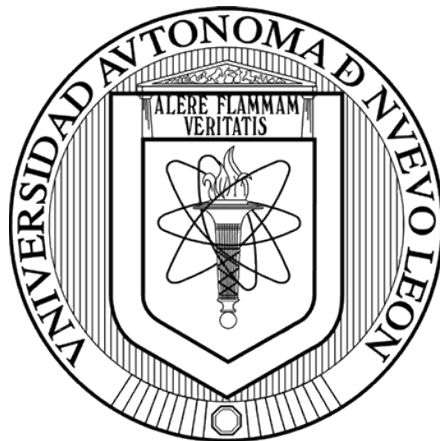


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN FACULTAD DE  
ORGANIZACIÓN DEPORTIVA**

**SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



**TESIS**

**EVALUACIÓN DE UN PROGRAMA DE NATACIÓN EN EL DAÑO AL ADN: EN  
PERSONAS CON SOBREPESO Y OBESIDAD**

**PRESENTA**

**MAFyD. VÍCTOR ELÍAS CASTAÑEDA AGUIRRE**

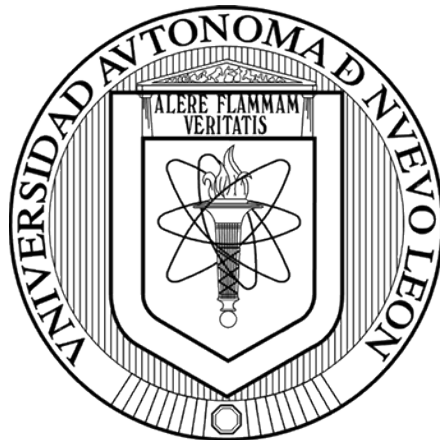
**PARA OBTENER EL GRADO DE  
DOCTOR EN CIENCIAS DE LA CULTURA FÍSICA**

**DIRECTORA DE TESIS**

**DRA. BLANCA ROCÍO RANGEL COLMENERO**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN FACULTAD DE  
ORGANIZACIÓN DEPORTIVA**

**SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



**TESIS**

**EVALUACIÓN DE UN PROGRAMA DE NATACIÓN EN EL DAÑO AL ADN. EN  
PERSONAS CON SOBREPESO Y OBESIDAD**

**PRESENTA**

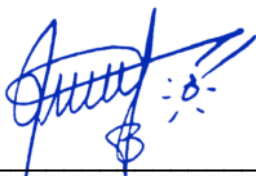
**MAFyD. VÍCTOR ELÍAS CASTAÑEDA AGUIRRE**

**PARA OBTENER EL GRADO DE  
DOCTOR EN CIENCIAS DE LA CULTURA FÍSICA**

**DIRECTORA DE TESIS**

**DRA. BLANCA ROCÍO RANGEL COLMENERO**

**Dra. Blanca Rocío Rangel Colmenero**, como Director(a) de tesis interno(a) de la Facultad de Organización Deportiva, acredito que el trabajo de tesis doctoral del (la) **MAFyD. Víctor Elías Castañeda Aguirre**, titulado “**Evaluación de un programa de natación en el daño al ADN. En personas con sobrepeso y obesidad**” se ha revisado y concluido satisfactoriamente, bajo los estatutos y lineamientos marcados en la guía de la escritura de tesis de doctorado, propuesta por el comité doctoral de nuestra facultad, recomendando dicha tesis para su defensa con opción al grado de **Doctor en Ciencias de la Cultura Física**.



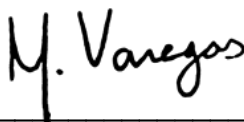
---

**Dra. Blanca Rocío Rangel Colmenero**  
**DIRECTORA DE TESIS**



---

**Dra. Catalina García Vielma**  
**CO-DIRECTORA DE TESIS**



---

**Dra. Minerva Thalía Juno Vanegas Farfano**  
**CO-DIRECTORA DE TESIS**

---

**Dr. Jorge Isabel Zamarripa Rivera**  
**Subdirector de Posgrado e Investigación**

**Evaluación de un programa de natación en el daño al ADN. En personas con  
sobrepeso y obesidad**

Presentado por:

**MAFyD. Víctor Elías Castañeda Aguirre**

El presente trabajo fue realizado en la Facultad de Organización Deportiva de la Universidad Autónoma de Nuevo León y en el Centro de Investigación Biomédicas del Noreste del IMSS, bajo la dirección de la Dra. Blanca Rocío Rangel Colmenero y la Dra. Catalina García Vielma, como requisito para optar al grado de Doctor en Ciencias de la Cultura Física, programa en conjunto con la Facultad de Ciencias de la Cultura Física de la Universidad Autónoma de Chihuahua.



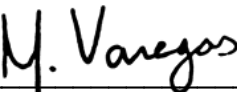
---

**Dra. Blanca Rocío Rangel Colmenero**  
**DIRECTOR**



---

**Dra. Catalina García Vielma**  
**CO-DIRECTOR**



---

**Dra. Minerva Thalía Juno Vanegas Farfano**  
**CO-DIRECTOR**

---

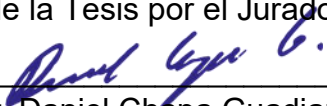
**Dr. Jorge Isabel Zamarripa Rivera**  
**Subdirector Posgrado e Investigación**

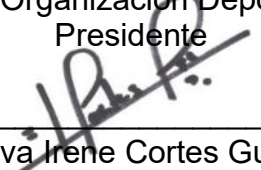
Evaluación de un programa de natación en el daño al ADN. En personas con  
sobrepeso y obesidad

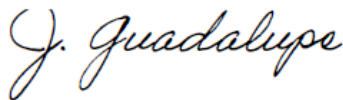
Presentado por:

MAFyD. Víctor Elías Castañeda Aguirre

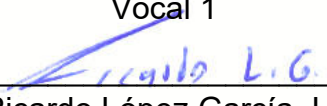
Aprobación de la Tesis por el Jurado de Examen:

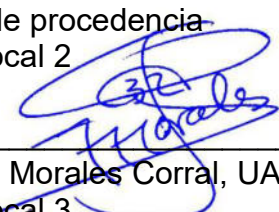
  
\_\_\_\_\_  
Dr. Daniel Chapa Guadiana  
Facultad de Organización Deportiva, UANL  
Presidente

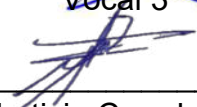
  
\_\_\_\_\_  
Dra. Elva Irene Cortes Gutiérrez  
Facultad de Ciencias Biológicas, UANL  
Secretario

  
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Dra. Juanita Guadalupe Gutiérrez Soto  
Facultad de Agronomía, UANL  
Vocal 1

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Ricardo López García, UANL  
Institución de procedencia  
Vocal 2

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Pedro Gualberto Morales Corral, UANL  
Vocal 3

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Gloria Leticia Corrales Félix, UANL  
Suplente

\_\_\_\_\_  
Dr. Jorge Isabel Zamarripa Rivera  
Subdirector de Posgrado e Investigación

### ***Dedicatorias***

*A mis abuelos, el Sr. Humberto Aguirre † y la Sra. Reyna Guerra, quienes me criaron y formaron desde mi niñez. Mi abuelo, cuyo recuerdo y enseñanzas me acompañaron hasta sus últimos días durante este camino doctoral, sigue siendo una inspiración constante en mi vida. A mi abuela, por su amor inquebrantable y apoyo incondicional, le debo la fortaleza para alcanzar este logro, este trabajo también es de ustedes.*

*A mis padres, el Sr. Víctor Castañeda y la Sra. Lorena Aguirre, porque gracias a su entrega, amor y fortaleza soy la persona que soy hoy, ustedes me han acompañado en cada paso, dándome el apoyo y las herramientas necesarias para no rendirme y seguir siempre adelante, este logro no solo es mío, sino también de ustedes, pues en él se refleja todo lo que me han enseñado y el inmenso amor con el que han guiado mi vida.*

## **Agradecimientos**

Quiero agradecer a mis asesoras la Dra. Blanca Rocío Rangel Colmenero y a la Dra. Catalina García Vielma, por haber confiado en mis capacidades y guiarme con paciencia y sabiduría en el desarrollo de esta investigación, gracias por estar siempre atentas a mi progreso, alentándome en cada etapa y brindándome su apoyo incondicional. Aprecio profundamente que trascendieran la formalidad académica para entablar conmigo un lazo de amistad, lo que hizo de este camino una experiencia más humana y significativa.

A mi novia Samantha Lizeth Salazar Rodríguez, por haber llegado a mi vida al inicio de este proyecto y convertirme en mi mayor fortaleza durante este camino, gracias por tu amor incondicional, por tu paciencia en mis momentos de cansancio y por estar siempre a mi lado, aun cuando el peso de este reto parecía abrumador. Tu compañía me dio calma, tu apoyo me dio impulso y tu amor me dio un motivo invaluable para seguir adelante, este logro también lleva tu nombre.

## Resumen

**Introducción.** El sobrepeso y la obesidad puede arriesgar la estabilidad del ADN a través del estrés oxidativo y la inflamación crónica, estos procesos son característicos de esta condición, los cuales son capaces de inducir daño en el ADN y alterar sus mecanismos de reparación, se tiene evidencia que programas de actividad física terrestre ayudan a disminuir el daño en el ADN a una intensidad moderada, mientras que a una intensidad alta se compromete la estabilidad del genoma. El objetivo principal de este proyecto de investigación fue el evaluar los efectos de un programa de natación para la disminución del daño en el ADN en personas con sobrepeso y obesidad.

**Método.** Participaron un total de 26 personas divididas en grupo control y grupo experimental, 13 participantes por grupo (10 hombres y 3 mujeres) pareados por sexo y edad  $\pm 5$  años, al grupo experimental se le realizó una toma de sangre inicial para medir el daño en el ADN mediante el ensayo cometa, posteriormente se realizó la intervención de un programa de natación de ocho semanas en días no consecutivos a una intensidad de 30% a su 59% de su frecuencia cardíaca y al término de las ocho semanas se evaluó nuevamente el daño en el ADN, mientras que al grupo control se evaluó al inicio el daño en el ADN y posterior a las 8 semanas sin intervención alguna se volvió a evaluar el daño en el ADN de los participantes.

**Resultados.** En el grupo control no se observaron cambios estadísticos ( $p=.838$ ) mientras que en el grupo experimental se observó una disminución del daño al ADN ( $p=.001$ ). **Discusión.** Los resultados obtenidos en esta investigación concuerdan con que la actividad física acuática ayuda en la disminución del daño en el ADN en personas con sobrepeso u obesidad.

**Conclusiones.** Estos hallazgos sugieren que un programa de natación es una actividad física que favorece en la disminución del daño en el ADN en personas con sobrepeso y obesidad, hace falta aumentar el número de participantes para obtener resultados concluyentes.

## ***Índice***

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| Introducción.....                                             | 1  |
| Capítulo 1 Marco teórico.....                                 | 8  |
| Sobrepeso y obesidad .....                                    | 8  |
| Epidemiología y estadísticas globales .....                   | 10 |
| Etiología y factores de riesgo .....                          | 11 |
| Consecuencias para la salud.....                              | 13 |
| Prevención.....                                               | 20 |
| Diagnóstico .....                                             | 20 |
| Tratamiento .....                                             | 25 |
| Daño en el ADN .....                                          | 27 |
| Mecanismos de reparación .....                                | 27 |
| Inflamación y daño al ADN.....                                | 29 |
| Técnicas de detección de la inestabilidad en el ADN .....     | 32 |
| Natación .....                                                | 36 |
| Historia de la natación .....                                 | 36 |
| Estilos de la natación .....                                  | 38 |
| Materiales para la práctica de natación.....                  | 40 |
| Estrategias de enseñanza .....                                | 44 |
| Beneficios de la natación .....                               | 48 |
| Natación y obesidad.....                                      | 50 |
| Antecedentes .....                                            | 52 |
| Capítulo 2. Fundamentos metodológicos .....                   | 57 |
| Diseño de investigación.....                                  | 57 |
| Población y muestra.....                                      | 57 |
| Criterios de inclusión .....                                  | 59 |
| Criterios de exclusión.....                                   | 59 |
| Criterios de eliminación .....                                | 59 |
| Protocolo de investigación .....                              | 62 |
| Protocolo de toma de sangre periférica .....                  | 67 |
| Protocolo de biometría hemática .....                         | 69 |
| Ensayo cometa .....                                           | 71 |
| Protocolo para la evaluación de la composición corporal ..... | 72 |

|                                                |     |
|------------------------------------------------|-----|
| Protocolo para la medición de perímetros ..... | 73  |
| Protocolo de frecuencia cardíaca .....         | 74  |
| Programa de natación .....                     | 76  |
| Instrumentos .....                             | 77  |
| Aspectos éticos .....                          | 78  |
| Aspectos de bioseguridad .....                 | 78  |
| Análisis estadístico .....                     | 81  |
| Capítulo III. Resultados.....                  | 82  |
| Datos descriptivos .....                       | 86  |
| Resultados por grupos .....                    | 87  |
| Discusión .....                                | 106 |
| Limitaciones .....                             | 109 |
| Futuras líneas de investigación.....           | 110 |
| Conclusión.....                                | 112 |
| Referencias .....                              | 113 |
| Anexos .....                                   | 121 |
| Anexo 1 .....                                  | 121 |
| Anexo 2.....                                   | 124 |
| Anexo 3.....                                   | 127 |

## **Introducción**

En diversas investigaciones se ha demostrado que el sedentarismo genera consecuencias para la salud y que estas mismas pueden llegar a convertirse en una problemática grave de salud pública (Soler & Castañeda., 2017).

Hoy en día uno de los grandes problemas que afronta la salud pública es el sobrepeso (SP) y la obesidad (OB) ya que es un factor importante de riesgo para algunas de las enfermedades crónicas no transmisibles ya que son las de mayor porcentaje de morbilidad y mortalidad a nivel mundial (Malo-Serrano et al., 2017).

La obesidad puede comprometer la estabilidad del genoma a través del estrés oxidativo y la inflamación crónica, procesos característicos de esta condición, los cuales son capaces de inducir daño en el ADN y alterar sus mecanismos de reparación. Sin embargo, estudios recientes sugieren que este efecto podría ser reversible, ya que intervenciones como la pérdida de peso, mejorar la alimentación y mejorar la calidad de la dieta, incluyendo alimentos más nutritivos, puede contribuir a reparar y preservar el ácido desoxirribonucleico (ADN). Estos hallazgos resaltan la importancia de prevenir la OB no solo para mitigar sus consecuencias metabólicas, sino también para preservar la salud genómica. (Włodarczyk & Nowicka, 2019)

El daño en el ADN es un fenómeno genético que se puede definir como espacios o roturas en ciertas regiones cromosómicas y que está implicado en una serie de enfermedades humanas que van desde trastornos neurológicos y cáncer (Feng & Chakraborty, 2017).

Este daño es generado en ciertas áreas de cromatina ricas en bases nitrogenadas adenina/timina y pobres en genes, no se compactan adecuadamente durante la mitosis dado a que se tiene una replicación más tardía que el resto del cromosoma, esta falta de suficiente de enrollamiento del ADN es lo que provoca en los cromosomas una alta frecuencia de espacio poca coloración, roturas o quiebres, cuando están expuestos a una inhibición parcial de la replicación (Bravo Iñaguazo & Ortiz Marquez, 2016).

A diario, nuestro material genético está expuesto a numerosos factores que pueden dañarlo, estos incluyen no solo agentes externos o endógenos como la radiación, los químicos tóxicos o los contaminantes ambientales, sino también procesos internos inevitables o exógenos, como las reacciones metabólicas normales del organismo. Incluso actividades cotidianas como la exposición al sol, el consumo de ciertos alimentos o el estrés celular generan lesiones en el ADN, (Chatterjee & Walker, 2017).

Actualmente existen diferentes estudios en los cuales se relaciona la disminución del daño en el ADN con programas de actividad física, como lo son el realizado por Soares et al., (2015) investigó los efectos de 16 semanas de entrenamiento físico combinado (aeróbico y de fuerza) sobre el daño al ADN, la capacidad de reparación y el estrés oxidativo en 57 hombres sanos de 40 a 74 años. Los participantes se dividieron en un grupo experimental (GE), que realizó ejercicio supervisado (3 sesiones/semana), y un grupo control (GC), sin intervención. Los resultados mostraron que el GE redujo significativamente el daño al ADN (roturas de cadena y sitios FPG sensibles a oxidación) y los niveles de malondialdehído (MDA), junto con un aumento en la capacidad antioxidante total (TAC). Sin embargo, no se

observaron cambios en la actividad de la enzima reparadora OGG1, sugiriendo que la protección del ADN se debió principalmente a la disminución del estrés oxidativo y no a una mayor reparación. Además, el GE mejoró su condición física (fuerza, potencia y resistencia). Estos hallazgos respaldan el papel del ejercicio regular en la prevención del daño genómico asociado al envejecimiento, destacando mecanismos como la reducción del estrés oxidativo.

El desarrollo de esta investigación propuso el implementar un programa de natación para evaluar su efecto protector sobre el daño al ADN en personas con SB u OB. Aunque existen estudios que analizan la relación entre actividad física y reducción del daño genómico, no se han identificado investigaciones que utilicen la natación como método de disminución de daño en el ADN, así como los mecanismos fisiológicos por los cuales el medio acuático podría potenciar estos efectos, aprovechando sus características únicas (presión hidrostática, termorregulación, bajo impacto articular).

El SB y la OB se ha consolidado como un problema grave de salud pública a nivel mundial y un factor determinante para el desarrollo de múltiples enfermedades crónicas, como la diabetes tipo 2, enfermedades cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer, osteoartritis que dominan el panorama de mortalidad en la población mayor de 40 años en nuestro país (Barrera-Cruz et al., 2013). Según datos proporcionados por la encuesta nacional de salud y nutrición (ENSANUT) establecen que México tiene una de las prevalencias más altas a nivel mundial de OB en adultos, el cual es de 37.1% el 41.0% corresponde a las mujeres y el 33.0% a hombres (Barquera et al., 2024).

Esta investigación buscó aportar conocimiento literario mediante la implementación de un programa de natación, evaluando su impacto en el daño al ADN. Los resultados presentados más adelante podrían servir como base para futuras investigaciones experimentales aplicando intervenciones en medios acuáticos que no solo mejoren parámetros metabólicos, sino que protejan la integridad genómica, reduciendo así el riesgo de desarrollar diferentes enfermedades asociadas con el SP y la OB.

La idea de desarrollar esta investigación surge mediante el cuestionamiento de sí; ¿Se observará disminución del daño al ADN en personas con SP y OB mediante la implementación de un programa de natación?

La presente investigación se justifica en tres dimensiones fundamentales: científica, social y metodológica.

Desde la dimensión científica, la literatura previa mostró limitaciones en el estudio de estrategias para reducir el daño al ADN mediante ejercicio acuático. La natación, reconocida por su bajo impacto articular y propiedades únicas de flotabilidad y resistencia, surgió como una alternativa potencialmente más beneficiosa que las actividades terrestres, aunque esta posibilidad no contaba con suficiente respaldo científico.

En cuanto a la dimensión social, el desarrollo de intervenciones accesibles y efectivas se convierte en prioridad de salud pública. La natación representa una alternativa ideal por su bajo costo, amplia disponibilidad en zonas metropolitanas o rurales, y compatibilidad con poblaciones que cuenten con limitaciones físicas. Los potenciales hallazgos de esta investigación podrían traducirse en protocolos

preventivos aplicables en el sistema de salud público, contribuyendo a reducir la carga de enfermedades crónicas asociadas al daño en el ADN.

Y por último la dimensión metodológica, al aplicar técnicas metodológicas multidisciplinarias, combinando las técnicas de citogenéticas moleculares con las ciencias del ejercicio y así poder establecer relaciones causales entre parámetros de ejercicio acuático y protección genómica.

Habiendo explicado lo anterior se planteó como objetivo general el evaluar si un programa de natación induce un efecto en la disminución en el daño al ADN en personas con SP u OB.

Así mismo se plantearon tres objetivos específicos:

1. Estandarización de técnicas citogenéticas moleculares en muestras de pacientes con sobrepeso y obesidad.
2. Cuantificar el daño al ADN, mediante técnicas de citogenética molecular, en pacientes con sobrepeso u obesidad, antes y después de un programa de natación.
3. Analizar los parámetros, biometría hemática y composición corporal antes y después de un programa de natación.

Un programa de natación ayuda a disminuir el daño en el ADN en mujeres y hombres con sobrepeso u obesidad después de un programa de natación, es la hipótesis que se planteó para esta investigación.

Para el desarrollo de esta investigación se contó con el apoyo del Departamento de Citogenética Molecular del Centro de Investigación Biomédica del Noreste, del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), en donde se llevó a cabo la técnica para detectar el daño en el ADN , así mismo el Laboratorio de Rendimiento Humano

la Facultad de Organización Deportiva de la UANL en donde se realizaron las evaluaciones de composición corporal y extracción de sangre, y por último la alberca del Centro de Seguridad Social #1, IMSS en donde se aplicó el programa de natación.

El presente documento está estructurado por cuatro capítulos en la introducción se presenta la problemática existente de esta investigación, así como los aspectos más importantes por los cuales se justifica este proyecto de investigación, complementando con los objetivos tanto general como los específicos y por último la hipótesis planteada.

Posteriormente en el capítulo uno, se presentará el marco teórico de la investigación donde se abordarán aspectos como el sobrepeso, la obesidad, el sedentarismo, actividad física, natación, el daño en el ADN, mecanismos de reparación y los antecedentes.

En el capítulo dos, se plantearon los aspectos metodológicos para el desarrollo de esta investigación como es el diseño de estudio, la población, criterios de inclusión, criterios de exclusión, criterios de eliminación, instrumentos utilizados para la recolección de datos, así como el programa para la interpretación estadística, el programa estructurado de natación para personas con SP u OB.

En el capítulo, tres aparecen los resultados obtenidos, así como la interpretación de los datos analizando los cambios que pudieron haberse generado por el programa de natación.

Por último, en el capítulo cuatro, podrá leer la discusión de los resultados obtenidos, así como las conclusiones, recomendaciones para futuras investigaciones, las

referencias utilizadas para darle mayor solidez a este documento y finalmente los anexos del proyecto.

## Capítulo 1 Marco teórico

### Sobrepeso y obesidad

La Organización Mundial de la Salud (OMS), define al sobrepeso y la obesidad como la “acumulación anormal o excesiva de grasa que puede ser perjudicial para la salud”, para ser considerada una persona con sobrepeso u obesidad, se determina mediante el índice de masa corporal (IMC) el cual se calcula realizando una división del peso en kilogramos por el cuadrado de su talla en metros ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ), se puede considerar una persona con sobrepeso si el resultado de su IMC es de entre 25,0 y 29,9  $\text{kg} / \text{m}^2$ , mientras que una persona con obesidad se puede considerar si el resultado de su IMC es superior a 30,0  $\text{kg} / \text{m}^2$ , los valores son los mismos tanto para mujeres como para hombres y debe considerarse como un valor aproximado, ya que puede no tener una relación directa con el mismo nivel de grosor en diferentes personas o poblaciones (Tabla 1) (OMS, 2021).

**Tabla 1**

*Clasificación del IMC según la Organización Mundial de la Salud.*

| Categoría   | IMC         |
|-------------|-------------|
| Bajo peso   | <18.5       |
| Normal      | 18.5 – 24.9 |
| Sobrepeso   | $\geq 25.0$ |
| Preobeso    | 25.0 – 29.9 |
| Obesidad    | $\geq 30.0$ |
| Obesidad I  | 30.0 – 34.9 |
| Obesidad II | 35.0 – 39.9 |

|              |             |
|--------------|-------------|
| Obesidad III | $\geq 40.0$ |
|--------------|-------------|

*Nota.* La categoría 'Obesidad-III (IMC  $\geq 40$ )' también se denomina 'obesidad mórbida'.

Existen diversos métodos para determinar el Índice de Masa Corporal (IMC) y evaluar la composición corporal en individuos. Entre las técnicas más utilizadas se incluyen la medición de pliegues cutáneos, la bioimpedancia eléctrica y la absorciometría de rayos X de energía dual (DXA), entre otras. Cada una de estas metodologías presenta ventajas y limitaciones en términos de precisión, accesibilidad y aplicabilidad en contextos clínicos o epidemiológicos, en la siguiente tabla se mostrarán algunas de las técnicas antes mencionadas, así como su exactitud y aplicabilidad clínica.

**Tabla 2**

*Técnicas de evaluación de la composición corporal: distribución de grasa, exactitud y aplicabilidad clínica*

| Técnica usada para estimar la composición corporal                                                                                                                                                                                                                                                          | Evaluación de la distribución de la grasa corporal | Exactitud y precisión | Uso en la práctica clínica |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------|
| Peso e IMC                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | No                                                 | +                     | +++++                      |
| Circunferencias(cintura y cadera)                                                                                                                                                                                                                                                                           | Sí                                                 | +                     | +++++                      |
| ICA, ICC                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Sí                                                 | ++                    | ++++                       |
| Pliegues Cutáneos                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Sí                                                 | +++                   | +++                        |
| Bioimpedancia eléctrica                                                                                                                                                                                                                                                                                     | No/Sí                                              | + /++++               | ++                         |
| DXA                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Sí                                                 | +++++                 | ++                         |
| CT/MRI                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Sí                                                 | +++++                 | +/-                        |
| <i>Uso en la práctica clínica:</i> +++++Ampliamente usado; ++++ Usa con bastante frecuencia; +++ Usado con frecuencia; ++ Poco usado; + Muy poco usado; - No recomendado.<br><i>Exactitud y Precisión:</i> +++++ Estándar de oro; ++++ Buena precisión; +++ Aceptable; ++ Poco preciso; + Muy poco preciso. |                                                    |                       |                            |

*Nota. Nota.* Adaptado de "Avances en medición de composición corporal" por Suárez y Sánchez (2018), "Técnicas de diagnóstico nutricional" por Gonzales et al. (2017), y "Evaluación clínica de la obesidad" por Marcadenti y Abreu-Silva (2015).

## **Epidemiología y estadísticas globales**

El SP y OB se han convertido en uno de los mayores retos de salud pública a nivel mundial, en datos más recientes proporcionados por la OMS muestran que para el año 2022, 2.500 millones de adultos (43% global) presentaban SP, incluyendo 890 millones con OB (16% de adultos), duplicándose las cifras desde el año 1990, la prevalencia varió desde 31% en Asia Sudoriental y África hasta 67% en las Américas. (OMS., 2024).

La World Obesity Federation (WOF) mantiene una proyección en el aumento de la población adulta con obesidad a más de un 115% entre el año 2010 y 2030, los que nos indica que pasaremos de 524 millones a 1.13 mil millones (WOF., 2025)

En México se estima que el 36.9% de la población mayor de 18 años vive afectada por esta enfermedad, teniendo mayor porcentaje de afectación en las mujeres con un 41% con el 32.2% en hombres, teniendo un aumento en la tasa anualizada de del 1,4% en comparación con años anteriores, cabe destacar que en México, las tasas de obesidad varían según edad, sexo, nivel socioeconómico y región, con mayores desafíos en poblaciones indígenas debido a la marginación económica y el escaso acceso a servicios de salud, lo que agrava la obesidad y sus complicaciones. (Campos-Nonato et al., 2023).

Además, el 38.3% de los adultos tiene sobrepeso (IMC 25-29.9 kg/m<sup>2</sup>), un factor de riesgo para obesidad y enfermedades no transmisibles como las cardiovasculares, estos individuos presentan 5.25 veces más probabilidades de desarrollar condiciones de riesgos cardíacos. (Mendoza-Herrera et al., 2019).

A manera de reflexión de lo antes mencionado el SP y la OB se ha convertido en uno de los grandes problemas de salud pública a nivel mundial, más allá de las

cifras, representan una crisis que refleja las desigualdades sociales, los estilos de vida modernos y los diferentes obstáculos para poder acceder a una vida saludable. Las consecuencias de esta enfermedad no solo se limitan a lo físico, sino también es un factor determinante para el desarrollo de diferentes enfermedades crónicas, como las cardiovasculares, la diabetes, osteoartritis entre algunas otras, y que a su vez comprometen la calidad y esperanza de vida de millones.

### **Etiología y factores de riesgo**

Existen diferentes factores por los cuales se puede desarrollar el SB y la OB, la OMS menciona que la causa principal del SP la OB está orientado a un mal desequilibrio energético, entre las calorías consumidas y gastadas (OMS, 2021).

Continuando con lo anterior, se deben tomar en cuenta factores genéticos como lo es el gen FTO (Fat Mass and Obesity-Associated) el cual fue el primer gen de susceptibilidad a la obesidad identificado mediante estudios de asociación del genoma completo (GWAS) inicialmente en pacientes europeos con diabetes tipo 2 (Frayling et al., 2007). Evidencia actual estima que existen cerca de más de mil variantes genéticas independientes las cuales se han asociado con la obesidad (Loos y Yeo., 2022).

Así mismo en la actualidad los antecedentes familiares están directamente correlacionados con el SB u OB de las personas (Romero-Ibarguengoitia et al., 2018). En estudios recientes se estima que la heredabilidad del IMC oscila entre el 40 % y el 50 %, aumentando hasta el 60–80 % en personas con obesidad tipo 3, lo que demuestra que la predisposición genética se expresa con mayor intensidad en aquellas personas que ya tienen exceso de peso.(Bouchard, 2021).

Los factores conductuales y psicosociales están relacionados con el desarrollo del SP y la OB. Así mismo, el nivel socioeconómico influye significativamente, ya que puede limitar el acceso a una correcta alimentación, reducir las oportunidades para la práctica de actividad física y restringir el uso de servicios de salud preventiva.

Por otro lado, las influencias culturales y ambientales desempeñan un papel fundamental en la formación de hábitos alimentarios y en las actitudes hacia el cuerpo y el peso corporal, lo que puede ocasionar conductas poco saludables, especialmente en entornos obesogénicos, donde estas prácticas se ven reforzadas por las condiciones del entorno. (Skelton et al., 2011).

El entorno obesogénico se define como el conjunto de condiciones sociales, culturales y ambientales que, de manera conjunta, favorecen el desarrollo del SP y la OB en la población, estas condiciones influyen significativamente en la alta disponibilidad y el fácil acceso a alimentos procesados, caracterizados por su elevado contenido calórico, de grasas y azúcares, en muchas comunidades persisten limitaciones que dificultan el acceso a espacios para la práctica de actividad física, esta combinación de factores genera el desarrollo de hábitos alimentarios inadecuados y estilos de vida sedentarios, lo que, a su vez, contribuye al aumento progresivo del tejido adiposo y al deterioro de la salud pública (Schneider & Holzwarth., 2024).

Por lo tanto, el SP y la OB es multifactorial y compleja, ya que abarca aspectos genéticos, conductuales, psicosociales y ambientales. Si bien el desequilibrio energético y el sedentarismo sigue siendo una de las principales causas del SB y OB, no puede comprenderse por sí solo, ya que interactúa con factores genéticos,

condiciones sociales y factores culturales que moldean las decisiones individuales y grupales.

### **Consecuencias para la salud**

En la actualidad la OB es catalogada tanto por la OMS como también por algunas sociedades médicas y países como una “enfermedad”, la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE) de la OMS reconoce a la OB como una "enfermedad crónica y compleja", asignándole el código particular “5B81” (OMS., 2019).

El SB y la OB pueden llegar a originar algunas alteraciones en el funcionamiento de los órganos provocado por diversos mecanismos fisiopatológicos, como el incremento del volumen del tejido adiposo, la acumulación de grasa en sitios no habituales (grasa ectópica), desequilibrios metabólicos, procesos inflamatorios y repercusiones a nivel psicológico.

En la Tabla 3 se presenta de manera secuencial la fisiopatología de la OB clínica, destacando las distintas etapas que desarrollan esta enfermedad. La tabla permite visualizar cómo, a partir de diversos factores causales como aspectos mecánicos, ambientales, psicológicos y otros de origen desconocido, se desencadena una serie de alteraciones fisiológicas y metabólicas en el organismo.

**Tabla 3.**

*Fisiopatología de la OB clínica*

| <b>Etapas</b>                                    | <b>Descripción</b>                                                                                           |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Causas de la expansión del tejido adiposo</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mecánicas</li> <li>- Ambientales</li> <li>- Psicológicas</li> </ul> |

|                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Otras (desconocidas)</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Mecanismos de la expansión del tejido adiposo</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Alteraciones en la regulación homeostática de la masa grasa</li> <li>- Apetito</li> <li>- Saciedad</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <b>Obesidad (fenotipo físico)</b>                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Exceso de grasa corporal con o sin distribución o función anormal del tejido adiposo</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Fisiopatología del tejido adiposo</b>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mayor liberación de ácidos grasos libres</li> <li>- Daño mitocondrial</li> <li>- Desregulación de adipocinas</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Fisiopatología sistémica</b>                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Inflamación crónica leve</li> <li>- Lipotoxicidad</li> <li>- Activación del sistema renina-angiotensina-aldosterona</li> <li>- Aumento de la actividad simpática</li> <li>- Grasa ectópica</li> <li>- Estrés físico</li> <li>- Alteración en señalización de insulina o hiperinsulinemia</li> <li>- Alteración en producción de andrógenos</li> <li>- Aumento del volumen sanguíneo/plasmático y carga cardíaca</li> <li>- Disfunción endotelial</li> </ul> |

|                                               |                                                                  |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
|                                               | - Hipercoagulabilidad                                            |
| <b>Fisiopatología de órganos</b>              | - Signos y síntomas, alteraciones en actividades diarias o ambos |
| <b>Disfunción orgánica (obesidad clínica)</b> | - Signos y síntomas, alteraciones en actividades diarias o ambos |

*Nota.* Adaptado de “Definition and diagnostic criteria of clinical obesity” por R. Wei et al. (2025), The Lancet Diabetes & Endocrinology. [https://www.thelancet.com/journals/landia/article/PIIS2213-8587\(24\)00316-4/fulltext#fig3](https://www.thelancet.com/journals/landia/article/PIIS2213-8587(24)00316-4/fulltext#fig3). Copyright 2025 por Elsevier.

Se ha identificado que el SP y la OB son un factor de riesgo significativo para el desarrollo de diversas enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT). Estas enfermedades representan una problemática grave para la salud pública a nivel mundial y en particular afectan de manera importante a la población adulta.

Entre las principales condiciones asociadas al SP u OB se encuentran la resistencia a la insulina que esta incrementa la liberación de insulina por células del páncreas y en sus inicios mantiene la concentración de glucosa en sangre en los parámetros normales (80 -100), pero la producción de una hiperinsulinemia compensadora, que en periodo de tiempo prolongado provoca una alteración de las células pancreáticas, provocando la aparición de la diabetes tipo 2 (Batlle et al., 2016; Miguel-Soca, 2013). La diabetes tipo 2, una enfermedad metabólica que afecta la regulación de la glucosa en sangre y que puede conducir a complicaciones severas si no se maneja adecuadamente. (Torres Jumbo et al., 2020).

La hipertensión arterial es una de las principales causas de enfermedades cardiovasculares a nivel mundial y su prevalencia ha ido en aumento en las últimas décadas, diversos factores contribuyen a su desarrollo, entre ellos, el exceso de peso corporal, en este contexto, el SP y la OB han sido identificados como factores determinantes en la aparición de la hipertensión, estableciéndose una relación directa entre el incremento del tejido adiposo y el aumento de la presión arterial. (Seravalle & Grassi, 2017).

Se ha establecido que en la obesidad existen diversos defectos en la capacidad oxidativa mitocondrial, los cuales alteran el equilibrio energético celular, este deterioro ocasiona un desacoplamiento entre la generación de adenosín trifosfato (ATP) y el consumo de oxígeno, afectando la eficiencia del metabolismo celular. La activación de este proceso de desacoplamiento puede verse favorecida por un incremento en la producción de especies reactivas del oxígeno, como los superóxidos, así como por una mayor exposición a ácidos grasos libres, ambos comúnmente elevados en personas con obesidad (Seravalle & Grassi, 2017). Estos cambios bioquímicos y celulares no solo comprometen la función mitocondrial, sino que también promueven un entorno inflamatorio crónico y resistente a la insulina, lo que contribuye al desarrollo de enfermedades metabólicas, en este contexto, se ha evidenciado una relación directa entre la diabetes mellitus tipo 2 y la hipertensión arterial, dos de las principales patologías que están relacionadas con el SP y la OB. Afortunadamente, existen múltiples estrategias para prevenir y controlar estas condiciones crónicas, entre las más efectivas se encuentran los cambios en el estilo de vida, que incluyen la adopción de una alimentación equilibrada y rica en nutrientes, la práctica regular de actividad física y el mantenimiento de un peso

corporal saludable. Estas intervenciones no solo pueden mejorar los marcadores metabólicos y reducir la presión arterial, sino también prevenir la progresión hacia estados más severos de enfermedad (Cano-Montoya et al., 2018).

El desarrollo del cáncer está influenciado por una amplia variedad de factores de riesgo, que incluyen la predisposición genética, la exposición a radiación ionizante, ciertas infecciones, el consumo de tabaco y alcohol, una alimentación poco saludable, así como el estilo de vida sedentario o la inactividad física, entre estos factores, el sobrepeso y la obesidad han sido identificados como causas relevantes y establecidas en la aparición de diversos tipos de neoplasias malignas (Dalamaga et al., 2018; Vucenik & Stains, 2012).

Dentro de los principales medios por los cuales se vincula la obesidad con el cáncer son: 1) factores mecánicos en la obesidad, 2) microbioma intestinal alterado, 3) factores que causan la obesidad y el cáncer, como la interrupción de los ritmos circadianos y los nutrientes de la dieta, 4) microambiente y perturbaciones celulares, 5) alteraciones en la fisiopatología de las adipocitoquinas, 6) factores derivados del depósito de grasa ectópica, 7) hiperinsulinemia/RI y anomalías del sistema y señalización del factor de crecimiento similar a la insulina I (IGF-I), 8) vía y biosíntesis de hormonas sexuales, 9) inflamación subclínica crónica de bajo grado y estrés oxidativo. (Avgerinos et al., 2019).

La postura corporal es un elemento fundamental para el bienestar general del ser humano, ya que una alineación adecuada del cuerpo permite reducir la presión y la tensión sobre estructuras del cuerpo humano como lo es la columna vertebral, músculos, ligamentos, articulaciones, tendones y huesos, contribuyendo así a una mejor calidad de vida (Andrade Zumárraga & Potosí, 2016). Sin embargo, esta

alineación puede verse significativamente afectada en personas con SP u OB, quienes presentan una mayor predisposición a desarrollar desequilibrios posturales. El exceso de peso corporal impone una carga adicional sobre el sistema musculoesquelético, lo que obliga al cuerpo a generar mecanismos para mantener el equilibrio. Estas adaptaciones suelen afectar la distribución del peso sobre las extremidades, alterando el centro de gravedad y provocando una postura inadecuada (Jalai et al., 2017).

Investigaciones como la de Ghezelbash et al. (2017), señalan que, en personas con sobrepeso y obesidad, se incrementa notablemente la flexión hacia adelante del tronco y las cargas espinales, debido a la acumulación de grasa corporal, especialmente en el abdomen. Esta distribución desigual del peso interfiere en la alineación natural del cuerpo, favoreciendo la aparición de desviaciones posturales como hiperlordosis, escoliosis o cifosis.

Con lo anterior, es evidente que el SP y la OB no solo impactan en el ámbito metabólico y cardiovascular, sino que también tienen consecuencias directas sobre la biomecánica del cuerpo y la salud postural. Abordar estos factores mediante una estrategia completa que incluya control del peso, fortalecimiento muscular y educación postural es clave para prevenir complicaciones musculoesqueléticas y mejorar la calidad de vida de las personas afectadas.

En conclusión, las enfermedades mencionadas anteriormente como la hipertensión, la diabetes mellitus tipo 2, ciertos tipos de cáncer y las alteraciones posturales representan solo una parte de los diversos trastornos que pueden derivarse del SP y la OB. Estas condiciones no solo afectan distintos sistemas del cuerpo humano, sino que también deterioran significativamente la calidad de vida y aumentan el

riesgo de mortalidad. Es por esto por lo que es fundamental reconocer el impacto del exceso de peso sobre la salud y promover estrategias de prevención y tratamiento que incluyan educación, intervención temprana y cambios sostenibles en el estilo de vida.

## **Prevención**

En la actualidad, la evidencia científica respalda la efectividad de diferentes métodos terapéuticos como la modificación del estilo de vida, el uso de medicamentos y la cirugía metabólica o bariátrica para mejorar los resultados en el tratamiento del SP y la OB.

Además, se propone enfatizar en las distintas complicaciones, teniendo mayor prioridad en la disminución de riesgos y la carga de la enfermedad, este enfoque considera tanto el tratamiento como la prevención de diversas enfermedades relacionadas con el exceso de peso, en lugar de centrarse exclusivamente en alcanzar una meta específica de pérdida de peso (Emmerich et al., 2024).

## **Diagnóstico**

En la actualidad el método utilizado para diagnosticar la OB, basado exclusivamente en el índice de masa corporal (IMC), resulta insuficiente, con base a esta limitación, la Comisión de Diabetes y Endocrinología de *The Lancet* ha propuesto una redefinición del diagnóstico clínico de la obesidad, centrada en la evaluación directa de la composición corporal, centrándose principalmente en la cantidad de grasa corporal y en la presencia de signos y síntomas objetivos de deterioro en la salud, como parte de esta nueva perspectiva, se plantean dos categorías diagnósticas adicionales: obesidad preclínica y obesidad clínica.

En la Figura 1 se muestra las diferencias entre la medición tradicional de la OB, basada únicamente en el IMC, y un nuevo método diagnóstico propuesto, la figura presenta seis casos numerados (del 1 al 6), cada uno con su IMC, la presencia o ausencia de exceso de grasa corporal, el nivel de masa muscular, la presencia o

ausencia de signos y síntomas, el diagnóstico según el método antiguo y el diagnóstico según el nuevo método.

**Figura 1***Diferencias en el Diagnóstico de la Obesidad: Métodos Clásico y Propuesto*

| #                              | 1             | 2          | 3                   | 4          | 5                   | 6                |
|--------------------------------|---------------|------------|---------------------|------------|---------------------|------------------|
| BMI ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) | 23.7          | 28.8       | 28.8                | 32.4       | 39.2                | 39.2             |
| Excess body fat?               | ✗ No          | ✗ No       | ✓ Yes               | ✗ No       | ✓ Yes               | ✓ Yes            |
| Muscle mass                    | Normal / High | Normal     | Normal / Low        | High       | Normal / Low        | Normal / Low     |
| Signs and symptoms?            | ✗ No          | ✗ No       | ✗ No                | ✗ No       | ✗ No                | ✓ Yes            |
| Old diagnosis                  | No obesity    | Overweight | Overweight          | Obesity    | Obesity             | Obesity          |
| New diagnosis                  | No obesity    | No obesity | Preclinical obesity | No obesity | Preclinical obesity | Clinical obesity |

*Nota:* Tomado de "Diagnosing clinical obesity: The Lancet Diabetes & Endocrinology Commission on the definition and diagnostic criteria of clinical obesity", por The Lancet Diabetes & Endocrinology Commission (2024), *The Lancet Diabetes & Endocrinology*, p. 1. Recuperado de [www.thelancet.com/commissions/clinical-obesity](http://www.thelancet.com/commissions/clinical-obesity).

El IMC no proporciona información sobre la distribución del tejido adiposo, no distingue entre masa magra y masa grasa, y resulta poco preciso en individuos de baja estatura, personas mayores, sujetos con elevado desarrollo muscular, retención de líquidos o en estado de gestación (Carmienke et al., 2013).

Aunque el IMC es una herramienta común para estimar el estado nutricional, presenta limitaciones importantes, ya que no diferencia entre masa muscular y grasa ni muestra la distribución del tejido adiposo, esto puede llevar a un mal diagnóstico, especialmente en poblaciones como adultos mayores, personas con alta masa muscular, retención de líquidos o mujeres embarazadas, por ello, se

recomienda complementar su uso con métodos más precisos, como la bioimpedancia o evaluaciones antropométricas avanzadas, particularmente en contextos clínicos o investigativos donde se requiere una evaluación detallada de la composición corporal.

En la Tabla 4 se describe las características fundamentales y las diferencias entre estas dos categorías de obesidad, OB preclínica y OB Clínica, propuesta por la revista The Lancet.

**Tabla 4**

*Obesidad preclínica y obesidad clínica*

| Preclínica                                                                                                                                                                                                                                                   | Clínica                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Una condición caracterizada por un exceso de grasa corporal, que conlleva un riesgo variable para la salud, pero que no se asocia con una enfermedad activa en curso.                                                                                        | Enfermedad crónica atribuible exclusivamente a la OB, caracterizada por la presencia de signos y síntomas asociados con disfunción orgánica y/o una disminución en la capacidad para realizar las actividades de la vida diaria.                                                                      |
| Personas que viven con OB preclínica<br><br> La persona no presenta evidencia de disfunción orgánica o tisular atribuible a la OB y conserva la capacidad de realizar sus | Personas que viven con OB clínica<br><br> La obesidad puede ocasionar una serie de complicaciones sistémicas que incluyen dificultad respiratoria derivada de sus efectos sobre la función cardíaca y pulmonar, la |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>actividades cotidianas sin limitaciones funcionales</p> <p><b>X</b> Este grupo poblacional presenta, en general, un riesgo elevado de desarrollar diversas condiciones crónicas no transmisibles, entre las que se incluyen la OB clínica, enfermedades cardiovasculares, determinados tipos de cáncer y diabetes mellitus tipo 2.</p> | <p>presencia de un conjunto de alteraciones metabólicas, así como disfunciones en otros órganos y sistemas, tales como los riñones, las vías respiratorias superiores y los sistemas nervioso, urinario y reproductivo.</p> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

## **Tratamiento**

La OB es una enfermedad crónica, que se caracteriza por ser recurrente y progresiva, lo cual requiere una serie de estrategias de tratamiento multicomponente a largo plazo para mejorar la salud y la calidad de vida de las personas (Bray et al., 2017).

El tratamiento de la OB debe contemplar el cambio y el mantenimiento de un estilo de vida saludable, en el cual se integre factores como la alimentación, la actividad física y los determinantes sociales, geopolíticos y ambientales, este enfoque implica tanto modificaciones en la alimentación, como la reducción en el tamaño de las porciones y del aporte calórico total, como también las relacionadas con el equilibrio y la proporción de los distintos nutrientes en la dieta.(Lecube et al., 2017).

Otro de los tratamientos es la actividad física en el cual se recomienda realizar al menos 150 minutos semanales de ejercicio de intensidad moderada o alta, distribuidos en cinco o más días, y preferentemente alcanzar los 300 minutos semanales para prevenir el aumento de peso, además de reducir el tiempo de inactividad física, la combinación de ejercicio aeróbico (como caminar, trotar o pedalear) y anaeróbico ha demostrado ser más eficaz que realizar cada tipo por separado, siendo el entrenamiento de fuerza especialmente beneficioso en personas mayores por su efecto positivo sobre la masa muscular, se debe tomar en cuenta que la prescripción del ejercicio debe ser individualizada, considerando las preferencias, habilidades, condición física, estado cardiorrespiratorio y ortopédico, medicación y posibles discapacidades de las personas, también se debe evaluar los efectos adversos que pueden ser perjudiciales a la hora de la actividad física,

como la sobrecarga articular o el compromiso respiratorio. (Sigal et al., 2014; Stegenga et al., 2014).

## **Daño en el ADN**

El daño en el ADN hace referencia a cualquier tipo de alteración en la estructura química o física del ADN que compromete su integridad y funcionamiento normal, este daño puede ser un factor determinante para el desarrollo de una variedad de enfermedades humanas importantes, como el cáncer, las enfermedades neurodegenerativas, cardiovasculares y el envejecimiento. (Yamunaque-Castro et al., 2019).

El daño al ADN puede generarse por factores endógenas, como errores ocurridos en procesos normales de replicación o reparación del ADN y por factores exógenos como lo son físicos, químicos o biológicos, que son producidos de manera directa o indirecta por la intervención humana (Chatterjee & Walker, 2017).

### **Mécanismos de reparación**

Ante el daño en el ADN, autores como Robert & Pourquier, (2011) mencionan que las células cuentan con diversos mecanismos de reparación que permiten preservar la estabilidad genómica, entre los principales mecanismos se encuentran:

- 1) La reparación de doble cadena.
- 2) La reparación por escisión de bases (BER).
- 3) La reparación directa.
- 4) La reparación por escisión de nucleótidos (NER).
- 5) La reparación mediante recombinación homóloga o no homóloga.

No obstante, cuando el daño no es reconocido o reparado de manera eficaz, puede permanecer de forma permanente en la molécula, originando mutaciones o alteraciones estructurales en el ADN, por esta razón, los procesos de

reconocimiento específico, corrección y eliminación de lesiones son esenciales para mantener la integridad del genoma (Cardona & Marin Morales, 2014).

## **Inflamación y daño al ADN**

Se ha identificado una relación entre el daño en el ADN y el SP y la OB, debido a que esta inflamación crónica favorecen un aumento en la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS), generando un estado de estrés oxidativo, cuando los sistemas antioxidantes del cuerpo humano no son suficientes para contrarrestar este desequilibrio, se incrementa el riesgo de daño oxidativo al ADN, comprometiendo así la estabilidad genómica. (Usman et al., 2021).

A pesar de la presencia de un sistema de defensa específico contra los radicales, la producción constante de especies reactivas de oxígeno (ROS) y la baja actividad antioxidante pueden conducir a la pérdida del equilibrio entre la formación de ROS y el funcionamiento de un sistema protector, lo que resulta en el desarrollo de estrés oxidativo (Włodarczyk & Nowicka, 2019).

En consecuencia, una elevada producción de ROS y estrés oxidativo puede generarse un daño endógeno en el ADN, así como la detención de la transcripción e inducir la detención del ciclo celular, además, las ROS participan en la peroxidación lipídica y los productos generados como lo es el propano, malondialdehído y propano se interrelacionan con el ADN que forman aductos de ADN y estos provoca un daño en la estructura del ADN (Yuan et al., 2016)

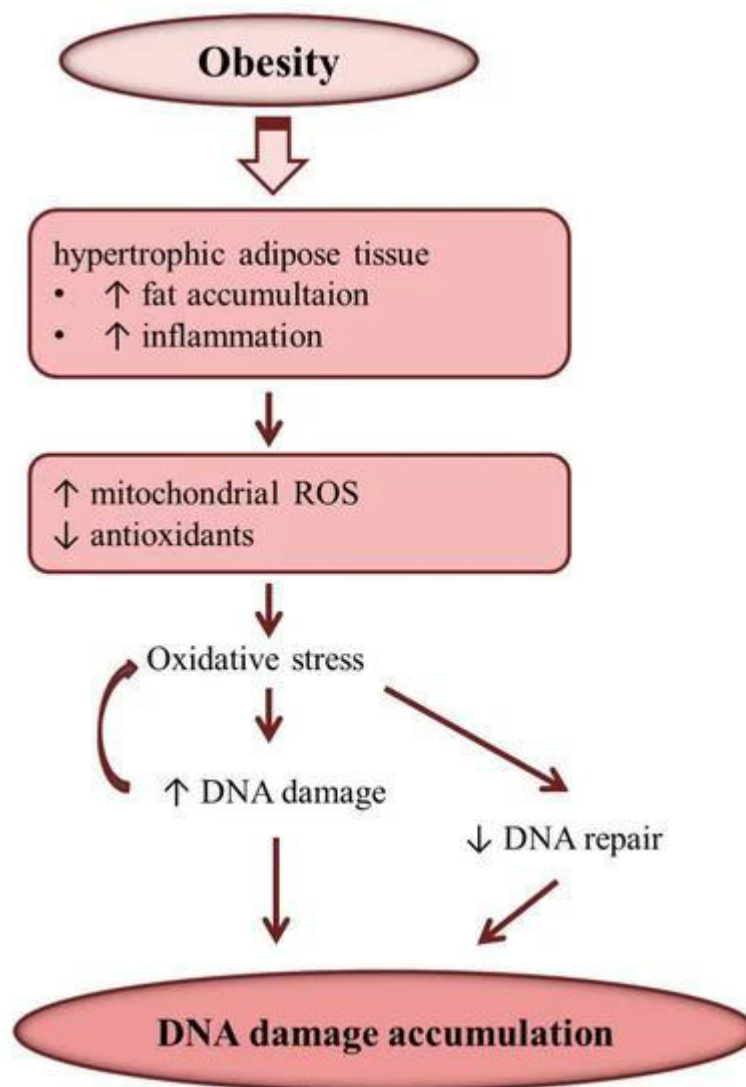
Se ha identificado un gran número de lesiones en el ADN en personas con OB, como por ejemplo rupturas de una sola cadena (SSB), roturas de doble cadena (DSB), un estimado de dos veces más daño en ADN en los linfocitos que en personas con un peso normal y una relación entre el IMC y daño al ADN, así como las alteraciones en los mecanismos de reparación del ADN están relacionadas en

diferentes enfermedades entre las cuales se encuentran el síndrome metabólico, la aterosclerosis, cáncer y diabetes (Włodarczyk & Nowicka, 2019).

En la Figura 2 se describe la progresión de la OB hacia la acumulación de daño en el ADN, el proceso se inicia con la OB, esta figura nos ayuda a entender de una manera más clara la relación entre el daño en el ADN y la OB.

## Figura 2

*Daño al ADN inducido por la obesidad y el desarrollo de trastornos metabólicos.*



*Nota.* Adaptado de "Obesity, DNA damage, and development of obesity-related diseases," por Włodarczyk, M. y Nowicka, G. (2019), *International Journal of Molecular Sciences*, 20(5), p. 1146.

## **Técnicas de detección de la inestabilidad en el ADN**

Una parte importante del estudio de la inestabilidad del ADN, es la manera como podemos detectarla y cuantificarla, existen diversas técnicas de citogenética molecular que ayudan a visualizar y evaluar la inestabilidad en el ADN, en algunas de las técnicas más utilizadas son el estudio de micronúcleos, intercambio de cromátides hermanas y el ensayo cometa, este último ha sido aprobado por le FDA, para el estudio de inestabilidad genética.

La técnica del ensayo cometa o conocida como electroforesis alcalina de células individuales es un ensayo relativamente fácil de utilizar, que fue introducida por Singh y colaboradores en 1988, el ensayo cometa se basa en la visualización y cuantificación de los fragmentos de ADN desnaturalizados que migran fuera del núcleo celular durante el proceso de la electroforesis (Singh, 2016). Puede ser realizado bajo condiciones neutras, detectando rupturas de doble cadena del ADN, o bajo condiciones alcalinas, detectando rupturas de simple cadena del ADN y sitios álcali lábiles, es una herramienta de biomonitorio que sirve para examinar el efecto del estilo de vida, la exposición dietética, ambiental y ocupacional sobre los niveles de daño del ADN en las células humanas (Rodríguez-Rey et al., 2016).

El ensayo cometa consiste en la combinación de diferentes técnicas bioquímicas para detectar roturas haciéndose evidentes los sitios lábiles y teniendo así un enfoque unicelular lo que permite analizar los datos de una forma individualizada y usar muestras biológicas muy pequeñas.

En está técnica de ensayo cometa, la migración electroforética del ADN desde el núcleo se obtiene tras la lisis de la célula en una fina capa de agarosa. Durante el proceso de la electroforesis, los bucles que contienen una rotura pierden su

naturaleza de superenrollamiento y quedan libres para extenderse hacia el ánodo, la migración de ADN dentro de la agarosa después de la electroforesis da como resultado una imagen en forma de cometa, que se puede observar bajo un microscopio de fluorescencia, con filtros adecuados y evaluar el daño en el ADN mediante la medición de la cola del cometa. Este daño se puede calificar a partir de las imágenes capturadas en el microscopio de fluorescencia, ya sea de manera cualitativa, mediante apreciación visual o de forma cuantitativa mediante el uso de diferentes software (Singh, 2016). Este ensayo tiene la capacidad de evaluar el daño en células nucleadas, donde se encuentra el ADN como los leucocitos humanos.

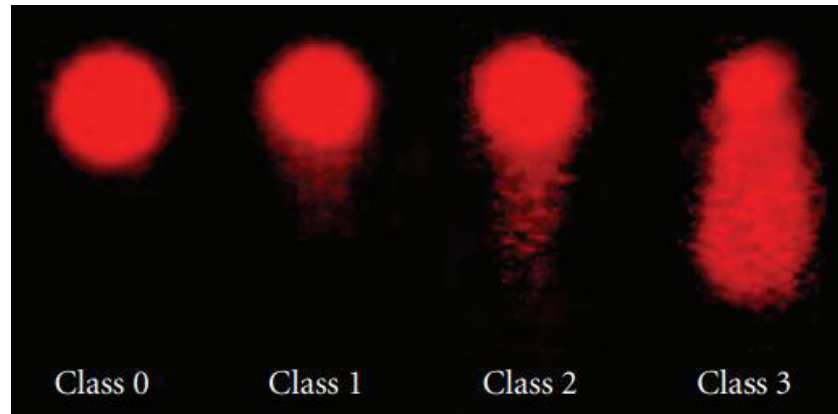
En el Laboratorio de Citogenética del Centro de Investigación Biomédica del Noreste del IMSS, se tiene la experiencia de trabajar con técnicas de citogenética molecular para evaluar la inestabilidad cromosómica, entre ellas la técnica de ensayo cometa.

La clasificación de los cometas puede realizarse de forma subjetiva utilizando algunos criterios reportados, algunos se basan en el tamaño de la cola del cometa como se muestra en la Figura 3 (Cortés-Gutiérrez et al., 2012) o bien de manera cuantitativa con el uso de un software de análisis de imagen en donde se mide el largo de la cola del cometa y el programa arroja números de píxeles o micras, como se muestra en la Figura 4. Algunos de los programas de análisis de imagen es el software de Imagen J el cual se encuentra de manera de gratuita de cualquier navegador con acceso a internet y nos arroja la medida en unidades cuantificables como micras. La interpretación es que entre más larga sea la cola del cometa, mayor es el daño en el ADN. Generalmente se contabilizan 100 células (cometas) por

sujeto y se determina porcentaje de cada tipo de cometa, o bien, el promedio de todas las mediciones.

### Figura 3

*Clasificación de los diferentes tipos de cometas para evaluar daño en el ADN.*

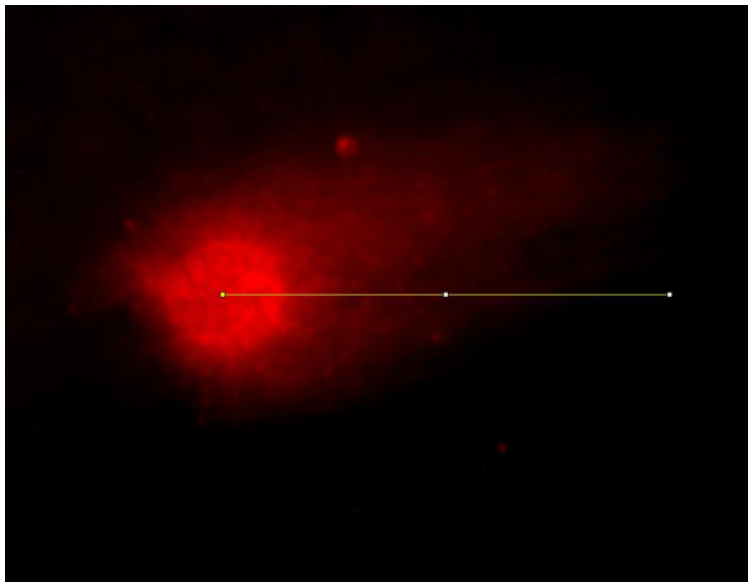


*Nota.* Clase 0 o basal, clase 1 o leve, clase 2 o moderado y clase 3 o severo.

Tomada de *Evaluation of DNA Single and Double Strand Breaks in Women with Cervical Neoplasia Based on Alkaline and Neutral Comet Assay Techniques* (p.03), por, Cortés-Gutiérrez, 2012, Journal of Biomedicine and Biotechnology.

### Figura 4

*Medición de las células mediante la utilización de software Image J.*



*Nota.* Imagen analizada con software Image J, la célula se mide desde el centro del núcleo hasta donde termina la cola del cometa, la figura muestra una célula con una longitud de 78.5 micras.

## **Natación**

Si bien cualquier tipo de ejercicio en general es beneficioso para tener una mejor calidad de vida y prevenir la aparición de enfermedades crónicas causadas por mala alimentación y sedentarismo, en este trabajo nos enfocaremos a los beneficios que tiene la natación.

Existen diferentes definiciones sobre lo que es la natación, la Real Academia Española establece que es la "acción y efecto de nadar", mientras que otros autores mencionan que es "el movimiento y desplazamiento en el medio acuático, que se realiza mediante el uso de las extremidades inferiores y superiores, con la posibilidad de utilizar cualquier instrumento o material para avanzar en el desplazamiento". El cual se suele practicar con diferentes finalidades como la recreación, la práctica a un nivel competitivo o como una actividad física para mejorar la calidad de vida (Albarracín Pérez & Moreno-Murcia, 2018).

### **Historia de la natación**

A lo largo de la historia de la humanidad, la natación ha desempeñado un papel fundamental a nivel global, prueba de ello es que diversas civilizaciones antiguas se establecieron y desarrollaron en torno a locaciones de agua como ríos y lagos, reconociendo desde entonces los diferentes beneficios asociados a esta práctica, la natación no solo fue valorada por su utilidad en contextos de higiene personal y recreativos, sino también por sus efectos terapéuticos y profilácticos, lo que evidencia su relevancia tanto en la vida cotidiana como en la preservación de la salud (Foley, 2017).

Las primeras apariciones de la interacción humana con el entorno acuático se remonta a cuando nuestros ancestros exploraban márgenes de ríos en busca de

establecerse en nuevas localidades, antes de la innovar en la construcción de embarcaciones o puentes, los humanos ya nadaban para sobrevivir, cazar y desplazarse, grandes civilizaciones como la egipcia surgieron y tuvieron abundantes prosperidad al asentarse cerca de ríos, ya que no solo abastecía a la población, sino que también era de gran ayuda para facilitar el transporte, la navegación y la pesca, en Egipto se encontraron numerosos trazos como bajorrelieves, inscripciones jeroglíficas y artefactos que muestran prácticas de nado, incluyendo movimientos similares al estilo de perros y ranas, también se hallaron evidencias de entrenamiento sistemático entre clases altas y de la existencia de las primeras piscinas artificiales en ciudades como Tebas, Luxor y Menfis (Vasile et al., 2023).

Entrando en materia de como la natación tomo un rol en el ámbito competitivo, nos remontamos al año de 1837, en donde la sociedad nacional de natación, gestiona la realización de las primeras competencias de natación que se llevaron a cabo en Londres (Day, 2014).

En 1908 se fundó en Londres el organismo que es el encargado de regular las competencias de natación la FINA (Federación Internacional de Natación Amateur) y en el año 2022 tuvo una reorganización por lo cual hoy en día se le conoce como World Aquatics, el cual cubre más de 200 federaciones (World Aquatics, 2022).

Por lo tanto, el objetivo de este apartado fue explorar las raíces históricas de la natación, abordando su evolución desde los primeros indicios de práctica por parte de la humanidad con fines de exploración, desplazamiento y caza, hasta su transformación en una disciplina competitiva que, en la actualidad, se posiciona como uno de los principales deportes representativos en los Juegos Olímpicos.

## **Estilos de la natación**

Actualmente en el deporte de la natación existen cuatro estilos, autores como Cadenas, (2014) desglosa los puntos importantes para la realización de los diferentes estilos enumerados a continuación :

- Crol o estilo libre, en este estilo el nadador se encuentra en posición ventral, y su realización va de ambos brazos (brazada) de forma alternativa, primero el derecho y luego izquierdo, y un número variable de patadas, dependiendo del nadador.
- Dorso o crol de espalda, para la realización de este estilo el nadador debe estar en posición dorsal o supina y consiste, al igual que el crol de frente, en una acción completa y alternativa de ambos brazos (brazada) y un número variable de patadas, es el único estilo en donde la cara del nadador nunca queda sumergida en el agua a excepción de los virajes y salidas.
- Pecho o braza, en este estilo el nadador se encuentra en posición ventral y realiza los movimientos de brazos y piernas de manera simultánea y simétrica, los hombros y las caderas realizan un movimiento ascendente y descendente que, coordinado con el movimiento de brazos, permite realizar la inspiración.
- Mariposa, es el estilo mas complicado ya que su realización consta de una patada de delfín con las piernas simultáneamente hacia abajo y hacia arriba, es decir, con las dos piernas juntas y a la vez, siendo la acción hacia abajo la que proporciona la propulsión, la acción de brazos se realiza igualmente de forma simultánea, por cada brazada se ejecutan dos patadas, la primera

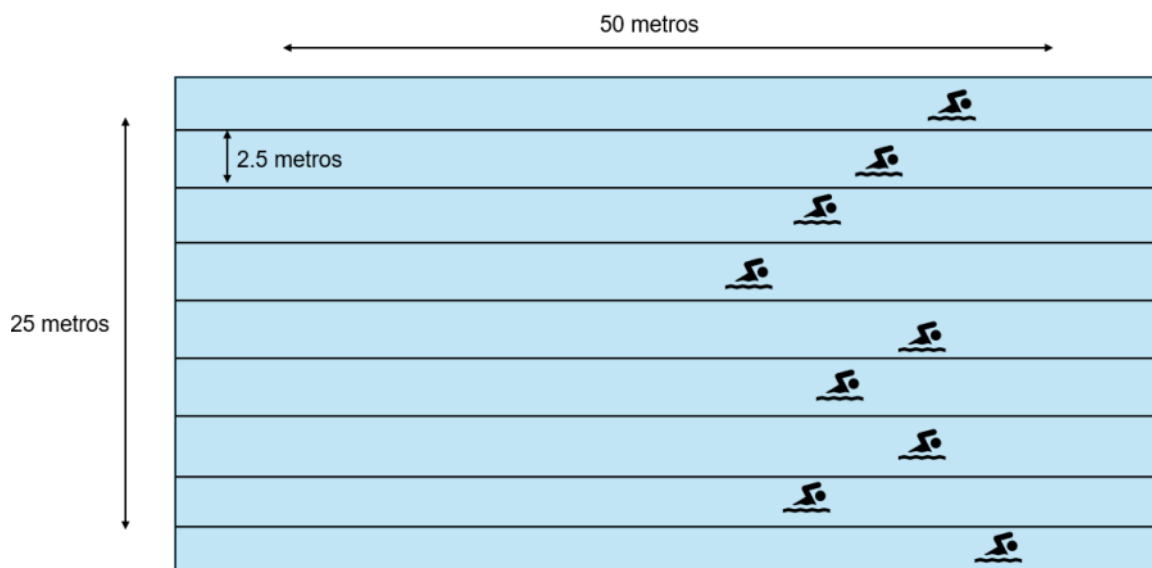
patada hacia abajo se realiza en el momento en el que las manos salen del agua (facilita la salida de la cabeza y la recuperación de brazos) y la segunda patada hacia abajo se produce cuando las manos entran en el agua (para no perder velocidad) (Cadenas, 2014).

## Materiales para la práctica de natación

Para el desarrollo de esta práctica deportiva se debe contar con ciertas instalaciones, la Wolrd Acuatic (2022) establece que la alberca debe de contar 50 metros de largo por 25 metros de ancho, debe tener un mínimo de 2 metros de profundidad y contar con 10 carriles de 2.5 metros de ancho cada uno, con dos espacios adicionales de 2.5 metros fuera de los carriles 1 y 8, así como se muestra en la Figura 5

**Figura 5**

*Mediciones de alberca olímpica*



*Nota.* Se debe tomar en cuenta los banquillos de salida y los banderines a 5 metros de cada extremo de la piscina.

Dentro de la práctica de la natación, es necesario el uso de ciertos aditamentos o materiales que facilitan tanto la enseñanza como el entrenamiento, estos recursos son fundamentales para el adecuado desarrollo técnico, pedagógico y funcional de la disciplina, en las siguientes figuras se presentan los principales materiales utilizados con estos fines.

### **Figura 6**

Tabla de natación



*Nota.* proporcionar flotabilidad en la parte superior del cuerpo, lo que permite concentrarse en el trabajo de las piernas y mejorar la técnica de nado.

### **Figura 7**

*Pullboy*



Nota. Ayuda a la flotabilidad de las piernas y enfoca el trabajo en el tren superior.

### **Figura 8**

*Flotador tubular de espuma*



*Nota.* El flotador tubular es versátil y recreativo, ideal para que principiantes, especialmente niños, ganen confianza y aprendan a flotar con seguridad.

En conjunto, estos tres accesorios ofrecen una amplia gama de posibilidades para mejorar la técnica, fortalecer diferentes grupos musculares y hacer del aprendizaje de la natación una experiencia más accesible y divertida. También existe material específicamente para el perfeccionamiento de la técnica, así como para un uso de entrenamiento, ese material se mostrará a continuación.

### **Figura 9**

*Paletas*



*Nota.* El objetivo principal de este material es el potenciar el entrenamiento de la parte superior del cuerpo y mejorar la técnica de brazada.

**Figura 10**

*Aletas*



*Nota.* Sirve para dar propulsión y dar mayor eficiencia en los trabajos de patada.

**Figura 11**

*Snorkel*



Nota. material que ayuda en la respiración constante con la cara dentro del agua y al mismo tiempo ayuda a la capacidad pulmonar.

El material presentado previamente, son aditamentos auxiliares para un desarrollo del aprendizaje de la natación, así como también en la preparación para el entrenamiento a nivel competitivo, estos aditamentos permiten a las personas participantes a darles mayor confianza y seguridad dentro del agua ya que, facilitan la flotación, el desplazamiento y al mismo tiempo para los nadadores con mayor experiencia ayudan para el perfeccionamiento de la técnica de los diferentes estilos así como el incrementar la fuerza, capacidad pulmonar y optimizar el rendimiento deportivo, en conclusión, son indispensables para progresar en las diferentes etapas del nadador.

### **Estrategias de enseñanza**

En estudios recientes han determinado que el 69.6% de las personas presentan algún tipo de riesgo durante el proceso de aprendizaje de la natación, asimismo, un 64.7% experimenta ansiedad, mientras que el 73% manifiesta miedo en dicha etapa, por otro lado, la influencia del entorno, que alcanza un 45%, representa un factor

que puede actuar como un bloqueo del desarrollo de esta habilidad acuática (Arhesa et al., 2020).

#### Modelo de enseñanza de 6 meses a 3 años

Las estrategias y modelos de enseñanza son esenciales para aprender a nadar correctamente, estos modelos nos permiten estructurar, guiar y optimizar el proceso de aprendizaje, lo que resulta en una enseñanza más efectiva y adaptada a las necesidades individuales de cada niña o niño, al aplicar estos enfoques, facilitamos el desarrollo de una habilidad vital de manera organizada y personalizada.

La práctica de actividades acuáticas para bebés se ha vuelto muy común, incluso antes de los 36 meses de edad, con algunos bebés comenzando a nadar pocos meses después de nacer, estos programas, conocidos como actividades acuáticas en la primera infancia, se enfocan en el desarrollo integral del niño, abarcando aspectos psicomotores, cognitivos y sociales, para lograrlo, utilizan modelos de enseñanza flexibles y lúdicos, donde el niño participa activamente en las actividades, esta tendencia, que promueve la participación del alumno, es fundamental en la enseñanza moderna, incluyendo las clases de natación. (Barbosa, 2007)

Una revisión sistemática realizada por Santos et al, (2023) concluyeron que los programas de natación para bebés y las terapias acuáticas pueden beneficiar su desarrollo motor, visual y cognitivo, sin embargo, la evidencia actual no permite determinar si estos efectos se deben específicamente al entorno acuático formal o a cualquier tipo de estimulación adicional, por lo que se necesitan más estudios comparativos, por otro lado en la seguridad, la participación en programas acuáticos son generalmente segura para los bebés, con un bajo riesgo de diarrea si las

piscinas están contaminadas y sin asociación con infecciones respiratorias o de oído, las terapias acuáticas, en particular, han mostrado ser útiles para retrasos neuromusculares, ictericia neonatal, alivio del dolor y mejora del sueño, sin efectos negativos en funciones fisiológicas como la frecuencia cardíaca o la temperatura.

#### Método del juego

Los juegos acuáticos son una herramienta pedagógica esencial en la enseñanza de la natación, especialmente en las etapas preescolar y primaria, ya que su sistema recreativo favorece la adaptación al medio acuático, reduce el miedo y la tensión, y potencia la destreza en las niñas y niños, desde las primeras sesiones, los juegos permiten desarrollar habilidades básicas, reforzar movimientos específicos y consolidar las destrezas necesarias para la natación deportiva (Susanto & Listianingsih, 2019).

#### Método acuático comprensivo

Se trata de un modelo de enseñanza cuya metodología se fundamenta en principios pedagógicos sólidos para la instrucción en el medio acuático, este enfoque destaca el uso de actividades recreativas y lúdicas como estrategias principales, con el objetivo de que los aprendices superen de forma autónoma las distintas dificultades motrices en el entorno acuático, a través de este modelo, se promueve un aprendizaje activo, en el que los participantes no solo reciben información del instructor, sino que también desarrollan competencias sociales y la capacidad para resolver problemas de manera independiente dentro del medio acuático (Moreno-Murcia & Ruiz, 2019).

En conclusión, el proceso de aprendizaje de la natación, especialmente en edades tempranas, se emplea como una experiencia compleja que implica el desarrollo de

habilidades motrices, cognitivas, emocionales y sociales aunque las cifras reportadas por la literatura de altos niveles de miedo, ansiedad y riesgo ponen en evidencian que la enseñanza de la natación no puede abordarse únicamente desde una perspectiva técnica o estandarizada, por el contrario, requiere estrategias pedagógicas con mayor sensibilidad, que estén adaptadas al desarrollo progresivo de los aprendices y centradas según sus necesidades individuales.

Los modelos de enseñanza basados en el juego, la exploración libre y el enfoque comprensivo han demostrado ser eficaces no solo para favorecer el aprendizaje de las actividades acuáticas, sino también para fomentar la autonomía, la seguridad emocional y la participación activa del aprendiz en su propio proceso de aprendizaje, fomentar la inclusión temprana de actividades acuáticas, incluso antes de los tres años, ha mostrado potencial para favorecer el desarrollo integral infantil, aunque es necesario continuar investigando para determinar los efectos específicos del medio acuático.

En este sentido, aprender a nadar va más allá del dominio de una habilidad técnica: es un factor clave para cuidar de uno mismo, desenvolverse con mayor seguridad y fortalecer la confianza en un entorno tan natural como el agua, además de prevenir riesgos, la natación contribuye al desarrollo físico, emocional y social, permitiendo a los infantes explorar, jugar y crecer en un ambiente que estimula múltiples dimensiones de su ser.

Por ello, ofrecer una enseñanza consciente, bien estructurada y adaptada a cada etapa de la infancia no solo forma nadadores más competentes, sino que también acompaña y potencia el desarrollo integral del ser humano desde sus primeros años de vida.

## **Beneficios de la natación**

El practicar un deporte como lo es la natación, genera una serie de beneficios y mejoras en la salud de las personas, ya que sirve como un medio para la prevención de futuras patologías, así como también para el desarrollar hábitos saludables que generen una mejor calidad de vida (Albarracín Pérez & Moreno-Murcia, 2018).

Realizar actividad física en un entorno acuático tiene como efecto una serie de beneficios a nivel fisiológico como lo es el estrés del soporte de peso, un entorno húmedo y una menor carga de calor (Yuan et al., 2016)

En el sistema circulatorio la natación se ha asociado con diferentes beneficios como lo son la reducción de la presión arterial, el mejorar en la función vascular, como lo es la distensibilidad de la arteria carótida así como la dilatación medida por el flujo y por último la sensibilidad del barorreflejo cardiovagal (Mohr et al., 2014).

Los programas de entrenamiento de natación o ejercicios acuáticos que se realizan a una intensidad de moderada a alta puede tener mayores beneficios antihipertensivos, sin embargo, se necesita mayor evidencia (Mohr et al., 2014; Nagle et al., 2017). Por lo tanto, la natación puede influir de manera positiva al mejoramiento del sistema circulatorio y puede ayudar a tener un mejor control de las enfermedades relacionadas con este sistema circulatorio como lo es la hipertensión.

El deporte de la natación es comúnmente recomendado como una forma de actividad física, baja a moderada, para personas que tienen enfermedad del sistema cardiorrespiratorio como el asma y la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) (De Souto Araujo et al., 2012).

Al momento de nadar el cuerpo entra en un estado de flotación, lo cual en el sistema musculoesquelético es de gran beneficio ya que se minimizan las fuerzas de reacción del suelo y esto a su vez reduce las tensiones de compresión que soportan el peso en las articulaciones, además, el realizar una inmersión en agua termoneutral, sirve como aminora la respuesta del sistema nervioso simpático que en combinación con los efectos que provoca la presión hidrostática, puede servir para tener una reducción del edema y la percepción del dolor en personas con problemas del sistema musculoesquelético (Barker et al., 2014).

En enfermedades como la osteoartritis se ha relacionado la actividad acuática como un medio de actividad física recomendable ya que es un ambiente muy amigable para las articulaciones y así mismo mejorar la calidad de vida a la gran población que sufre de esa enfermedad, además de los beneficios que se pueden generar en el contexto de la obesidad (Cadmus et al., 2010).

Por lo tanto, la práctica de la natación representa una estrategia terapéutica eficaz en el tratamiento de enfermedades musculoesqueléticas, al contribuir significativamente a la reducción del dolor y a la mejora de la funcionalidad física, estos efectos, en conjunto, favorecen una mejora en la calidad de vida de las personas que presentan limitaciones fisiológicas derivadas de dichas enfermedades.

En el sistema neurológico, existe evidencia de que la natación o las actividades acuáticas que van relacionadas con la terapia, tienen diferentes beneficios en personas con enfermedades neurológicas, ya que ayuda a mejorar la movilidad de las extremidades inferiores como superiores en personas con enfermedades tales el parkinson, accidente cerebrovascular y esclerosis múltiple, pero aun falta

evidencia sólida en el cual se confirme que la terapia acuática sea superior a la terrestre para mejorar la movilidad de las enfermedades neuronales (Marinho-Buzelli et al., 2015).

Ademas la actividad física en un entorno acuático tiene ventajas adicionales para aquellas personas que cuenten con enfermedades neurológicas así como neurodegenerativas al proporcionar un mayor nivel de seguridad y promover el equilibrio a personas con riesgo elevado de caídas (Becker, 2009).

Por otro lado, las actividades acuáticas representan un beneficio importante en el proceso de aprendizaje, ya que este implica la capacidad del cerebro para adaptarse y cambiar con la experiencia, fenómeno conocido como neuroplasticidad, en el ámbito de las actividades acuáticas, dicha capacidad permite que, mediante la repetición de movimientos y una practia progresiva al medio acuático, se favorezca la mejora de la coordinación, la seguridad y el desarrollo de habilidades específicas, un enfoque gradual y sistemático facilita tanto el desarrollo motor como cognitivo, promoviendo una adaptación segura y eficaz al entorno Acuático (Moreno-Murcia & Arcil Marco, 2025).

También algunos beneficios encontrados al practicar actividades físicas en el medio acuático es que se ha demostrado un efecto positivo en cuanto a los niveles de glutatión reducido, lo cual sugiere que el entorno acuático podría ejercer cierto estímulo diferente sobre el sistema de glutatión en personas mayores del sexo masculino (Sbardelotto et al., 2017)

### **Natación y obesidad**

Se ha encontrado evidencia de los resultados positivos que genera la práctica de la natación en las diferentes enfermedades que puede generar el SP y la OB, en el

cual se menciona que una práctica regular de natación mejora significativamente los niveles de glucosa en sangre, perfiles de lípidos, IMC, porcentaje de grasa corporal y las lecturas de la presión arterial en personas con diabetes tipo 2, hipertensión arterial, hiperlipidemia, OB y SP (McDaniel et al., 2020; McNamara et al., 2013).

Otros estudios establecen que la natación a largo plazo en sesiones de 2 horas en días no consecutivos durante 16 semanas sirven para la reducción de grasa corporal, mejor los niveles de glucosa en sangre, presión arterial y los valores del perfil lipídico.

### **Antecedentes**

En un metaanálisis establecieron que un programa de ejercicios que exija al cuerpo una serie de desgaste físico agudo o extenuante compromete de manera significativa la estabilidad del ADN (Cash et al., 2014). Por otra parte, Gupta et al. (2023), demostraron que la actividad física moderada, disminuye el daño en el ADN y provoca una relación entre la regulación de la longitud de los telómeros a partir de un estimulante prooxidante en personas con diabetes tipo 2 (Gupta et al., 2023). Otros autores como (Soares et al., 2015) han demostrado que una carga de trabajo de actividad física moderada, tiene efectos positivos en cuanto a la disminución del daño en el ADN, vistos a través del ensayo cometa.

Ehrman et al. (2018) plantearon ciertos lineamientos estructurados del colegio americano, décima edición, en el cual establecen una planificación de actividad física para personas con OB, de manera que se tenga una frecuencia de tres sesiones por semana, en días no consecutivos (lunes, miércoles y viernes) con una duración de 50 minutos por sesión, así como una intensidad moderada del 40% al 59% FC max con una progresión de la carga para obtener mayores beneficios.

Moreno-Villa et al, (2019) estudió hombres, edad 20-36 años, 15 sujetos entrenados y 15 sujetos no entrenados. Se detectaron roturas de la cadena de ADN mediante el ensayo FADU automatizado demostraron que el ejercicio agudo induce rupturas de la cadena de ADN en los linfocitos solo en individuos no entrenados, mientras que el ejercicio regular aumenta la cinética de reparación del ADN, después del ejercicio agudo, las personas entrenadas repararon las rupturas de la cadena de ADN inducidas por la radiación más rápido que las personas no entrenadas. En este trabajo, los autores midieron las roturas de ADN endógenas inducidas por radiación

y actividad de poli (ADP-ribosa) polimerasa-1 (PARP1) en células mononucleares de sangre periférica (PBMC) de personas entrenadas en resistencia (tasa máxima de consumo de oxígeno medida durante ejercicio incremental  $VO_2\text{max} > 55$  ml/min/kg) y voluntarios masculinos jóvenes sanos sin entrenamiento ( $VO_2\text{max} < 45$  ml/min/kg) antes y después del ejercicio exhaustivo. Los sujetos entrenados retuvieron un mayor nivel de actividad de PARP1 inducida por radiación. En base a los resultados obtenidos se sugiere que la aptitud aeróbica puede proporcionar a los glóbulos blancos (PBMC) mecanismos de defensa más efectivos contra la radiación, además de la eficacia comprobada del ejercicio para mejorar la salud cardiovascular y musculoesquelética, podría ser eficaz para proteger a los humanos de los efectos perjudiciales del daño inducido por la radiación, esto podría tener aplicaciones en los campos de la radioterapia y la exposición ocupacional a la radiación.

Discua (2012), estudió 30 jóvenes sanos y 30 adulto sanos, el objetivo de esta investigación fue el determinar el efecto del ejercicio físico exhaustivo y moderado sobre el daño oxidativo y capacidad de reparación del ADN en jóvenes contra adultos mayores sanos. Una vez seleccionados a los participantes tanto jóvenes como adultos mayores se expusieron a una caminata de 5 Km o 90min (ejercicio exhaustivo). De estos sujetos algunos fueron sometidos a un programa de caminata (ejercicio moderado) de 1 horas diaria durante 5 días a la semana por 6 meses. Se observó que cuando se entrenan a los sujetos antes de ser sometidos a un efecto estresor, su sistema ya se encuentra adaptado por lo que puede enfrentarse a la situación estresante y presentan un menor daño oxidativo al ADN, así como una mejor capacidad de reparación de este. Tanto en los jóvenes como en los adultos

mayores el daño al ADN es semejante antes de la exposición al ejercicio exhaustivo; dos horas después del ejercicio exhaustivo hay una disminución significativa de daño al ADN en los adultos mayores con respecto a los jóvenes. Mientras que a las 24 horas en ambos grupos hay un aumento en el daño al ADN, siendo mayor en los jóvenes mostrando una diferencia estadísticamente significativa en comparación con los adultos.

Cash et al. (2014) estudiaron 220 personas sanas en edades de 50 a 76 años, sometiéndolos a actividad física moderada e intensa. El objetivo de este artículo fue describir la poca evidencia que limita el ejercicio de manera intensa y si positivo con el daño del ADN, y a su vez si el ejercicio de carga moderada puede estar asociado con la reparación del material genético. Ellos encontraron que el daño del ADN no se asoció con ninguna medida de actividad, pero que, en ejercicio de 60 minutos, la reparación del ADN se asoció positivamente con la actividad total.

Tryfidou, et al, (2020), realizaron un metaanálisis que tuvo como objetivo investigar y evaluar sistemáticamente el efecto general de los estudios que informan daños en el ADN después del ejercicio aeróbico agudo. Se realizaron búsquedas en Web of Science, PubMed, MEDLINE, EMBASE y Scopus hasta abril de 2019. Los resultados incluyeron múltiples puntos temporales (TP) de medición del daño en el ADN después del ejercicio, dos métodos de cuantificación diferentes (ensayo cometa y 8 -oxo- 2' -desoxiguanosina; 8-OHdG), así como protocolos de intensidad superior al 75% de consumo de oxígeno y carreras de larga distancia ( $\geq 42$  km). Concluyeron que inmediatamente después del ejercicio aeróbico agudo se produce un aumento sustancial del daño en el ADN. Este aumento sigue siendo significativo entre 2 h y 1 día, pero no dentro de los 5 a 28 días posteriores al ejercicio. La

relación entre el ejercicio y el daño del ADN puede explicarse a través de la teoría de la hormesis, que es algo unidimensional y, por lo tanto, limitada, la hormesis es identificado como una serie de procesos conservados durante los cuales una dosis baja o subletal de un agente o estímulo estresante es capaz de activar una respuesta adaptativa que incrementa la resistencia de una célula u organismo frente a un estrés más severo, la teoría de la hormesis describe cómo el ejercicio modula cualquier efecto ventajoso o perjudicial mediado por RONS, aumentando la oxidación del ADN entre los dos extremos de la curva: la inactividad física y el sobreentrenamiento (Hernández Bautista et al., 2019)

En el caso de la natación, hasta donde conocemos, no existen reportes realizados en humano, donde se haya encontrado relación entre la inestabilidad del ADN y este deporte. Existen dos referencias con estudios en ratas, en el primero de ellos, Netto et al. (2018), sometieron a natación a ratas antes y después del embarazo, a estas ratas se les indujo diabetes severa con estreptozotocina. Las ratas preñadas se sometían a un programa de natación, de distribuyeron aleatoriamente en dos grupos: ejercitadas y no ejercitadas.

El programa de ejercicios se administró seis veces por semana, la duración inicial fue de 20 min con un aumento gradual de 10 min por día hasta un máximo de 60 min (9 a 10 am), y este tiempo se mantuvo hasta el día 20 de embarazo. Ellos observaron que la natación aplicada a ratas preñadas contribuye a la disminución del daño en el ADN y la peroxidación de lípidos en las madres y a la disminución del daño en el ADN y la macrosomía en sus crías.

En otro estudio (Ramos et al., 2013) evaluaron la fuente de biomarcadores de estrés oxidativo que se encuentran en el plasma de ratas no entrenadas. Las ratas fueron

sometidas a una sola sesión de ejercicio de natación a 2 intensidades diferentes: baja intensidad o alta intensidad, inmediatamente después del ejercicio, se midieron en plasma aspartato transaminasa (AST), alanina transaminasa (ALT),  $\gamma$ -glutamyltransferasa (GGT) y lactato deshidrogenasa (LDH) para caracterizar el daño celular. Los resultados obtenidos mostraron que los biomarcadores de estrés oxidativo medidos en el plasma inmediatamente después de un solo ejercicio de natación se generaron principalmente en el hígado, no en el músculo.

Hasta el momento, no se ha encontrado evidencia en el cual se establezca un parámetro de semanas o sesiones de actividad física acuática que ayude a la reducción del daño en el ADN, pero basándonos en los resultados de ejercicio terrestre y a las recomendaciones establecidas por el American College of Sports Medicine décima edición (ACSM., 2018) se estableció una intervención de 8 semanas, tres veces por semana en días no consecutivos con una duración de 50 minutos.

## **Capítulo 2. Fundamentos metodológicos**

### **Diseño de investigación**

Para llevar a cabo esta investigación, se eligió un diseño cuasiexperimental, esto significa que, aunque se buscó comparar grupos como en un diseño experimental, no se asignaron participantes al azar en cada grupo, en cambio, se aprovecharon grupos ya formados. Se trabajó con un GE, al que se le aplicó la intervención, y un GC, que no recibió dicha intervención, lo que permitió establecer comparaciones y evaluar los efectos de la variable manipulada. El estudio fue analítico, ya que no solo se describieron los resultados, sino que también se buscó entender las relaciones y posibles causas entre las variables observadas, se trató de un estudio longitudinal, lo que implica que se tomaron mediciones de los mismos participantes en dos o más momentos diferentes a lo largo del tiempo, esto permitió observar cómo cambiaban las variables estudiadas en cada individuo y analizar la evolución de los fenómenos a lo largo del tiempo (Hernández Sampieri et al., 2014).

### **Población y muestra**

La población objeto de estudio se conformó por los ciudadanos del estado de Nuevo León, en cuanto a la conformación de los grupos, se trabajó con un GE y un GC, la selección de los participantes para ambos grupos se llevó a cabo mediante una estrategia de muestreo no probabilístico dirigido en racimos por conveniencia, esta metodología implicó una elección intencional de los participantes, fundamentada en criterios de inclusión, el GE estuvo conformado por aquellos participantes que fueron expuestos a la intervención, mientras que el GC se integró por participantes con características similares que no recibieron dicha intervención, permitiendo así establecer comparaciones significativas entre ambos grupos.



**Criterios de inclusión**

- Participantes de sexo femenino y masculino +18.
- Cumplieran con los criterios de SP y OB según la OMS (clase I, II y III).
- Realizaran inmersiones y sumersiones.
- Que hayan tenido más de seis meses de sedentarismo o inactividad física (caminar, correr, nadar, bicicleta).

**Criterios de exclusión**

- Participantes que tuvieran una ingesta recurrente o excesiva de alcohol.
- Consumieran tabaco o drogas.
- Tuvieran la presencia de enfermedades degenerativas (Cáncer).
- Hayan tenido conocimiento de alguna enfermedad cardíaca u alguna otra condición médica o personal que pudiese afectar la condición del sujeto haciendo su participación riesgosa o reduzca las posibilidades de completar la investigación.
- Que hubieran sido en ese momento COVID POSITIVOS o que hayan tenido COVID anteriores a 1 mes.
- Que hubieran estado bajo tratamiento médico.
- Que hubieran estado con tratamientos de quimioterapia o radioterapia.
- Hubieran sido atletas de alto rendimiento.
- Hubieran tenido la presencia de implantes metálicos.

**Criterios de eliminación**

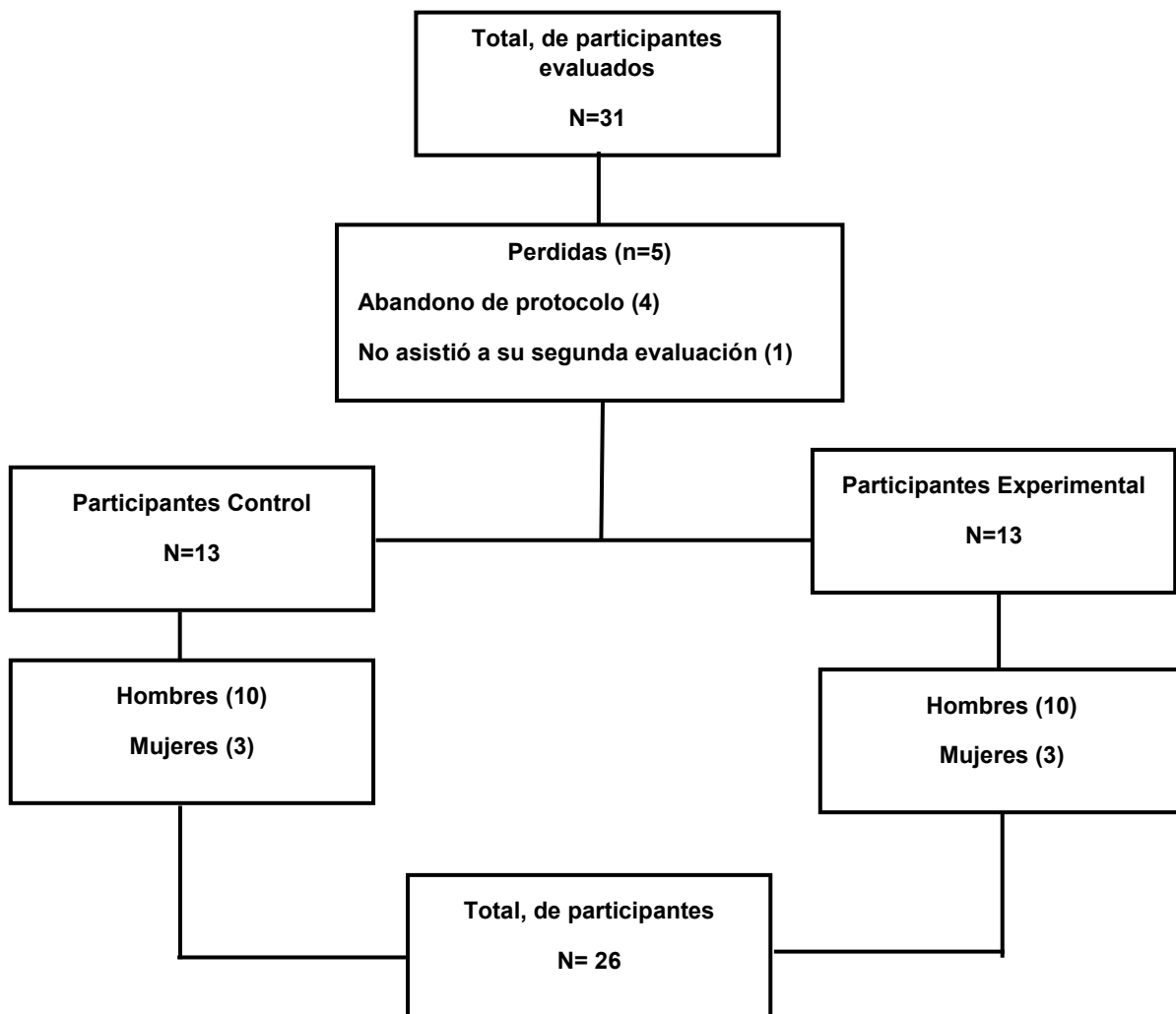
- Que no asistieran a las sesiones del programa de intervención (abandono del protocolo)

- Que no firmaran consentimiento informado

Este proyecto de investigación contó con un total de 26 participantes, divididos equitativamente en un GE y un GC, cada uno conformado por 13 personas. En ambos grupos, la distribución por sexo fue de 10 hombres y 3 mujeres, y se realizó un emparejamiento entre los participantes con base en el sexo y la edad, con una diferencia máxima de  $\pm 5$  años, con el objetivo de asegurar una mayor equidad entre los grupos. Los datos descriptivos detallados de los participantes se presentarán en el capítulo de resultados más adelante.

**Figura 12**

*Diagrama de flujo de la selección y distribución de participantes*



## **Protocolo de investigación**

Uno de los principales obstáculos enfrentados durante el desarrollo de este proyecto de investigación radicó en la obtención de una instalación acuática adecuada para la implementación del protocolo de natación, esta gestión resultó particularmente compleja debido a la severa sequía que afectaba al estado de Nuevo León en el periodo de intervención, afortunadamente, se logró obtener acceso a la alberca del Centro de Seguridad Social No. 1 del IMSS, lo que permitió la continuidad del estudio.

Posteriormente, el protocolo de investigación fue sometido a la evaluación del Comité Nacional de Investigación Científica, que está conformado por el Comité de Investigación, Comité de Ética y Comité de Bioseguridad, IMSS obteniendo una resolución favorable de "Aceptado". Tras la recepción de esta aprobación formal por parte del comité, se procedió a realizar la difusión del flyer promocional en diferentes medios como las redes sociales, centros de trabajo y en las distintas albercas municipales del área metropolitana con lo cual buscaríamos captar la mayor cantidad de participantes

El material informativo fue distribuido a través de un flyer el cual contenía una descripción detallada de los criterios de inclusión establecidos para el estudio, la ubicación de la alberca donde se llevarían a cabo las sesiones, los horarios disponibles y los beneficios que tendría la participar en el proyecto de investigación, las personas interesadas en participar eran invitados a completar un formulario electrónico de registro, tras la recepción de las solicitudes, el equipo de investigación procedió a la selección de aquellas personas que cumplieran con los criterios definidos para el estudio, los participantes seleccionados fueron notificados

de su aceptación mediante un mensaje personalizado enviado a través de la aplicación "WhatsApp". Dicha comunicación incluiría la confirmación de su inclusión en el protocolo de investigación y las indicaciones para agendar una cita en los laboratorios para la realización de la evaluación inicial o basal, mientras que a las personas no seleccionadas de igual manera se les notificaba el porqué de su exclusión del proyecto.

Al inicio de la investigación, se les explicó a los sujetos el protocolo y se firmaron los consentimientos informados en donde aceptaban participar en el estudio ya sea como para el GE o del GC. Se les realizó un expediente personal a cada uno de los participantes en el cual se recabarían los resultados. Previamente se les informó los siguientes puntos antes de agendar la cita:

- Presentarse puntuales en el horario establecido
- Ayuno de 8 horas
- Portar ropa cómoda y calzado deportivo o sandalias

Posteriormente se realizó una serie de evaluación y tomas, las cuales se describen a continuación, se inició con la toma de sangre para el análisis de la biometría hemática (BH) y para la realización del ensayo cometa para detectar el daño en el ADN, posteriormente se evaluó la frecuencia cardíaca en reposo en un ambiente controlado sin ruido, recostados en una colchoneta durante 5 minutos, seguíamos con las evaluaciones de composición corporal y perímetros de cintura, cadera y cadera onfálica.

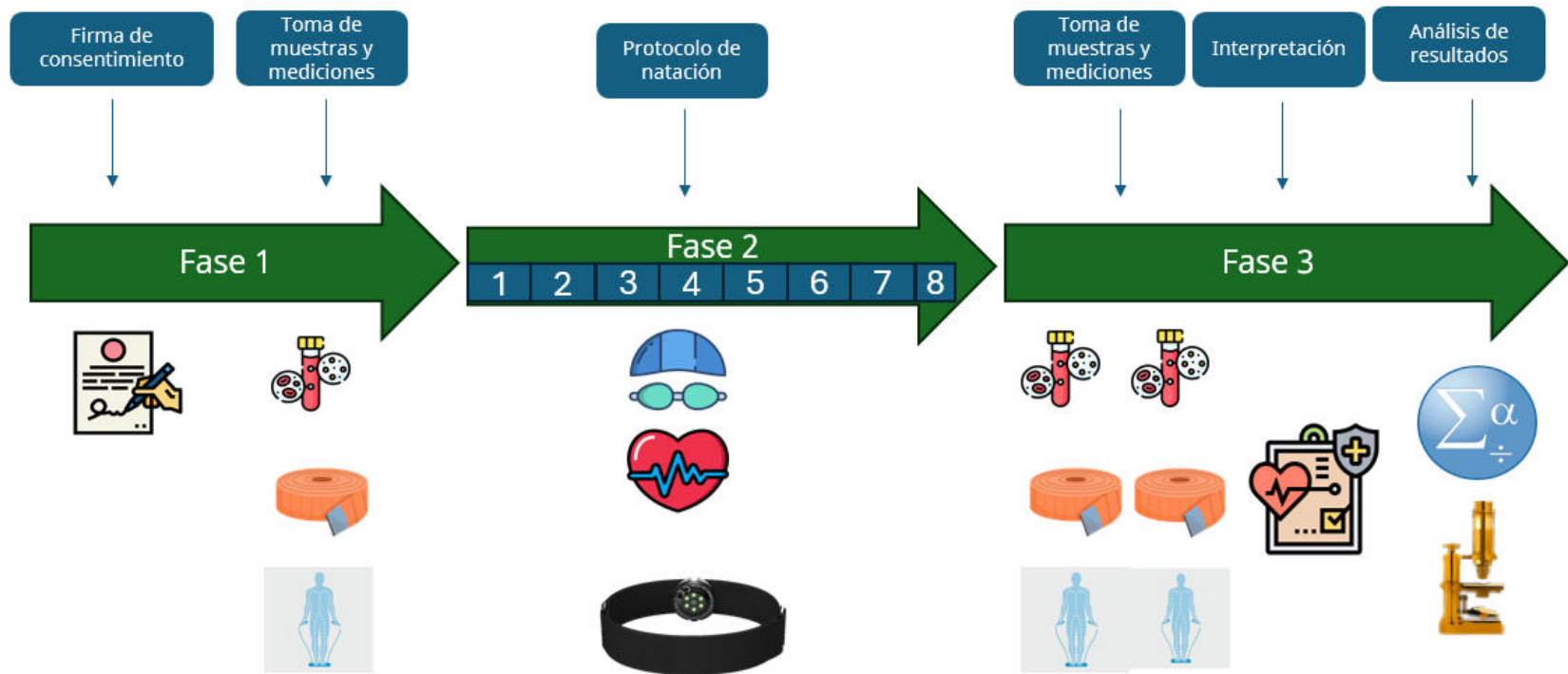
Las tomas de sangre y evaluaciones eran tomadas en el Laboratorio de Rendimiento Humano de la Facultad de Organización Deportiva, UANL,

posteriormente las muestras de sangre eran transportadas hasta el Laboratorio de Citogenética Molecular del Centro de Investigación Biomédica del Noreste, IMSS para la realización del ensayo cometa.

Una vez obtenidos los resultados de la evaluación inicial, se comunicaba a cada participante la fecha y hora en la que debían presentarse en la alberca para comenzar con el protocolo de investigación. Dado que el objetivo principal de esta investigación consistía en medir los efectos de la natación en el ADN a través de la técnica del ensayo cometa, y considerando la limitación de esta metodología que restringía el procesamiento a un máximo de tres muestras diarias, los participantes iniciaron el protocolo en días y horarios escalonados, estas evaluaciones eran tomadas en dos tiempos, al inicio y al final de las ocho semanas de intervención del programa de natación, en la Figura 12 se muestra un cronograma detallado del protocolo de actividades en el GE, mientras que en la Figura 13 se observa el cronograma de actividades correspondiente al GC.

**Figura 12**

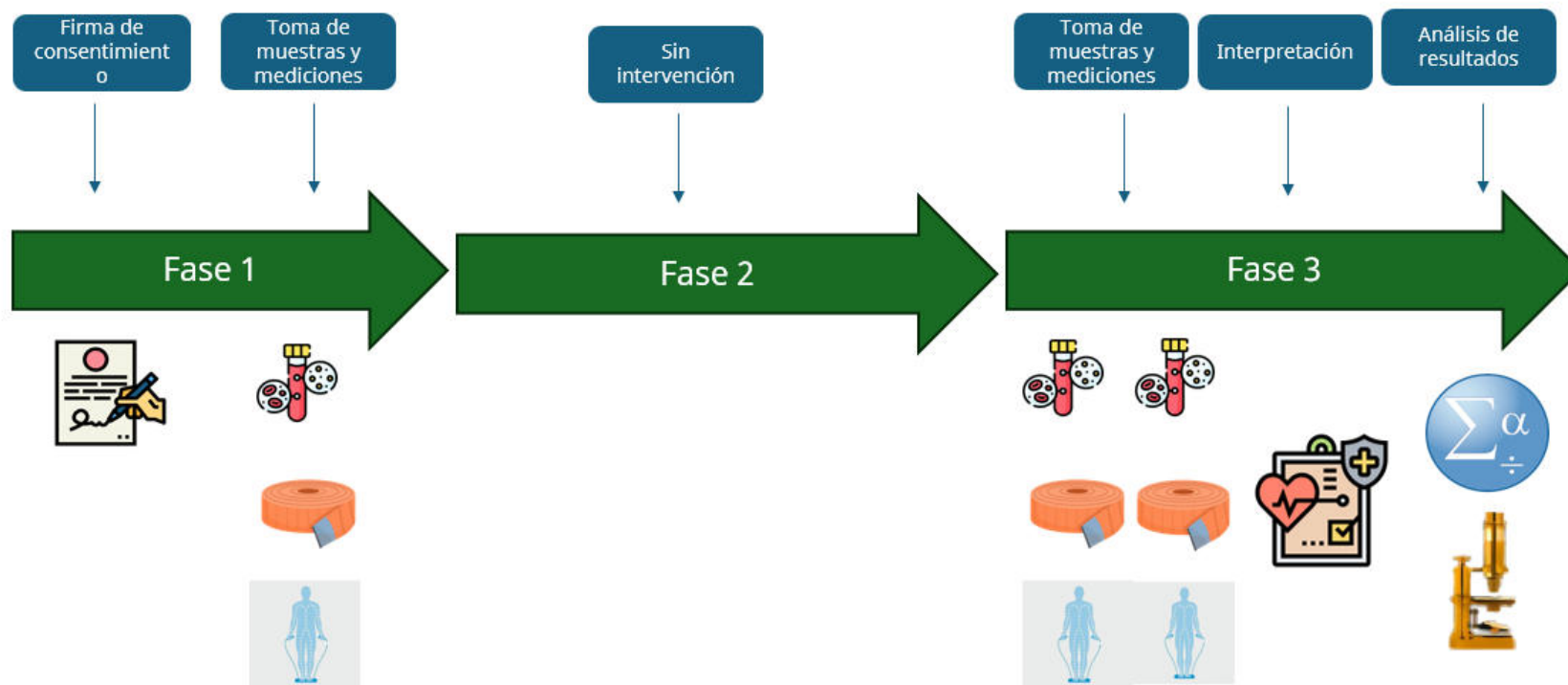
*Cronograma de actividades para grupo experimental*



*Nota.* El programa de natación se realizó 3 veces por semana en días no consecutivos con una duración de 50 minutos a una intensidad del 30 al 59% de su frecuencia cardiaca.

**Figura 13**

Cronograma de actividades para GC



*Nota.* No se realizó intervención alguna.

### **Protocolo de toma de sangre periférica**

Para garantizar la seguridad y el manejo adecuado del material biológico, se siguieron estrictamente los lineamientos establecidos en las Normas Oficiales Mexicanas NOM-087-ECOL-SSA1-2002 (Nivel I) y NOM-017-STPS-2008. En cumplimiento con estas normativas, se implementó el uso obligatorio de equipo de protección personal, incluyendo bata de laboratorio, guantes desechables, cubre bocas y lentes protectores durante la manipulación de las muestras.

La extracción de la muestra de sangre periférica se llevó a cabo en la región anatómicamente más favorable identificada en la fosa antecubital de la cara anterior del brazo del participante, previo a la punción, se realizó una limpieza del área mediante la aplicación de alcohol etílico al 70%, asegurando el secado completo de la zona, se procedió a la palpación para identificar la vena de mayor calibre, seguidamente, se aplicó un torniquete a una distancia de 10 centímetros proximal a la zona de punción, con el fin de facilitar la visualización y evitar la contaminación, se le dio la indicación al participante a realizar movimientos de apertura y cierre de la mano para incrementar la presión intravascular y facilitar la toma de sangre, el brazo del participante se posicionó con una ligera inclinación hacia abajo para mejorar el flujo sanguíneo, la punción venosa se realizó utilizando una aguja estéril de doble bisel (BD Vacutainer Precision Glide) acoplada a un soporte de portatubo o "Holder" (BD Vacutainer Luer-Lok Access Device) como sistema de transferencia. Una vez insertada la aguja en la vena seleccionada, se conectó un tubo de recolección con anticoagulante EDTA (BD Vacutainer, K2 EDTA) de 3 mL, permitiendo la obtención de la muestra sanguínea siguiendo estrictamente las

directrices establecidas en el protocolo del Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI, 2017).

### Protocolo de biometría hemática

Para el análisis de la biometría hemática se utilizó la muestra de sangre previamente obtenida, posteriormente se encendió el equipo Mindray BC-2800 y se verificó que no hubiera errores, asegurando que la calibración estuviera vigente y que los controles de calidad internos hayan arrojado resultados aceptables, posteriormente se ingresaron los datos del participante, y el tubo con EDTA que contenía la muestra se invirtió suavemente el tubo de 8 a 10 veces para asegurar homogeneidad sin hemólisis, posteriormente se colocó para su aspiración y análisis, en caso de que el equipo hubiera generado resultados fuera de rango, se realizó nuevamente el análisis, siguiendo el protocolo establecido, para finalizar se capturaron los parámetros evaluados por el Mindray BC-2800 los cuales se mencionan en la Tabla :

**Tabla 5**

*Parámetros evaluados de la Biometría hemática*

| Parámetros | Parámetro    |
|------------|--------------|
| WBC        | Leucocitos   |
| LYMPH #    | Linfocitos   |
| MID #      | Monocitos    |
| GRAN #     | Granulocitos |
| LYMPH %    | Linfocitos   |
| MID %      | Monocitos    |
| GRAN %     | Granulocitos |
| HGB        | Hemoglobina  |

|        |                                                                  |
|--------|------------------------------------------------------------------|
| RBC    | Recuento de glóbulos rojos                                       |
| HCT    | Hematocrito                                                      |
| MCV    | Volumen corpuscular medio                                        |
| MCG    | Hemoglobina corpuscular media                                    |
| MCHC   | Concentración de hemoglobina<br>corpuscular media                |
| RDW_CV | Distribución media eritrocitaria                                 |
| RDW_SD | Desviación estándar de amplitud de<br>distribución eritrocitaria |
| PLT    | Plaquetas                                                        |
| MPV    | Volumen plaquetario medio                                        |
| PDW    | Ancho de distribución plaquetaria                                |
| PCT    | Procalcitonina                                                   |

---

## **Ensayo cometa**

### ***Inclusión de células en portaobjetos con agarosa:***

Para la preparación de las muestras, se tomaron 20 microlitros de la suspensión de leucocitos de cada participante y se combinaron con 50 microlitros de agarosa de bajo punto de fusión al 1%, mantenida líquida a 37°C. De esta mezcla, se depositaron 30 microlitros sobre un portaobjetos que previamente había sido cubierto con una capa de agarosa de bajo punto de fusión al 0,65%. Inmediatamente después, se colocó un cubreobjetos de vidrio (22 mm x 22 mm) y se dejó solidificar a 4°C durante 15 minutos.

### ***Ensayo de cometa alcalino***

Una vez solidificada la agarosa, los cubreobjetos se retiraron con cuidado y los portaobjetos se sumergieron en una solución de lisis a temperatura ambiente durante 30 minutos. Tras eliminar las proteínas, los nucleoides resultantes se lavaron en buffer TBE 1X (Tris 89 mM, ácido bórico 89 mM, EDTA 2.5 mM, pH 8.3) durante 10 minutos.

Posteriormente, los portaobjetos se trataron con una solución alcalina fresca (NaOH 0.03 M y NaCl 1 M al 0.9%) durante 2.5 minutos para romper los sitios lábiles al álcali. Las laminillas se colocaron horizontalmente en una cámara de electroforesis con tampón alcalino (NaOH 0,03 M, pH 13) y se sometieron a electroforesis utilizando un campo eléctrico de 23 V/cm durante 8 minutos. Finalizada la electroforesis, los portaobjetos se lavaron con tampón Tris-HCl 0.4 M (pH 7.5) para neutralizar durante 5 minutos y luego con TBE 1X durante 2 minutos. Finalmente, se deshidrataron pasando por soluciones de etanol al 70%, 90% y 100% de forma

secuencial, durante 2 minutos en cada concentración. Las muestras se tiñeron con yoduro de propidio (1 mg/ml) utilizando el medio de montaje Vectashield® (Vector Laboratories, Burlingame, CA, EE.UU.).

La observación de los objetos portátiles se realizó con un microscopio de fluorescencia AxioScope A1 (Zeiss, Göttingen, Alemania) con un objetivo de 100X, conectado a una cámara monocromática Axiocam 502 (Zeiss) y controlado por el software Zen blue (versión 3.3.89.0000) (Zeiss). Las imágenes se capturaron en campo oscuro utilizando una lámpara de fluorescencia HXP 120 V con un filtro rojo (Zeiss). Se contaron 100 cometas por cada individuo estudiado.

#### ***Análisis de imagen:***

Las imágenes obtenidas fueron analizadas mediante el software de análisis Image J 1.4.3.6.7 (National Institutes of Health, Bethesda, MD, EE.UU., 2012) (Rasband, 1997). Se realizó la medición de la longitud de la cola del cometa, desde el centro del núcleo hasta el término de la estela, el software proporcionó el valor numérico de este parámetro en micras.

#### **Protocolo para la evaluación de la composición corporal**

En cuanto a la composición corporal se le pidió al participante que trajera consigo ropa cómoda y ligera, sin objetos metálicos que evitaran la alteración de los resultados, posterior a verificar estos lineamientos procedimos a indicarle al participante que subiera a la báscula sin calcetines, posterior a esto la báscula nos indicó el peso y nos dio opción para poder ingresar la información requerida por la TANITA para su correcta valoración, como edad, talla, sexo, si es persona con actividad física o sedentaria, luego el participante tomó los electrodos con ambas manos y los colocó a un costado, esperamos unos segundos y la evaluación estaba

finalizada, la TANITA proporciona resultados como el peso, porcentaje de masa muscular y masa grasa también en kilogramos, porcentaje de agua, porcentaje de grasa visceral, tas metabólica basal.

### **Protocolo para le medición de perímetros**

Para esta evaluación se utilizó una cinta métrica antropométrica, en un ambiente privado y controlado por los investigadores. Se le pidió al participante que estuviera de pie de brazos cruzados y un poco elevados para la correcta medición.

Para el perímetro de la cintura se identificó la parte más estrecha del torso, entre el reborde costal y la cresta ilíaca, posteriormente se rodeó el abdomen con la cinta métrica asegurándonos de que estuviera paralela al suelo y ajustada, pero sin comprimir la piel. Se le solicito al participante que respirara normalmente y tomara la medición al final de una exhalación suave.

En cuanto al perímetro de la cadera, la cual corresponde a la circunferencia tomada en la parte más ancha de los glúteos, se procedió a ubicar visualmente la parte más prominente de los glúteos para posteriormente colocar la cinta métrica alrededor de esta zona, asegurándonos de que esté al mismo nivel por delante y por detrás, paralela al suelo y se tomó la medición sin modificar la postura del participante.

Por último, la cadera onfálica es la circunferencia tomada a nivel de las espinas ilíacas anterosuperiores (EIAS), también conocido como "cadera onfálica" procedimos a palpar y ubicar ambas EIAS, prominencias óseas en la parte anterior de la pelvis, luego colocamos la cinta métrica justo sobre estas estructuras óseas, asegurándonos de que la cinta esté nivelada, paralela al suelo y alineada sobre ambas EIAS, se ajustó sin comprimir la piel y se realizó la lectura.

### **Protocolo de frecuencia cardiaca**

Este protocolo tuvo como objetivo determinar la frecuencia cardíaca en reposo (FCR) del participante, con la finalidad de establecer sus porcentajes de frecuencia cardíaca de referencia. Con estos datos, se pudo garantizar que el programa de natación se mantuvo dentro del rango de las intensidades adecuadas según los lineamientos establecidos por el American Collage of Sport Medicine (ACSM), correspondiente a una intensidad de entre el 40-59% de la frecuencia cardíaca máxima (FCM).

Para la medición de la frecuencia cardíaca en reposo, se empleó el dispositivo Polar Verity Sense, un monitor óptico de frecuencia cardíaca diseñado para registros precisos y no invasivos. Se le entregó al participante el sensor junto con su correa ajustable, indicándole que lo colocara aproximadamente 2-3 cm por encima del pliegue del codo (zona distal del antebrazo), asegurando que el contacto con la piel fuera firme pero cómodo.

Posteriormente, se le solicitó que se recostara en una cama de espuma en posición supina (boca arriba), con la instrucción de permanecer relajado, pero sin llegar a dormirse, manteniendo una respiración natural.

Para minimizar interferencias ambientales, se apagó la luz de la sala y los investigadores procedimos a salir del área, permitiendo que el participante alcanzara un estado de reposo óptimo sin distracciones.

El monitoreo se realizó durante 5 minutos completos, una vez finalizado el tiempo, se anunció el término de la medición mediante un suave golpe en la puerta, evitando así sobresaltos o estímulos que pudieran alterar las mediciones registradas.

Posteriormente con los datos recopilados procedimos a realizar la fórmula de Kravone

## **Programa de natación**

El programa de natación consistió en un total de 8 semanas por participante, con una frecuencia de tres sesiones por semana, en días no consecutivos (lunes, miércoles y viernes o martes, jueves y sábado) con una duración de 50 minutos por sesión. Las sesiones se realizaron mediante una planificación tradicional dividida en calentamiento, parte principal y vuelta a la calma de la siguiente manera:

- Calentamiento con una duración de 10 minutos, ejecutando ejercicios de respiración, familiarización, inmersiones, sumersiones y flecha apoyados por aditamentos (tablas o popotes), tanto para principiantes, intermedios y avanzados.
- Parte principal con una duración de 30 minutos, se realizaron ejercicios técnicos y coordinativos apoyados de aditamentos (tablas, popotes, pull boy) tanto para principiantes como para avanzados y, por último, nado continuo e intervalos de nado para intermedios y avanzados.
- Vuelta a la calma o aflojé, con una duración de 10 minutos, para principiantes se realizaron ejercicios de flotación, para intermedios y avanzados se realizaron ejercicios de nado crol y dorso, sin el apoyo de aditamentos, ejercicios de respiración (sumersiones) y ejercicios de flotación.

En el Anexo 1 (ejercicios de natación), se establecen los ejercicios a realizar divididos por nivel, estilo, así como también están ordenados por grado de dificultad. La intensidad de las sesiones fue planificada de acuerdo con las recomendaciones establecidas por el colegio americano décima edición (American College of Sports Medicine, 2019), iniciando con una intensidad moderada del 40% al 59% FC max con una progresión de la carga para obtener mayores beneficios. Para monitorear la intensidad del programa de natación y detectar posibles alteraciones en la carga

externa derivadas de otras actividades físicas, se emplearon dispositivos Polar Verity Sense. Estos dispositivos generan un conjunto de gráficas al finalizar cada sesión, las cuales permiten analizar el nivel de fatiga del participante e identificar signos de sobreentrenamiento asociados a esfuerzos adicionales no controlados. Los ejercicios utilizados fueron los propuestos en los diferentes manuales que llevan por nombre “Manual de Referencia para la Enseñanza y Perfeccionamiento técnico en Natación” y “Manual Natación Para Todos Natación Para La Vida” (CITAS) dichos manuales han sido realizados por la Federación Internacional de Natación (ahora World Aquatics), los grupos estuvieron divididos por niveles, y dependiendo de las habilidades y destrezas de cada participante se seleccionaron los ejercicios que más les convenía a sus capacidades para un mejor aprendizaje y dominio de los diferentes estilos que conforma el deporte de la natación.

### **Instrumentos**

Se utilizaron dos instrumentos importantes para obtener y registrar los datos de los sujetos:

- Encuesta de Información, en este instrumento se recabaron datos de las mujeres y hombres: nombre, sexo, edad, y otros datos demográficos. También, las mediciones antropométricas, así como los resultados de laboratorio como la biometría hemática, el número de intervenciones de natación y observaciones (Anexo 2 encuesta de información).
- Consentimiento informado, tanto para GC como para GE, se les explicó los detalles del protocolo de investigación. (Anexo 3 consentimiento informado).

### **Aspectos éticos**

Todos los participantes del estudio firmaron el consentimiento informado por escrito, Los procedimientos implementados estuvieron estructurados con base en los lineamientos establecidos por el Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación vigente con base en la NORMA Oficial Mexicana NOM-012-SSA3-2012, en el cual se decretan los criterios para la implementación de proyectos de investigación para la salud en seres humanos.

El protocolo se rigió por la Declaración de Helsinki, teniendo en consideración todas las variaciones agregadas al documento hasta la Asamblea de Fortaleza, Brasil de 2013, a las Guías Éticas Internacionales para Investigación Biomédica que Involucra a Seres Humanos del Consejo de Organizaciones Internacionales de la Ciencias Médicas (CIOMS) y las Buenas Prácticas Clínicas: documentos de las Américas de la Organización Panamericana de la Salud como oficina regional de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Así como la Ley general de protección de datos personales Nueva Ley DOF 26-01-2017.

### **Aspectos de bioseguridad**

Las muestras de sangre periférica se transportaron debidamente etiquetadas dentro de un contenedor a temperatura ambiente, fueron trasladadas de las instalaciones del Laboratorio de Rendimiento Humano de la Facultad de Organización Deportiva (FOD), Ciudad Universitaria, San Nicolás de los Garza, N.L. al Laboratorio de Citogenética del C.I.B.I.N., I.M.S.S., Monterrey, N.L.

Tanto el laboratorio de Citogenética Molecular del CIBIN, IMSS, como el laboratorio de FOD, conocemos y hemos leído las normas, reglamentos y manuales de

bioseguridad que se aplicarán en la realización de este protocolo para prevenir cualquier riesgo de contagiosidad por residuos biológico-infecciosos, las muestras de sangre periférica se manejan todo con base a la siguiente normativa:

- NOM-003-SSA2-1993 para la disposición de sangre humana y sus componentes con fines terapéuticos.
- NOM 087-ECOL-1995 que establece los requisitos para la separación, envasado, almacenamiento, recolección y transporte, tratamiento y disposición final de los residuos peligrosos biológico-infecciosos que se generan en establecimientos que presten atención médica.
- Ley General del equilibrio ecológico y protección al ambiente
- Ley General de Salud Título Quinto Investigación para la Salud Artículo 96-103)
- Reglamento de la Ley General de Salud en materia de investigación para la salud
- Manual de bioseguridad en el laboratorio. OMS. (2005)
- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (2012)
- Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT/2005, que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos. (Antes CRET)
- Norma Oficial Mexicana NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002, Protección ambiental–Salud ambiental – Residuos peligrosos biológico-infecciosos (RPBI)–Clasificación y especificaciones de manejo

- Norma Oficial Mexicana NOM-003-SCT/2008, Características de las etiquetas de envases y embalajes, destinados al transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos
- Norma Oficial Mexicana NOM-007-SCT2/2010, Marcado de envases y embalajes destinados al transporte de sustancias y residuos peligrosos
- Manual de procedimientos para el manejo y control de residuos Biológico-Infecciosos y Tóxico-Peligrosos en Unidades de Atención Médica del I.M.S.S. (1996)
- Manual: Bioseguridad en laboratorios biomédicos y microbiológicos 2009, (5ª Edición), Centro para el control y prevención de enfermedades (CDC), Institutos Nacionales de Salud, Departamento de Salud y Servicios Humanos, USA.

## **Análisis estadístico**

Los datos se analizaron utilizando medidas descriptivas de los datos cuantitativos, así como la media y desviación estándar. Fueron introducidos en una computadora con programa SPSS (v.27.0) para Windows. Se realizó una t student para datos pareados con la finalidad de comparar datos antes y después de la aplicación del programa de natación, considerando como significativo una  $p > 0.05$  ¿????? Valor  $p \geq 0.05$ : Indica que no hay una diferencia estadísticamente significativa entre las mediciones basales y posteriores a la intervención para esa variable. Es decir, cualquier cambio observado podría deberse al azar.

Valor  $p < 0.05$ : Sugiere que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las mediciones basales y posteriores a la intervención para ese parámetro. Esto implica que la intervención podría haber tenido un efecto en esa variable.

### **Capítulo III. Resultados**

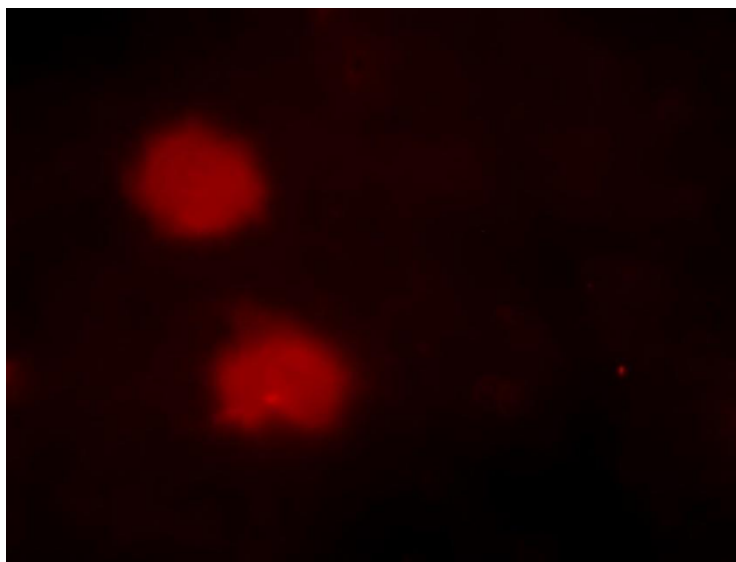
Dando respuesta al objetivo específico “Estandarización de técnicas citogenéticas moleculares en muestras de pacientes con sobrepeso y obesidad”.

Se llevó a cabo un proceso de prueba y error para la implementación de la técnica de ensayo cometa, tomando como referencia el protocolo propuesto por el autor.

Una de las principales dificultades encontradas fue que, al momento de analizar las células, estas no se visualizaban adecuadamente, tal como se observa en la Figura 14.

**Figura 14**

*Visualización deficiente de cometas*

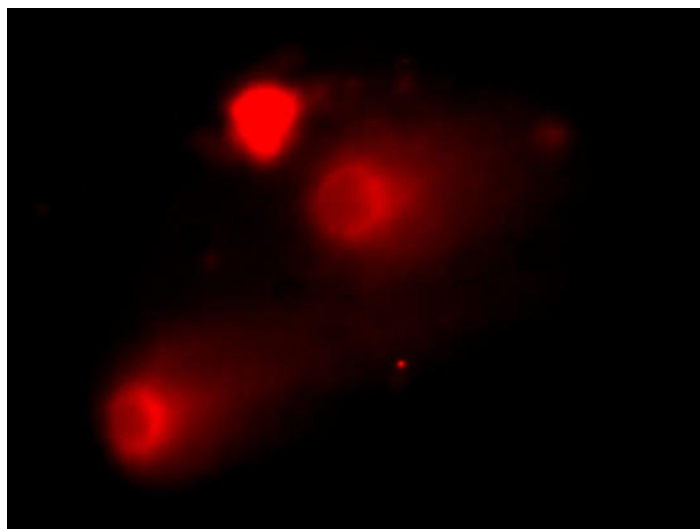


*Nota.* Se utilizó un microscopio de fluorescencia.

Para resolver esta problemática, se optó por dejar actuar el yoduro de propidio durante 15 minutos al momento de su aplicación, posteriormente, las células pudieron visualizarse adecuadamente, como se muestra en la Figura 15.

**Figura 15**

*Correcta visualización de cometas*

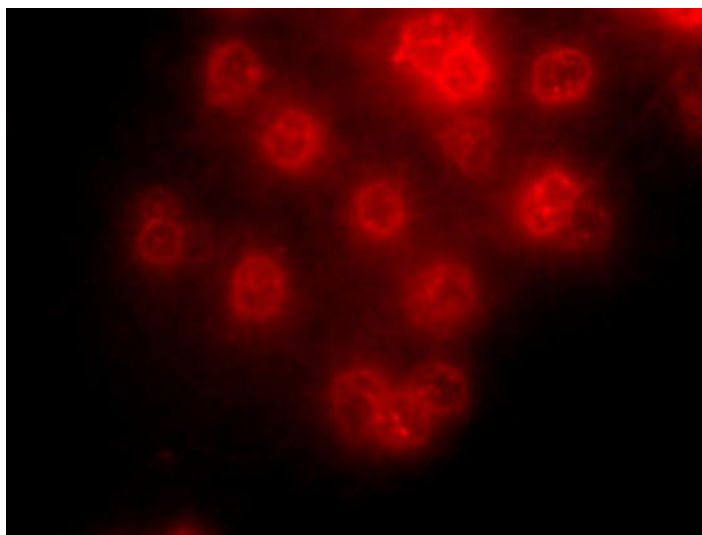


Nota. Los puntos con mayo fluorescencia son restos de partículas.

Otra de las problemáticas identificadas durante el análisis de los cometas fue la dificultad para observar adecuadamente las células, como se muestra en la Figura 16, debido a una excesiva aglomeración que impedía se análisis.

### **Figura 16**

*Aglomeración de células*

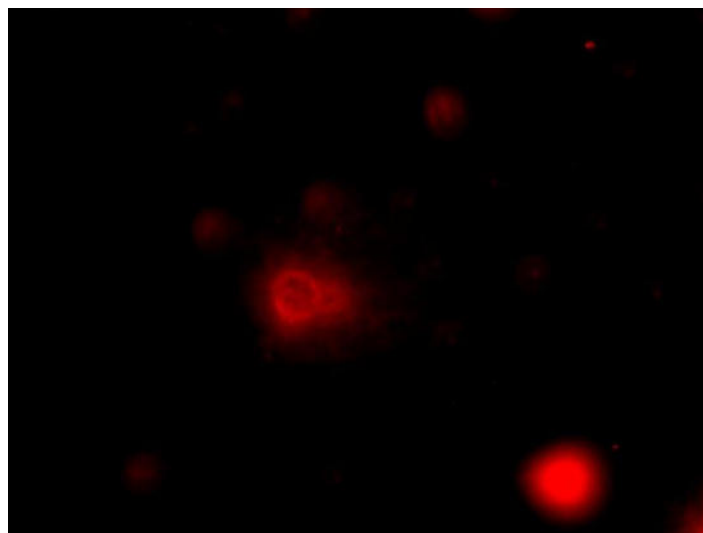


*Nota.* Células agregadas en 80  $\mu$ L de PBS.

Para solucionar esta problemática, se realizó una resuspensión de las células utilizando una mayor cantidad de solución PBS, el resultado de este ajuste se observa en la Figura 17

**Figura 17**

*Célula aislada*



*Nota.* Células agregadas en 200  $\mu$ L de PBS.

Con el propósito de dar cumplimiento al objetivo específico: “Cuantificar el daño al ADN, mediante técnicas de citogenética molecular, en pacientes con sobrepeso u obesidad, antes y después de un programa de natación”, se procedió a realizar un análisis de las imágenes obtenidas a través del ensayo cometa, utilizando el software de análisis especializado “ImageJ”, asimismo, con relación al objetivo “Analizar los parámetros, biometría hemática y composición corporal antes y después de un programa de natación”, se llevó a cabo la evaluación correspondiente mediante técnicas estandarizadas mencionadas en el apartado de metodología, los resultados derivados de ambos procedimientos se presentan a continuación.

### Datos descriptivos

La Tabla 6 presenta los datos descriptivos media y desviación estándar de los grupos control y experimental.

**Tabla 6**

*Datos descriptivos de los participantes.*

|       | (M)   | (DT)  |
|-------|-------|-------|
| Edad  | 31.34 | 7.74  |
| Talla | 1.70  | .09   |
| Peso  | 94.88 | 22.18 |
| IMC   | 32.40 | 6.11  |

*Nota.* M = Media, DT = Desviación Estándar. Edad en años, talla en metros y peso en kilogramos. Estos datos corresponden a la muestra total de GC y GE (N=26).

## Resultados por grupos

En la Tabla 7 se presentan los resultados de la composición corporal obtenida antes (pre) y después (post) de la intervención en los GC y GE, se obtuvo un cambio significativo en el perímetro onfálico de  $108.34 \pm 13.77$  cm a  $104.55 \pm 14.65$  cm ( $p < 0.001$ ) en el GE, en el resto de las variables no se observó algún cambio significativo.

**Tabla 7**

*Resultados de la composición corporal*

| Variable | GC                |                   |            | GE                |                   |            |
|----------|-------------------|-------------------|------------|-------------------|-------------------|------------|
|          | Pre               | Post              | <i>P</i> = | Pre               | Post              | <i>P</i> = |
| Peso     | $96.35 \pm 26.19$ | $96.39 \pm 25.25$ | .915       | $93.42 \pm 18.27$ | $93.13 \pm 17.02$ | .639       |
| IMC      | $32.20 \pm 6.35$  | $32.27 \pm 6.11$  | .570       | $32.61 \pm 6.11$  | $32.51 \pm 5.70$  | .614       |
| MG %     | $31.40 \pm 4.25$  | $31.63 \pm 4.75$  | .547       | $31.76 \pm 5.96$  | $32.26 \pm 6.15$  | .254       |
| MG kg    | $30.98 \pm 13.42$ | $31.05 \pm 13.06$ | .850       | $30.09 \pm 9.63$  | $30.49 \pm 9.63$  | .483       |
| MM %     | $65.10 \pm 4.11$  | $64.93 \pm 4.52$  | .659       | $64.51 \pm 6.52$  | $64.31 \pm 5.86$  | .674       |
| MM kg    | $62.13 \pm 13.32$ | $61.98 \pm 12.99$ | .575       | $60.60 \pm 10.13$ | $59.50 \pm 9.76$  | .099       |

|          |                |                |      |                |                |         |
|----------|----------------|----------------|------|----------------|----------------|---------|
| Agua %   | 49.17 ± 2.51   | 49.36 ± 3.37   | .657 | 48.86 ± 5.02   | 47.70 ± 4.40   | .107    |
| Visceral | 11.23 ± 7.18   | 11.30 ± 6.81   | .721 | 11.07 ± 5.23   | 11.46 ± 5.44   | .337    |
| Cintura  | 104.34 ± 13.91 | 103.38 ± 12.72 | .603 | 101.82 ± 12.86 | 101.03 ± 11.01 | .574    |
| Cadera   | 115.42 ± 12.05 | 114 ± 12.62    | .443 | 112.63 ± 10.54 | 112.94 ± 9.30  | .859    |
| Onfalic  | 106.76 ± 17.01 | 107.30 ± 15.77 | .838 | 108.34 ± 13.77 | 104.55 ± 14.65 | <.001** |
| ICC      | .90 ± .08      | .90 ± .07      | .916 | .90 ± .07      | .89 ± .06      | .626    |

---

*Nota.* Los datos se presentan como Media ± Desviación Estándar, los valores p indican la significancia estadística de las diferencias entre las mediciones Pre y Post dentro de cada grupo. \*\* significa  $p < 0,01$ .

En la Tabla 8 se presentan los resultados obtenidos de la biometría hemática tanto en el GC como en el GE, antes y después de la intervención, en el GC al analizar específicamente los leucocitos y sus subpoblaciones, se identificaron diferencias estadísticamente significativas en los valores de leucocitos totales (WBC)  $7.28 \pm 1.66$  a  $6.43 \pm 1.75$  ( $p=.045$ ), así como en los porcentajes de linfocitos (LYMPH %)  $32.77 \pm 8.96$  a  $35.27 \pm 7.77$  ( $p=.047$ ), monocitos (MID %)  $5.74 \pm 1.52$  a  $6.19 \pm 1.28$  ( $p=.045$ ) y granulocitos (GRAN %)  $61.47 \pm 9.68$  a  $58.59 \pm 8.15$  ( $p=.042$ ), a pesar de eso, las cuentas absolutas de estas células (LYMPH #, MID # y GRAN #) no mostraron cambios significativos, en el GE solo hubo un cambio significativo en el parámetro PDW  $14.78 \pm .18$  a  $14.87 \pm .21$  ( $p=.011$ )

**Tabla 8**

*Biometría hemática*

| Variable | GC              |                 |       | GE              |                 |      |
|----------|-----------------|-----------------|-------|-----------------|-----------------|------|
|          | Pre             | Post            | P=    | Pre             | Post            | P=   |
| WBC      | $7.28 \pm 1.66$ | $6.43 \pm 1.75$ | .045* | $6.36 \pm 1.26$ | $6.48 \pm 1.43$ | .760 |
| LYMPH #  | $2.33 \pm .74$  | $2.22 \pm .66$  | .387  | $2.12 \pm .58$  | $1.99 \pm .62$  | .404 |
| MID #    | $.40 \pm .12$   | $.56 \pm .73$   | .427  | $.33 \pm .08$   | $.36 \pm .08$   | .427 |

|         |                 |                |       |                |                |       |
|---------|-----------------|----------------|-------|----------------|----------------|-------|
| GRAN #  | 4.54 ± 1.43     | 3.93 ± 1.47    | .092  | 3.80 ± .75     | 4.11 ± 1.13    | .357  |
| LYMPH % | 32.77 ± 8.96    | 35.27 ± 7.77   | .047* | 33.90 ± 6.33   | 30.97 ± 7.86   | .293  |
| MID %   | 5.74 ± 1.52     | 6.19 ± 1.28    | .045* | 5.99 ± 1.37    | 5.91 ± 1.32    | .830  |
| GRAN %  | 61.47 ± 9.68    | 58.59 ± 8.15   | .042* | 61.09 ± 6.22   | 62.76 ± 8.55   | .585  |
| HGB     | 14.67 ± 2.32    | 14.10 ± 2.41   | .065  | 14.57 ± 1.81   | 14.56 ± 2.08   | .980  |
| RBC     | 5.43 ± .64      | 5.19 ± .61     | .144  | 5.28 ± .46     | 5.09 ± .45     | .071  |
| HCT     | 46.64 ± 6.79    | 44.68 ± 7.02   | .137  | 45.44 ± 4.71   | 44.79 ± 6.68   | .359  |
| MCV     | 86.50 ± 12.03   | 86.53 ± 11.43  | .905  | 87.20 ± 5      | 87.66 ± 5.44   | .421  |
| MCH     | 27.42 ± 4.28    | 27.21 ± 4.01   | .332  | 27.73 ± 2.12   | 28.16 ± 2.19   | .285  |
| MCHC    | 31.73 ± 1.38    | 31.25 ± .97    | .139  | 31.76 ± 1.20   | 31.83 ± .94    | .819  |
| RDW_CV  | 14.07 ± 2.27    | 14.04 ± 2.41   | .798  | 13.30 ± .93    | 13.30 ± 1.27   | 1.000 |
| RDW_SD  | 41.27 ± 3.06    | 40.90 ± 2.49   | .456  | 40.69 ± 2.15   | 40.48 ± 1.69   | .542  |
| PLT     | 275.92 ± 108.47 | 238.61 ± 45.20 | .309  | 196.15 ± 39.50 | 193.61 ± 42.21 | .771  |
| MPV     | 9.43 ± .79      | 9.45 ± .84     | .901  | 9.96 ± .68     | 10.13 ± .69    | .244  |
| PDW     | 14.64 ± .30     | 14.63 ± .32    | .855  | 14.78 ± .18    | 14.87 ± .21    | .011* |

|     |          |           |      |            |            |      |
|-----|----------|-----------|------|------------|------------|------|
| PCT | .25 ±.10 | .22 ± .04 | .251 | .196 ± .04 | .195 ± .04 | .874 |
|-----|----------|-----------|------|------------|------------|------|

---

**Nota.** Los valores corresponden a la Media ± Desviación Estándar para cada variable, en condiciones Pre (*antes*) y Post la intervención (*después*) en GC y grupo experimental

En la Tabla 9 se comparan los resultados del análisis de imagen del ensayo cometa de los participantes, mostrando los valores obtenidos tanto antes (pre) como después (post) de la intervención en ambos grupos, en dicha tabla se visualiza una disminución del daño en el ADN en el GE  $57.80 \pm 9.77$  a  $48 \pm 12.69$  ( $p=.001$ ), mientras que en el GC no se muestran cambios significativos.

**Tabla 9**

*Diferencias de disminución del daño en el DNA*

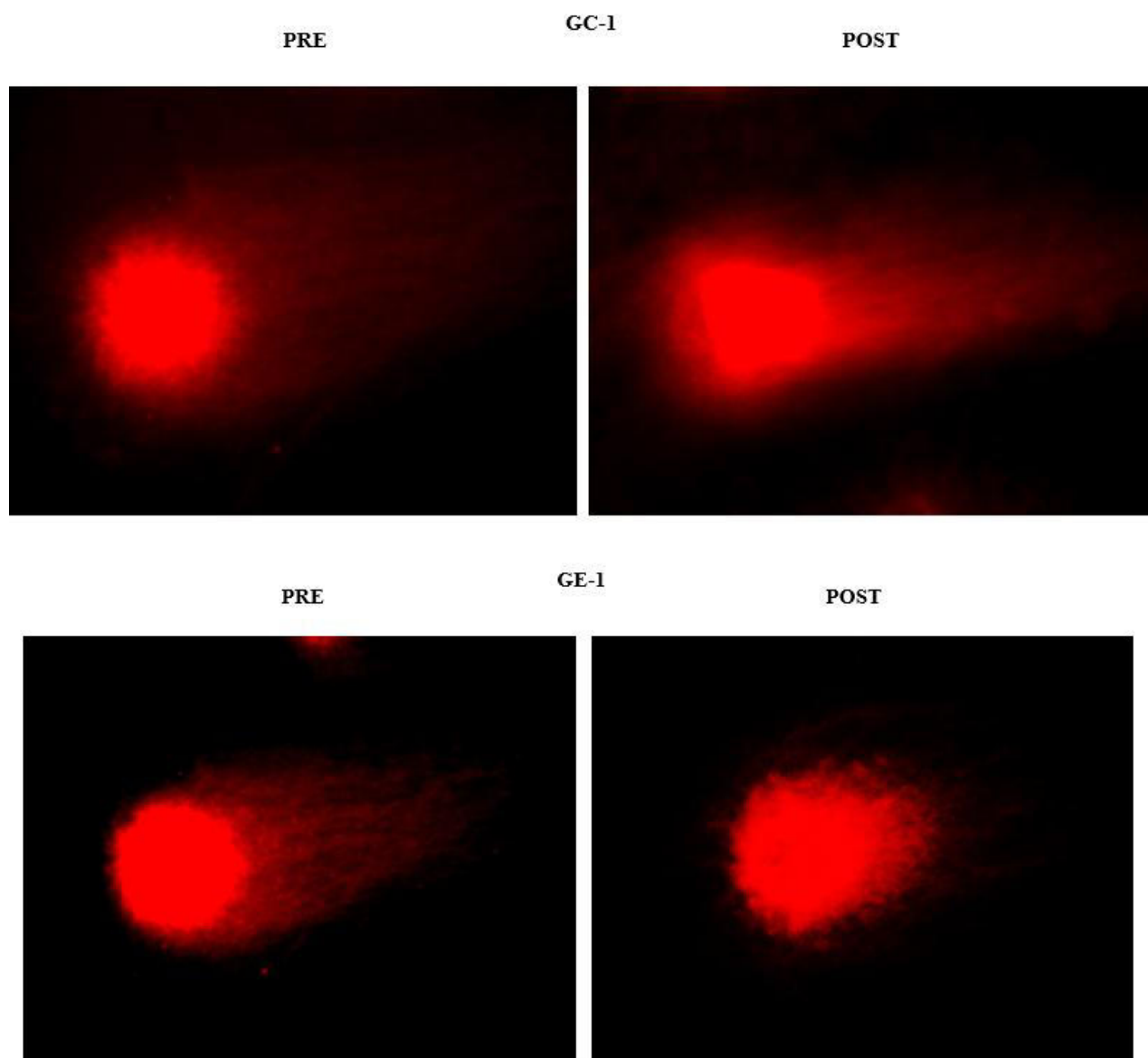
| Variable | GC          |            |      | GE           |            |       |
|----------|-------------|------------|------|--------------|------------|-------|
|          | Pre         | Post       | $p=$ | Pre          | Post       | $p=$  |
| DNA      | 82.01±11.53 | 82.33±7.75 | .838 | 57.80 ± 9.77 | 48 ± 12.69 | .001* |

*Nota.* Los datos se presentan como media  $\pm$  desviación estándar, los valores  $p$  indican la significancia estadística de las diferencias entre las mediciones Pre y Post dentro de cada grupo. \* significa  $p < 0.05$ .

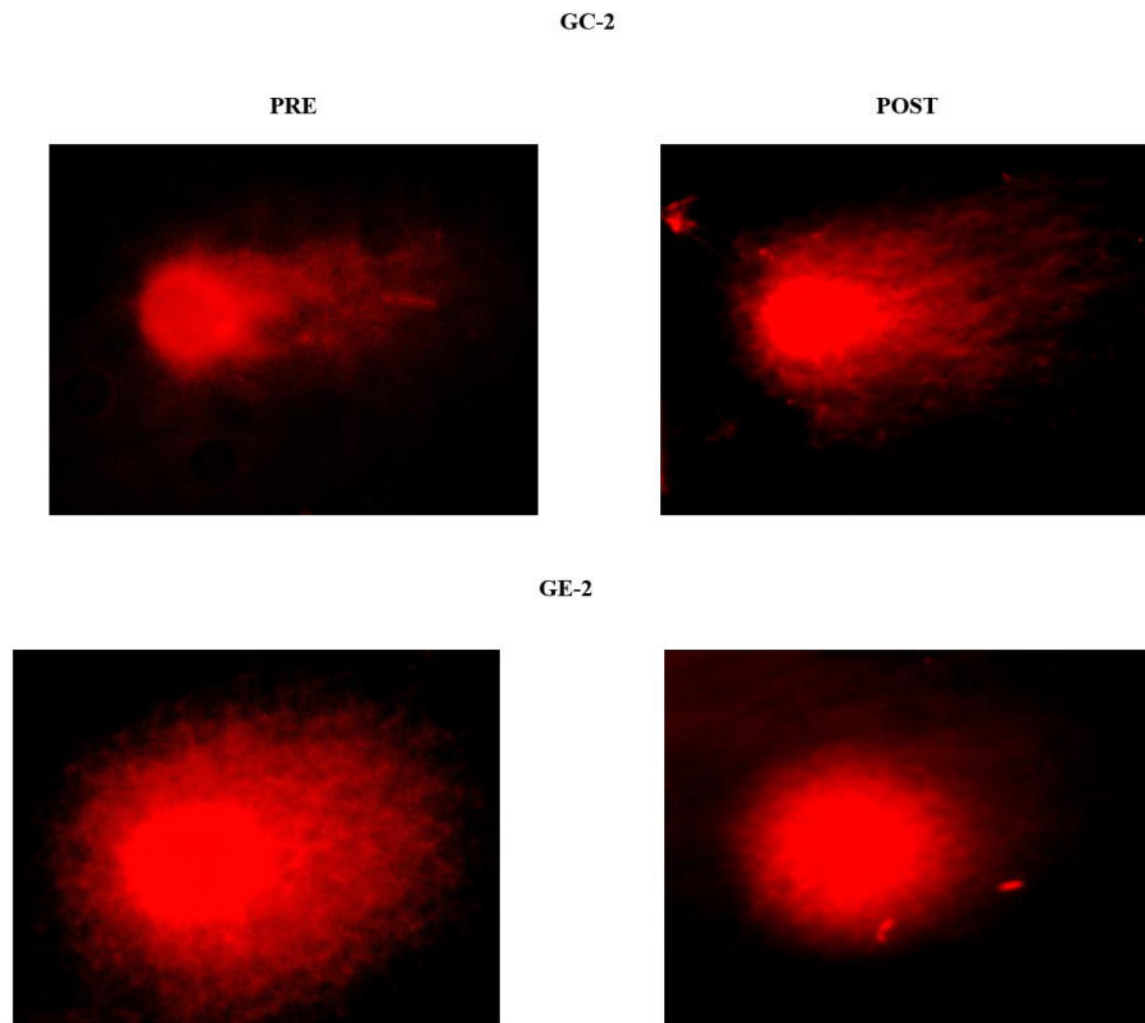
En las siguientes figuras se presentarán las fotografías de los cometas en su toma basal (Pre) y al final de la intervención (Post) tanto de GC como GE.

### Figura 18

*Cometas correspondientes al participante 1 de GC y GE*



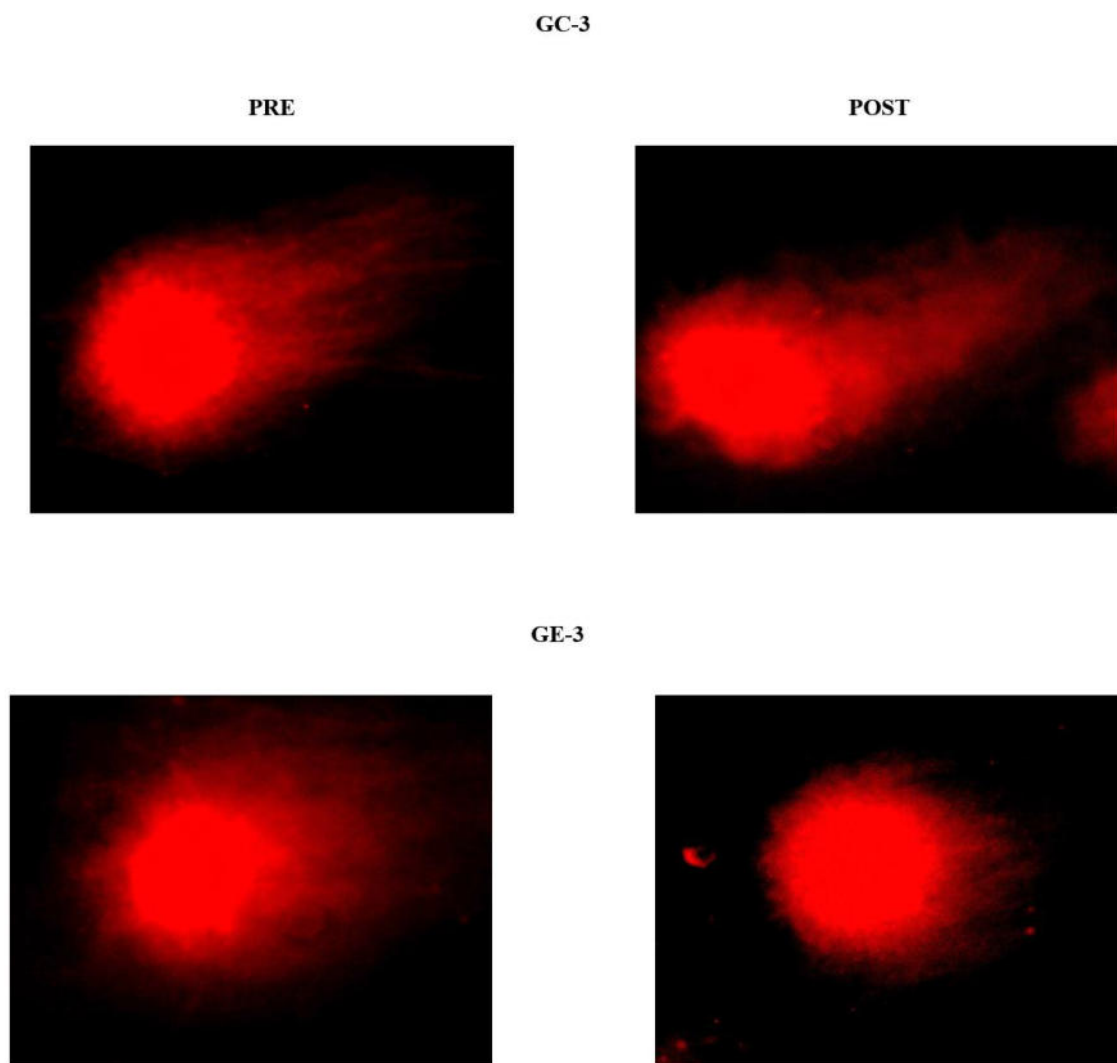
*Nota.* GC-1 (Grupo control, participante 1), GE-1 (Grupo experimental participante 1)



*Nota.* GC-2 (Grupo control, participante 2), GE-2 (Grupo experimental, participante 2)

**Figura 20**

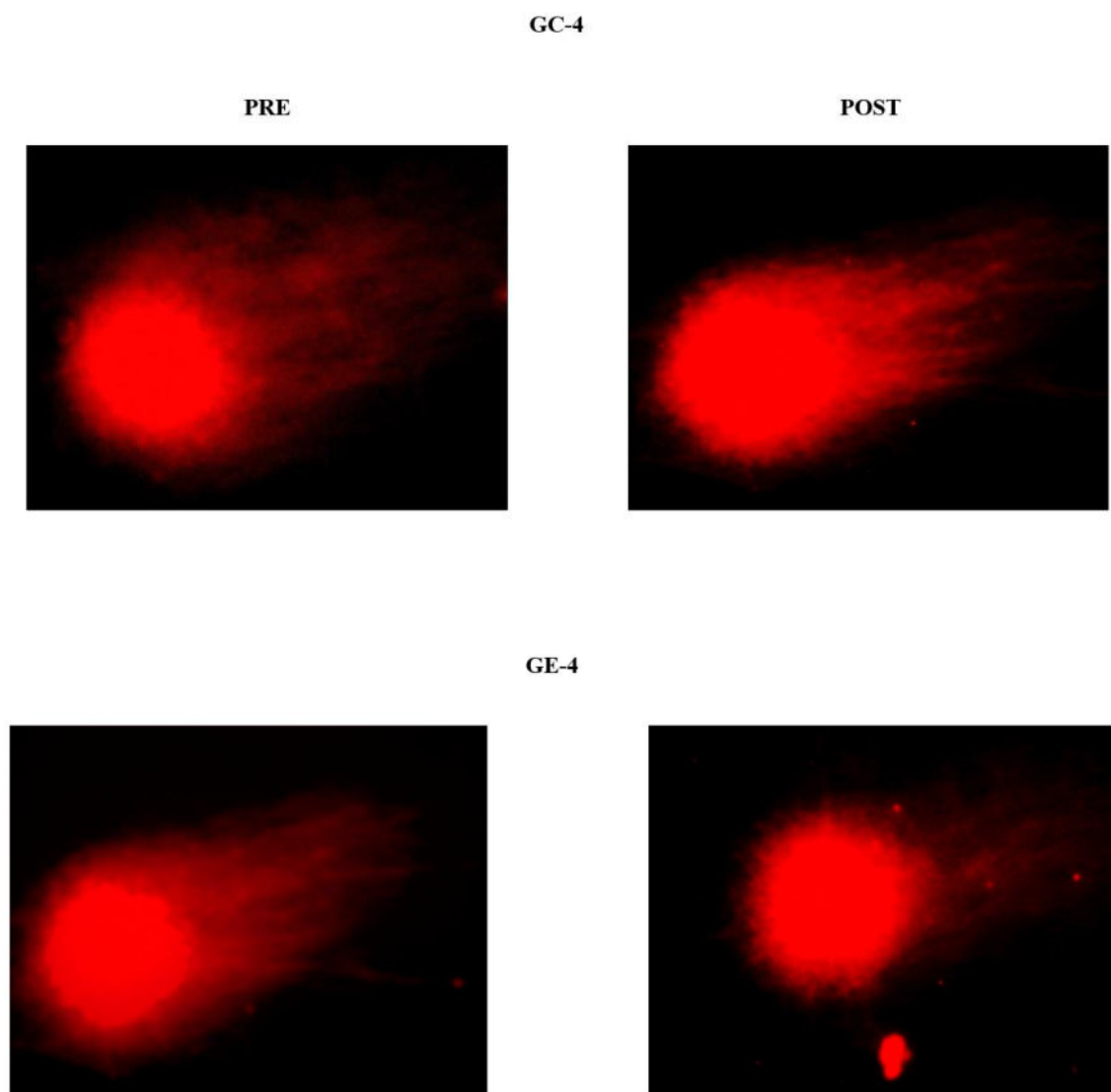
*Cometas correspondientes al participante 3 GC Y GE*



*Nota.* GC-3 (Grupo control, participante 3), GE-3 (Grupo experimental, participante 3)

**Figura 21**

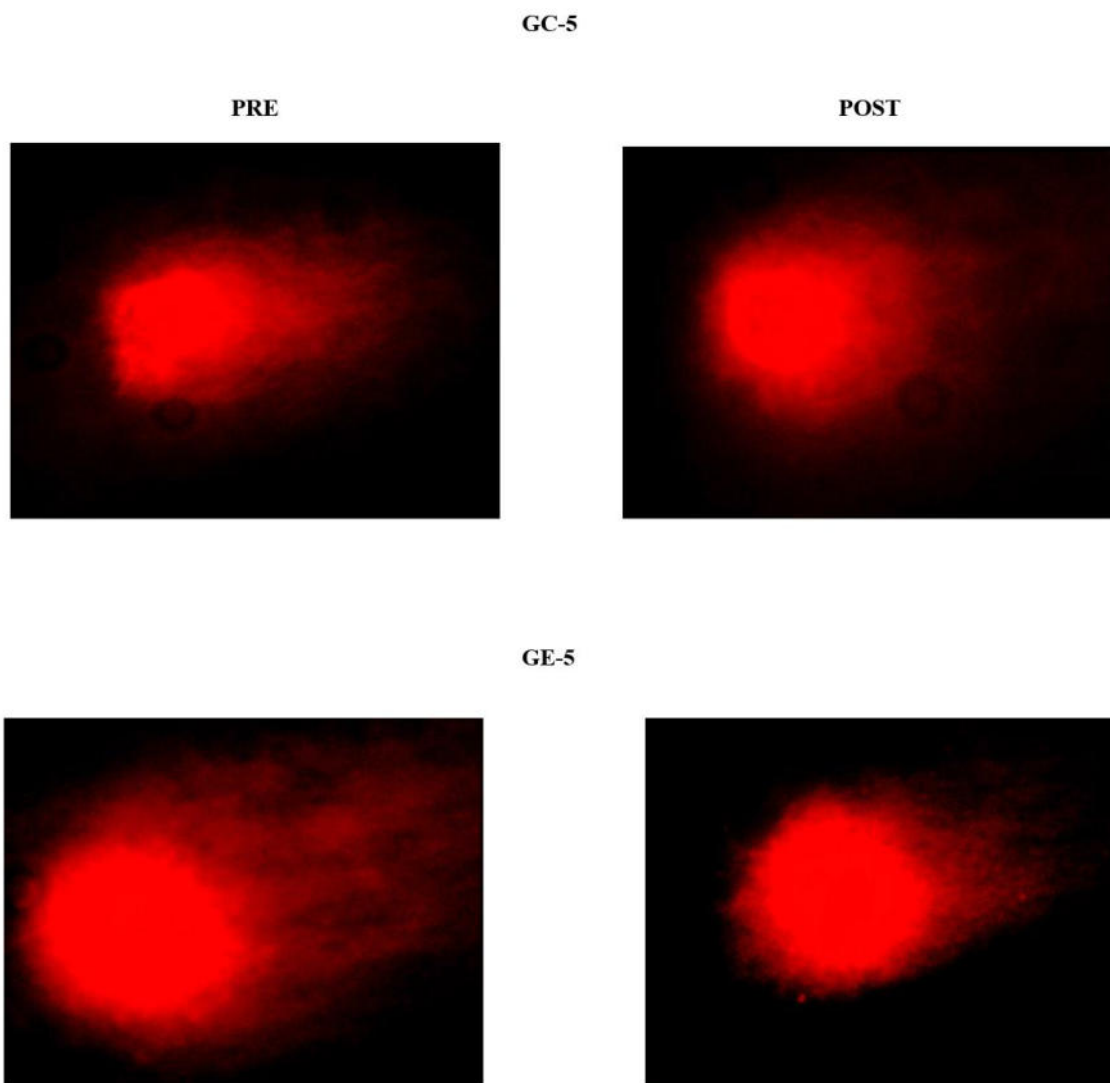
*Cometas correspondientes al participante 4 GC Y GE*



*Nota.* GC-4 (Grupo control, participante 4), GE-4 (Grupo experimental, participante 4)

**Figura 22**

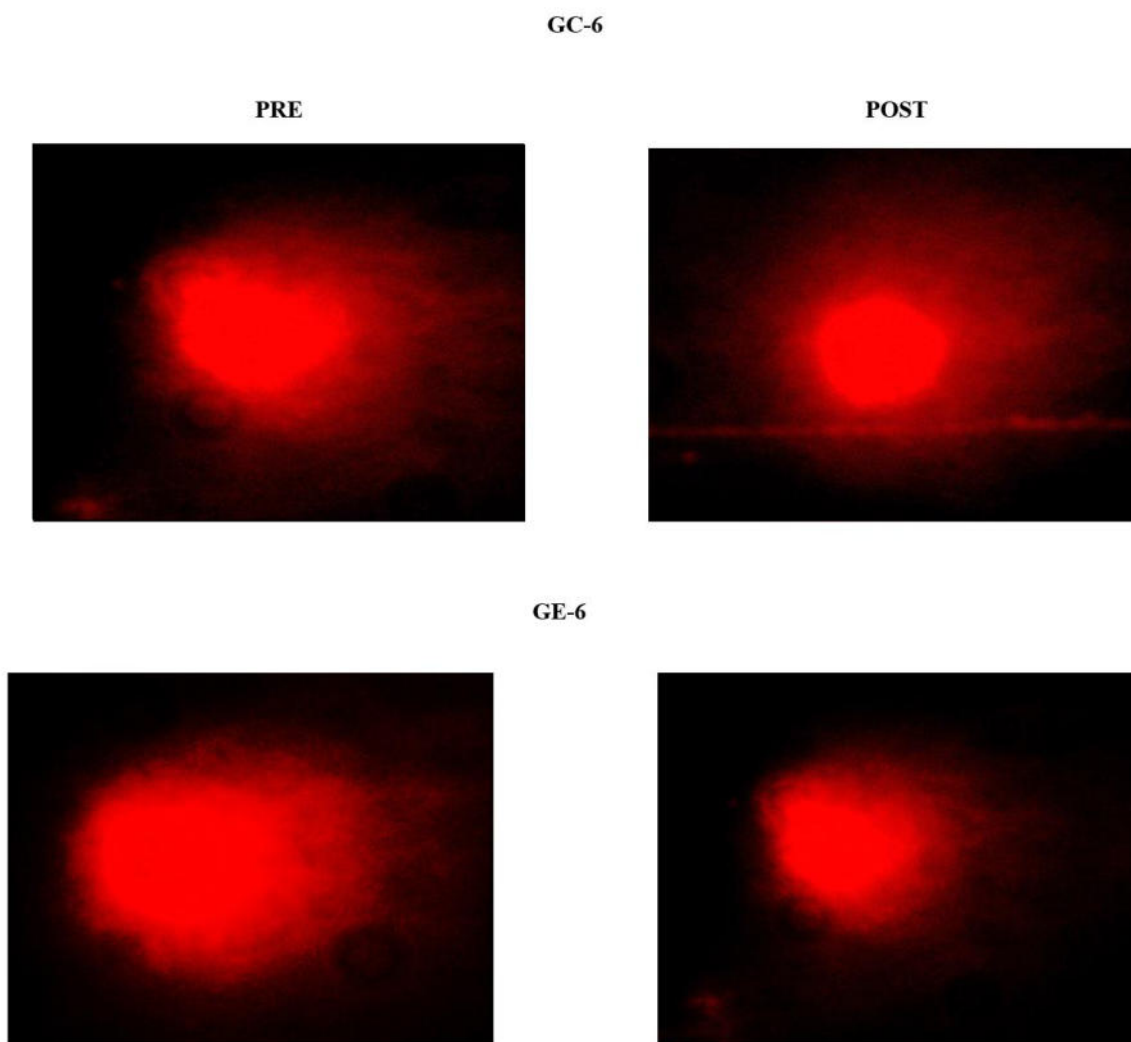
*Cometas correspondientes al participante 5 GC Y GE*



*Nota.* GC-5 (Grupo control, participante 5), GE-5 (Grupo experimental, participante 5)

**Figura 23**

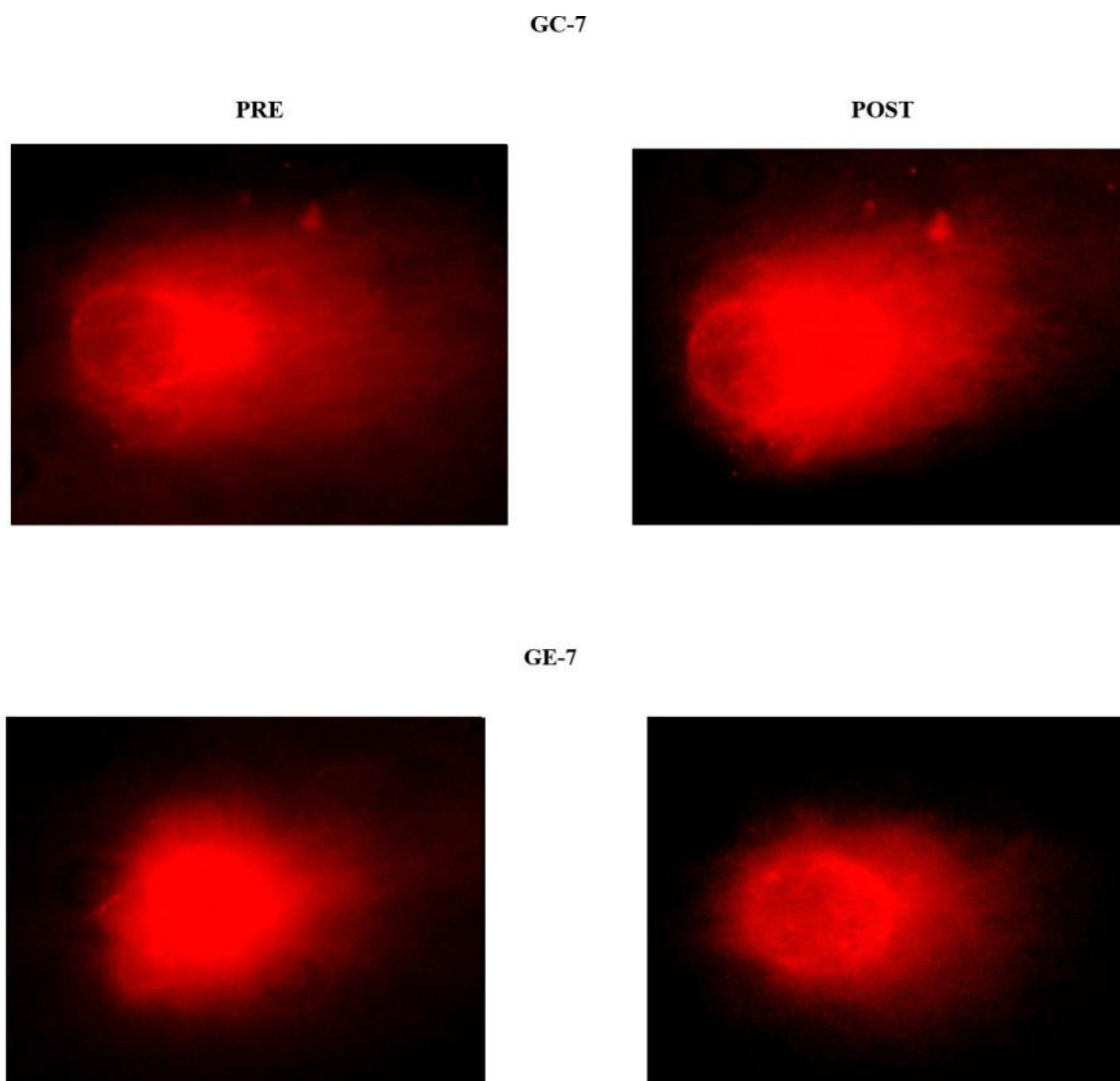
*Cometas correspondientes al participante 6 GC Y GE*



*Nota.* GC-6 (Grupo control, participante 6), GE-6 (Grupo experimental, participante 6)

**Figura 24**

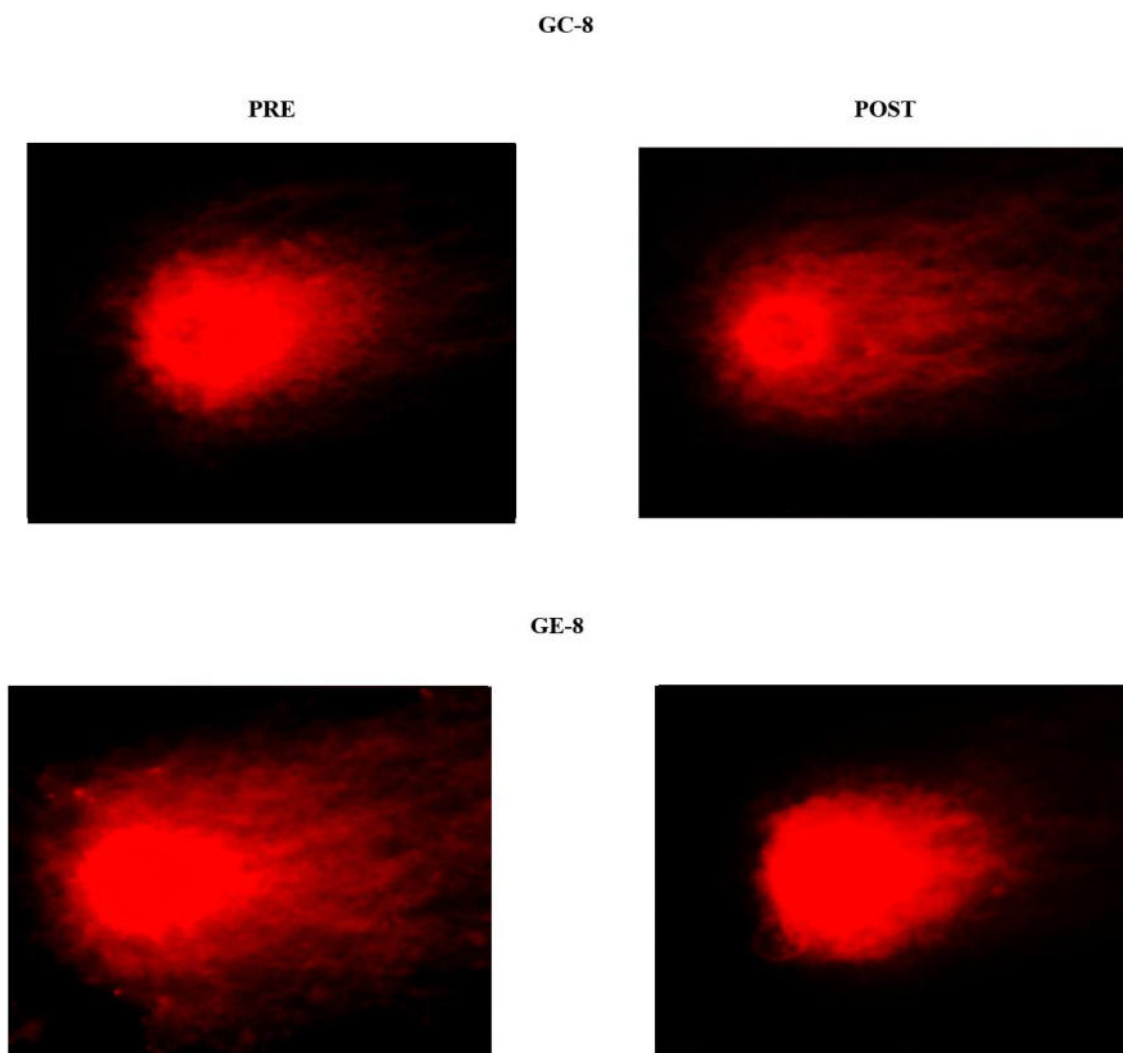
*Cometas correspondientes al participante 7 GC Y GE*



*Nota.* GC-7 (Grupo control, participante 7), GE-7 (Grupo experimental, participante 7)

**Figura 25**

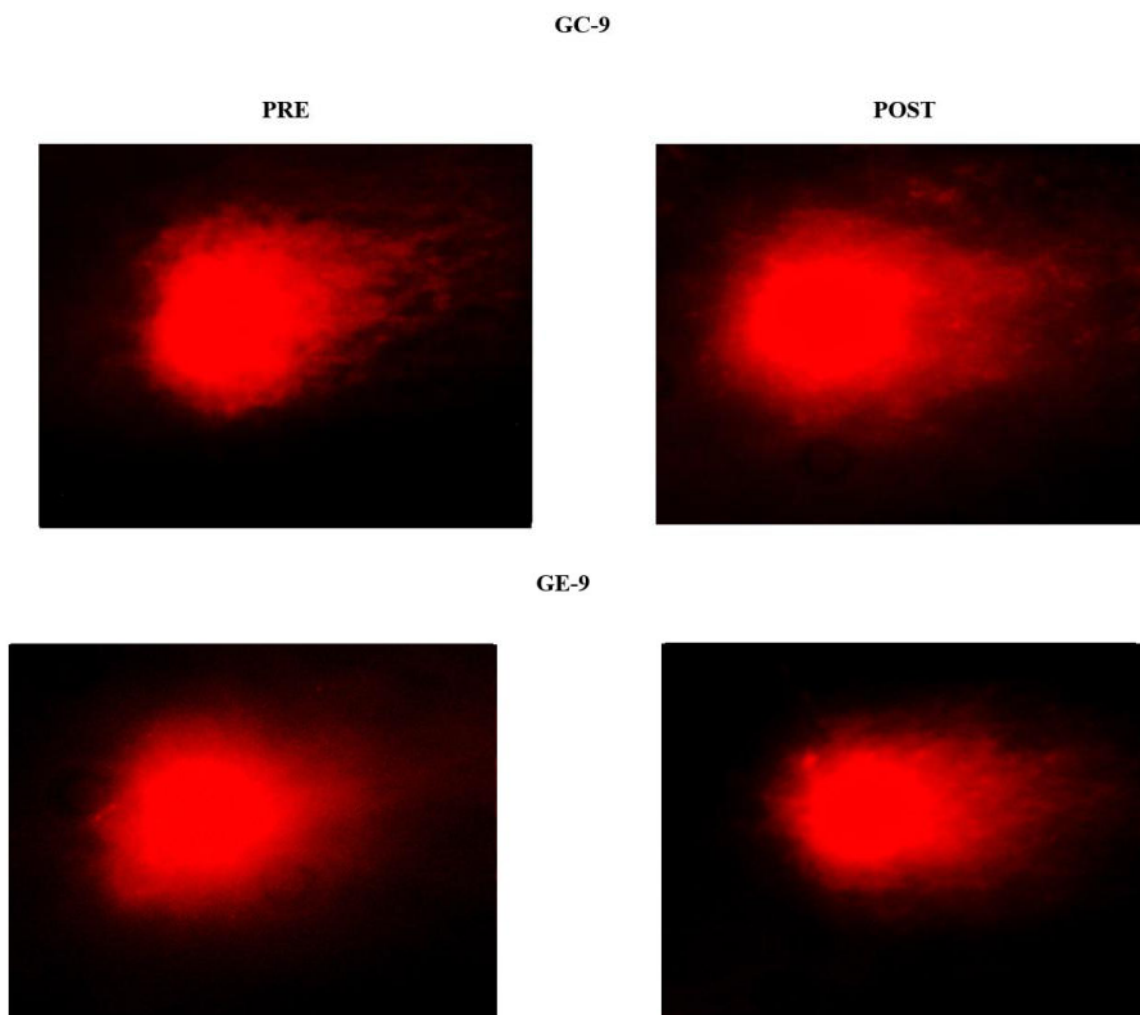
*Cometas correspondientes al participante 8 GC Y GE*



*Nota.* GC-8 (Grupo control, participante 8), GE-8 (Grupo experimental, participante 8)

**Figura 26**

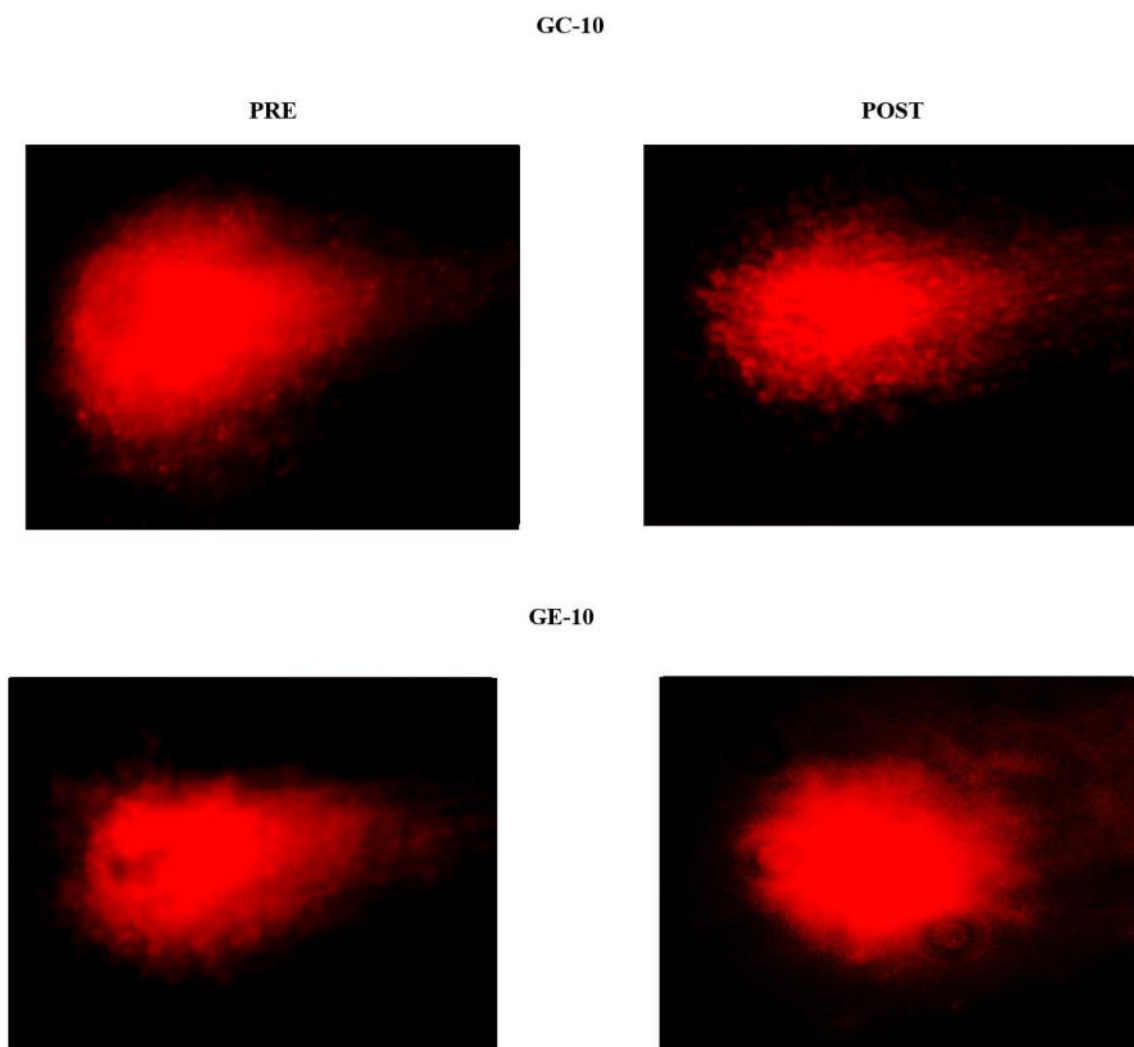
*Cometas correspondientes al participante 9 GC Y GE*



*Nota.* GC-9 (Grupo control, participante 9), GE-9 (Grupo experimental, participante 9)

**Figura 27**

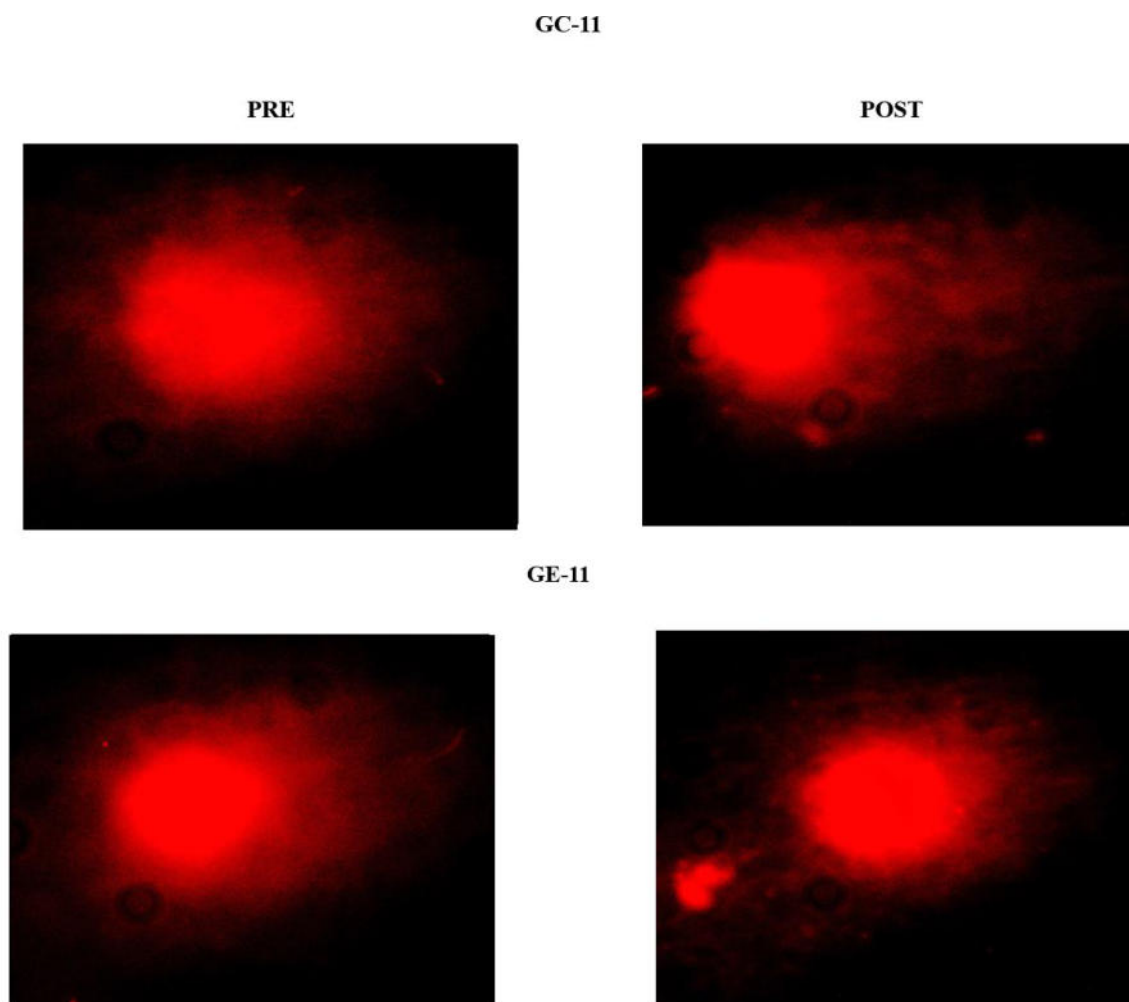
*Cometas correspondientes al participante 10 GC Y GE*



*Nota.* GC-10 (Grupo control, participante 10), GE-10 (Grupo experimental, participante 10)

**Figura 28**

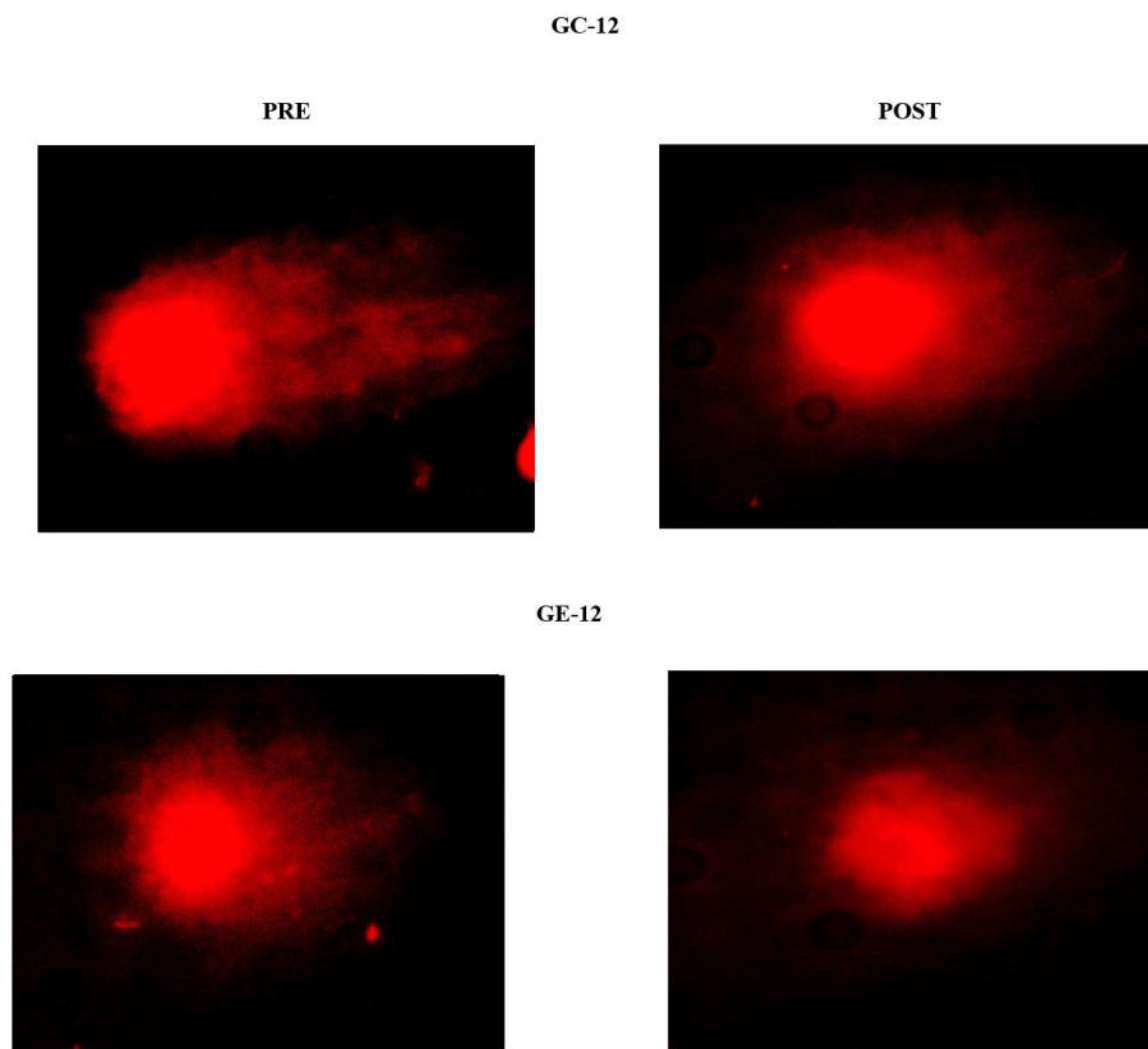
*Cometas correspondientes al participante 11 GC Y GE*



*Nota.* GC-11 (Grupo control, participante 11), GE-11 (Grupo experimental, participante 11)

**Figura 29**

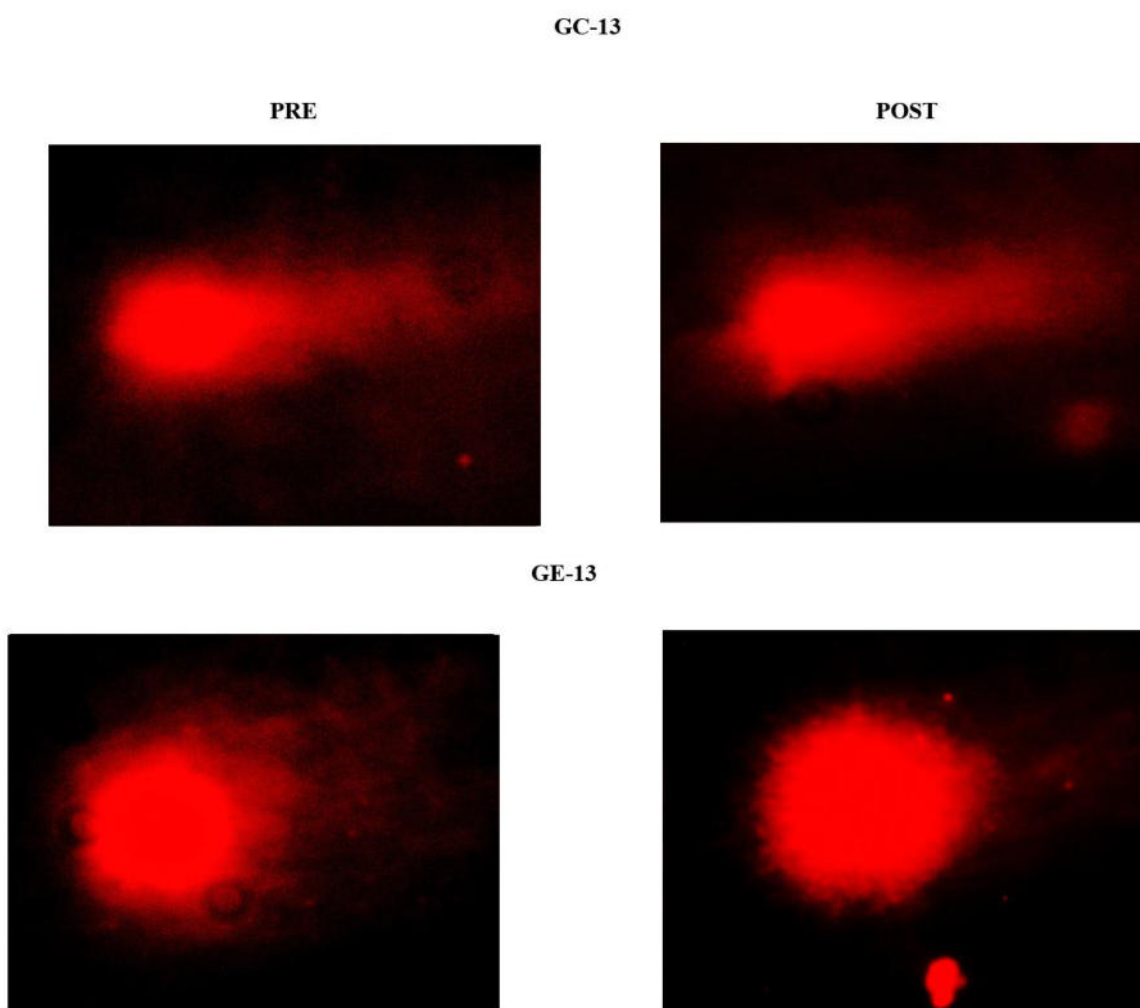
*Cometas correspondientes al participante 12 GC Y GE*



*Nota.* GC-12 (Grupo control, participante 12), GE-12 (Grupo experimental, participante 12)

**Figura 30**

*Cometas correspondientes al participante 13 GC Y GE*



*Nota.* GC-13 (Grupo control, participante 13), GE-13 (Grupo experimental, participante 13)

## Discusión

Este estudio investigó los efectos significativos de un programa de natación en personas con SP y OB, se observó una reducción significativa ( $p = 0.001$ ), lo que sugiere un efecto positivo en la disminución del daño en el ADN, así mismo se observaron cambios notables en variables específicas, como una mejoría en el perímetro onfálico lo cual es relevante en términos de mejora en los perímetros corporales y posible reducción del riesgo cardio metabólico (Ross et al., 2020), sin embargo no se encontraron cambios significativos en el GC. En la biometría hemática, en el GC los valores absolutos (LYMPH #, MID #, GRAN #) no se muestra una diferencia estadística, mientras que la significancia observada en las variaciones de los porcentajes (LYMPH %, MID %, GRAN %), autores explican que estas mediciones son más consistentes y menos susceptibles a errores, pero al no existir un cambio significativo en los valores absolutos, puede inferirse que no hubo modificaciones relevantes en los resultados de la biometría hemática, dado que estos últimos representan el parámetro de mayor utilidad para el diagnóstico clínico (Arneth, 2016).

La OB se caracteriza por una acumulación excesiva de energía en forma de grasa, especialmente visceral, lo que incrementa el riesgo de enfermedades crónicas, aunque sus mecanismos aún no se comprenden completamente, el estrés oxidativo se reconoce como un factor clave, este se origina por un exceso de glucosa y lípidos, que eleva la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS). Si bien las ROS cumplen funciones en la señalización celular, su acumulación descontrolada puede dañar proteínas, lípidos y ADN, afectando la integridad

genómica y contribuyendo a la disfunción celular y al desarrollo de múltiples patologías (McMurray et al., 2016). Asimismo, la generación de radicales libres como resultado del ejercicio físico moderado y sostenido se reconoce como uno de los estímulos fisiológicos más eficaces para promover la expresión de enzimas con actividad antioxidante. (Powers et al., 2020).

Estos hallazgos sugieren que la actividad de ejercicio acuático específicamente un programa de natación incorporado a la rutina diaria puede ofrecer beneficios tanto moleculares como antropométricos. Es importante destacar que los participantes no recibieron control ni asesoramiento nutricional durante el estudio, esto fue intencional, ya que la investigación se centró en el impacto del ejercicio acuático mientras los participantes mantenían sus rutinas diarias habituales.

Hallazgos recientes destacan el papel de la natación para la regulación de las ROS (Wu et al., 2025). Así mismo se ha reportado evidencia en el que resaltan los beneficios de una práctica deportiva constante y a intensidad moderada, teniendo como resultado reducir el nivel de daño genómico medido en términos de frecuencias de micronúcleos (Santovito et al., 2023).

Los resultados obtenidos permiten discutir la posible influencia de programas de intervención física enfocadas en el área acuática para la mejora del estado de salud en personas con SP u OB, en contraste con los resultados obtenidos por Nascimento et al, (2021) en el cual tuvieron como objetivo el determinar los efectos de 16 semanas de ejercicio físico terrestre combinado en biomarcadores de estrés oxidativo y daño al ADN en mujeres obesas, sugieren que 16 semanas de entrenamiento combinado 3 veces por semana son eficaces para reducir la grasa corporal, pero también a su vez aumentan el estrés oxidativo y el daño al ADN en

mujeres obesas, pudiera ser que el ambiente de trabajo físico terrestre y acuático se contraste notablemente teniendo diferentes beneficios entre los dos sexos.

Sin embargo, los resultados de esta investigación concuerdan con los de Soares et al, (2015) el cual tuvo como objetivo el identificar los efectos de 16 semanas de ejercicio físico combinado en el daño del ADN y la capacidad de reparación de los linfocitos, teniendo como conclusión que el entrenamiento físico induce efectos protectores contra el daño del ADN en los linfocitos, posiblemente relacionados con el aumento de la capacidad antioxidante, esto fortalece los hallazgos de la investigación con respecto a la reducción del daño al ADN a nivel molecular, sugiriendo que el ejercicio, incluso en el contexto de la natación, puede inducir efectos protectores similares a los observados con el entrenamiento combinado. La mejora en la capacidad antioxidante mencionada por el autor, esto contrasta con los hallazgos de Nascimento et al, (2021) donde la OB femenina podría haber limitado esa adaptación, posiblemente por una mayor carga oxidativa basal o una menor capacidad de reparación.

Una diferencia notable son los cambios antropométricos, mientras que los estudios de Soares et al, 2015 y Nascimento et al, (2021) encontraron una reducción significativa en la circunferencia abdominal y grasa corporal los resultados de esta investigación indican que solo el perímetro onfálico mostró cambios significativos en el grupo de SP y OB, esta diferencia podría atribuirse a la naturaleza de la intervención o las diferencias en la modalidad de ejercicio (medio acuático vs. terrestre), las semanas de intervención, (8 semanas de intervención vs 16 semanas) o incluso factores genéticos, de sexo y estado inflamatorio basal.

El hallazgo de una reducción del daño al ADN en ausencia de control dietético sugiere que el ejercicio acuático podría inducir adaptaciones positivas independientes de la intervención nutricional, esto resalta los beneficios del ejercicio en agua como estrategia de prevención molecular en relación con enfermedades crónicas, particularmente en individuos con SP u OB, quienes suelen presentar un estado prooxidante crónico.

### **Limitaciones**

El presente proyecto de investigación enfrentó diversas limitaciones que influyeron directamente en su desarrollo, en primer lugar, la sequía que afectó al estado durante el periodo de intervención redujo considerablemente la disponibilidad de las instalaciones acuáticas, limitando tanto el tiempo como la frecuencia de uso de las albercas, esta situación impidió ampliar el tamaño de la muestra y restringió la posibilidad de incorporar a un mayor número de participantes, adicionalmente, las limitaciones en los horarios asignados, la cantidad de carriles disponibles y los días permitidos para las sesiones de entrenamiento dificultaron aún más la logística de la intervención.

Por estos mismos motivos, se optó por una intervención de ocho semanas, buscando asegurar una adherencia de los participantes, cabe destacar que, en poblaciones con SP u OB y sin experiencia previa en programas estructurados de ejercicio, los protocolos más prolongados suelen presentar mayores tasas de deserción, asimismo, dado que se trata de un estudio pionero que explora los efectos del ejercicio acuático sobre el daño al ADN en esta población específica, se consideró pertinente implementar una intervención de corta duración como fase exploratoria, esta decisión tuvo como objetivo generar una base de evidencia

preliminar que pueda ser ampliada y fortalecida en futuras investigaciones con intervenciones de mayor duración y complejidad metodológica.

Además de estas limitaciones logísticas, se identificaron restricciones metodológicas relevantes, entre ellas, la ausencia de control nutricional durante el estudio, lo cual pudo haber influido en los resultados relacionados con las variables antropométricas y metabólicas, también se observó una posible variedad en el nivel de esfuerzo físico individual durante las sesiones, lo que podría haber generado variabilidad en las respuestas fisiológicas obtenidas, finalmente, no se incluyeron marcadores bioquímicos complementarios, como la capacidad antioxidante total o los niveles séricos de inflamación, que habrían permitido una interpretación más completa e integrada de los mecanismos moleculares involucrados en la respuesta al ejercicio acuático.

### **Futuras líneas de investigación**

Futuros estudios deberían profundizar en la interacción entre el ejercicio acuático, el perfil antioxidante y el estado inflamatorio basal, incorporando marcadores moleculares más específicos, tales como análisis de expresión génica relacionada con la reparación del ADN, las vías antioxidantes endógenas y el estrés oxidativo, agregando estas variables se podría entender de forma más precisa los mecanismos celulares y sistémicos a través de los cuales el ejercicio en medio acuático ejerce sus efectos protectores.

Además, sería bueno considerar el control alimenticio como una variable adicional en el diseño experimental, la evaluación del aporte calórico, la calidad nutricional y el consumo de micronutrientes con propiedades antioxidantes podría brindar un

panorama más completo sobre la influencia combinada de dieta y ejercicio en la respuesta molecular, especialmente en poblaciones con SP u OB.

Otra consideración relevante es la duración y frecuencia de las sesiones, protocolos que incluyan sesiones más prolongadas y distribuidas en un mayor número de días por semana podrían incrementar los efectos fisiológicos y metabólicos observados, permitiendo evaluar si existe una relación entre el tiempo de exposición al ejercicio acuático y los cambios en biomarcadores de daño o reparación celular.

También se sugiere diversificar las actividades acuáticas evaluadas, modalidades como el aquaerobics, aquarunning o circuitos funcionales en el agua ofrecen estímulos variados en intensidad, coordinación y resistencia, y podrían ser comparadas con la natación en términos de eficacia para obtener adaptaciones beneficiosas, estas alternativas podrían facilitar una mayor adherencia en poblaciones menos familiarizadas con la natación y permitir enfoques más inclusivos y accesibles en programas comunitarios de salud.

Finalmente, estudios comparativos entre intervenciones acuáticas y terrestres, con una dosificación controlada del ejercicio (intensidad, duración y volumen), serían fundamentales para explicar las diferencias fisiológicas entre ambos medios, este enfoque permitiría no solo identificar la modalidad más efectiva en función de los objetivos clínicos o de salud pública, sino también establecer recomendaciones basadas en evidencia para intervenciones personalizadas y contextuales.

## **Conclusión**

Esta investigación sugiere que un programa de natación de 8 semanas en días no consecutivos a una intensidad moderada en personas con SP y OB puede generar beneficios significativos en la reducción del daño al ADN, estos resultados sugieren que el ejercicio en medio acuático, aun sin control alimenticio, puede provocar adaptaciones positivas en la salud celular y metabólica.

Pese a las limitaciones metodológicas, como la ausencia de control nutricional y el acceso limitado a biomarcadores complementarios, los hallazgos respaldan el potencial del ejercicio acuático como estrategia segura y eficaz. Se recomienda que futuras investigaciones consideren intervenciones más prolongadas, modalidades variadas como el aquaerobics, o experimentos cruzados (terrestre y acuático) así como el análisis de marcadores bioquímicos completos y genéticos para comprender mejor los mecanismos involucrados y optimizar su aplicación en contextos clínicos y preventivos.

## Referencias

- Albarracín Pérez, A., & Moreno-Murcia, J. A. (2018). NATACIÓN EN LA ESCUELA HACIA UNA ALFABETIZACIÓN ACUÁTICA. *Revista de Investigación En Actividades Acuáticas (RIAA)*, 2(3), 54–67. <https://doi.org/10.21134/riaa>
- American College of Sports Medicine. (2018). *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription* (10.<sup>a</sup> ed.). Wolters Kluwer
- Andrade Zumárraga, R., & Potosí, V. (2016). *ESTUDIO DE LA POSTURA Y SU RELACIÓN CON LA OBESIDAD Y SOBREPESO EN NIÑOS/AS ENTRE 6 A 12 AÑOS DE LA ESCUELA SANTA LUISA DE MARILLAC*.
- Arhesa, S., Sofyan, D., & Ramadhan, M. F. (2020). Identifikasi Faktor-Faktor Penghambat Belajar Renang. *Jurnal Respects*, 2(2)
- Arneth, B. (2016). Complete Blood Count: Absolute or Relative Values? *Journal of Hematology*, 5(2), 49–53. <https://doi.org/10.14740/jh265w>
- Avgerinos, K. I., Spyrou, N., Mantzoros, C. S., & Dalamaga, M. (2019). Obesity and cancer risk: Emerging biological mechanisms and perspectives. *Metabolism: Clinical and Experimental*, 92, 121–135. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2018.11.001>
- Barbosa TM (2007). As faltas técnicas, dos alunos, mais usuais nas classes de natação. Observação, identificação e intervenção do professor. *Horizonte*. XXI (126): 7-15
- Barker, A. L., Talevski, J., Morello, R. T., Brand, C. A., Rahmann, A. E., & Urquhart, D. M. (2014). Effectiveness of aquatic exercise for musculoskeletal conditions: A meta-analysis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 95(9), 1776–1786. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2014.04.005>
- Barquera, S., Hernández-Barrera, L., Oviedo-Solís, C., Rodríguez-Ramírez, S., Monterrubio-Flores, E., Trejo-Valdivia, B., Martínez-Tapia, B., Aguilar-Salinas, C., Galván-Valencia, O., Chávez-Manzanera, E., Rivera-Dommarco, J., & Campos-Nonato, I. (2024). Obesity in adults. *Salud Publica de Mexico*, 66(4), 414–424. <https://doi.org/10.21149/15863>
- Barrera-Cruz, A., Rodríguez-González, A., & Molina-Ayala, M. A. (2013). Escenario actual de la obesidad en México. *Revista Médica Del Instituto Mexicano Del Seguro Social*, 51(3), 292–299.
- Becker, B. E. (2009). Aquatic Therapy: Scientific Foundations and Clinical Rehabilitation Applications. *PM and R*, 1(9), 859–872. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2009.05.017>

- Bouchard, C. (2021). Genetics of Obesity: What We Have Learned Over Decades of Research. In *Obesity* (Vol. 29, Issue 5, pp. 802–820). Blackwell Publishing Inc. <https://doi.org/10.1002/oby.23116>
- Bravo Iñaguazo, A. E., & Ortiz Marquez, D. L. (2016). *Análisis de fragilidad cromosómica espontánea e inducida en el personal de laboratorios de docencia e investigación expuestos a mutágenos químicos en la ciudad de Quito*. Universidad Politecnica Salesiana Sede Quito.
- Bray, G. A., Kim, K. K., & Wilding, J. P. H. (2017). Obesity: a chronic relapsing progressive disease process. A position statement of the World Obesity Federation. *Obesity Reviews*, 18(7), 715–723. <https://doi.org/10.1111/obr.12551>
- Cadenas, J. M. G. (2014). La enseñanza de los estilos de natación: crol, espalda, mariposa y braza: Manual para monitores, profesores y practicantes. Wanceulen SL.
- Cadmus, L., Patrick, M. B., Maclejewski, M. L., Topolski, T., Belza, B., & Patrick, D. L. (2010). Community-based aquatic exercise and quality of life in persons with osteoarthritis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(1), 8–15. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181ae96a9>
- Campos-Nonato, I., Galván-Valencia, O., Hernández-Barrera, L., Oviedo-Solís, C., & Barquera, S. (2023). Prevalence of obesity and associated risk factors in Mexican adults: results of the Ensanut 2022. *Salud Publica de Mexico*, 65. <https://doi.org/10.21149/14809>
- Cano-Montoya, J., Ramírez-Campillo, R., Sade Calles, F., Izquierdo, M., Fritz Silva, N., Arteaga San Martín, R., Martín, S., & Álvarez, C. (2018). Ejercicio físico en pacientes con diabetes e hipertensión: prevalencia de respondedores y no respondedores para mejorar factores de riesgo cardiometabólicos. *Rev Med Chile*, 146, 693–701.
- Cardona, Y. T., & Marin Morales, M. A. (2014). Principales Mecanismos de Reparación de Daños en la Molécula de ADN. *Revista Biosalud*, 13(2), 95–110.
- Carmienke, S., Freitag, M. H., Pischon, T., Schlattmann, P., Fankhaenel, T., Goebel, H., & Gensichen, J. (2013). General and abdominal obesity parameters and their combination in relation to mortality: A systematic review and meta-regression analysis. In *European Journal of Clinical Nutrition* (Vol. 67, Issue 6, pp. 573–585). <https://doi.org/10.1038/ejcn.2013.61>
- Cash, S. W., Beresford, S. A. A., Vaughan, T. L., Heagerty, P. J., Bernstein, L., White, E., & Neuhouser, M. L. (2014). Recent physical activity in relation to

- DNA damage and repair using the comet assay. *Journal of Physical Activity and Health*, 11(4), 770–776. <https://doi.org/10.1123/jpah.2012-0278>
- Chatterjee, N., & Walker, G. C. (2017). Mechanisms of DNA damage, repair, and mutagenesis. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 58(5), 235–263. <https://doi.org/10.1002/em.22087>
- Cortés-Gutiérrez, E. I., Hernández-Garza, F., García-Pérez, J. O., Dávila-Rodríguez, M. I., Aguado-Barrera, M. E., & Cerda-Flores, R. M. (2012). Evaluation of DNA single and double strand breaks in women with cervical neoplasia based on alkaline and neutral comet assay techniques. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/385245>
- Dalamaga, M., Christodoulatos, G. S., & Mantzoros, C. S. (2018). The role of extracellular and intracellular Nicotinamide phosphoribosyl-transferase in cancer: Diagnostic and therapeutic perspectives and challenges. *Metabolism: Clinical and Experimental*, 82, 72–87. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2018.01.001>
- Day, D. (2014). London swimming professors: Victorian craftsmen and aquatic entrepreneurs. In *Coaching Cultures* (pp. 32-54). Routledge.
- De Souto Araujo, Z. T., De Miranda Silva Nogueira, P. A., Alves Cabral, E. E., De Paula Dos Santos, L., Da Silva, I. S., & Holanda Ferreira, G. M. (2012). Effectiveness of low-intensity aquatic exercise on COPD: A randomized clinical trial. *Respiratory Medicine*, 106(11), 1535–1543. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2012.06.022>
- Discua, G. B. (2012). Efecto del ejercicio físico exhaustivo y moderado sobre el daño oxidativo y capacidad de reparación del adn en jóvenes vs. adultos mayores sanos.
- Emmerich, S. D., Fryar, C. D., Stierman, B., & Ogden, C. L. (2024). *Obesity and Severe Obesity Prevalence in Adults: United States, August 2021-August 2023 Key findings Data from the National Health and Nutrition Examination Survey*. <https://www.cdc.gov/nchs/products/index.htm>.
- Feng, W., & Chakraborty, A. (2017). Fragility Extraordinaire: Unsolved Mysteries of Chromosome Fragile Sites. In *Advances in Experimental Medicine and Biology* (Vol. 1042). <http://www.springer.com/series/5584>
- Foley, R. (2017). Swimming as an accretive practice in healthy blue space. *Emotion, Space and Society*, 22, 43–51. <https://doi.org/10.1016/j.emospa.2016.12.001>
- Frayling, T. M., Timpson, N. J., Weedon, M. N., Zeggini, E., Freathy, R. M., Lindgren, C. M., Perry, J. R. B., Elliott, K. S., Lango, H., Rayner, N. W., Shields, B., Harries, L. W., Barrett, J. C., Ellard, S., Groves, C. J., Knight, B.,

- Patch, A. M., Ness, A. R., Ebrahim, S., ... McCarthy, M. I. (2007). A common variant in the FTO gene is associated with body mass index and predisposes to childhood and adult obesity. *Science*, 316(5826), 889–894. <https://doi.org/10.1126/science.1141634>
- Ghezelbash, F., Shirazi-Adl, A., Plamondon, A., Arjmand, N., & Parnianpour, M. (2017). Obesity and Obesity Shape Markedly Influence Spine Biomechanics: A Subject-Specific Risk Assessment Model. *Annals of Biomedical Engineering*, 45(10), 2373–2382. <https://doi.org/10.1007/s10439-017-1868-7>
- Hernández Bautista, R. J., Mahmoud, A. M., Königsberg, M., & López Díaz Guerrero, N. E. (2019). Obesity: Pathophysiology, monosodium glutamate-induced model and anti-obesity medicinal plants. In *Biomedicine and Pharmacotherapy* (Vol. 111, pp. 503–516). Elsevier Masson SAS. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.12.108>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación sexta edición Sampieri* (Sexta edición).
- Jalai, C. M., Diebo, B. G., Cruz, D. L., Poorman, G. W., Vira, S., Buckland, A. J., Lafage, R., Bess, S., Errico, T. J., Lafage, V., & Passias, P. G. (2017). The impact of obesity on compensatory mechanisms in response to progressive sagittal malalignment. *Spine Journal*, 17(5), 681–688. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2016.11.016>
- Lecube, A., Monereo, S., Rubio, M. Á., Martínez-de-Icaya, P., Martí, A., Salvador, J., Masmiquel, L., Goday, A., Bellido, D., Lurbe, E., García-Almeida, J. M., Tinahones, F. J., García-Luna, P. P., Palacio, E., Gargallo, M., Bretón, I., Morales-Conde, S., Caixàs, A., Menéndez, E., ... Casanueva, F. F. (2017). Prevención, diagnóstico y tratamiento de la obesidad. Posicionamiento de la Sociedad Española para el Estudio de la Obesidad de 2016. *Endocrinología, Diabetes y Nutrición*, 64, 15–22. <https://doi.org/10.1016/j.endonu.2016.07.002>
- Loos, R. J., & Yeo, G. S. (2022). The genetics of obesity: from discovery to biology. *Nature Reviews Genetics*, 23(2), 120–133.
- Malo-Serrano, M., Castillo M., N., & Pajita D., D. (2017). La obesidad en el mundo. *Anales de La Facultad de Medicina*, 78(2), 173–178. <https://doi.org/10.15381/anales.v78i2.13213>
- Manual de Referencia para la Enseñanza y Perfeccionamiento técnico en Natación. Disponible en [https://resources.fina.org/fina/document/2021/02/15/f5558807-9b0f-4ffc-a5f2-b073df2d684d/sportsdep\\_sfa\\_sfl\\_manual\\_de\\_referencia\\_esp.pdf](https://resources.fina.org/fina/document/2021/02/15/f5558807-9b0f-4ffc-a5f2-b073df2d684d/sportsdep_sfa_sfl_manual_de_referencia_esp.pdf) Revisado Marzo, 2023.

- Manual Natación Para Todos-Natación Para La Vida. Disponible en: <https://www.worldaquatics.com/corporate-events/swimming-for-all> marzo, 2023.
- Marinho-Buzelli, A. R., Bonnyman, A. M., & Verrier, M. C. (2015). The effects of aquatic therapy on mobility of individuals with neurological diseases: A systematic review. *Clinical Rehabilitation*, 29(8), 741–751. <https://doi.org/10.1177/0269215514556297>
- McDaniel, B. B., Naquin, M. R., Sirikul, B., & Kraemer, R. R. (2020). Weeks of Aquatic-Calisthenic High Intensity Interval Training Improves Cardiorespiratory Fitness and Body Composition in Sedentary Young Adults. *Journal of Sports Science and Medicine*, 19, 187–194. <http://www.jssm.org>
- McNamara, R. J., McKeough, Z. J., McKenzie, D. K., & Alison, J. A. (2013). Obesity in COPD: The effect of water-based exercise. *European Respiratory Journal*, 42(6), 1737–1739. <https://doi.org/10.1183/09031936.00103613>
- Mendoza-Herrera, K., Pedroza-Tobías, A., Hernández-Alcaraz, C., Ávila-Burgos, L., Aguilar-Salinas, C. A., & Barquera, S. (2019). Attributable burden and expenditure of cardiovascular diseases and associated risk factors in Mexico and other selected mega-countries. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(20). <https://doi.org/10.3390/ijerph16204041>
- Mohr, M., Nordsborg, N. B., Lindenskov, A., Steinholt, H., Nielsen, H. P., Mortensen, J., Weihe, P., & Krstrup, P. (2014). High-Intensity intermittent swimming improves cardiovascular health status for women with mild hypertension. *BioMed Research International*, 2014(728289). <https://doi.org/10.1155/2014/728289>
- Moreno-Murcia, J. A. & Ruiz, L. (2019). Cómo lograr la competencia acuática. Sb Editorial.
- Moreno-Murcia, J. A., & Arcil Marco. (2025). *ENSEÑAR A NADAR SIN MIEDO LA IMPORTANCIA DE LA NEUROPLASTICIDAD EN LA EDUCACIÓN ACUÁTICA*.
- Moreno-Villanueva, M., Kramer, A., Hammes, T., Venegas-Carro, M., Thumm, P., Bürkle, A., & Gruber, M. (2019). Influence of acute exercise on DNA repair and PARP activity before and after irradiation in lymphocytes from trained and untrained individuals. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(12), 2999.
- Nagle, E. F., Sanders, M. E., & Franklin, B. A. (2017). Aquatic High Intensity Interval Training for Cardiometabolic Health: Benefits and Training Design. *American Journal of Lifestyle Medicine*, 11(1), 64–76. <https://doi.org/10.1177/1559827615583640>

- Nascimento, C., Peixoto, M. S., Boa, L. F. F., de Faria, C. C., Costa, T. S. F., Matta, L., Ferreira, A. C. F., & Fortunato, R. S. (2021). The effects of combined physical exercise on serum redox biomarkers and leukocyte DNA damage of obese women. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/6638420>
- Organización Mundial de la Salud. (2019). Clasificación Internacional de Enfermedades para la Mortalidad y la Morbilidad – 11ª revisión (CIE-11). <https://icd.who.int/>
- Organización Mundial de la Salud. (2019). Clasificación Internacional de Enfermedades para la Mortalidad y la Morbilidad – 11ª revisión (CIE-11). <https://icd.who.int/>
- Organización Mundial de la Salud. (2022). Obesidad y sobrepeso. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>
- Ramos, D., Martins, E. G., Viana-Gomes, D., Casimiro-Lopes, G., & Salerno, V. P. (2013). Biomarkers of oxidative stress and tissue damage released by muscle and liver after a single bout of swimming exercise. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*, 38(5), 507–511. <https://doi.org/10.1139/apnm-2012-0302>
- Ramos, D., Martins, E. G., Viana-Gomes, D., Casimiro-Lopes, G., & Salerno, V. P. (2013). Biomarkers of oxidative stress and tissue damage released by muscle and liver after a single bout of swimming exercise. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 38(5), 507-511.
- Rasband, W.S., ImageJ, U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, <https://imagej.nih.gov/ij/>, 1997-2018.
- Robert, J., & Pourquier, P. (2011). Présentation générale des mécanismes de réparation de l'ADN. *Bulletin Du Cancer*, 98(3), 229–237. <https://doi.org/10.1684/bdc.2011.1323>
- Rodríguez-Rey, A., Noris-García, E., & Fundora Torres, M. T. (2016). Principios y relevancia del ensayo cometa. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 35(2), 184–194. <http://scielo.sld.cu184>
- Romero-Ibarguengoitia, M. E., Vadillo-Ortega, F., Caballero, A. E., Ibarra-González, I., Herrera-Rosas, A., Serratos-Canales, M. F., León-Hernández, M., González-Chávez, A., Mummidi, S., Duggirala, R., & López-Alvarenga, J. C. (2018). Family history and obesity in youth, their effect on acylcarnitine/aminoacids metabolomics and non-alcoholic fatty liver disease

- (NAFLD). Structural equation modeling approach. *PLoS ONE*, 13(2).  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0193138>
- Ross, R., Neeland, I. J., Yamashita, S., Shai, I., Seidell, J., Magni, P., Santos, R. D., Arsenault, B., Cuevas, A., Hu, F. B., Griffin, B. A., Zambon, A., Barter, P., Fruchart, J.-C., Eckel, R. H., Matsuzawa, Y., & Després, J.-P. (2020). Waist circumference as a vital sign in clinical practice: a Consensus Statement from the IAS and ICCR Working Group on Visceral Obesity. *Nature Reviews Endocrinology*, 16(3), 177–189. <https://doi.org/10.1038/s41574-019-0310-7>
- Santos, C., Burnay, C., Button, C., & Cordovil, R. (2023). Effects of Exposure to Formal Aquatic Activities on Babies Younger Than 36 Months: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(8), 5610. <https://doi.org/10.3390/ijerph20085610>
- Sbardelotto, M. L., Pedroso, G. S., Pereira, F. T., Soratto, H. R., Brescianini, S. M. S., Effting, P. S., Thirupathi, A., Nesi, R. T., Silveira, P. C. L., & Pinho, R. A. (2017). The effects of physical training are varied and occur in an exercise type-dependent manner in elderly men. *Aging and Disease*, 8(6), 887–898. <https://doi.org/10.14336/AD.2017.0209>
- Schneider, S., & Holzwarth, B. (2024). Approaches to Eliminating Obesogenic Environments. In *Handbook of Eating Disorders and Obesity* (pp. 559-565). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Seravalle, G., & Grassi, G. (2017). Obesity and hypertension. *Pharmacological Research*, 122, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2017.05.013>
- Sigal, R. J., Alberga, A. S., Goldfield, G. S., Prud'homme, D., Hadjiyannakis, S., Gougeon, R., Phillips, P., Tulloch, H., Malcolm, J., Doucette, S., Wells, G. A., Ma, J., & Kenny, G. P. (2014). Effects of aerobic training, resistance training, or both on percentage body fat and cardiometabolic risk markers in obese adolescents: The healthy eating aerobic and resistance training in youth randomized clinical trial. *JAMA Pediatrics*, 168(11), 1006–1014. <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2014.1392>
- Singh, N. P. (2016). The comet assay: Reflections on its development, evolution and applications. *Mutation Research - Reviews in Mutation Research*, 767, 23–30. <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2015.05.004>
- Skelton, J. A., Irby, M. B., Grzywacz, J. G., & Miller, G. (2011). Etiologies of obesity in children: Nature and nurture. In *Pediatric Clinics of North America* (Vol. 58, Issue 6, pp. 1333–1354). <https://doi.org/10.1016/j.pcl.2011.09.006>
- Soares, J. P., Silva, A. M., Oliveira, M. M., Peixoto, F., Gaivão, I., & Mota, M. P. (2015). Effects of combined physical exercise training on DNA damage and

- repair capacity: role of oxidative stress changes. *AGE*, 37(61), 1–12.  
<https://doi.org/10.1007/s11357-015-9799-4>
- Soler-Lanagrán, A., & Castañeda-Vázquez C. (2017). Estilo de vida sedentario y consecuencias en la salud de los niños. Una revisión sobre el estado de la cuestión. *Journal of Sport and Health Research*, 9(2), 187–198.
- Stegenga, H., Haines, A., Jones, K., & Professor, J. W. (2014). Identification, assessment, and management of overweight and obesity: Summary of updated nice guidance. *The BMJ*, 349. <https://doi.org/10.1136/bmj.g6608>
- Susanto, B. H., & Listianingsih, F. (2019). Model Pembelajaran Akuatik Berbasis Permainan Tradisional Untuk Meningkatkan Keterampilan Berenang Siswa Sekolah Dasar. *Elementary School*, 6, 96–104.
- Torres Jumbo, R. F., Acosta Navia, M. K., Rodriguez Avilés, D. A., & Barrera Rivera, M. K. (2020). Complicaciones agudas de la diabetes tipo 2. *RECIMUNDO*, 46–57.  
[https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(1\).esp.marzo.2020.46-57](https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(1).esp.marzo.2020.46-57)
- Tryfidou, D. V., McClean, C., Nikolaidis, M. G., & Davison, G. W. (2020). DNA damage following acute aerobic exercise: a systematic review and meta-analysis. *Sports medicine*, 50(1), 103-127.
- Usman, M., Woloshynowych, M., Britto, J. C., Bilkevich, I., Glassar, B., Chapman, S., Ford-Adams, M. E., Desai, A., Bain, M., Tewfik, I., & Volpi, E. V. (2021). Obesity, oxidative DNA damage and vitamin D as predictors of genomic instability in children and adolescents. *International Journal of Obesity*, 45(9), 2095–2107. <https://doi.org/10.1038/s41366-021-00879-2>
- Vasile, L., Ticala, L., Radulescu, A., Mujea, A. M., Matei, C., Branet, C., Onoiu, C. L., Gheorghe, N., & Balan, V. (2023). A ludic history of swimming – a systematic review. *Discobolul – Physical Education, Sport and Kinetotherapy Journal*, 189–207. <https://doi.org/10.35189/dpeskj.2023.62.2.7>
- Vucenik, I., & Stains, J. P. (2012). Obesity and cancer risk: Evidence, mechanisms, and recommendations. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1271(1), 37–43. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2012.06750.x>
- Włodarczyk, M., & Nowicka, G. (2019). Obesity, DNA damage, and Development of Obesity-Related Diseases. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(5). <https://doi.org/10.3390/ijms20051146>
- World Aquatics (2022). World Aquatics - The global home of aquatic sports.  
<https://www.fina.org/about>
- World Obesity Federation. (2023). *World obesity atlas 2023*.  
<https://www.worldobesity.org/resources/resource-library/world-obesity-atlas-2023>

- Yamunaque-Castro, L., García-Bracamonte, F. R., & Serquén-López, L. M. (2019). Ensayo cometa. *Revista Experiencia En Medicina Del Hospital Regional Lambayeque*, 5(3), 162–163. <https://doi.org/10.37065/rem.v5i3.374>
- Yuan, W. X., Liu, H. Bin, Gao, F. S., Wang, Y. X., & Qin, K. R. (2016). Effects of 8-week swimming training on carotid arterial stiffness and hemodynamics in young overweight adults. *BioMedical Engineering Online*, 15, 673–684. <https://doi.org/10.1186/s12938-016-0274-y>

## Anexos

### Anexo 1

#### Ejercicios de Natación

Los ejercicios que se muestran en la siguiente tabla están estructurados por niveles y grados de dificultad, para poder determinar si un participante se encuentra en principiantes, intermedios u avanzados, se le aplicará uno de los ejercicios de cada nivel, sino cumple con la ejecución correcta del ejercicio se le dejará en el nivel en el cual haya ejecutado mejor el ejercicio.

| Nivel                | Ejercicios                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Materiales                                       |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| <b>Principiantes</b> | <b>Adaptación al medio acuático</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Inmersiones.</li> <li>➤ Sumersiones.</li> <li>➤ Tocar el fondo.</li> <li>➤ Buzos.</li> <li>➤ Caminata.</li> </ul> <b>Flotaciones</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Flotación ventral con popote.</li> <li>➤ Flotación ventral sin popote.</li> <li>➤ Flotación dorsal con popote.</li> <li>➤ Flotación dorsal sin popote.</li> <li>➤ Barrilito.</li> </ul> <b>Desplazamiento</b> | Tablas<br>Popotes<br>Pullboy<br>Gorra<br>Goggles |

|                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Patada con trahal y popote.</li> <li>➤ Patada con tabla.</li> <li>➤ Patada sin material.</li> <li>➤ Patada y brazada con tabla.</li> </ul> <p><b>Estilo Crol</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Flecha con material.</li> <li>➤ Flecha sin material.</li> <li>➤ Pierna, cadera, axila.</li> <li>➤ Rozando pulgar.</li> <li>➤ Axila, mano.</li> <li>➤ Punto muerto.</li> <li>➤ Flecha con PulBoy.</li> <li>➤ Patada lateral, cabeza fuera.</li> <li>➤ Patada lateral con rotación.</li> <li>➤ Jalón subacuático.</li> <li>➤ Brazada, 3 segundos sostenido.</li> <li>➤ Respiración cada 3 brazadas.</li> <li>➤ Voy derecha, regreso izquierdo.</li> <li>➤ Dos derechas una izquierda (brazada).</li> <li>➤ Brazada con pullboy.</li> <li>➤ Crol completo.</li> <li>➤ Patada dorsal.</li> </ul> |  |
| <b>Intermedios</b> | <p><b>Estilo Dorso</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Flecha dorsal con tabla.</li> <li>➤ Flecha dorsal sin tabla</li> <li>➤ Flecha dorsal con Jalón subacuático.</li> <li>➤ Flecha dorsal con brazada a 90°</li> <li>➤ Flecha dorsal con brazada a 180°</li> <li>➤ Brazada de dorso con pullboy.</li> <li>➤ Dorso completo.</li> </ul> <p><b>Estilo Pecho</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Brazada de pecho y patada de crol.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |  |

|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |  |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Brazada de pecho con pullboy.</li> <li>➤ Patada de pecho con tabla.</li> <li>➤ Patada pecho sin tabla.</li> <li>➤ Pecho completo.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |  |
| <b>Avanzados</b> | <p><b>Mariposa</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Delfineo.</li> <li>➤ Patada de crol brazada de mariposa.</li> <li>➤ Patada y braza de mariposa solo brazo derecho.</li> <li>➤ Patada y braza de mariposa solo brazo izquierdo.</li> <li>➤ Mariposa completa</li> </ul> <p><b>Ejercicios de estilos completos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ 25 mts de estilo.</li> <li>➤ 50 mts estilos combinados.</li> <li>➤ 75 mts estilos combinados.</li> <li>➤ 100 mts estilos combinados.</li> <li>➤ Salidas de banquillo.</li> <li>➤ Virajes.</li> </ul> |  |

Anexo 2

“Disminución de daño al ADN mediante la implementación de un programa de natación en personas con sobrepeso y obesidad”

Monterrey, N.L. a \_\_\_\_ de \_\_\_\_ del 2024.

Nombre: \_\_\_\_\_

No de IMSS: \_\_\_\_\_

Dirección: \_\_\_\_\_

Telefono: \_\_\_\_\_

Antecedentes: \_\_\_\_\_

|      |      |
|------|------|
| Sexo | Edad |
|      |      |

| IMC                | Categoría   | Primera toma | Segunda toma |
|--------------------|-------------|--------------|--------------|
| Bajo peso          | <18,5       |              |              |
| Peso normal        | 18,5 – 24,9 |              |              |
| Sobrepeso          | 25,0 – 29,9 |              |              |
| Obesidad grado I   | 30,0 – 34,5 |              |              |
| Obesidad grado II  | 35,0 – 39,9 |              |              |
| Obesidad grado III | >40,0       |              |              |

| Biometría Hemática  |              |                         |              |
|---------------------|--------------|-------------------------|--------------|
| Parámetro           | Primera toma | Valores normales        | Segunda toma |
| Leucocitos          |              | 4.5 10e6/uL - 5 10e6/uL |              |
| Hemoglobina         |              | 4.5 a 11 10e3/uL.       |              |
| Hematocrito         |              | 40% - 54%               |              |
| Volumen Corpuscular |              | 80 fl -100 fl           |              |
| Plaquetas           |              | 150 - 450 10e3/uL.      |              |

|                                                   |  |  |  |
|---------------------------------------------------|--|--|--|
| Hemoglobina<br>Globular Media                     |  |  |  |
| Concentración de<br>Hemoglobina<br>Globular Media |  |  |  |
| Distribución de<br>Células Rojas                  |  |  |  |
| Linfocitos                                        |  |  |  |

### PROFORMA ANTROPOMETRICA ISAK PERFIL RESTRINGIDO

Nombre del sujeto: \_\_\_\_\_

Día Mes Año

Fecha de Nacimiento:

Sexo: \_\_\_\_\_ Etnia: \_\_\_\_\_ País: \_\_\_\_\_ Deporte: \_\_\_\_\_

Día en que se toman las mediciones

Medidor: \_\_\_\_\_ Anotador: \_\_\_\_\_

|                                                 | Primera<br>medida    | Segunda<br>medida    | Tercera<br>medida    | MEDIA/<br>MEDIANA    |
|-------------------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Masa corporal (Kg)                              | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| Talla (cm)                                      | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| Talla sentado (cm)                              | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| Envergadura de brazos (cm)                      | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| Pliegue del tríceps (mm)                        | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| Pliegue del subescapular (mm)                   | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| Pliegue del bíceps (mm)                         | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| Pliegue de la cresta ilíaca (mm)                | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| Pliegue del supraespinal (mm)                   | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| Pliegue del abdominal (mm)                      | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| Pliegue del muslo (mm)                          | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| Pliegue de la pierna (mm)                       | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| Perímetro del brazo relajado (cm)               | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| Perímetro del brazo flexionado y contraído (cm) | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| Perímetro de la cintura (cm)                    | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| Perímetro de las caderas (cm)                   | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| Perímetro del muslo medio (cm)                  | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| Perímetro de la pierna (cm)                     | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| Diámetro húmero (cm)                            | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| Diámetro biestiloideo (cm)                      | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| Diámetro fémur (cm)                             | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> | <input type="text"/> |

Dra. Catalina García Vielma

Teléfono: 8181904036

[catalina.garciav@imss.gob.mx](mailto:catalina.garciav@imss.gob.mx)

**Anexo 3****Carta de consentimiento informado para participación en  
protocolos de investigación en salud****(adultos)****Participantes**

Monterrey, N.L. a \_\_\_\_ de \_\_\_\_ del 2024.

No. de registro institucional: Pendiente

Título del protocolo: "Disminución de daño al ADN mediante la implementación de un programa de natación en personas con sobrepeso y obesidad"

Justificación y objetivo de la investigación:

Este estudio de investigación se llevará a cabo en mujeres y hombres mayores de 18 años para evaluar el daño al ADN antes y después de un programa de natación, mediante una técnica conocida como ensayo cometa, que es una técnica microscópica simple y sensible que mide el daño en el ADN en cada una de las células. Este daño puede estar relacionado con el desarrollo de diferentes enfermedades que pueden prevenirse al disminuir el porcentaje de daño en las células.

El objetivo de este protocolo, si usted desea participar, es determinar si la práctica de natación provoca una disminución de daño al ADN antes y después de la implementación de un programa de natación en mujeres y hombres mayores de edad con sobrepeso y obesidad.

Procedimientos y duración de la investigación

Si usted decide participar en el protocolo se le tomarán 3 muestras de sangre periférica (3 ml en cada una): Una muestra inicial, otra al término del protocolo de natación y otros 5 días después de haber terminado el protocolo de natación, esto para evaluar la técnica cometa. Esa misma muestra nos servirá para poder medir el valor de glucosa y biometría hemática al inicio y al final del protocolo. También se le tomarán mediciones antropométricas (peso, estatura, perímetro abdominal, cintura y onfálico), con la finalidad de ver sus cambios antes y después del protocolo de natación. El programa de natación tendrá una duración de 8 semanas, tres sesiones por semana (L, M y V) y con una duración de 50 minutos de

práctica. Se le aplicarán algunos ejercicios para saber en qué nivel se encuentra de natación y se le pondrán ejercicios apropiados para su nivel y bajo supervisión médica.

#### Riesgos y molestias:

El estudio en el que se le invita a participar es un estudio clasificado como de riesgo mínimo, ya que nos estamos basando en los lineamientos recomendados para la prescripción del ejercicio en personas con sobrepeso y obesidad que establece el Colegio Americano. Probablemente haya algo de molestia al realizar la toma de muestra, pero será solo en el momento en que se haga la toma de muestra. Así como la fatiga muscular generada por el programa de natación. Un médico especialista en medicina del deporte y el entrenador capacitado estarán al pendiente de usted antes durante y después de la aplicación del protocolo de natación.

#### Beneficios que recibirá al participar en la investigación:

Uno de los beneficios que usted obtendrá, si desea participar en este estudio, será la posible disminución al daño al ADN, además de la contribución al conocimiento científico sobre el efecto de la natación en el daño al ADN. Los estudios de medición de glucosa, presión arterial, mediciones antropométricas, biometría hemática y valoración médica serán de manera gratuita.

Al término de las 8 semanas del programa de natación, se le seguirá facilitando el uso de las instalaciones acuáticas, hasta el término de las clases en curso, así como las valoraciones por parte del médico, en dado caso que usted desee continuar practicando, las valoraciones medicas serán sin costo para usted.

#### Información sobre resultados y alternativas de tratamiento:

Los resultados obtenidos de la biometría hemática, glucosa, presión arterial, y las mediciones antropométricas, se le entregarán de manera física y le serán de utilidad para una valoración con su médico general o bien con nuestro médico colaborador, quien explicará a detalle los resultados obtenidos y/o en caso de ser necesario, se le referirá con algún médico especialista. Los resultados del ensayo cometa no se entregarán de manera física ya que es con fines de investigación.

#### Participación o retiro:

Su participación en este estudio es completamente voluntaria. Usted puede abandonar el estudio en el momento que así lo desee.

#### Privacidad y confidencialidad:

Si usted decide participar, la información que nos proporcione y que pudiera ser utilizada para identificarla/o (nombre, teléfono y dirección) será guardada de manera confidencial y por separado al igual que sus respuestas a los cuestionarios y resultados, para garantizar su privacidad.

Solo el equipo de investigadores y las personas que estamos involucradas en el cuidado de su salud sabrán que usted participará en este estudio, nadie más tendrá acceso a la información sobre usted. Sólo proporcionaremos su información si fuera necesario para proteger sus derechos o bienestar. Cuando los resultados de este estudio sean publicados

o presentados en conferencias, no se dará información que pudiera revelar su identidad la cual será protegida.

Para proteger su identidad le asignaremos un número consecutivo que utilizaremos para identificar sus datos, y usaremos ese número en lugar de su nombre en nuestras bases de datos.

**En caso de dudas o aclaraciones relacionadas con la investigación podrá dirigirse a**

Investigadora o Investigador Responsable:

**Dra. Catalina García Vielma.**

Investigadora.

Adscripción: Departamento de Citogenética Molecular. Centro de Investigación Biomédica del Noreste del I.M.S.S.

2 de Abril 501 esquina con San Luis Potosí, Colonia Independencia, Monterrey, N.L.

Teléfono: 8181904036.

Correo electrónico: [catalina.garciav@imss.gob.mx](mailto:catalina.garciav@imss.gob.mx)

**Declaración de consentimiento:**

|  |                                                                              |
|--|------------------------------------------------------------------------------|
|  | Acepto participar y que se tomen los datos o muestras sólo para este estudio |
|--|------------------------------------------------------------------------------|

\_\_\_\_\_  
Nombre y firma del participante

\_\_\_\_\_  
Nombre y firma de quien obtiene el consentimiento

\_\_\_\_\_  
Nombre y firma del testigo 1

\_\_\_\_\_  
Nombre y firma del testigo 2

Este formato constituye una guía que deberá completarse de acuerdo con las características propias de cada protocolo de investigación en salud, sin omitir información relevante del estudio.

**Anexo 3**

**Carta de consentimiento informado para participación en  
protocolos de investigación en salud  
(adultos)  
Controles**

Monterrey, N.L. a \_\_\_ de \_\_\_ del 2024.

No. de registro institucional: Pendiente

Título del protocolo: “Disminución de daño al ADN mediante la implementación de un programa de natación en personas con sobrepeso y obesidad”

Justificación y objetivo de la investigación:

Este estudio de investigación se llevará a cabo en mujeres y hombres mayores de 18 años que serán incluidos como controles, para evaluar el daño al ADN, mediante una técnica conocida como ensayo cometa, que es una técnica microscópica simple y sensible que mide el daño en el ADN en cada una de las células. Este daño puede estar relacionado con el desarrollo de diferentes enfermedades que pueden prevenirse al disminuir el porcentaje de daño en las células.

El objetivo de este protocolo, si usted desea participar como control, es determinar si la práctica de natación provoca una disminución de daño al ADN antes y después de la implementación de un programa de natación en mujeres y hombres mayores de edad con sobrepeso y obesidad que se incluirán como participantes.

Procedimientos y duración de la investigación

Si usted decide participar en el protocolo se le tomarán 3 muestras de sangre periférica (3 ml) para evaluar la técnica cometa. Esa misma muestra nos servirá para poder medir el valor de glucosa y biometría hemática. También se le tomarán mediciones antropométricas (peso, estatura, perímetro abdominal, cintura y onfálico). El tiempo de las 3 tomas de muestra serán cuando se les realice a los del grupo experimental y se le notificará con anticipación.

Riesgos y molestias:

El estudio en el que se le invita a participar es un estudio clasificado como de riesgo mínimo. Probablemente haya algo de molestia al realizar las tomas de muestra, pero será solo en el momento en que se haga la toma, puede quedar un pequeño moretón, pero se irá recuperando en el transcurso de 3 o 4 días.

Beneficios que recibirá al participar en la investigación:

Si usted desea participar como control en este protocolo se le realizarán estudios de medición de glucosa, presión arterial, mediciones antropométricas, biometría hemática, y valoración médica para interpretación de sus resultados de manera gratuita.

Información sobre resultados y alternativas de tratamiento:

Los resultados obtenidos de la biometría hemática, glucosa, presión arterial, y las mediciones antropométricas, se le entregarán de manera física y le serán de utilidad para una valoración con su médico general o bien con nuestro médico colaborador, quien explicará a detalle los resultados obtenidos y/o en caso de ser necesario, se le referirá con algún médico especialista. Los resultados del ensayo cometa no se entregarán de manera física ya que es con fines de investigación.

Participación o retiro:

Su participación en este estudio es completamente voluntaria. Usted puede abandonar el estudio en el momento que así lo desee.

Privacidad y confidencialidad:

Si usted decide participar, la información que nos proporcione y que pudiera ser utilizada para identificarla/o (nombre, teléfono y dirección) será guardada de manera confidencial y por separado al igual que sus respuestas a los cuestionarios y resultados, para garantizar su privacidad.

Solo el equipo de investigadores y las personas que estamos involucradas en el cuidado de su salud sabrán que usted participará en este estudio, nadie más tendrá acceso a la información sobre usted. Sólo proporcionaremos su información si fuera necesario para proteger sus derechos o bienestar. Cuando los resultados de este estudio sean publicados o presentados en conferencias, no se dará información que pudiera revelar su identidad la cual será protegida.

Para proteger su identidad le asignaremos un número consecutivo que utilizaremos para identificar sus datos, y usaremos ese número en lugar de su nombre en nuestras bases de datos.

**En caso de dudas o aclaraciones relacionadas con la investigación podrá dirigirse a:**

Investigadora o Investigador Responsable:

**Dra. Catalina García Vielma.**

Investigadora.

Adscripción: Departamento de Citogenética Molecular. Centro de Investigación Biomédica del Noreste del I.M.S.S.

2 de Abril 501 esquina con San Luis Potosí, Colonia Independencia, Monterrey, N.L.

Teléfono: 8181904036.

Correo electrónico: [catalina.garciav@imss.gob.mx](mailto:catalina.garciav@imss.gob.mx)

**Declaración de consentimiento:**

|                          |                                                                                          |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> | Acepto participar como control y que se tomen los datos y muestra sólo para este estudio |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|

---

Nombre y firma del participante

---

Nombre y firma de quien obtiene el  
consentimiento

---

Nombre y firma del testigo 1

---

Nombre y firma del testigo 2

Este formato constituye una guía que deberá completarse de acuerdo con las características propias de cada protocolo de investigación en salud, sin omitir información relevante del estudio.