

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE MEDICINA

HOSPITAL UNIVERSITARIO “DR JOSÉ ELEUTERIO GONZÁLEZ”



“APLICABILIDAD DE LAS ECUACIONES PREDICTIVAS EXISTENTES DE LA  
FRECUENCIA CARDÍACA MÁXIMA BASADAS EN EDAD EN JUGADORES  
PROFESIONALES DE FÚTBOL DE FUERZAS BÁSICAS”

Por

DR. SAID GUTIÉRREZ MASTACHI

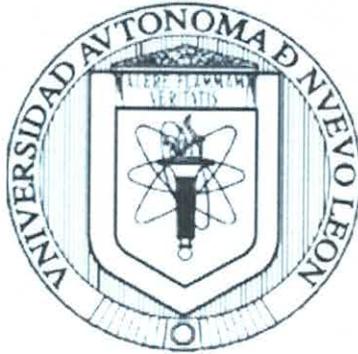
Como requisito parcial para obtener el grado de

ESPECIALIDAD EN MEDICINA DEL DEPORTE Y REHABILITACIÓN

Febrero 2025



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE MEDICINA  
HOSPITAL UNIVERSITARIO “DR JOSÉ ELEUTERIO GONZÁLEZ”



“APLICABILIDAD DE LAS ECUACIONES PREDICTIVAS EXISTENTES DE LA  
FRECUENCIA CARDÍACA MÁXIMA BASADAS EN EDAD EN JUGADORES  
PROFESIONALES DE FÚTBOL DE FUERZAS BÁSICAS”

Por

DR. SAID GUTIÉRREZ MASTACHI

Como requisito parcial para obtener el grado de  
ESPECIALIDAD EN MEDICINA DEL DEPORTE Y REHABILITACIÓN

Director de Tesis

Dr. med. Oscar Salas Fraire

Febrero 2025

“APLICABILIDAD DE LAS ECUACIONES PREDICTIVAS EXISTENTES DE LA  
FRECUENCIA CARDÍACA MÁXIMA BASADAS EN EDAD EN JUGADORES  
PROFESIONALES DE FÚTBOL DE FUERZAS BÁSICAS”

Aprobación de la Tesis



---

**NOMBRE**

**Dr. med. Oscar Salas Fraire**

**Director de tesis**

**Medicina del Deporte y Rehabilitación**



---

**Dr. MCs Tomas Javier Martínez Cervantes**

**Coordinador de Enseñanza**

**Medicina del Deporte y Rehabilitación**



---

**Dr. José Ángel Garza Cantú**

**Jefe de Departamento**

**Medicina del Deporte y Rehabilitación**



---

**Dr. Felipe Arturo Morales Martínez**

**Subdirector de Estudios de Posgrado**

If you can keep your head when all about you

Are losing theirs and blaming it on you,

If you can trust yourself when all men doubt you,

But make allowance for their doubting too;

If you can wait and not be tired by waiting,

Or being lied about, don't deal in lies,

Or being hated, don't give way to hating,

And yet don't look too good, nor talk too wise:

If you can dream—and not make dreams your master;

If you can think—and not make thoughts your aim;

If you can meet with Triumph and Disaster

And treat those two impostors just the same;

If you can bear to hear the truth you've spoken

Twisted by knaves to make a trap for fools,

Or watch the things you gave your life to, broken,

And stoop and build 'em up with worn-out tools:

If you can talk with crowds and keep your virtue,

Or walk with Kings—nor lose the common touch,

If neither foes nor loving friends can hurt you,

If all men count with you, but none too much;

If you can fill the unforgiving minute

With sixty seconds' worth of distance run,

Yours is the Earth and everything that's in it,

And—which is more—you'll be a Man, my son!

## PRÓLOGO

El siguiente trabajo tiene como finalidad formar parte de la evidencia necesaria para obtener el grado de especialidad en Medicina del Deporte y Rehabilitación.

El objetivo principal es conocer si las ecuaciones predictivas existentes de la frecuencia cardíaca máxima basadas en edad son aplicables en jugadores de fútbol profesionales de fuerzas básicas. Si bien existen algunos artículos que han trabajado poblaciones jóvenes de futbolistas, no se ha realizado ningún estudio en jugadores profesionales de fuerzas básicas del fútbol mexicano.

El Fútbol soccer es el deporte más popular en México, personalmente es un deporte que me encanta desde niño, lo practiqué durante muchos años y ahora tengo la posibilidad de poner mi granito de arena y contribuir para mejorar el desempeño de los futbolistas mexicanos combinando dos de las cosas que más me gustan en la vida: el fútbol y la medicina deportiva.

Es para mi un placer poder compartir con todas las personas pertenecientes al mundo del fútbol los resultados y conclusiones de este trabajo de investigación, esperando que la información sea de utilidad para ustedes durante la toma de decisiones sobre el uso de estas ecuaciones en este grupo específico de atletas profesionales.

## AGRADECIMIENTOS

Gracias al Dr. Oscar Salas por su apoyo y confianza para realizar este proyecto. Mi mentor tanto para la especialidad como para la vida. Gracias por todas sus enseñanzas y por el apoyo brindado durante toda la especialidad.

Gracias al Dr. José Ángel y al Dr. Tomás por su apoyo con mi trabajo de investigación. Gracias al Dr. Carlos Barrón y al Dr. Ángel por ser maestros de los que aprendí cosas tanto de la especialidad como de la vida.

Gracias a mis padres, por haberme dado las herramientas para lograr este objetivo, gracias por su amor y su apoyo incondicional. Siempre serán un ejemplo de vida para mí.

Gracias a Abril, mi amor y compañera de vida, mi persona favorita que ha estado en mis momentos buenos como en los momentos difíciles, sabes que eres la persona más importante de mi vida y agradezco infinitamente haberte encontrado.

A mis hermanos de la residencia, Oscar, Israel, Alonso y Brisa con los cuales compartí estos cuatro años de vida y de quienes aprendí infinidad de cosas, momentos buenos y malos que han sido parte de esta experiencia, siempre tendrán un amigo en mí cuando necesiten ayuda.

## **DEDICATORIA**

A mis padres y hermanos.

A mi abuelita, Vange.

Al amor de mi vida, Abril.

## ÍNDICE

PRÓLOGO .....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
DEDICATORIA .....	IV
LISTADO DE TABLAS.....	VII
RESUMEN .....	VIII
1.- INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....	3
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
2. MARCO TEÓRICO .....	5
2.1 ANTECEDENTES.....	5
2.2. FRECUENCIA CARDIACA .....	6
2.2.1 FRECUENCIA CARDIACA MÁXIMA .....	6
2.2.2 APLICACIÓN DE LA FRECUENCIA CARDÍACA MÁXIMA .....	7
2.2.3 MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DE LA FRECUENCIA CARDÍACA MÁXIMA .....	7
2.3 PRUEBAS DE ESFUERZO.....	8
2.3.1 REQUISITOS PREVIO A UNA PRUEBA DE ESFUERZO.....	11
2.3.2 CONTRAINDICACIONES DE LA PRUEBA DE ESFUERZO .....	11
2.3.3 CRITERIOS DE PRUEBA DE ESFUERZO MÁXIMO.....	13
2.4 ECUACIONES PREDICTIVAS DE LA FRECUENCIA CARDÍACA MÁXIMA BASADAS EN EDAD.....	14
2.4.1 ECUACIONES PREDICTIVAS DE LA FRECUENCIA CARDÍACA MÁXIMA DESCRITAS EN LA LITERATURA.....	14
3. METODOLOGÍA.....	21
3.1 CARACTERÍSTICAS DEL ESTUDIO.....	21
3.1.1 DISEÑO DEL ESTUDIO .....	21
3.1.2 LUGAR O SITIO DEL ESTUDIO .....	21
3.1.3 MUESTRA.....	21
3.1.4 CRITERIOS DE INCLUSIÓN .....	21
3.1.5 CRITERIOS DE EXCLUSIÓN.....	21
3.1.6 CRITERIOS DE PRUEBA DE ESFUERZO MÁXIMO.....	22
3.2 ECUACIONES PREDICTIVAS DE LA FRECUENCIA CARDÍACA MÁXIMA BASADAS EN EDAD QUE SE ANALIZARON .....	22

3.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	23
4. RESULTADOS .....	24
5. DISCUSIÓN.....	27
6. LIMITACIONES Y PERSPECTIVA PARA EL FUTURO .....	28
7. CONCLUSIONES .....	29
8. BIBLIOGRAFÍA .....	30

**LISTADO DE TABLAS**

Tabla 1. Características de la población..... 24

Tabla 2. Valores de las ecuaciones evaluadas..... 25

## RESUMEN

**INTRODUCCIÓN.** La Frecuencia Cardíaca Máxima es usada ampliamente para categorizar la intensidad del ejercicio en el fútbol y se define como la frecuencia cardíaca más alta que una persona puede alcanzar durante una prueba de esfuerzo máxima ya sea en el laboratorio o en el campo. Ocasionalmente su medición no es posible por lo cual, una ecuación predictiva basada en edad es usada como alternativa.

Aunque estas ecuaciones se usan con frecuencia en los deportes, su uso en atletas jóvenes aún se debate, ya que la mayoría de las ecuaciones se obtuvieron en adultos.

**OBJETIVO:** Determinar si las ecuaciones predictivas existentes de la frecuencia cardíaca máxima basadas en edad son aplicables en jugadores profesionales de fútbol de fuerzas básicas.

**MÉTODOS:** Se llevó a cabo un estudio observacional, retrospectivo, descriptivo y comparativo. Se analizaron los expedientes médicos de cincuenta y siete jugadores profesionales de fútbol de fuerzas básicas con resultados de las pruebas de esfuerzo máximas realizadas. Las variables numéricas se describieron con medidas de tendencia central y dispersión. La normalidad de las variables se evaluó con la prueba Kolmogorov-Smirnov.

Para determinar las diferencias entre los valores de la Frecuencia Cardíaca Máxima Obtenida (FCM<sub>obt</sub>) en la prueba de esfuerzo y los valores de la Frecuencia Cardíaca Máxima Esperada (FCM<sub>E</sub>) calculados por las diferentes ecuaciones, se utilizaron las pruebas de t-Student para muestras relacionadas y la prueba de rangos con signo de Wilcoxon según fuera la normalidad de cada una de las variables. La significancia estadística se determinó utilizando un umbral de  $p < 0.05$

Las siguientes ecuaciones fueron analizadas:

1. Fox:  $220 - \text{edad}$ .
2. Tanaka:  $208 - (0.7 \times \text{edad})$
3. Tanaka<sup>2</sup>:  $206 - (0.7 \times \text{edad})$
4. Nikolaidis:  $223 - (1.44 \times \text{edad})$
5. Shargal:  $201.104 - (0.326 \times \text{edad})$
6. Londeree:  $206.3 - (0.711 \times \text{edad})$
7. Mahon:  $158.4 + 0.44 * (\text{FC reposo}) + 0.68 * (\text{edad})$
8. Gelbart:  $186 + 0.25 * (\text{FC reposo}) - 0.14 * (\text{peso en kg})$ .

**RESULTADOS:** Se analizaron cincuenta y siete jugadores [edad promedio de  $16.86 \pm 1.53$ , estatura promedio de  $1.75 \pm 0.06$  metros, peso promedio de  $66.83 \pm 7.70$  kg, porcentaje de grasa promedio de  $12.88 \pm 2.94\%$ , frecuencia cardíaca en reposo promedio de  $60.65 \pm 10$  y una frecuencia cardíaca máxima (FCMax) de  $200.7 \pm 8.82$ ].

La diferencia entre la FCMobt y los valores de la FCME determinados por las siguientes ecuaciones: Tanaka ( $p < 0.001$ ), Tanaka2 ( $p < 0.001$ ), Shargal ( $p < 0.001$ ), Londeree ( $p < 0.001$ ), Mahon ( $p = 0.001$ ) y Gelbart ( $p < 0.001$ ) fueron estadísticamente significativos.

La diferencia entre la FCMobt y los valores de las ecuaciones de Fox ( $p = 0.054$ ) y Nikolaidis ( $p = 0.107$ ) no fueron estadísticamente significativos.

**CONCLUSIONES:** Los resultados muestran que las ecuaciones de Fox and Nikolaidis producen la menor diferencia promedio en predecir la FCMobt en nuestra población de jugadores

profesionales de fútbol de fuerzas básicas. Estos resultados sugieren que al evaluar atletas profesionales jóvenes las ecuaciones de Fox y Nikolaidis pueden ser de gran utilidad. Se recomienda que se realicen más estudios – con mayor población, realizados en diferentes centros y en diferentes disciplinas deportivas de edades similares – para determinar la utilidad de estos hallazgos.

## 1.- INTRODUCCIÓN

El entrenamiento del fútbol se basa en una adecuada prescripción de la modalidad, duración e intensidad del ejercicio. Una de las tareas más difíciles de los entrenadores y preparadores físicos es programar una adecuada intensidad, sobre todo porque trabajar a intensidades mayores de las deseadas puede llevar a un sobreentrenamiento, y trabajar a intensidades menores a no lograr los objetivos deseados en tiempo y forma.

Para la prescripción del entrenamiento de fútbol basada en la intensidad, es común que los entrenadores y/o preparadores físicos utilicen la frecuencia cardíaca (FC) y la frecuencia cardíaca máxima (FCMax).

La frecuencia cardíaca máxima se define como el valor máximo registrado al final de una prueba de esfuerzo máximo, ya sea esta realizada en laboratorio o en campo (Nikolaidis,2014).

Sin embargo, la medición no siempre se es posible realizar, ya que este tipo de pruebas conllevan una fatiga importante al ser pruebas de esfuerzo máximo y las pruebas en laboratorio conllevan un costo económico importante.

La frecuencia cardíaca máxima esperada (FCME) es aquella obtenida usualmente con el uso de ecuaciones predictivas basadas en la edad del individuo, descritas y enunciadas en la literatura (Robergs, 2002)

Las ecuaciones predictivas de frecuencia cardíaca máxima son usualmente usadas en vez de las pruebas de esfuerzo máximo para la determinación de la frecuencia cardíaca máxima con la finalidad de prescribir y monitorear la intensidad de ejercicio (Nikolaidis, 2014).

Dos ecuaciones comúnmente usadas en la práctica deportiva son la de (Fox, 1971) ( $FC_{max} = 220 - \text{edad}$ ) y (Tanaka, 2001) ( $FC_{max} = 208 - 0.7 \times \text{edad}$ )

Investigaciones previas (Colantonio, 2013), (Machado, 2011), (Nikolaidis, 2014), examinando la frecuencia cardíaca máxima y la frecuencia cardíaca máxima esperada en niños han demostrado poca asociación entre la frecuencia cardíaca máxima y la edad.

De los estudios que se han realizado (Cicone, 2018; Colantonio, 2013; Machado, 2011; Mahon, 2010; Nikolaidis, 2014; 2015) son pocos los que abarcan a jugadores profesionales jóvenes, además que no hay hasta la fecha estudios realizados en población mexicana.

Por lo tanto, con este estudio se busca determinar si las ecuaciones predictivas existentes basadas en edad son aplicables a los jugadores profesionales de fútbol de fuerzas básicas y de ser así, cuál o cuáles demuestran mayor precisión para ser utilizadas en esta población.

Establecer esto nos permitirá a todos aquellos que trabajamos con deportistas un mejor entendimiento respecto al adecuado uso de estas ecuaciones.

## 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El uso de las ecuaciones predictivas de la frecuencia cardíaca máxima basadas en edad es de mucha utilidad en población adulta ya que la frecuencia cardíaca es uno de los parámetros de intensidad que se puede medir de manera relativamente sencilla para prescribir el ejercicio.

Sin embargo, en poblaciones de niños y adolescentes no está claro si su uso se puede aplicar de la misma manera que en adultos, ya que la gran mayoría de estas ecuaciones (Gellish, 2007; Hossack, 1982; Fox, 1971; Robergs, 2002; Shargal, 2015; Tanaka, 2001) fueron obtenidas en grupos de individuos adultos y por lo tanto esto puede ser problemático cuando se intenta extrapolar estas a ecuaciones a poblaciones más jóvenes, pudiendo esto llevar a errores en la prescripción de la intensidad de ejercicio basado en la frecuencia cardíaca.

## 1.2 OBJETIVOS DEL ESTUDIO

### ❖ Objetivo General:

Determinar las diferencias entre la frecuencia cardíaca máxima obtenida en las pruebas de esfuerzo y la frecuencia cardíaca máxima esperada por diversas ecuaciones en jugadores de fuerzas básicas de fútbol.

### ❖ Objetivos Específicos:

1. Obtener las frecuencias cardíacas máximas de todas las pruebas de esfuerzo.

2. Obtener las frecuencias cardíacas máximas mediante las diferentes ecuaciones con base en edad.
3. Comparar las frecuencias máximas obtenidas en las pruebas de esfuerzo con las obtenidas con las ecuaciones.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

El mejor método para obtener la frecuencia cardíaca máxima es mediante una prueba de esfuerzo máxima en laboratorio, sin embargo, esta no es posible de realizar para todos los jugadores de fútbol de fuerzas básicas.

Las ecuaciones predictivas siguen siendo uno de los métodos alternos más utilizados para determinar la frecuencia cardíaca máxima. Por lo tanto, con esta investigación se busca determinar si las ecuaciones predictivas basadas en edad son aplicables en esta población de deportistas, comparando algunas las frecuencias cardíacas máximas esperadas de las ecuaciones ya descritas en deportistas, con los resultados de las frecuencias cardíacas máximas obtenidas en las pruebas de esfuerzo máximas realizadas en nuestro departamento de Medicina del Deporte.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 ANTECEDENTES

En un estudio (Colantonio et al., 2013) se realizó comparación de la ecuación de Fox ( $220 - \text{edad}$ ) con pruebas de esfuerzo máximas en 145 sujetos (74 mujeres y 69 hombres) en edades entre 7-17 años tanto en entrenados (nadadores) como no entrenados. Los resultados arrojaron que la ecuación de Fox sobreestimaba la frecuencia cardíaca máxima tanto en niños como en adolescentes y mencionan que el género y el nivel de entrenamiento no influyeron en la frecuencia cardíaca máxima.

En otro estudio (Nikolaidis, 2014) con 162 adolescentes y 158 adultos todos miembros de clubs competitivos se les realizó una prueba de esfuerzo en campo con el protocolo Conconi para evaluar la frecuencia cardíaca máxima. Compararon los resultados de las frecuencias cardíacas máximas obtenidas en la prueba con dos de las ecuaciones predictivas más utilizadas que son la de Fox ( $220 - \text{edad}$ ) y la de Tanaka ( $208 - 0.7 \times \text{edad}$ ). Los resultados de este estudio fue que en adolescentes la ecuación de Fox sobreestimaba la frecuencia cardíaca (4.0 latidos por minuto) y la de Tanaka subestimaba la frecuencia cardíaca máxima (-3.2 latidos por minuto).

En un estudio posterior (Nikolaidis, 2015) realizó un estudio similar al previo con diferencia de que tomó atletas de múltiples club de fútbol, futsala, básquetbol y waterpolo de 3 diferentes grupos de edades (9-12 años,  $n=50$ ; 12-15 años,  $n=40$ ; 15-18 años,  $n=57$ ) y además de comparar las ecuaciones de Fox y Tanaka, compararon también con una ecuación obtenida en su estudio previo ( $223 - 1.44 \times \text{edad}$ ). En los resultados encontraron que ninguna de las 3 ecuaciones proveía resultados acertados de la frecuencia cardíaca máxima en el total de los atletas jóvenes. Sin

embargo, la ecuación de Tanaka fue válida en menores de 15 años y la de Nikolaidis fue válida en edades de 12-18 años.

En otro estudio (Cicone et al., 2018) se evaluó 30 atletas adolescentes de fútbol con una media de edad de 14.6 años. Realizó una prueba de esfuerzo máximo en laboratorio en banda sin fin y comparó los resultados de las frecuencias cardíacas máximas con 4 ecuaciones, la de Fox, la de Tanaka, la de Nikolaidis y la de Shargal la cual se calcula así :  $201.104 - (0.326 \times \text{edad})$ . Los resultados arrojaron que no había diferencias promedio significativas entre la frecuencia cardíaca máxima obtenida en las pruebas con las frecuencias máximas predichas con las ecuaciones de Fox y Nikolaidis. Las ecuaciones de Tanaka y Shargal subestimaron las frecuencias cardíacas.

## **2.2. FRECUENCIA CARDIACA**

La frecuencia cardíaca se puede argumentar que es una medición cardiovascular sencilla, especialmente si se compara con procedimientos invasivos y no invasivos usados para estimar el gasto cardíaco y el volumen de eyección. (Robergs & Landwehr, 2002)

La medición de la frecuencia cardíaca es rutinariamente usada para evaluar la respuesta del corazón al ejercicio, o la recuperación del ejercicio, así como para prescribir intensidades de ejercicio.

### **2.2.1 FRECUENCIA CARDIACA MÁXIMA**

La frecuencia cardíaca máxima es la frecuencia máxima a la que una persona puede alcanzar, esto sin importar si se aumenta la intensidad o duración del ejercicio o a pesar de adaptaciones al entrenamiento. Se ha demostrado desde estudios de hace 100 años (Robinson, 1938) que en realidad la frecuencia cardíaca tiene un valor máximo, sin embargo, este valor no es el mismo para todas las personas y puede variar dependiendo de la edad y el nivel de entrenamiento

principalmente, aunque también hay otros factores secundarios que pueden influir en la variabilidad como el sexo de la persona.

Debido a que el aumento de la frecuencia cardíaca durante el ejercicio incremental semeja el aumento del gasto cardíaco, la frecuencia cardíaca máxima es usualmente interpretada como el techo máximo para un incremento en la función cardiovascular central.

### **2.2.2 APLICACIÓN DE LA FRECUENCIA CARDÍACA MÁXIMA**

Tal vez la aplicación más importante de la frecuencia cardíaca máxima es el uso de esta para prescripción del ejercicio, ya que obteniendo la frecuencia cardíaca máxima se pueden determinar intensidades de ejercicio con base en porcentajes derivados de ésta.

Otra aplicación de la frecuencia cardíaca máxima es su uso para la estimación de manera indirecta de la capacidad aeróbica (  $VO_{2max}$  ) de un individuo mediante fórmulas ya establecidas como la de Pugh. (Pugh, 1970)

El  $VO_{2max}$  se define como la máxima capacidad integrada de los sistemas pulmonar, cardiovascular y muscular para tomar, transportar y utilizar el oxígeno respectivamente (Poole,2008).

### **2.2.3 MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DE LA FRECUENCIA CARDÍACA MÁXIMA**

La frecuencia cardíaca máxima se puede determinar mediante pruebas de esfuerzo máximas, ya sea que estas sean realizadas en el laboratorio y en campo. Las pruebas en laboratorio son el estándar de oro ya que se realizan en un ambiente controlado y miden la frecuencia cardíaca mediante electrocardiograma a diferencia de las pruebas en campo que usualmente miden la frecuencia cardíaca mediante dispositivos como el GPS que puede ser menos preciso.

### 2.3 PRUEBAS DE ESFUERZO

Las pruebas de esfuerzo en Medicina del Deporte son uno de los métodos de evaluación funcional más importantes para los deportistas, ya sean estos sanos o portadores de alguna enfermedad. (Manonelles et al,2016)

Se define como un procedimiento no invasivo que proporciona información de carácter diagnóstico sobre el sistema cardiopulmonar, además de que evalúa la capacidad individual para realizar ejercicio dinámico.

Además, las pruebas de esfuerzo juegan un papel muy importante en la medicina deportiva ya que permiten la detección de cardiopatías ocultas y otras causas que puedan limitar o contraindicar la práctica de ejercicio físico.

En la medicina deportiva, se pueden realizar las pruebas de esfuerzo con diferentes objetivos ya que aportan mucha información que puede ser utilizada para lo siguiente:

- Valorar la capacidad de un individuo para realizar ejercicio.
- Valorar las respuestas de diferentes sistemas (cardiocirculatorio, respiratorio, metabólico, etc.) al ejercicio.
- Obtener la frecuencia cardíaca máxima.
- Obtener el VO<sub>2</sub>max.
- Determinación de los umbrales aeróbico y anaeróbico.
- Detección de enfermedades que pudieran limitar o contraindicar la práctica de ejercicio.

- Valorar el comportamiento de ciertas patologías en relación con el esfuerzo (pacientes con cardiopatías, reacción hipertensiva al esfuerzo, patologías musculares, enfermedades respiratorias, etc.).
- Diagnóstico, pronóstico y valoración de patologías directamente ligadas al esfuerzo (por ejemplo, asma inducida por el ejercicio).

Es común que los futbolistas de fuerzas básicas sean evaluados mediante una prueba de esfuerzo máxima en el periodo de pretemporada con la finalidad de evaluar la capacidad cardiopulmonar descartar alguna patología cardíaca mediante la evaluación electrocardiográfica durante la prueba, e incluso mediante la determinación de los umbrales aeróbico y anaeróbico dar recomendaciones de entrenamiento para que los preparadores físicos puedan implementar dependiendo de los objetivos establecidos durante la temporada.

Para la realización de las pruebas de esfuerzo en laboratorio es necesario un ergómetro, que se puede definir como un aparato que permite dosificar la carga de trabajo del individuo que se está evaluando, oponiendo una resistencia que pueda ser medible y modificable mediante diferentes parámetros físicos, como la velocidad, la pendiente o la masa, cambiando así la intensidad de la carga.

Los ergómetros más utilizados en los futbolistas son la banda sin fin la cual es usada en la mayoría de los casos y el cicloergómetro el cual se usa solo en ciertos casos como en futbolistas que no puedan correr por alguna lesión reciente, por ejemplo.

Existen diferentes tipos de protocolos ya establecidos para realizar las pruebas de esfuerzo máximo. Estos protocolos son modelos ya estandarizados y estudiados en los que se combinan variables de carga (inclinación, velocidad, trabajo realizado o potencia desarrollada, etc.) así como la cantidad de tiempo que se va a realizar, dependiendo del ergómetro que se utilice.

El protocolo se elegirá dependiendo del motivo por el que se realizará la prueba y la información que se requiera obtener de ella.

Aunque hay múltiples protocolos, todos ellos pueden clasificarse dependiendo de sus características: (Manonelles,2016)

– **Intensidad:**

- Protocolos submáximos: Son aquellos que no llevan al deportista a su máxima capacidad de esfuerzo.
- Protocolos máximos: Son aquellos que llevan al deportista a un esfuerzo máximo o hasta al agotamiento.

– **Aplicación de la carga de trabajo:**

- Protocolos de carga constante: En estos protocolos la carga se mantiene constante, es decir no se modifica durante toda la prueba.
- Protocolos de carga incremental: En estos protocolos la carga va aumentando con el tiempo, por ejemplo, el protocolo de Bruce o Bruce modificado, Balke modificado, etc.

Los esfuerzos que los deportistas realizan en algunos entrenamientos y en la mayor parte de las competiciones son máximos, por lo que, para que sea una adecuada evaluación, las pruebas de esfuerzo en los deportistas tienden a ser máximas, a menos que haya algún motivo que lo impida.

### **2.3.1 REQUISITOS PREVIO A UNA PRUEBA DE ESFUERZO**

Previo a la prueba de esfuerzo, es importante realizar una historia clínica completa con la finalidad de determinar si hay alguna patología o lesión subyacente que puedan alterar los resultados de la prueba o en todo caso cancelar la realización de la prueba.

Se informa al deportista sobre la importancia de la prueba, su utilidad, la metodología a seguir y los riesgos que conlleva. Una vez que el deportista ha entendido esto, necesita firmar un consentimiento informado.

En el caso de que el deportista sea menor de edad (por ejemplo, los futbolistas de fuerzas básicas que sean menores de edad) tiene que firmar un tutor.

### **2.3.2 CONTRAINDICACIONES DE LA PRUEBA DE ESFUERZO**

Las contraindicaciones de las pruebas de esfuerzo se clasifican en absolutas y relativas según el colegio americano de medicina del deporte. (Riebe et al., 2018)

Absolutas:

- Infarto de miocardio reciente (menor a 3 días)
- Angina inestable no estabilizada con medicación.
- Arritmias cardíacas incontroladas.

- Endocarditis activa
- Insuficiencia cardíaca no estabilizada.
- Embolia pulmonar
- Pericarditis o miocarditis aguda.
- Estado febril
- Incapacidad física o mental para realizar la prueba.

Relativas:

- Obstrucción de la arteria coronaria izquierda principal.
- Estenosis valvular moderada.
- Hipertensión arterial grave (PAS >200 o PAD 110 mmHg).
- Taquiarritmias o bradiarritmias patológicas.
- Miocardiopatía hipertrófica u otras formas de obstrucción del tracto de salida del ventrículo izquierdo.
- Bloqueo auriculoventricular de segundo grado (Mobitz II) o de tercer grado.
- Accidente vascular cerebral reciente.
- Síncope no diagnosticado.
- Discapacidad mental con capacidad limitada para colaborar.
- Situación médica no corregida o descompensada, como anemia, alteración electrolítica, diabetes o hipertiroidismo.
- Lesión deportiva reciente o en fase de recuperación.

Usualmente no es común que encontremos este tipo de alteraciones en futbolistas, mucho menos en jugadores de fuerzas básicas por lo que usualmente se les realizan a todos, sin embargo, la causa más común de que no se les realicen las pruebas es por alguna lesión reciente.

### **2.3.3 CRITERIOS DE PRUEBA DE ESFUERZO MÁXIMO**

Los criterios de esfuerzo máximo fueron establecidos con la finalidad de determinar cuando un jugador o paciente que este haciendo la prueba haya realizado en realidad un esfuerzo máximo. (Riebe et al., 2018)

Algo importante de recalcar es que los criterios para un esfuerzo máximo alcanzado no están tan bien definidos en adolescentes así como lo están en adultos debido a las diferentes respuestas fisiológicas al ejercicio.

El American College of Sports Medicine establece los siguientes criterios de prueba de esfuerzo máximo: (Riebe et al., 2018)

- No se encuentra un aumento en la frecuencia cardíaca incluso con un aumento en la carga de trabajo.
- Una concentración de lactato venoso  $>8.0 \text{ mmol} \cdot \text{L}$
- Borg  $>17$  en la escala de 6-20.
- Un ratio de intercambio respiratorio (RER)  $\geq 1.10$

En nuestro departamento de Medicina del Deporte del Hospital Universitario “Dr. José Eleuterio González” utilizamos los siguientes criterios de prueba de esfuerzo máximo cuando no usamos la medición de gases ni la medición de lactato en sangre:

- Borg RPE mayor o igual a 18.
- No incremento de la frecuencia cardíaca máxima con incremento de las cargas de trabajo.
- Disnea relacionada al esfuerzo
- Fatiga de miembros inferiores
- Fatiga generalizada

#### **2.4 ECUACIONES PREDICTIVAS DE LA FRECUENCIA CARDÍACA MÁXIMA BASADAS EN EDAD**

La estimación de la frecuencia cardíaca máxima ha sido una característica de la fisiología del ejercicio desde finales de los años 1930. (Robergs & Landwehr, 2002)

Esta búsqueda de una ecuación que permita predecir la frecuencia cardíaca máxima ha sido con la finalidad de poder determinar la frecuencia cardiaca máxima sin necesidad de realizar una prueba de esfuerzo máximo, ya que esta implica ciertos costos o condiciones que no todas las personas puedan cubrir.

A la fecha se han descrito más de 40 ecuaciones (Robergs & Landwehr, 2002) ya que las ecuaciones usualmente son obtenidas mediante regresiones lineares en ciertos grupos poblacionales, por lo que, por ejemplo, una ecuación obtenida en una población de atletas masculinos jóvenes no es aplicable usualmente a un grupo de mujeres sedentarias.

### 2.4.1 ECUACIONES PREDICTIVAS DE LA FRECUENCIA CARDÍACA MÁXIMA DESCRITAS EN LA LITERATURA

La ecuación más estudiada por mucho es aquella descrita por (Fox et al., 1971) que se describe de la siguiente manera:  $220 - \text{edad}$ .

Esta ecuación por Fox fue obtenida en una revisión de actividad física y enfermedad cardiovascular en la cual tomó estudios de múltiples autores previos y con 35 “puntos de información” mediante una regresión lineal menciona el autor que “ninguna línea describirá adecuadamente la información representada en el aparente declive de la frecuencia cardíaca máxima con la edad. La fórmula  $220 - \text{edad}$  en años define una línea no muy lejos de muchos de los puntos de información”.

En otro estudio (Bruce et al., 1974) en el que se buscaba observar la separación de los efectos cardiovasculares y la edad en la función ventricular con el ejercicio máximo, se describen cuatro ecuaciones distintas en diferentes poblaciones:

- Hombres sanos:  $210 - 0.662 \times \text{edad}$
- Pacientes con hipertensión:  $204 - 1.07 \times \text{edad}$
- Pacientes con enfermedad coronaria:  $204 - 1.07 \times \text{edad}$
- Pacientes con hipertensión y enfermedad coronaria:  $210 - 0.662 \times \text{edad}$

Posteriormente se realizó un estudio donde se incluyó una población grande (Londeree & Moeschberger, 1982), de más de 23,000 sujetos con edades de 5 – 81 años, tomado de estudios entre 1950 y 1975.

De este estudio Londeree describe múltiples ecuaciones, ecuaciones multivariadas que incluían además de la edad, otras variables como continente, nivel de capacidad aeróbica (desde sedentario hasta altamente entrenado), si la prueba se había realizado en banda sin fin o cicloergómetro, etc. Sin embargo sí derivó una ecuación en la que solo se incluía la edad como variable y fue la siguiente:  $206.3 - (0.711 \times \text{edad})$ .

Otro estudio en el mismo año (Hossack & Bruce, 1982), evaluaron 98 hombres y 104 mujeres con edades entre 20 y 75 años.

Encontraron que los hombres presentan una reducción mayor que las mujeres respecto a las mujeres en consumo de oxígeno, frecuencia cardíaca e índice cardíaco con el incremento de la edad.

Se derivaron dos ecuaciones de este estudio:

- Hombres:  $227 - 1.067 \times \text{edad}$
- Mujeres:  $206 - 0.597 \times \text{edad}$

En un estudio distinto un año después (Hammond et al., 1983), se evaluaron 156 hombres con enfermedad coronaria, buscando mediante imágenes de radionucleidos causas de incompetencia cronotrópica durante pruebas de esfuerzo máximo.

La ecuación que se derivó de este estudio fue  $209 - \text{edad}$ , en pacientes con enfermedad coronaria.

En un estudio distinto, (Jones et al., 1985) evaluaron 100 sujetos sanos, 50 hombres y 50 mujeres, con edades entre 15 a 71 años, se les realizó una prueba máxima en cicloergómetro y se derivó la siguiente ecuación del estudio:

$$\text{FCMax} = 202 - 0.72 \times \text{edad}$$

En otro estudio, (Inbar et al, 1994) se evaluó una muestra grande de un total de 1424 hombres y mujeres sanos, con una edad media de 46.7, y obtuvo la siguiente ecuación:  $205.8 - 0.685 \times \text{edad}$ .

En otro estudio (Graettinger et al., 1995) buscaban la relación de la estructura del ventrículo izquierdo con la frecuencia cardíaca máxima durante el ejercicio, con la hipótesis de que el tamaño cardíaco y la función están directamente relacionados con el volumen de eyección y deberían de influenciar la frecuencia cardíaca máxima.

Se evaluaron un total de 114 hombres con edades entre 19 y 73 años. 73 de estos eran pacientes normotensos y 41 eran hipertensos. Encontraron que mientras más grande el corazón, menor la frecuencia cardíaca máxima. En los sujetos normotensos solo la edad tuvo relación con la frecuencia cardíaca máxima pero en los sujetos hipertensos, tanto la edad como el grosor relativo de la pared (que se describe como el grosor de la pared del ventrículo izquierdo en relación al tamaño de la cámara del ventrículo izquierdo) tuvieron relación significativa.

Se derivaron dos ecuaciones de este estudio, una en la que solo se incluye la edad:

- $\text{FCMax} = 199 - 0.63 \times \text{edad}$

Otra ecuación en la que se incluye la edad y el grosor relativo de la pared:

- $\text{FCMax} = 173 - 0.96 (\text{edad}) + 94 (\text{grosor relativo de la pared})$

En la conclusión de este estudio, comentan que la FCMax en pacientes hipertensos, la cantidad de masa muscular en el ventrículo izquierdo en relación al tamaño de la cámara es un predictor adicional de la frecuencia cardíaca máxima.

En su libro “Exercise and the heart” (Froelicher, 2000) describe múltiples ecuaciones de distintos autores en investigaciones previas, tanto en poblaciones de personas sanas como en personas con enfermedad coronaria o hipertensión, estas son algunas de las ecuaciones mencionadas:

- Astrand, en una población de hombres sanos de una edad media de 50 años donde se les realizó una prueba en cicloergómetro obtuvo la siguiente ecuación:  $211 - 0.922 \times \text{edad}$ .
- Brick, en una población de mujeres describe la siguiente ecuación:  $226 - \text{edad}$ .
- Cooper, en una población de hombres sanos, con una edad media de 43 años obtuvo la siguiente ecuación:  $217 - 0.845 \times \text{edad}$ .
- Ellestad, en una población de hombres sanos, con una edad media de 42 años, describe la siguiente ecuación:  $197 - 0.556 \times \text{edad}$ .
- Morris, en pacientes con enfermedad cardíaca, con una edad media de 57, obtuvo la siguiente ecuación:  $196 - 0.9 \times \text{edad}$ . Este mismo autor pero con una población de hombres sanos con una edad media de 45 años, describe una ecuación distinta:  $200 - 0.72 \times \text{edad}$ .
- Robinson, en una población de hombres sanos con edad promedio de 30 años, obtuvo la siguiente ecuación:  $212 - 0.775 \times \text{edad}$ .

Otro de los autores de los que más se ha llegado a utilizar su ecuación es Tanaka, el cual realizó un estudio (Tanaka et al., 2001), el cual buscaba validar la ecuación de Fox de  $(220 - \text{edad})$  en una muestra suficientemente grande de adultos mayores.

Realizó un meta-análisis, en el cual se recolectaron valores de frecuencias cardíacas máximas de 351 estudios que involucraban 492 grupos y un total de 18172 sujetos.

De la muestra completa de este estudio se derivó la siguiente ecuación:  $208 - (0.7 \times \text{edad})$ .

Para la población activa la ecuación que describe es la siguiente:  $207 - (0.7 \times \text{edad})$ .

Y para población con entrenamiento en ejercicio de resistencia describe la siguiente ecuación:  $206 - (0.7 \times \text{edad})$ .

En este estudio, Tanaka concluyó que la ecuación de Fox de  $(220 - \text{edad})$  infraestimaba los valores de la frecuencia cardíaca máxima en adultos mayores y sugería el uso de la ecuación previamente mencionada.

Otro estudio más reciente que también incluyó una muestra grande, (Shargal et al., 2015), tomaron de una base de datos de pruebas de esfuerzo realizadas entre los años 1995 y 2009, terminando con un total de 28,215 participantes (20,691 hombres y 7446 mujeres) todos sanos, que no estuvieran usando medicamentos al momento de las pruebas y podían ser sedentarios, activos y altamente entrenados.

Del total de la muestra, (Shargal et al., 2015) derivan dos ecuaciones, una para hombres de la siguiente manera:

$208.609 - (0.716 \times \text{edad})$  y una para mujeres :  $209.273 - (0.804 \times \text{edad})$

Además deriva múltiples ecuaciones dependiendo del grupo de edad, divididos de la siguiente manera:

10 – 19 años: Hombres  $201.104 - (0.326 \times \text{edad})$ , Mujeres  $209.980 - (0.896 \times \text{edad})$

20 – 29 años: Hombres  $207.890 - (0.653 \times \text{edad})$ , Mujeres  $208.355 - (0.753 \times \text{edad})$

30 – 39 años: Hombres  $210.697 - (0.762 \times \text{edad})$ , Mujeres  $208.886 - (0.767 \times \text{edad})$

40 – 49 años: Hombres  $205.820 - (0.656 \times \text{edad})$ , Mujeres  $218.935 - (1.017 \times \text{edad})$

50 – 59 años: Hombres  $208.668 - (0.766 \times \text{edad})$ , Mujeres  $206.214 - (0.785 \times \text{edad})$

60 – 69 años: Hombres  $266.006 - (1.699 \times \text{edad})$ , Mujeres  $251.091 - (1.521 \times \text{edad})$

70 – 79.9 años: Hombres  $147.950 - (0.066 \times \text{edad})$ , Mujeres  $148.464 - (0.203 \times \text{edad})$

Ya que la mayoría de estos estudios han sido en población adulta, se realizó un estudio (Mahon et al., 2010) en población de niños y adolescentes donde se buscaba ver si las ecuaciones de Fox y Tanaka eran aplicables a estas edades. Encontraron que la ecuación de Fox sobreestimó la FCMax promedio por 7 latidos por minuto, mientras que la diferencia con la ecuación de Tanaka fue solo 1 latido por minuto.

Sin embargo, encontraron que la frecuencia cardíaca en reposo junto con la edad generaban resultados más acertados y reportan la siguiente ecuación:

Mahon:  $158.4 + 0.44 * (\text{FC Reposo}) + 0.68 * (\text{edad})$ .

En conclusión, se han descrito múltiples ecuaciones predictivas de la frecuencia cardíaca máxima a lo largo de los años en distintos tipos de poblaciones, usadas usualmente para determinar la frecuencia cardíaca máxima de una persona sin que se le realice una prueba de esfuerzo máxima, usualmente con la finalidad de poder establecer intensidades de ejercicio con base en la frecuencia cardíaca para la prescripción de ejercicio en pacientes sanos o atletas por ejemplo, o para fines de rehabilitación cardíaca en pacientes con enfermedades cardiovasculares. Con los estudios que se han realizado se ha encontrado que la principal variable que afecta la frecuencia cardíaca máxima es la edad, por lo que la mayoría de las ecuaciones incluyen la edad como parte de su cálculo. (Robergs, 2002)

Otra variable que algunas ecuaciones incluyen es la frecuencia cardíaca en reposo. (Mahon, 2010)

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1 CARACTERÍSTICAS DEL ESTUDIO.**

##### **3.1.1 DISEÑO DEL ESTUDIO**

- Observacional, transversal, descriptivo, retrospectivo y comparativo.

##### **3.1.2 LUGAR O SITIO DEL ESTUDIO**

- Departamento de Medicina del Deporte y Rehabilitación, Hospital Universitario “Dr. José Eleuterio González”

##### **3.1.3 MUESTRA**

- Debido a la naturaleza del estudio, se tomó como “n” poblacional, utilizando los expedientes de las pruebas de esfuerzo de las fuerzas básicas de Tigres, categorías sub-16, sub-18 y sub-20, siendo un total de 57 jugadores evaluados en el año 2021.

##### **3.1.4 CRITERIOS DE INCLUSIÓN**

- Jugadores de fútbol de fuerzas básicas.
- Categorías sub-16, sub-18, sub-20.
- Expedientes completos de pruebas de esfuerzo realizadas en 2021.
- Pruebas que cumplan con al menos 2 criterios de prueba de esfuerzo máximo

##### **3.1.5 CRITERIOS DE EXCLUSIÓN**

- Expedientes incompletos.
- Electrocardiogramas con alteraciones patológicas.
- Pruebas que no cumplan con al menos 2 criterios de prueba de esfuerzo máximo

### 3.1.6 CRITERIOS DE PRUEBA DE ESFUERZO MÁXIMO

- Borg RPE mayor o igual a 18.
- No incremento de la frecuencia cardíaca máxima con incremento de las cargas de trabajo.
- Disnea relacionada al esfuerzo
- Fatiga de miembros inferiores
- Fatiga generalizada

### 3.2 ECUACIONES PREDICTIVAS DE LA FRECUENCIA CARDÍACA MÁXIMA BASADAS EN EDAD QUE SE ANALIZARON

- Fox:  $220 - \text{edad}$ . Por ser la ecuación más utilizada.
- Tanaka:  $208 - (0.7 \times \text{edad})$ . Por su uso común en la literatura de ejercicio.
- Tanaka<sup>2</sup>:  $206 - (0.7 \times \text{edad})$ . Descrita para atletas de resistencia aeróbica.
- Nikolaidis:  $223 - (1.44 \times \text{edad})$ . Porque fue derivada específicamente de una población de futbolistas jóvenes.
- Shargal:  $201.104 - (0.326 \times \text{edad})$ . Porque fue derivada de una muestra grande de 4653 hombres de 10 a 19.9 años.
- Londeree:  $206.3 - (0.711 \times \text{edad})$ . Por haber sido obtenida con atletas de nivel nacional.
- Mahon:  $158.4 + 0.44 * (\text{FC Reposo}) + 0.68 * (\text{edad})$ . Por haber sido obtenida en población de deportistas jóvenes e incluir la frecuencia cardíaca en reposo.
- Gelbart:  $= 186 + 0.25 * (\text{FC Reposo}) - 0.14 * (\text{Peso en kg})$ . Por haber sido obtenida en población de deportistas niños y adolescentes.

### 3.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

- En la estadística descriptiva se reportaron frecuencias y porcentajes para variables categóricas. Para las variables cuantitativas se reportaron medidas de tendencia central y dispersión (media/mediana; desviación estándar/rango intercuartil).
- En la estadística inferencial se evaluó la distribución de la muestra por medio de la prueba de Kolmogórov-Smirnov.
- Se compararon variables categóricas por medio de la prueba de Chi cuadrado de Pearson o test exacto de Fisher. Para comparar grupos independientes se utilizaron las pruebas de t-Student y/o U de Mann Whitney. Para identificar el grado de asociación entre variables continuas se utilizaron los coeficientes de correlación de Pearson y Spearman.
- Se consideró un valor de  $P < 0.05$  y un intervalo de confianza al 95% como estadísticamente significativo. Se utilizó el paquete estadístico SPSS versión 25.

## 4. RESULTADOS

Se analizaron un total de 57 jugadores con las siguientes características.

La diferencia entre la frecuencia cardíaca máxima obtenida durante las pruebas de esfuerzo y los valores de la frecuencia cardíaca máxima determinada por las ecuaciones de:

(Tanaka; Tanaka<sup>2</sup>; Shargal; Londeree; Mahon y Gelbart), fue estadísticamente significativa, es decir más alejadas de las FCMax reales obtenidas en las PE.

La diferencia entre la frecuencia cardíaca máxima obtenida durante las pruebas de esfuerzo y los valores de la frecuencia cardíaca máxima determinada por las ecuaciones de:

(Fox y Nikolaidis) no fue estadísticamente significativa, es decir que estas ecuaciones fueron cercanas a las FCMax reales obtenidas.

### Tabla 1

#### Características Descriptivas de los Participantes (N = 57)

	PROMEDIO (DE)	MÍNIMO	MÁXIMO
<b>Edad</b> (años)	16.86 (1.53)	14	20
<b>Estatura</b> (m)	1.75 (0.06)	1.58	1.86
<b>Peso</b> (kg)	66.83 (7.70)	48.9	82.7
<b>Grasa corporal</b> (%)	12.88 (2.94)	7	20
<b>FCR</b> (latidos por min)	60.65 (10)	38	86
<b>FCM</b> (latidos por min)	200.7 (8.82)	187	222

DE – Desviación Estándar; FCR – Frecuencia cardíaca en reposo; FCM – Frecuencia cardíaca máxima

Tabla 2

**Valores de las ecuaciones evaluadas**

Medición de la FCM	Promedio (lpm)	Desviación estándar	Valor de p
FCM OBT	200.70	8.82	
<b>FOX*</b>	<b>203.14</b>	<b>1.52</b>	<b><math>p = 0.054</math></b>
<b>NIKOLAIDIS*</b>	<b>198.72</b>	<b>2.2</b>	<b><math>p = 0.107</math></b>
SHARGAL	195.60	1.07	$p < 0.001$
LONDEREE	194.31	1.07	$p < 0.001$
MAHON	196.55	0.48	$p = 0.001$
GELBART	191.80	1.08	$p < 0.001$
TANAKA	196.19	4.36	$p < 0.001$
TANAKA <sup>2</sup>	194.19	2.65	$p < 0.001$

FCM – Frecuencia Cardíaca Máxima ; FCM OBT – Frecuencia cardíaca máxima obtenida ; lpm – Latidos por minuto

La significancia estadística fue determinada con un valor de  $p < 0.05$ .

\* Ecuaciones no estadísticamente significativas

En este estudio en el que comparamos distintas ecuaciones con las frecuencias cardíacas obtenidas, queremos que las ecuaciones sean los más cercanas o acertadas posibles cuando se comparan con los valores obtenidos, porque queremos que puedan sustituir los valores de las frecuencias cardíacas que se obtuvieron con las pruebas de esfuerzo. Por lo tanto, cuando hablamos de aquellas que fueron estadísticamente significativas hablamos de ecuaciones que se alejaron de los valores

de la frecuencia cardíaca obtenida en las pruebas de esfuerzo, saliéndose del rango de confianza. Por el contrario, las ecuaciones que no presentan significancia estadística son aquellas que quedan muy cerca de los valores de la frecuencia cardíaca obtenida, quedando dentro del rango de confianza.

## 5. DISCUSIÓN

Los resultados nos muestran que las ecuaciones de Tanaka, Shargal, Londeree, Mahon y Gelbart son estadísticamente significativas al compararlas con las frecuencias cardíacas obtenidas durante las pruebas de esfuerzo. En otras palabras, todas estas ecuaciones previas se salen del rango de confianza y por lo tanto la diferencia es notoria con las frecuencias cardíacas obtenidas.

En el caso de las ecuaciones predictivas de la frecuencia cardíaca máxima, queremos que sean lo más acertadas o cercanas posibles a las frecuencias cardíacas obtenidas por pruebas de esfuerzo y los resultados muestran que tanto la ecuación de Fox como la de Nikolaidis no fueron estadísticamente significativas, en otras palabras, estas dos ecuaciones pudieran ser usadas en esta población de deportistas para calcular las frecuencias cardíacas máximas sin necesidad de realizar una prueba de esfuerzo.

Este estudio muestra resultados similares a los de (Cicone,2018) ya que en ambos las ecuaciones de Fox y la de Nikolaidis no mostraron diferencias estadísticamente significativas.

Esto les puede permitir a clubes de fútbol de jóvenes que no tengan la posibilidad de realizarles pruebas de esfuerzo máximas monitorizadas ya sea por el costo o falta de equipo, que utilicen alguna de estas ecuaciones para cálculo de la frecuencia cardíaca máxima y así poder establecer planes de trabajo con intensidades basadas en la frecuencia cardíaca máxima predicha.

## **6. LIMITACIONES Y PERSPECTIVA PARA EL FUTURO**

Una de las limitaciones de este estudio es el número de participantes, que a pesar de ser una cantidad estadísticamente adecuada para que los resultados sean válidos, siempre una muestra mayor va a arrojar menos sesgos.

Una aportación interesante sería repetir este estudio, pero incluyendo múltiples clubs de fuerzas básicas de fútbol de México para que fuera una muestra mayor y los resultados sean más generalizados.

Otro aspecto importante sería realizarlo tanto en fuerzas básicas masculinos como en fuerzas básicas femeninas ya que en este estudio solo se tomó la población de fuerzas básicas masculinos.

## 7. CONCLUSIONES

En este estudio en el que comparamos las frecuencias cardíacas máximas obtenidas en las pruebas de esfuerzo máximo con las frecuencias cardíacas máximas esperadas por las ecuaciones predictivas de la frecuencia cardíaca máxima, los resultados nos muestran que las ecuaciones de Fox y Nikolaidis generan la menor diferencia promedio, con resultados no estadísticamente significativos al predecir la frecuencia cardíaca máxima en nuestra población de atletas de fuerzas básicas de fútbol.

Estos hallazgos sugieren que cuando se evalúan atletas jóvenes élite, las ecuaciones de Fox o Nikolaidis pueden ser las más útiles para aplicarse.

Recomendamos que más estudios – con más sujetos, realizados en diferentes centros, y en diferentes poblaciones de deportistas élite jóvenes – se realicen para evaluar la utilidad de nuestras conclusiones.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

1. Bruce, R. A., Fisher, L. D., Cooper, M. N., & Gey, G. O. (1974). Separation of effects of cardiovascular disease and age on ventricular function with maximal exercise. *Am J Cardiol*, 34(7), 757-763. [https://doi.org/10.1016/0002-9149\(74\)90692-4](https://doi.org/10.1016/0002-9149(74)90692-4)
2. Cicone, Z. S., Sinelnikov, O. A., & Esco, M. R. (2018). Age-Predicted Maximal Heart Rate Equations Are Inaccurate for Use in Youth Male Soccer Players. *Pediatr Exerc Sci*, 30(4), 495-499. <https://doi.org/10.1123/pes.2017-0281>
3. Colantonio, E., Augusta, M., Dal, P., & Kiss, M. (2013). Is the  $HR_{max}=220-age$  Equation Valid to Prescribe Exercise Training in Children? *Journal of Exercise Physiology Online*, 16.
4. Fletcher, G. F., Ades, P. A., Kligfield, P., Arena, R., Balady, G. J., Bittner, V. A., Coke, L. A., Fleg, J. L., Forman, D. E., Gerber, T. C., Gulati, M., Madan, K., Rhodes, J., Thompson, P. D., & Williams, M. A. (2013). Exercise standards for testing and training: a scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*, 128(8), 873-934. <https://doi.org/10.1161/CIR.0b013e31829b5b44>
5. Fox, S. M., 3rd, Naughton, J. P., & Haskell, W. L. (1971). Physical activity and the prevention of coronary heart disease. *Ann Clin Res*, 3(6), 404-432.

6. Froelicher, V.F. & Myers, J.N (2000); Exercise and the heart. 4th ed. Philadelphia: W.B. Saunders Company.
7. Gellish, R. L., Goslin, B. R., Olson, R. E., McDonald, A., Russi, G. D., & Moudgil, V. K. (2007). Longitudinal modeling of the relationship between age and maximal heart rate. *Med Sci Sports Exerc*, 39(5), 822-829. <https://doi.org/10.1097/mss.0b013e31803349c6>
8. Graettinger, W. F., Smith, D. H., Neutel, J. M., Myers, J., Froelicher, V. F., & Weber, M. A. (1995). Relationship of left ventricular structure to maximal heart rate during exercise. *Chest*, 107(2), 341-345. <https://doi.org/10.1378/chest.107.2.341>
9. Hammond, H. K., Kelly, T. L., & Froelicher, V. (1983). Radionuclide imaging correlates of heart rate impairment during maximal exercise testing. *J Am Coll Cardiol*, 2(5), 826-833. [https://doi.org/10.1016/s0735-1097\(83\)80228-9](https://doi.org/10.1016/s0735-1097(83)80228-9)
10. Hossack, K. F., & Bruce, R. A. (1982). Maximal cardiac function in sedentary normal men and women: comparison of age-related changes. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, 53(4), 799-804. <https://doi.org/10.1152/jappl.1982.53.4.799>
11. Inbar, O. Oten, A., Scheinowitz, M., Rotstein, A., Dlin, R. and Casaburi, R. (1994). Normal cardiopulmonary responses during incremental exercise in 20-70-yr-old men. *Med Sci Sport Exerc* 1994;26(5):538-546.

12. Jones, N. L., Makrides, L., Hitchcock, C., Chypchar, T., & McCartney, N. (1985). Normal standards for an incremental progressive cycle ergometer test. *Am Rev Respir Dis*, 131(5), 700-708. <https://doi.org/10.1164/arrd.1985.131.5.700>
13. Karvonen, J., & Vuorimaa, T. (1988). Heart rate and exercise intensity during sports activities. Practical application. *Sports Med*, 5(5), 303-311. <https://doi.org/10.2165/00007256-198805050-00002>
14. Kindermann, W., Simon, G., & Keul, J. (1979). The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 42(1), 25-34. <https://doi.org/10.1007/bf00421101>
15. Lester, M., Sheffield, L. T., Trammell, P., & Reeves, T. J. (1968). The effect of age and athletic training on the maximal heart rate during muscular exercise. *Am Heart J*, 76(3), 370-376. [https://doi.org/10.1016/0002-8703\(68\)90233-0](https://doi.org/10.1016/0002-8703(68)90233-0)
16. Londeree, B. R., & Moeschberger, M. L. (1982). Effect of Age and Other Factors on Maximal Heart Rate. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 53(4), 297-304. <https://doi.org/10.1080/02701367.1982.10605252>
17. Machado, F. A., & Denadai, B. S. (2011). Validity of maximum heart rate prediction equations for children and adolescents. *Arq Bras Cardiol*, 97(2), 136-140. <https://doi.org/10.1590/s0066-782x2011005000078>

18. Mahon, A. D., Marjerrison, A. D., Lee, J. D., Woodruff, M. E., & Hanna, L. E. (2010). Evaluating the prediction of maximal heart rate in children and adolescents. *Res Q Exerc Sport*, 81(4), 466-471. <https://doi.org/10.1080/02701367.2010.10599707>
19. Manonelles, P. et al. (2016). *Pruebas de esfuerzo en medicina del deporte*. Arch Med Deporte 2016;33(Supl. 1):5-83
20. Nikolaidis, P. T. (2014). Age-predicted vs. measured maximal heart rate in young team sport athletes. *Niger Med J*, 55(4), 314-320. <https://doi.org/10.4103/0300-1652.137192>
21. Nikolaidis, P. T. (2015). Maximal heart rate in soccer players: measured versus age-predicted. *Biomed J*, 38(1), 84-89. <https://doi.org/10.4103/2319-4170.131397>
22. Poole, D. C., Wilkerson, D. P., & Jones, A. M. (2008). Validity of criteria for establishing maximal O<sub>2</sub> uptake during ramp exercise tests. *Eur J Appl Physiol*, 102(4), 403-410. <https://doi.org/10.1007/s00421-007-0596-3>
23. Pugh, L. G. C. E. (1970). Oxygen intake in track and treadmill running with observations on the effect of air resistance. *The Journal of Physiology*, 207(3), 823-835. <https://doi.org/https://doi.org/10.1113/jphysiol.1970.sp009097>
24. Riebe, D., Ehrman, J., Liguori, G., & Magal, M. (2018). *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription*.

25. Robergs, R., & Landwehr, R. (2002). The surprising history of the "HRmax=220-age" equation. *International Journal of Online Engineering - iJOE*, 5.
26. Robinson, S. (1938). Experimental studies of physical fitness in relation to age. *Arbeitsphysiologie*, 10(3), 251-323. <https://doi.org/10.1007/BF02011412>
27. Scherr, J., Wolfarth, B., Christle, J. W., Pressler, A., Wagenpfeil, S., & Halle, M. (2013). Associations between Borg's rating of perceived exertion and physiological measures of exercise intensity. *Eur J Appl Physiol*, 113(1), 147-155. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2421-x>
28. Shargal, E., Kislev-Cohen, R., Zigel, L., Epstein, S., Pilz-Burstein, R., & Tenenbaum, G. (2015). Age-related maximal heart rate: examination and refinement of prediction equations. *J Sports Med Phys Fitness*, 55(10), 1207-1218.
29. Tanaka, H., Monahan, K. D., & Seals, D. R. (2001). Age-predicted maximal heart rate revisited. *J Am Coll Cardiol*, 37(1), 153-156. [https://doi.org/10.1016/s0735-1097\(00\)01054-8](https://doi.org/10.1016/s0735-1097(00)01054-8)
30. Zhu, N., Suarez-Lopez, J. R., Sidney, S., Sternfeld, B., Schreiner, P. J., Carnethon, M. R., Lewis, C. E., Crow, R. S., Bouchard, C., Haskell, W. L., & Jacobs, D. R., Jr. (2010). Longitudinal examination of age-predicted symptom-limited exercise maximum HR. *Med Sci Sports Exerc*, 42(8), 1519-1527. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181cf8242>

