolo estandarizado de inmunohistoquímica cutánea enfocado a la neuropatía diabética.
2. Conocer y practicar las técnicas de laboratorio necesarias para dicha metodología.
3. Estandarizar los criterios visuales para el análisis e interpretación de fibras intraepidérmicas.

Metodología

El curso incluyó actividades teóricas y prácticas orientadas al desarrollo de competencias en inmunohistoquímica cutánea y análisis de fibras intraepidérmicas.

Se elaboró una infografía explicando por qué la piel es considerada como un biomarcador temprano de la neuropatía diabética, la función de las fibras nerviosas intraepidérmicas, cómo van deteriorándose progresivamente y qué cambios se observan en las diferentes fases de la enfermedad (*Figura 1*).

Posteriormente, se realizó un diagrama describiendo las fases del proceso de inmunohistoquímica (fijación, inclusión, corte,

desparafinización, recuperación antigénica, bloqueo, incubaciones, revelado y montaje), enfocado en la inmunofluorescencia del tejido cutáneo, específicamente, de las fibras nerviosas intraepidérmicas (*Figura 2*).

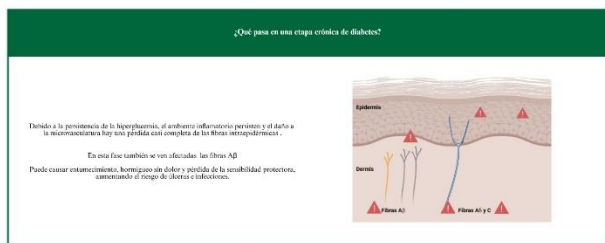
Se elaboró una guía con la finalidad de reconocer e interpretar las diferentes fibras nerviosas intraepidérmicas, con la intención de familiarizarse con su morfología, distribución y los métodos utilizados para su cuantificación en preparaciones inmunohistoquímicas (*Figura 3.1; Figura 3.2 y Figura 3.3*).

Se realizó un análisis comparativo de imágenes histológicas de piel en su inervación, dos libres de patología y las otras dos con neuropatía asociada a la diabetes tipo 2. Se describieron las diferencias encontradas entre las imágenes, acompañadas de anotaciones visuales (*Figura 4.1 y Figura 4.2*).

Finalmente, se llevó a cabo una práctica piloto de la técnica para complementar el curso y adquirir una mejor noción sobre el proceso de inmunohistoquímica (*Tabla 1*).

Resultados

Se describieron y ejecutaron de forma supervisada las fases de la inmunohistoquímica cutánea, con identificación de puntos críticos y criterios de control de calidad; se establecieron pautas operativas para reconocer, interpretar y acercarse a la cuantificación de fibras nerviosas intraepidérmicas; el análisis comparativo de imágenes histológicas permitió distinguir de manera consistente patrones de inervación entre piel sin patología y piel con neuropatía diabética, lo que favoreció la uniformidad de criterios de observación entre integrantes. El programa permitió adquirir nuevos conocimientos, fomentando las capacidades, habilidades y destrezas de los estudiantes para la búsqueda y análisis de la información, así como en ciencias de la salud, química, creatividad y trabajo en equipo; en conjunto, los logros se alinean con los objetivos planteados y con la evaluación de la densidad de

[illegible]

● Fibras individuales (a) ● Fibra nerviosa discontinua ► Punto de ramificación
 ● Fibra ramificada antes de MB (b) ● Fibra nerviosa continua — Ramificación
 ● Fragmento nervioso (c) ● Fibra nerviosa continua - - - Fragmentación
 ● Fibras nerviosas que no cruzan la membrana basal (d) ► Pérdida de continuidad

UNIÓN Dermoepidérmica (MEMBRANA BASAL)
 DERMIS

(Mangus, L. M., Rao, D.B. & Ebenezzer, G.J., 2001)

FUENTES

Figura 3.1. Guía para la cuantificación de fibras intraepidérmicas en preparaciones inmunohistoquímicas.

MÉTODOS DE CUANTIFICACIÓN DE IENF

La piel está inervada por varios subtipos de fibras nerviosas somatosensoriales mielinizadas y amielínicas. Se clasifican de acuerdo a su diámetro axonal y velocidad de conducción.

Fibras Aβ

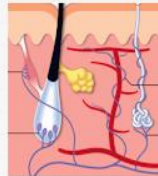
Mielinizadas, diámetro grande, terminan dentro de la dermis. Conducen sensaciones de vibración y tacto ligero

Fibras Aδ

Finamente mielinizadas. Transmiten las señales de temperatura y dolor

Fibras C

Amielínicas y con un pequeño diámetro. Denominadas nociceptores. Transmiten señales de temperatura y dolor



El daño a las fibras Aδ o C debido a enfermedades sistémicas, neurotoxicidad o traumatismo nervioso directo provoca la muerte regresiva axonal centripeta y la pérdida de IENF

Anatomía de FN

- Las fibras Aβ y Aδ dérmicas están asociadas con células de Schwann que secretan una lámina basal y también producen vainas de mielina.
- Las fibras C de la dermis se organizan como heces de Remak, que suelen contener de 2 a 3 axones y están envueltos por una lámina basal continua producida por células de Schwann amielinizantes.

BIOPSIA

Herramienta clínica estándar para el dx de neuropatías periféricas (NP), ya que mide la densidad de IENF. En comparación con otros métodos es más segura, menos invasiva y más sensible al momento de detectar daño en las fibras nerviosas sensoriales de pequeño diámetro.

Secuencia de pasos para realizarla

Primera Recolección de muestras

- Anestesia local: Lidocaína al 1% o epinefrina 1:1000, inyectada intradérmicamente
- Tomar 3 muestras de piel a través de sacabocados de 3 mm: parte proximal de muslo, distal de muslo y distal de pierna.
- Evitar zonas cerca de folículos pilosos.

Segundo

Fijación y succionamiento

- Las muestras se colocan inmediatamente en una solución fijadora durante 18 hrs a 4°C. Fijadores que preservan la integridad antigénica:
 - Zamboni: Paraformaldehído al 2%
 - Lana: Formaldehído al 4%, ácido picrico
 - PLP: Paraformaldehído, lisina y peryodato
- Tras la fijación el tejido de biopsia se transfiere a una solución crioprotectora compuesta por glicerol al 20% en solución salina tamponada con fosfato, donde puede permanecer hasta un mes a 4°C o congelado a 20°C durante periodos más prolongados.

Tercero

Inmunocontinción para el marcador panaxonal PGP9.5

Uno de los antígenos diana más común para la inmunotinción de todos los subtipos de IENF en biopsias de piel es la **enzima ubiquitina carboxilo-terminal esterasa 1.1**.

Para la penetración de anticuerpos en los cortes gruesos se utiliza la **técnica de flotación libre y el uso de detergente**.

- Se utilizan placas de 96 pocillos a temperatura ambiente, de fondo filtrante y un colector vacío para eliminar las soluciones en cada paso.
- La solución del protocolo se añade a los pocillos utilizando una pipeta multicanal sin mover los cortes.
- Las secciones se blanquean con permanganato de potasio 0.25% durante 5 minutos, para eliminar el pigmento de melanina
- Se enjuagan con solución salina tamponada con Tris y se lavan con ácido oxálico al 5% durante 2 minutos.
- La unión de anticuerpos inespecíficos se bloquea incubando durante un mínimo de 15 minutos con suero normal de cabra al 4%, Triton X-100 al 1% y leche desnatada en polvo al 0.5% en TBS.
- Las secciones se incuban toda la noche a 4°C con el anticuerpo primario anti-PGP9.5
- Las secciones teñidas se montan en portaobjetos con una capa de gelatina de alumbre de cromo, se secan al aire durante al menos 30 minutos, se contratiñen con rojo nuclear rápido (Vector) o eosina diluida (1%) y se cubren con Permount. El espesor epidérmico final de las secciones preparadas de esta manera oscila entre 35 y 40 µm aproximadamente.

Cuarto

Cuantificación de IENF

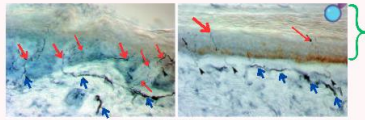
- Por cada muestra de tejido, se consideran tres secciones con gran aumento (x200-400). Solo se consideran las fibras nerviosas intraepidérmicas individuales que cruzan la unión dermoepidérmica, mientras que las ramificaciones secundarias o los fragmentos no se contabilizan.
- Se determina dividiendo el número de fibras nerviosas intraepidérmicas que cruzan la unión dermoepidérmica entre la longitud de esta
- La densidad lineal de IENF se calcula y se expresa como el número de fibras por milímetro de longitud epidérmica IENF/mm. Dos reglas de conteo diferentes han evolucionado durante la última década:
 - (1) contar solo el número de fibras nerviosas que cruzan la membrana basal epidérmica
 - (2) conteo que incluye fragmentos nerviosos aislados en la epidermis que no cruzan la membrana basal.

Figura 3.2. Guía de métodos para la cuantificación de fibras intraepidérmicas en preparaciones inmunohistoquímicas (Parte 1).

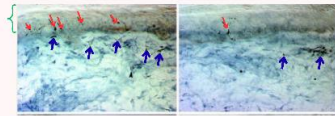
Figura 3.3. Guía de métodos para la cuantificación de fibras intraepidérmicas en preparaciones inmunohistoquímicas (Parte 2).

Análisis de fibras intraepidérmicas

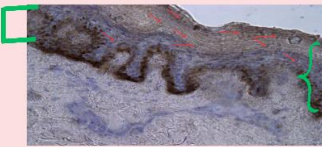
Flechas rojas: Fibras nerviosas intraepidérmicas (IENF)
Flechas azules: Ilaces Nerviosos subpapilares - red de vasos sanguíneos y nervios en dermis
LLAVE: Gradiente de densidad



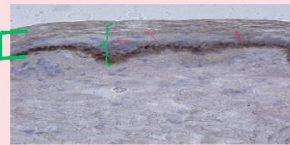
- Px sano**
- Densidad cutánea normal.
 - Gradiente decreciente de IENF.



- Px con polineuropatía diabética**
- IENF son difusas y disminución en su longitud.
 - Densidad cutánea disminuida.
 - Nervios dérmicos están fragmentados → degeneración axonal



- Px sano**
- Epidermis sin alteraciones
 - IENF cruzan la unión dermoepidérmica, hasta el estrato espinoso
 - IENF están de forma vertical.



- Px con neuropatía diabética**
- Atrofia de epidermis
 - Despoblación de IENF, ninguna llega a la unión dermoepidérmica.
 - IENF están en horizontal completa

Referencias:

- Lacerda, G., & Lombardi, R. (2007). Skin biopsy: a new tool for diagnosing peripheral neuropathy. *BMJ (Clinical research ed.)*, 336(7640), 1199-1162. <https://doi.org/10.1136/bmj.39192.460125.B1>
- Rubio, M. (2020). *Densidad de fibras nerviosas intraepidérmicas en sujetos no diabéticos vs. con antecedentes hereditarios en comparación con pacientes diabéticos en el centro de piel*. Tesis de maestría, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. https://repositorio.institucional.unslp.mx/bitstream/handle/2152/71506/F34-2020-Dissertad_Rubio.pdf?sequence=5&file=1

Figura 4.1. Análisis comparativo de imágenes histológicas para cuantificación de fibras intraepidérmicas en individuos sanos e individuos con neuropatía asociada a la diabetes mellitus tipo 2.

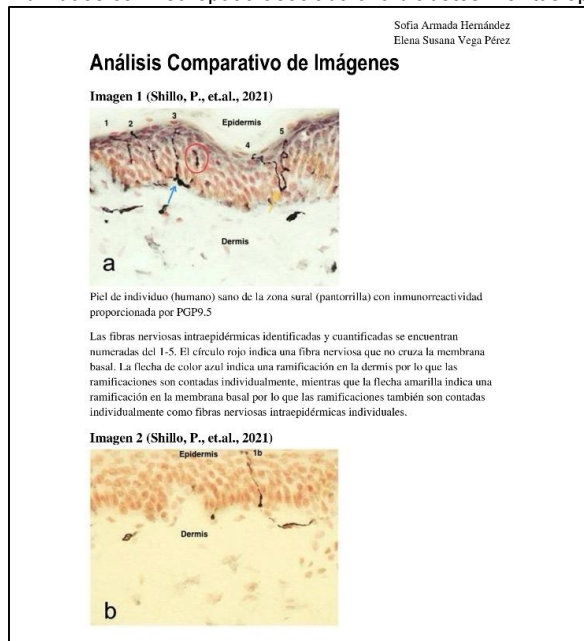


Figura 4.2. Análisis comparativo de imágenes histológicas para cuantificación de fibras intraepidérmicas en individuos sanos e individuos con neuropatía asociada a la diabetes mellitus tipo 2.

Tabla 1. Procesos realizados en la práctica

FASE DE PROCEDIMIENTO	PUNTOS CLAVE
Incubación con anticuerpo primario	Conservar muestra en cámara húmeda, sellada con parafilm y sin agitación.
Incubación con anticuerpo secundario	Conservar muestra en cámara húmeda, sellada con parafilm y sin agitación. Mantener luz tenue.
Montaje: retiro de exceso de pbs	Asegurarse de no tocar muestra con el papel absorbente.
Montaje: colocación de cubreobjetos.	Limpiar previamente con alcohol/agua corriente y dejar secar el cubreobjetos. Aplicar suficiente más no excesivo glicerol (1-2 gotas).
Montaje: sellado con esmalte.	Asegurarse de no tocar la muestra con esmalte y evitar la cantidad excesiva de esmalte pues este puede escurrir.
Todas las fases	Asegurarse de cronometrar la fase con el tiempo requerido.

Discusión y conclusiones

Las actividades teóricas y de investigación demostraron tener una gran eficacia para la comprensión del proceso y metodología detrás de la técnica de inmunohistoquímica cutánea mientras que la práctica piloto evidenció la factibilidad de implementar los pasos críticos de la inmunohistoquímica cutánea en un entorno preclínico priorizando el aprendizaje significativo en los alumnos.

Por otro lado, como limitación se tuvo la falta de inmersión en el entorno en donde se realiza el procesamiento de los tejidos para la inmunohistoquímica cutánea y la cantidad limitada de literatura que explique el procesamiento y visualización de los tejidos con un lenguaje digerible para alumnos de licenciatura.

A pesar de eso, la principal aportación de esta capacitación fue el avance que se logró en el entendimiento de la técnica por parte de los alumnos lo cual constituye un avance sustancial para etapas posteriores del proyecto, así como para otros proyectos que requieran habilidades básicas de protocolos en laboratorio y de diseño metodológico. Para experiencias futuras similares se tiene como área de oportunidad una

introducción y enseñanza de conceptos base para que el desarrollo de los trabajos a realizar por parte de los alumnos sea más provechoso para el alumnado. Por otra parte, y como se mencionó anteriormente, este entrenamiento puede llevar a etapas posteriores enfocadas a una fase experimental en donde se pueda realizar una mayor inmersión en el medio a trabajar y se pueda perfeccionar la ejecución del protocolo desarrollado.

Agradecimientos

Se agradece a la Universidad Autónoma de Querétaro, por impartir el *Programa Verano de la Ciencia 2025* y permitir que estudiantes de la licenciatura de fisioterapia participen. A la Facultad de Enfermería y a la Licenciatura de Fisioterapia por apoyar a los estudiantes otorgando el material y espacio necesario para las actividades que se realizaron. A la facultad de Medicina y Química por brindar lo necesario para el aprendizaje de la técnica de inmunohistoquímica, y finalmente, se agradece a la maestra Alejandra Torres Narváez, por ser una guía y mentora a lo largo del programa.

Referencias

- Bodman, M. A., Dreyer, M.A. & Varacallo, M.A. (2024). Diabetic Neuropathy. *StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing*.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK442009/>
- Callaghan, B.C., Gallagher, G., Fridman, V., Feldman, E.L. (2020). Diabetic neuropathy: what does the future hold? *Diabetología*, 63(5), 891-897. <https://doi.org/10.1007/s00125-020-05085-9>
- Dahlin, L.B., Eriksson, K.F., Sundkvist, G. (1997). Persistent postoperative complaints after whole sural nerve biopsies in diabetic and non-diabetic subjects. *Diabetic Medicine*, 14(5), 353-356. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1096-9136\(199705\)14:5%3C353::aid-dia343%3E3.0.co;2-e](https://doi.org/10.1002/(sici)1096-9136(199705)14:5%3C353::aid-dia343%3E3.0.co;2-e)
- Ebenezer, G.J., Hauer, P., Gibbons, C., McArthur, J.C., Polydefkis, M. (2007). Assessment of epidermal nerve fibers: a new diagnostic and predictive tool for peripheral neuropathies. *Journal of Neuropathy & Experimental Neurology*, 66(12), 1059-1073. <https://doi.org/10.1097/nen.0b013e31815c8989>
- Jiménez-Castillo, G.A., Martínez-Bravo, L.E. & Anaya-Escamilla, A. (2023). Neuropatía Diabética: Una revisión narrativa de fisiopatología, diagnóstico y tratamiento. *Acta Médica Peruana*, 40(3), 243-251. <https://doi.org/10.35663/amp.2023.403.2731>
- Mangus, L.M., Rao, D.B. & Ebenezer, G.J. (2019). Intraepidermal Nerve Fiber Analysis in Human Patients and Animal Models of

Peripheral Neuropathy: A Comparative Review. *Sage Journals*, 48(1), 59-70. <https://doi.org/10.1177/0192623319855969>

Pop-Busui, R., Boulton, A.J.M., Feldman, E.L., Bril, V., Freeman, R., Malik, R.A., Sosenko, J.M. & Ziegler, D. (2017). Diabetic Neuropathy: A Position Statement by the American Diabetes Association. *Diabetes Care*, 40(1), 136-154. <https://doi.org/10.2337/dc16-2042>



UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE
QUERÉTARO