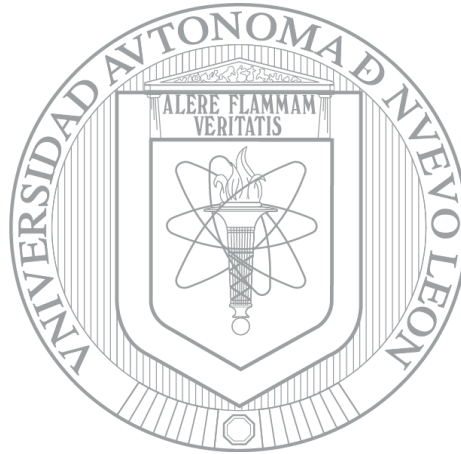


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE ORGANIZACIÓN DEPORTIVA
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO**



**DETERMINACIÓN Y COMPARACIÓN DE LA EVALUACIÓN
DEL VO_{2max} MEDIANTE PRUEBA DIRECTA E INDIRECTA EN
JUGADORES DE FUTBOL AMERICANO A NIVEL
UNIVERSITARIO EN MÉXICO.**

PRESENTA:

ELFEGA SÁMANO PÉREZ

**COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN ACTIVIDAD FÍSICA Y DEPORTE
CON ORIENTACIÓN EN ALTO RENDIMIENTO DEPORTIVO**

SAN NICOLÁS DE LOS GARZA, NUEVO LEÓN

JULIO 2016




UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE ORGANIZACIÓN DEPORTIVA
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO



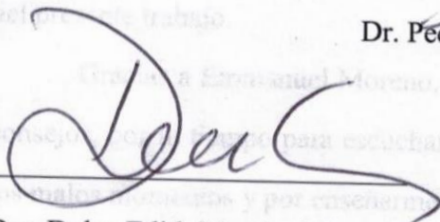
Los miembros del Comité de Titulación de la Subdirección de Posgrado de la Facultad de Organización Deportiva, recomendamos que la tesina “Determinación y comparación de la evaluación del VO_{2max} mediante prueba directa e indirecta en jugadores de futbol americano a nivel universitario en México” realizado por la Dra. Elfega Sámano Pérez, sea aceptado para su defensa como oposición al grado de Maestro en Actividad Física y Deporte con Orientación en Alto Rendimiento Deportivo.

COMITÉ DE TITULACIÓN




Dr. Pedro Gualberto Morales Corral

Asesor Principal



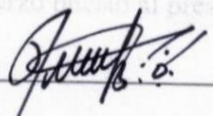
Dra. Dulce Edith Morales Elizondo

Co-asesor



Dr. Fernando Alberto Ochoa Ahmed

Co-asesor



Dra. Blanca Rocío Rangel Colmenero
Subdirectora de Posgrado

San Nicolás de los Garza, Nuevo León. A Junio del 2016.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera primeramente agradecer a mi familia, que a pesar de las dificultades y adversidades que nos ha tocado vivir, me ha apoyado incondicionalmente en todos mis proyectos y me ha alentado siempre a seguir adelante. A mis padres Elfega y Guillermo, porque por ellos, soy. Espero algún día poder hacerlos sentir la mitad de orgullosos de lo que ustedes me hacen sentir a mi. A mi hermano Guillermo, gracias por ser el mejor hermano y por ser el mejor ejemplo a seguir. A Mayela y Celia, por ser las hermanas más perfectas que pueda tener y por siempre escucharme y aconsejarme.

Agradezco al Dr. Pedro Morales, mi asesor principal, por apoyarme y guiarme en el transcurso de la maestría y en la realización del presente trabajo, así como por todo lo que ha contribuido a mi formación profesional. A la Dra. Dulce Morales, por sus enseñanzas, por su amistad y por sus grandes aportaciones en mi realización personal y profesional. Al Dr. Fernando Ochoa, por su infinita paciencia y por sus valiosas contribuciones para la realización del presente trabajo.

Gracias a Emmanuel Moreno, por acompañarme a lo largo de estos años, por tus consejos, por tu tiempo para escucharme, por siempre estar presente en los buenos y en los malos momentos y por enseñarme que en esta vida el “NO” ya lo tengo asegurado, lo demás es ganancia. Te amo.

A todos los maestros que han sido parte de mi formación académica, a familiares y amigos que han sido testigos del esfuerzo puesto al presente trabajo, muchas gracias.

DEDICATORIA

A mi padre Guillermo, quien a pesar de no estar físicamente conmigo, su esencia me acompaña todos los días, a todas horas. Te amo con todo mi corazón Priskis.

A mi madre Elfega, quien es la mujer más valiente, amorosa e inteligente que conozco. Gracias por ser mi mamá, te amo con todo mi corazón.

A mi hermano Guillermo, quien con su infinita valentía y resiliencia me enseña todos los días que no se puede vencer a alguien que no se rinde.

INDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	JUSIFICACIÓN.....	5
3.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
4.	HIPÓTESIS.....	11
5.	OBJETIVOS	13
5.1.	Objetivo general	14
5.2.	Objetivos específicos.....	14
6.	MARCO TEÓRICO.....	15
6.1.	FUTBOL AMERICANO	16
6.1.1.	Posiciones de la Ofensiva.....	16
6.1.2.	Posiciones de la Defensiva	17
6.2.	FUTBOL AMERICANO EN MÉXICO	18
6.3.	SISTEMAS ENERGÉTICOS EN EL DEPORTE	19
6.3.1.	Sistema de los fosfágenos (ATP-PC)	19
6.3.2.	Sistema anaeróbico láctico o glucólisis anaeróbica.....	20
6.3.3.	El sistema oxidativo o glucólisis aeróbica.....	20
6.4.	REQUERIMIENTOS ENERGÉTICOS EN EL FUTBOL AMERICANO ..	21
6.5.	CONSUMO DE OXIGENO (VO ₂) Y CONSUMO DE OXIGENO MÁXIMO (VO _{2max}).....	23

6.6.	MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DEL VO_{2max}	24
6.6.1.	Método directo	24
6.6.1.1.	Bolsa de Douglas	25
6.6.1.2.	Espirometría de carro metabólico	25
6.6.1.3.	Espirometría portátil	26
6.6.2.	Método Indirecto	26
6.6.2.1.	Pruebas de campo	27
6.6.2.1.1.	Test de Course Navette (20-m Shuttle run test)	27
6.6.2.1.2.	Test de Cooper	27
6.6.2.1.3.	Test de la milla y media (Test de 1.5 millas)	28
6.6.2.2.	Pruebas de esfuerzo respiratorio	29
6.6.2.2.1.	Protocolo de Bruce para banda sin fin	30
7.	MATERIAL Y METODOS	32
7.1.	Diseño del estudio	33
7.2.	Criterios de inclusión.....	33
7.3.	Criterios de exclusión	33
7.4.	Criterios de eliminación	33
7.5.	Muestra.....	33
7.6.	Procedimiento.....	33
7.7.	Prueba de esfuerzo.....	34
7.8.	Prueba de 1.5 millas	35
7.9.	Análisis estadístico	36
8.	RESULTADOS.....	37

9. DISCUSIÓN	45
10. CONCLUSIONES	49
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Protocolo de Bruce para banda sin fin.....	31
Tabla 2. Diseño del estudio.....	34
Tabla 3. Criterios para VO_{2max}	35
Tabla 4. Nivel de correlación según Evans.....	36
Tabla 5. Descriptivos de la muestra.....	38
Tabla 6. Descriptivos de la muestra por posición.....	38
Tabla 7. Valores de Consumo de oxígeno máximo de la muestra expresado en forma relativa.....	39
Tabla 8. Valores de Consumo de oxígeno máximo por posición expresado en forma relativa.....	39
Tabla 9. Correlación con el VO_{2max} de espirometría directa.....	40
Tabla 10. Correlación con el VO_{2max} de espirometría directa por posición.....	40

INDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Correlación del VO_{2max} Directo con el VO_{2max} estimado por ecuación de protocolo de Bruce en Linieros.....41
- Figura 2.** Correlación del VO_{2max} Directo con el VO_{2max} estimado por ecuación de protocolo de Bruce en No Linieros.....42
- Figura 3.** Correlación del VO_{2max} Directo con el VO_{2max} estimado por ecuación de carrera del ACSM con test de 1.5 millas en Linieros.....43
- Figura 4.** Correlación del VO_{2max} Directo con el VO_{2max} estimado por ecuación de carrera del ACSM con test de 1.5 millas en No Linieros.....44

1. INTRODUCCIÓN

El futbol americano es un deporte de conjunto que actualmente tiene presencia en más de 70 países en los 5 continentes del mundo¹. Esta disciplina se encuentra regulada internacionalmente por la Federación Internacional de Futbol Americano y en nuestro país tiene presencia desde el año 1928. Desde entonces ha ido teniendo cada vez más mayor aceptación hasta convertirse en uno de los deportes más populares en México.

Este deporte es clasificado como acíclico, ya que compone movimientos integrales realizados en una sola acción, e intermitente, debido a las características en cuanto al tiempo de ejecución de cada jugada y duración total del partido². El futbol americano es un deporte en donde una jugada dura de 8 a 10 segundos aproximadamente y donde el tiempo máximo otorgado por el reglamento para comenzar la jugada siguiente es de 40 segundos. Es considerado que la contribución de energía para el desarrollo del mismo la brinda principalmente el sistema anaeróbico³. Sin embargo, la duración total del juego excede generalmente las 2 horas, en las cuales se ha reportado un promedio de 70 jugadas realizadas en un partido de futbol americano universitario⁴ y 155 jugadas en un partido de futbol americano profesional⁵. Debido a esto, la contribución y evaluación del sistema aeróbico en este tipo de atletas cobra suma importancia y para ello es necesaria la determinación del consumo de oxígeno (VO_2)⁶.

La medición del consumo de oxígeno refleja la tasa a la cual el cuerpo humano capta, transporta y utiliza el oxígeno, ya sea en reposo o durante el ejercicio. El VO_2 es una variable comúnmente medible durante una prueba de esfuerzo cardiovascular, y el VO_2 más alto registrado durante el ejercicio al realizar el máximo esfuerzo se denomina consumo de oxígeno máximo (VO_{2max})⁶. El VO_{2max} es considerado como el estándar de oro de medición de la capacidad aeróbica⁷.

Existen métodos directos para conocer e indirectos para estimar el VO_{2max} de un atleta. Los métodos indirectos por lo general suelen ser precisos pero no exactos; se han

establecido varios protocolos para estimar el VO_2 con el fin de disminuir los costos en su obtención. Sin embargo, los directos tienen gran precisión y exactitud al evaluar el aire espirado del sujeto. Ambos se pueden desarrollar sobre una banda sin fin, un cicloergómetro o directamente en la actividad que la persona realice dentro o fuera del laboratorio.

La medición directa o real del VO_{2max} es una prueba de alto costo por el tipo de equipo que se utiliza y por requerir personal calificado, así como por el mantenimiento constante, reservándolo de manera principal para el área de la investigación clínica⁸. Estas limitaciones hacen que sea poco utilizada por los atletas y entrenadores.

En cuanto a la medición indirecta, existen diferentes fórmulas empleadas ya sea en pruebas de campo o en protocolos de prueba de esfuerzo que estiman el cálculo del VO_{2max} . Estas ecuaciones pueden ser específicas para una prueba o protocolo determinado, tal es el caso de la ecuación metabólica basada en el protocolo de Bruce, donde se predice el VO_{2max} a partir del tiempo que registra el atleta en la banda sin fin⁹. Del mismo modo, existen ecuaciones no específicas de un protocolo como es el caso de las desarrolladas por el American College of Sports Medicine (ACSM) las cuales estiman el VO_{2max} de acuerdo a diferentes actividades (correr, caminar, subir y bajar un escalón y cicloergómetro de brazos o de piernas).

Actualmente la mayoría de los programas de fútbol americano se enfocan en conocer las capacidades físicas en donde predominan los sistemas anaeróbicos, pues se considera que la capacidad aeróbica no es prioridad. Conocer la capacidad aeróbica de estos atletas puede resultar de gran utilidad, ya que se ha demostrado que un óptimo nivel de VO_{2max} permitirá desarrollar un rendimiento más eficaz y eficiente, potencializando así las demás capacidades físicas y su recuperación^{2,3,10}.

Son varios los autores que han medido el VO_{2max} en este deporte¹¹⁻¹⁶. Sin embargo, actualmente no existe información en la literatura acerca de la medición directa del VO_{2max} en el jugador de futbol americano a nivel universitario en México.

Por tal motivo, el propósito de este estudio es determinar el VO_{2max} en una población de atletas que practican este deporte mediante una prueba graduada de esfuerzo en banda sin fin de manera directa con espirometría utilizando el protocolo de Bruce y dos pruebas indirectas: ecuación del protocolo de Bruce con prueba graduada de esfuerzo en banda sin fin y ecuación de ACSM con la prueba de 1.5 millas. Así como de comparar las dos mediciones indirectas en relación a la directa.

2. JUSTIFICACIÓN

A la fecha existe un déficit en estudios que determinen el perfil aeróbico de jugadores de fútbol americano en México y el mundo^{3,13,17}. Esto se puede deber a que tradicionalmente, por las características del deporte, se pone más énfasis en el perfil anaeróbico de estos atletas. Diversos autores han documentado las necesidades de contar con un gran potencial anaeróbico para realizar colisiones, sprints y saltos explosivos necesarios en el fútbol americano^{18,19}. Sin embargo, poco se ha estudiado la capacidad aeróbica para el rendimiento y recuperación de éstos atletas.

Pincivero y Bompa² reportan que las demandas del fútbol americano incluyen velocidad, fuerza, potencia, agilidad, flexibilidad, resistencia anaeróbica y resistencia aeróbica; ya que además de realizar movimientos explosivos y de rápida aceleración se deben poder realizar estas acciones a lo largo de un juego prolongado con pausas cortas de recuperación, con un máximo de 40 segundos entre cada jugada.

Hoffman⁴ reporta que el promedio de series ofensivas durante un partido de temporada regular de la NCAA División III es de 14.4, con un promedio de 4.6 jugadas por serie. Lo anterior refleja que en aproximadamente 2 horas el jugador está realizando y repitiendo en promedio 70 veces los movimientos acíclicos explosivos propios del deporte.

Además, el tiempo otorgado entre jugadas es un aspecto importante a tomar en cuenta. Takahashi et al.²⁰ reportaron que el tiempo de resíntesis de fosfocreatina (PC) en ejercicios de alta intensidad, como los realizados en el fútbol americano, es de 55-90 segundos en el músculo cuádriceps. Esto pudiera ser una limitante a medida que avanza el partido y se incrementa el número de jugadas acumuladas, dado que el tiempo reglamentario entre éstas es de máximo 40 segundos, por lo que el tiempo de reposición de PC en el músculo esquelético pudiera no ser suficiente. Takahashi et al.²⁰, Berning³, Balsom et al.²¹ y Parolin et al.²² han encontrado que los atletas que cuentan con mayor capacidad aeróbica poseen la habilidad de sintetizar más rápidamente la PC después de

realizar ejercicios de corta duración y alta intensidad en comparación con lo que tienen menor capacidad aeróbica.

Feairheller et al.¹³ han medido directamente el VO_{2max} en jugadores de fútbol americano encontrando valores bajos en comparación con controles sanos no deportistas. Si tomamos en cuenta lo publicado por Carbuhn et al.²³, valorar el VO_{2max} en el fútbol americano es importante ya que un perfil fisiológico y morfológico del jugador contribuye a un mejor desempeño deportivo en cualquier posición.

Así pues, debido a la intensidad de las jugadas, al corto tiempo otorgado entre las mismas para recuperarse y a la duración total de un partido se pone en demanda la necesidad de valorar la capacidad aeróbica de estos atletas para su óptimo rendimiento deportivo.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Es posible que la escasez de estudios en relación al VO_{2max} en jugadores de futbol americano sea secundaria a que los requerimientos de cada jugada son primordialmente anaeróbicos, y por ende no exista un interés para evaluar y mejorar la capacidad aeróbica de estos atletas. Esto es particularmente cierto si consideramos que una jugada tiene una duración de 8 a 10 segundos. Así mismo, se cuenta con un periodo de descanso entre jugadas de máximo 40 segundos de duración. Hoffman⁴ ha documentado que en promedio se realizan 70 jugadas por partido en el futbol americano universitario. A su vez se ha establecido que el reabastecimiento de PC en actividades de alta intensidad es de 55-90 segundos²⁰. Balsom et al.²¹ y Parolin et al.²² han reportado que a medida que se repite el ejercicio de alta intensidad se va teniendo más contribución del metabolismo aeróbico. Con lo anterior, de acuerdo a la intensidad de las jugadas, al corto tiempo otorgado entre las mismas y a la duración total de un partido, se manifiesta la utilidad de la valoración aeróbica. Por tal motivo, consideramos que la evaluación de la capacidad aeróbica a través del VO_{2max} de estos atletas es de gran importancia.

Las limitaciones previamente mencionadas en relación a la medición directa del VO_{2max} han provocado que la mayoría de los entrenadores utilicen las pruebas indirectas para determinar dicho parámetro. Diversos autores¹¹⁻¹⁶ han reportado esta variable, medida de manera directa con un ergómetro y analizador de gases. Otros más han valorado el VO_{2max} de manera indirecta con test de campo, encontrando resultados variables²⁴. En México, García Alvarado²⁵ reporta el perfil aeróbico de jugadores de futbol americano medido de manera indirecta. Sin embargo, actualmente no existe ningún estudio acerca de la determinación de ésta variable medida directamente en jugadores de futbol americano universitario.

Por lo tanto, nos damos a la tarea de determinar el VO_{2max} de manera directa e indirecta en una población de jugadores de futbol americano a nivel universitario en

México y comparar las mediciones indirectas de $\text{VO}_{2\text{max}}$ en relación a la medición directa.

4. HIPÓTESIS

- H0 Las mediciones indirectas para calcular el VO_{2max} no son confiables y no tienen correlación significativa en relación a la directa en jugadores de futbol americano de nivel universitario en México.
- H1 Las mediciones indirectas para calcular el VO_{2max} son confiables y tienen correlación significativa en relación a la directa en jugadores de futbol americano de nivel universitario en México.

5. OBJETIVOS

5.1.Objetivo general

- Determinar el VO_{2max} de manera directa e indirecta en una población de jugadores de futbol americano a nivel universitario en México y comparar la medición indirecta del VO_{2max} , a través de la estimación de la ecuación del protocolo de Bruce para banda sin fin y del test de 1.5 millas a través de la ecuación metabólica del ACSM con la medición directa.

5.2.Objetivos específicos

- Determinar de forma directa el VO_{2max} a través del protocolo de Bruce para banda sin fin.
- Determinar de forma indirecta el VO_{2max} a través de la ecuación del protocolo de Bruce para banda sin fin.
- Determinar de forma indirecta el VO_{2max} a través de la ecuación del ACSM con el test de 1.5 millas.
- Describir cuál de las mediciones indirectas resulta de mayor correlación y confiabilidad para predecir el VO_{2max} .

6. MARCO TEÓRICO

6.1. FUTBOL AMERICANO

El futbol americano es clasificado como un deporte de conjunto acíclico, ya que compone diversos movimientos integrales realizados en una sola acción. A su vez se considera un deporte intermitente debido a las características en cuanto al tiempo de ejecución de cada jugada y duración total del partido².

En este deporte participan dos equipos, los cuales cuentan con 11 jugadores en el campo cada uno. Un jugador puede pertenecer ya sea a la defensiva o a la ofensiva de su equipo. El juego consta de cuatro cuartos de 15 minutos de duración cada uno, con un medio tiempo de 15 minutos. La ofensiva cuenta con cuatro oportunidades para avanzar 10 yardas en el campo, ya sea mediante tierra o aire. El propósito principal de esto es llegar a realizar una anotación (touchdown) o acercarse lo suficiente a la zona de anotación del equipo contrario para tirar un gol de campo. En dado caso de no avanzar 10 yardas en el campo en las 4 oportunidades, los equipos cambian de ofensiva a defensiva y viceversa. Así, el principal objetivo de la defensiva es prevenir que todo lo anterior ocurra.

6.1.1. Posiciones de la Ofensiva²⁶

Mariscal de campo (Quarterback): es el líder del equipo ofensivo, es quien inicia la jugada y a su orden el balón es centrado. Su objetivo es mover el balón, ya sea por aire o por tierra para avanzar la mayor cantidad de yardas posibles. Debe de ser capaz de lanzar pases precisos y en casiones correr con el balón.

Linieros ofensivos (Offensive Line): se encuentran distribuidos en la linea de golpeo y su objetivo principal es proteger al mariscal de campo formando una valla y tapando huecos para que ningún jugador defensivo llegue hasta él. También forman huecos cuando hay una jugada de corrida para que el corredor pase.

Corredores (Running Back): su principal función es llevar el balón sobrepasando la línea de golpeo tratando de ganar la mayor cantidad posible de yardas. En ocasiones en jugadas por aire también se encargan de bloquear.

Receptores (Wide Receiver): son los encargados de recibir el balón lanzado por el mariscal de campo, ya sea en pases cortos o largos. En ocasiones, en jugadas de corrida también se encargan de bloquear.

Ala cerrada (Tight End): también son receptores, pero éstos se encuentran junto a la línea ofensiva. Su función además de recibir pases es bloquear a los defensivos si así lo requiere la jugada.

6.1.2. Posiciones de la Defensiva²⁷

Lineros Defensivos (Defensive Line): la función de estos jugadores depende de quien posea el balón. Si el balón está en manos del mariscal de campo su objetivo es burlar a la línea ofensiva y llegar hasta él para impedir que logre lanzar el balón. Si el balón está en manos de un corredor su función es llegar hasta ellos y pararlos.

Apoyadores (Line Backers): desempeñan su función justo por detrás de la línea defensiva. Su objetivo es tapar los posibles huecos donde pudiera pasar algún jugador ofensivo y parar tanto a los corredores como a los receptores.

Esquineros (Corner Back): se encargan de marcar a los receptores e interrumpir sus rutas de lanzamiento.

Profundo libre (Free Safety): están situados a 10-15 yardas de la línea de scrimmage y su objetivo consiste en parar al jugador ofensivo que haya logrado esquivar a todos sus compañeros y evitar un touchdown o anotación.

Profundo fuerte (Strong Safety): su trabajo es el mismo que el profundo libre, solamente depende de la jugada a elegir.

6.2. FUTBOL AMERICANO EN MÉXICO

El primer partido de futbol americano jugado en México fue un partido de exhibición realizado el 25 de diciembre de 1896 en la ciudad de Monterrey, Nuevo León entre los equipos de la Universidad de Texas y la Universidad de Missouri²⁸. Lo anterior es sustentado por la Organización Nacional Estudiantil de Futbol Americano (ONEFA), quien confirma la fecha anterior como el inicio de la práctica de este deporte en México. No obstante, el futbol americano comenzó a practicarse de manera regular y más formal a finales de los años veinte, cuando se organizó el primer torneo de futbol americano en el año de 1928²⁸. Desde esa fecha y hasta la actualidad, el futbol americano ha ido ganando cada vez más popularidad, sobre todo en estudiantes universitarios, siendo la mayor rivalidad deportiva estudiantil entre los equipos de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Instituto Politécnico Nacional, “Auténticos Tigres” de la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL) y “Borregos Salvajes” del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM).

El futbol americano en México está regulado por la Federación Mexicana de Futbol Americano (FMFA), la cual tiene registrados actualmente a más de 100 000 jugadores practicando de manera oficial este deporte en nuestro país, desde categorías infantiles hasta nivel universitario y profesional ²⁹. La FMFA a su vez está registrada y regulada internacionalmente a través de la Federación Internacional de Futbol Americano, la cual reporta tener presencia en más de 70 países en los 5 continentes del mundo¹. Debido a la reciente creación de la liga de futbol americano profesional, el nivel máximo de competencia de este deporte en nuestro país es a nivel universitario, a través de la Liga Mayor de la ONEFA, creada en el año de 1978 y la Conferencia Premier de la Comisión Nacional Deportiva Estudiantil de Instituciones Privadas (CONADEIP), creada en el año 2010.

6.3. SISTEMAS ENERGÉTICOS EN EL DEPORTE

El adenosín trifosfato (ATP) es la única unidad o “moneda corriente” que el cuerpo utiliza para la obtención de energía, ya que la célula muscular solamente es capaz de obtener directamente la energía química de este compuesto y transformarla en energía mecánica³⁰.

Existen tres sistemas de energía por los cuales se sintetiza el ATP:

- I. El sistema de los fosfágenos (ATP-PC)
- II. El sistema anaeróbico láctico o glucólisis anaeróbica
- III. El sistema oxidativo o glucólisis aeróbica

6.3.1. Sistema de los fosfágenos (ATP-PC)

Existe una cantidad limitada de ATP y de fosfocreatina (PC) almacenados en el músculo esquelético y éstos proporcionan una fuente inmediata de energía que puede durar hasta 30 segundos, siendo su mayor contribución es dentro de los primeros 10 segundos de actividad³¹.

A diferencia del ATP, la energía liberada por la descomposición de la PC no se utiliza directamente, sino que reconstruye el ATP para mantener un suministro relativamente constante. La liberación de energía por parte de la PC es facilitada por la enzima creatincinasa (CK), que actúa sobre la PC para separarla en fosfato inorgánico (P_i) y creatina. La energía liberada se usa para unir un P_i a una molécula de adenosín difosfato (ADP) para así formar de nuevo ATP.

Este proceso es muy rápido y ocurre sin presencia de oxígeno y sin la producción de ácido láctico, por lo que también es llamado sistema anaeróbico aláctico. Durante los primeros 10 segundos de actividad muscular intensa el ATP se mantiene a un nivel relativamente constante, sin embargo las reservas de PC decrecen de manera importante cuando se usa este compuesto para reponer el ATP agotado.

Llega un momento, en que tanto los niveles de ATP como de PC son agotados, siendo incapaces de proporcionar energía para más contracciones musculares. Por lo tanto, la capacidad de mantener los niveles de ATP con la energía producida por la descomposición de la PC es limitada, teniendo como ya se mencionó, su máxima actividad dentro de los primeros 10 segundos de actividad muscular.

Una vez agotados los almacenes de ATP-PC, y mientras se siga realizando actividad física entra en funcionamiento otros sistemas para la producción de ATP: el sistema glucolítico anaeróbico y el sistema oxidativo.

6.3.2. Sistema anaeróbico láctico o glucólisis anaeróbica

Este sistema implica la liberación de energía a través de la descomposición de la glucosa (glucólisis) para obtener ATP. La glucólisis puede suceder tanto en ausencia de oxígeno (anaeróbica) como en presencia de oxígeno (aeróbica). Dado que la glucosa en el cuerpo humano no se puede almacenar como tal, es necesaria la conversión de glucosa a glucógeno a través de un proceso llamado glucogénesis. A medida que aumenta la actividad física, el glucógeno almacenado tanto en el músculo esquelético como en el hígado es utilizado para generar más moléculas de ATP.

La glucólisis anaeróbica es también un proveedor de energía rápido que puede durar hasta 2 minutos. Al final de ésta se produce ácido pirúvico, el cual al no contar con la intervención del O_2 se convierte en ácido láctico como producto de desecho.

6.3.3. El sistema oxidativo o glucólisis aeróbica

La glucólisis aeróbica o sistema oxidativo es un proceso mucho más complejo que los anteriores. Utiliza tanto carbohidratos, lípidos y proteínas en su vía metabólica para descomponer estas moléculas y generar energía con la ayuda del O_2 , por lo que es considerado un proceso aeróbico. Una vez terminada la glucólisis y en presencia de O_2 ,

el ácido pirúvico se convierte en un compuesto llamado acetilcoenzima A (acetil CoA) y pasa al ciclo de Krebs o ciclo del ácido tricarboxílico y finalmente a la cadena transportadora de electrones para la generación de ATP.

Comienza aproximadamente a los 2 minutos de realizar actividad física y se establece como sistema de contribución de energía predominante a partir de los 3 minutos. A diferencia de la producción anaeróbica de ATP, el sistema oxidativo produce una cantidad mayor de energía, por lo que es más lento en cuanto a la producción de la misma y por consecuencia no es el sistema de energía requerido para proporcionar energía de forma inmediata.

6.4. REQUERIMIENTOS ENERGÉTICOS EN EL FUTBOL AMERICANO

El sistema ATP-PC y glucolítico anaeróbico son los sistemas predominantes en el abastecimiento de energía en el futbol americano². Se ha determinado que el porcentaje de contribución en una jugada de éste deporte radica en un 90% para el sistema ATP-PC y el 10% restante lo proporciona el sistema glucolítico anaeróbico³². Lo anterior es particularmente cierto si se consideran las primeras jugadas en el partido. Sin embargo, se ha planteado que a medida que el juego se va desarrollando y se van repitiendo las jugadas con movimientos explosivos y de alta intensidad, la contribución anaeróbica deja de ser suficiente para el abastecimiento de energía^{22,23}.

Gaitanos et al.³³ realizó estudios en sujetos que realizaron una serie de 10 sprints de 6 segundos de duración con 30 segundos de descanso entre cada uno, reportando durante el primer sprint una contribución exclusiva del sistema ATP-PC y glucolítico anaeróbico; no obstante, durante el último sprint se encontró un descenso de la acumulación de lactato, lo que se sugiere que la inhibición del metabolismo

anaeróbico al final del último sprint se debe a un incremento en la contribución del metabolismo aeróbico.

En este deporte una jugada tiene una duración de hasta 10 segundos, con una media aproximada de 5.24 segundos⁵ y el tiempo máximo otorgado por el reglamento es de 40 segundos para comenzar la jugada siguiente. Hoffman⁴ reporta que el promedio de series ofensivas durante un partido de temporada regular de la NCAA División III es de 14.4, con un promedio de 4.6 jugadas por serie. Lo anterior refleja que en aproximadamente 2 horas el jugador está realizando y repitiendo en promedio 70 veces los movimientos acíclicos explosivos propios del deporte. Por su parte, Craig⁵ reporta un promedio de 155 jugadas por partido en el futbol americano profesional.

Se ha establecido que la fosfocreatina se restaura rápidamente después de una actividad de alta intensidad. Takahashi et al.²⁰ reportaron que el tiempo de resíntesis de fosfocreatina (PC) en ejercicios de alta intensidad, como los realizados en el futbol americano, es de 55-90 segundos en el músculo cuádriceps. El tiempo reglamentario entre jugadas es de máximo 40 segundos; no obstante, se puede tomar como estrategia comenzar la próxima jugada muy rápido o inmediatamente después del término de la última para fatigar al equipo rival o prevenir que realicen cambios. Por lo tanto, el intervalo de descanso entre cada jugada puede variar, provocando que la cantidad de fosfocreatina que se restituye pueda no ser la óptima. Debido a esto, la resíntesis de ATP a través del sistema glucolítico aeróbico puede llegar a ser un factor importante por medio del cual se proporcione energía bajo situaciones de depleción y fatiga². Esto coincide con lo publicado por Arthur y Bailey¹⁰ quien menciona que el factor limitante para que un jugador mantenga su excelente rendimiento a lo largo de un partido se condiciona en que tan eficazmente repone sus reservas de PC.

De este modo, diversos autores^{2,3,17} establecen que los jugadores de futbol americano deben de contar con una excelente capacidad anaeróbica para realizar movimientos explosivos y, a su vez, tener una capacidad aeróbica lo suficientemente buena para realizar estas acciones y abastecerse de energía a lo largo de un juego prolongado, con pausas cortas de recuperación en cada jugada.

6.5.CONSUMO DE OXIGENO (VO₂) Y CONSUMO DE OXIGENO MÁXIMO (VO_{2max})

El termino consumo de oxigeno (VO₂) se emplea para expresar el parámetro fisiológico que indica la cantidad de oxígeno que utiliza el organismo por unidad de tiempo. El oxígeno que consume una persona en reposo es denominado metabolismo basal y se ha calculado que corresponde a 3.5 ml/kg/min. Este valor equivale a un MET o unidad metabólica y refleja el gasto energético que necesita un organismo para mantener sus constantes vitales en reposo³⁴.

Según la ecuación metabólica de Fick, el VO₂ se puede exponer de la siguiente manera³⁴:

$$VO_2 = Q \times D (a-v) O_2$$

Donde:

Q = gasto cardiaco

D = la diferencia arteriovenosa de oxígeno

Por otro lado, el consumo de oxigeno máximo (VO_{2max}) se define como la cantidad máxima de oxígeno que un organismo es capaz de ingresar, transportar y utilizar por unidad de tiempo⁶. El VO_{2max} es considerado el estándar de oro de medición de la capacidad aeróbica⁷.

Tanto el VO_2 como el $\text{VO}_{2\text{max}}$ pueden expresarse en términos absolutos o en términos relativos. El $\text{VO}_{2\text{max}}$ absoluto es el volumen máximo de oxígeno consumido por una persona por unidad de tiempo y se expresa en litros por minuto (L/min) o mililitros por minuto (ml/min)³⁵. El $\text{VO}_{2\text{max}}$ relativo es el oxígeno máximo consumido que es relativo al peso corporal de la persona y se expresa en mililitros por kilogramo por minuto (ml/kg/min). El VO_2 relativo es útil cuando se comparan a dos o más individuos de diferente tamaño corporal³⁵.

6.6. MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DEL $\text{VO}_{2\text{max}}$

La determinación del $\text{VO}_{2\text{max}}$ puede realizarse de dos formas distintas: mediante métodos directos que miden y analizan directamente la composición del aire espirado por el sujeto o mediante métodos indirectos que estiman los valores de $\text{VO}_{2\text{max}}$ a partir de otros parámetros.

6.6.1. Método directo

La determinación del gasto energético es un aspecto fundamental en el ámbito del ejercicio y la actividad física, el cual está estrechamente relacionado con el metabolismo. Éste se define como la suma de todos los procesos físicos y químicos del cuerpo humano que interconvierten energía³⁶. Puesto que el ejercicio, como todos los eventos metabólicos, produce calor, la tasa de calor producido es directamente proporcional a la energía³⁷.

La producción de calor se puede medir a través de un proceso llamado calorimetría³⁸. La calorimetría se denomina directa cuando se utiliza una cabina de medición aislada, que permite calcular todos los mecanismos mediante el cual un individuo genera calor, y es indirecta cuando se determina el gasto energético de la actividad que se realiza solamente mediante el estudio del intercambio gaseoso,

midiendo el O_2 que se consume y el CO_2 que se produce a través de un espirómetro. Existen dos tipos de calorimetría indirecta: espirometría de circuito cerrado y espirometría de circuito abierto³⁷.

La diferencia entre la espirometría de circuito cerrado y la espirometría de circuito abierto radica en que la primera se denomina cerrada porque el sujeto respira el aire de un contenedor precargado que proviene directamente del espirómetro³⁹, a diferencia de la segunda en donde el sujeto respira el aire ambiente de donde se esté realizando la prueba.

La espirometría de circuito abierto es el procedimiento de modalidad directa más utilizado para medir el VO_{2max} durante la actividad física y el deporte³⁷. Existen tres modalidades de espirometría de circuito abierto: bolsa recolectora (bolsa de Douglas), espirometría de carro metabólico y espirometría portátil³⁶.

6.6.1.1. Bolsa de Douglas

En esta modalidad el sujeto por lo general monta una bicicleta ergométrica y el aire que espira se va depositando en unos sacos grandes llamados bolsas de Douglas. Posteriormente se pasa a un medidor de gas que continuamente evalúa el aire espirado; analiza la composición de O_2 y CO_2 para determinar el oxígeno consumido y el dióxido de carbono producido.

6.6.1.2. Espirometría de carro metabólico

La espirometría a través de un carro metabólico es un sistema preciso que permite en forma totalmente automatizada medir el VO_2 respiración a respiración (breath by breath), cada 3-5 segundos sin la necesidad de reunir grandes volúmenes de gas o de realizar cualquier análisis o cálculo manual. El equipo empleado es un analizador de

gases conectado a una computadora e integrado a una banda sin fin o bicicleta ergométrica.

En esta modalidad el sujeto utiliza una máscara que dirige el aire espirado hacia un sistema metabólico que mide el volumen y las fracciones de O₂ y CO₂ del aire espirado, así como a la interfaz de una computadora para su posterior análisis. Todo el dispositivo se encuentra conectado directamente a una toma eléctrica, el monitor va delineando las gráficas y mostrando en tiempo real el VO₂ así como otras variables de esfuerzo cardiopulmonar⁴⁰.

6.6.1.3. Espirometría portátil

Cuenta con el mismo mecanismo de acción que el anterior, con la diferencia de que el suministro de energía del dispositivo portátil lo brinda una batería de litio previamente cargada, con una duración aproximada de 4 horas. Permite el análisis de gases portátil sin interferir significativamente en la actividad o deporte que realice el sujeto. La mayoría cuentan con una unidad de telemetría en donde se puede visualizar en tiempo real los diferentes parámetros valorados, o de igual manera se pueden almacenar en el dispositivo portátil y posteriormente vaciar los datos al ordenador (modo holter)⁴¹.

6.6.2. Método Indirecto

Cuando no es posible la medición directa del VO_{2max} se recurre a su estimación de manera indirecta a través de diferentes fórmulas aplicadas, ya sea en pruebas de campo o en protocolos de prueba de esfuerzo con algún ergómetro. Existen ecuaciones específicas para un protocolo o test de campo determinado, así como también hay ecuaciones que no son específicas de un protocolo o test en particular.

6.6.2.1.Pruebas de campo

Las pruebas de campo son utilizadas cuando se valora a un gran número de personas al mismo tiempo o cuando el uso de un ergómetro no está disponible⁴².

6.6.2.1.1. Test de Course Navette (20-m Shuttle run test)

El test de Course Navette⁴³ fue creado por Léger y Lambert en 1982, consiste en correr ida y vuelta el mayor tiempo posible entre dos líneas separadas por 20 metros. El ritmo de carrera es impuesto por una señal sonora con una velocidad inicial de 8.5 km/h que va incrementando 0.5 km/h cada minuto. Es un test de máximo esfuerzo, audible, incremental y continuo de aceleración y desaceleración.

El sujeto debe de pisar detrás de la línea marcada en los 20 metros justo cuando se escuche la señal sonora. El test finaliza cuando el sujeto se detiene porque alcanzó la fatiga máxima o cuando por dos veces consecutivas no llega a la marca de los 20 metros. La velocidad obtenida en la última etapa que pudo realizar el sujeto es considerada la velocidad final alcanzada (VFA) y se utiliza para conocer el VO_{2max} de acuerdo a la siguiente ecuación propuesta por Leger⁴⁴:

$$VO_{2max} \text{ (ml/kg/min)} = (6 \times \text{VFA}) - 27.4$$

6.6.2.1.2. Test de Cooper

En el año de 1968 el Dr. Keneth Cooper⁴⁵ implementó un test con una duración determinada para estimar la capacidad aeróbica, el cual denominó test de los 12 minutos de Cooper⁴⁶. La prueba consiste en recorrer la mayor cantidad de distancia posible en de 12 minutos. Es recomendable desarrollar este test en una pista de 400 metros para poder detectar la distancia total recorrida con mayor facilidad al contar las vueltas completas realizadas. El test se practica corriendo o trotando. Si el sujeto es inexperto es necesario

dar una pequeña explicación para animarlo a mantener una velocidad constante a lo largo del tiempo. Al cumplirse los 12 minutos se contabiliza la distancia recorrida en km y se obtiene el VO_{2max} del sujeto con la siguiente ecuación⁴⁷:

$$VO_{2max} \text{ (ml/kg/min)} = (22.35 \times \text{km recorridos}) - 11.29$$

6.6.2.1.3. Test de la milla y media (Test de 1.5 millas)

La prueba de la milla y media⁴⁵ es una variante de la prueba de los 12 minutos de Cooper. Fue desarrollada debido a que el ejército de los Estados Unidos de América le solicitó al Dr. Cooper la valoración de más de 15 000 soldados miembros de la fuerza aérea en un periodo muy corto de tiempo. Al buscar simplificar la administración del test de los 12 minutos se observó que controlando la distancia en lugar del tiempo se podría valorar a grupos más grandes de personas al mismo tiempo. Debido a esto, la prueba de 1.5 millas se le ha denominado también el test “inverso” de Cooper⁴⁸.

Mayorga et al.⁴⁹ analizaron más de 1000 test de campo, concluyendo que al no ser posible una valoración del VO_{2max} en el laboratorio, el test de 1.5 millas y 12 minutos de Cooper representan la mejor opción de test basados en distancia y en el tiempo, respectivamente. Sin embargo, una de las limitantes que se presentan con este tipo de pruebas de campo es que la exactitud de la estimación depende en gran medida de la motivación del sujeto para realizarla⁴⁶.

La prueba consiste en recorrer 1.5 millas (2.414 km) a una velocidad constante en el menor tiempo posible. Al finalizar la prueba, se cuenta el tiempo que le tomó al sujeto completar la distancia. Debido a que el test de 1.5 millas descrito por el Dr. Cooper solo clasifica la capacidad aeróbica en 5 categorías (excelente, buena, regular,

mala y muy mala), algunos autores como Getchell et al.⁵⁰, Heyward⁵¹ y Larsen et al.⁵². han desarrollado ecuaciones para estimar el VO_{2max} en diferentes poblaciones. Sin embargo, una de las ecuaciones más utilizadas en la actualidad para este test es la fórmula de carrera desarrollada por el American College of Sports Medicine (ACSM).

Para utilizar esta ecuación es necesario obtener la velocidad a la que el sujeto recorrió las 1.5 millas (velocidad= distancia/tiempo) y después sustituirla en la ecuación de carrera del ACSM³⁵:

$$VO_{2max} \text{ (ml/kg/min)} = (0.2 \times \text{velocidad}) + (0.9 \times \text{inclinación} \times \text{velocidad}) + 3.5$$

6.6.2.2.Pruebas de esfuerzo respiratorio

El objetivo de una prueba cardiovascular es evaluar los órganos y sistemas involucrados en la respuesta al ejercicio en condiciones de estrés físico progresivamente intenso⁵³. Por consiguiente, una prueba de esfuerzo cardiovascular involucra grandes grupos musculares, usualmente la musculatura de los miembros inferiores, como el correr en una banda sin fin o pedalear en un cicloergómetro.

Frecuentemente es más eficiente emplear un protocolo con una tasa de trabajo de incremento progresivo, siendo una prueba de esfuerzo ideal aquella que dura en total no más de 20 minutos⁵³. Existen diversos protocolos empleados de acuerdo a las características del individuo que se somete a la prueba de esfuerzo, así como del ergómetro que se utilice para su realización, ya sea una banda sin fin, cicloergómetro etc. Algunos de los protocolos más utilizados para banda sin fin son el protocolo de Bruce⁵⁴, protocolo de Kindermann⁵⁵ y protocolo de Balke⁵⁶.

Cuando se evalúa a deportistas se recomienda usar en la medida de lo posible la modalidad del ejercicio que se asemeje a su entrenamiento o deporte. En el caso del fútbol americano, la mecánica del movimiento se asemeja más a correr sobre una banda sin fin que a pedalear en un cicloergómetro. Además, al utilizar una banda sin fin se tiene una mecánica de movimiento diferente a la realizada en un cicloergómetro, ya que se emplea una cantidad mayor de músculos; por lo que se ha demostrado que los valores de VO_{2max} son superiores al realizar una prueba de esfuerzo en una banda sin fin⁵⁵.

Pollock et al.⁵⁶ estudiaron diversos tipos de protocolos para banda sin fin que consistían en un aumento gradual de la velocidad y/o del porcentaje de inclinación, y se observó que no hubo diferencia significativa en cuanto a la utilización de un protocolo en específico para alcanzar un consumo de oxígeno máximo.

6.6.2.2.1. Protocolo de Bruce para banda sin fin

El protocolo de Bruce⁵⁴ es una prueba de esfuerzo realizada en banda sin fin que cuenta de varias fases con duración de 3 minutos cada una. El incremento de las cargas se realiza a través de la modificación de la velocidad y porcentaje de inclinación de la banda sin fin.

Durante la primer fase de la prueba, el sujeto camina a una velocidad de 1.7 mph con una inclinación de 10%, en la segunda fase se aumenta la inclinación a 12% y la velocidad a 2.5 mph. Así en cada fase siguiente de la prueba se debe aumentar la velocidad e inclinación de la banda sin fin hasta que se llegue al agotamiento (Tabla 1).

Tabla 1. Protocolo de Bruce para banda sin fin.

Tiempo (min)	Fase	Velocidad (mph)	Inclinación (%)
3	1	1.7	10
3	2	2.5	12
3	3	3.4	14
3	4	4.2	16
3	5	5.0	18
3	6	5.5	20
3	7	6.0	22

Este es uno de los protocolos de prueba de esfuerzo más recomendados por el ACSM para valorar la capacidad aeróbica en personas jóvenes y físicamente activos, debido a que tiene grandes cambios de incremento de la carga externa entre una etapa y otra^{9,35}.

El protocolo de Bruce es eficaz y seguro para medir el VO_{2max} fisiológicamente (método directo) y para estimarlo clínicamente (método indirecto)^{57,58}. Por lo anterior, Foster et al.⁵⁸ desarrollaron una ecuación única para utilizarse en cualquier tipo de población de acuerdo al tiempo efectuado en el protocolo de Bruce:

$$VO_{2max} = 14.8 - 1.379(\text{tiempo}) + 0.451(\text{tiempo}^2) - 0.012(\text{tiempo}^3)$$

Dónde:

Tiempo= tiempo de duración (en minutos) del protocolo de Bruce.

7. MATERIAL Y METODOS

7.1. Diseño del estudio

El siguiente es un estudio observacional, descriptivo y transversal.

7.2. Criterios de inclusión

- Pertenecer a la categoría mayor del programa de futbol americano “Auténticos Tigres” de la UANL.
- Presentar signos vitales normales antes de iniciada la prueba.

7.3. Criterios de exclusión

- Presentar alguna comorbilidad neumológica, cardiaca o musculo-esquelética.
- No firmar el consentimiento informado.

7.4. Criterios de eliminación

- No lograr criterios de maximidad en la prueba de esfuerzo

7.5. Muestra

Veinte jugadores de futbol americano de la categoría mayor del equipo representativo de la UANL “Auténticos Tigres” participaron voluntariamente en el estudio. Todos los participantes dieron su consentimiento por escrito.

7.6. Procedimiento

Las valoraciones se realizaron dentro de las instalaciones del gimnasio Raymundo “Chico Rivera” de la UANL. Se citó a los jugadores en días distintos para realizar el test de 1.5 millas y la prueba graduada de esfuerzo en banda sin fin (Tabla 2). Se les indicó que acudieran con ropa deportiva y zapato deportivo adecuado, así como con dos horas de ayuno mínimo.

Tabla 2. Diseño del estudio.

Test de laboratorio	VO _{2max} Directo	Protocolo de Bruce para banda sin fin	Espirometría directa
	VO _{2max} Indirecto 1	Protocolo de Bruce para banda sin fin	Ecuación del protocolo de Bruce
Test de campo	VO _{2max} Indirecto 2	Test de 1.5 millas	Ecuación de carrera del ACSM.

El test de laboratorio y el test de campo se realizaron con una semana de diferencia.

7.7. Prueba de esfuerzo

La prueba de esfuerzo se desarrolló en una banda sin fin motorizada (NORAMCO Texas, USA) utilizando el protocolo de Bruce (Tabla 1). Previo a la prueba de esfuerzo se realizó un interrogatorio médico y se recolectaron los signos vitales de cada uno de los jugadores, así como también realizaron un calentamiento previo de 5 minutos. El test termina cuando se alcanzan 2 de los 3 criterios para considerar máximo el VO₂ en una prueba de esfuerzo (Tabla 3) o cuando el sujeto así lo solicite.

Se utilizó un analizador de gases portátil K4b² (COSMED Rome, Italy) para la medición directa del VO₂. El K4b² tiene una dimensión de 170x55x100 mm y pesa 550 g. Se conecta a una batería de litio y ambas piezas se colocan en la zona del tórax mediante un arnés. El medidor de flujo de aire utiliza una turbina bidireccional, así como un lector optoeléctrico que está sujeto a una máscara flexible de boca y nariz. La máscara junto con el medidor de flujo conecta con el K4b² a través de un cable por el cual pasa el aire espirado.

Tanto la máscara como el K4b² se colocaron en el sujeto una vez terminado el calentamiento y antes de colocarse en la banda sin fin. Previo a cada medición se calibró el analizador de gases de acuerdo a las recomendaciones del fabricante. La temperatura, la presión barométrica y la humedad fueron registrados con un monitor de clima para interiores Perception II (DAVIS California, USA). El peso y la estatura fueron recolectados con una báscula mecánica (SECA, Alemania). Antes del uso de los instrumentos estos fueron calibrados en forma separada.

Una vez terminada la prueba de esfuerzo se retiró el equipo y se mantuvo al sujeto bajo observación hasta obtener signos vitales normales.

7.8. Prueba de 1.5 millas

El test de 1.5 millas se llevó a cabo en una pista de 400 metros. Se realizó un calentamiento previo antes de comenzar la prueba. Los sujetos completaron la distancia y al término de la misma se registró el tiempo que obtuvieron. Se utilizó la ecuación metabólica de carrera propuesta por el ACSM para estimar el VO_{2max} de cada uno de los jugadores.

Tabla 3. Criterios para VO_{2max} ^{59,60}.

1	Frecuencia cardiaca durante el ejercicio con no más de 15 latidos/minuto por debajo de la frecuencia cardiaca máxima prevista para la edad (220-edad).
2	Relación de coeficiente respiratorio (RIR) ≥ 1.10
3	Niveles de VO_2 sin aumentar a pesar de un incremento en el trabajo.

7.9. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los resultados se examinó la totalidad de la muestra y posteriormente se clasificó a los jugadores en función de la posición de juego: linieros (LM) y no linieros (NL). Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk para determinar la normalidad de los datos de la muestra, así como la prueba U de Mann-Whitney para comparar las variables entre grupos. Debido al tamaño de la muestra ($n=20$), se utilizó estadística no paramétrica para el análisis de los datos. El coeficiente de correlación de Spearman fue utilizado para medir la relación entre las variables; el cual fue interpretado de acuerdo a la clasificación propuesta por Evans⁶¹ (Tabla 4). Todo el análisis estadístico se realizó con el programa SPSS versión 21.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, EE.UU.).

Tabla 4. Nivel de correlación según Evans⁶¹.

Nivel de correlación	
0.00 – 0.19	Muy débil
0.20 – 0.39	Débil
0.40 – 0.59	Moderada
0.60 – 0.79	Fuerte
0.80 – 1.0	Muy fuerte

8. RESULTADOS

Las mediciones antropométricas de los jugadores se muestran en la Tabla 5 y 6. Los valores de consumo de oxígeno máximo de la medición directa, así como de las indirectas se presentan en la Tabla 7 y 8.

Tabla 5. Descriptivos de la muestra.

JUGADORES DE FUTBOL AMERICANO			
N= 20			
	Media	D.E.	
EDAD	22.0	1.5	
PESO (Kg)	106.9	24.4	
ESTATURA (cm)	180.4	0.06	
IMC*	32.6	6.3	

Los datos se presentan como media \pm desviación estándar. *IMC: Índice de masa corporal.

Tabla 6. Descriptivos de la muestra por posición.

	LINIEROS		NO LINIEROS		<i>U de Mann-Whitney</i>	<i>p</i>
	N= 10		N= 10			
	Media	D.E.	Media	D.E.		
EDAD	21.1	0.99	22.9	1.4	84000	0.009 [†]
PESO (Kg)	126.4	18.0	87.4	9.4	1000	0.000 [†]
ESTATURA (cm)	182.4	0.05	178.5	0.06	29000	0.123 ^{**}
IMC*	37.9	4.4	27.4	2.01	1000	0.000 [†]

Los datos se presentan como media \pm desviación estándar. *IMC: Índice de masa corporal.

**= No significativo. †= Resultados significativos al nivel $p \leq 0.05$.

Tabla 7. Valores de Consumo de oxígeno máximo de la muestra expresados en forma relativa.

JUGADORES DE FUTBOL AMERICANO		
N= 20		
	Media	D.E.
VO_{2max} Directo	40.80	9.93
VO_{2max} Indirecto 1*	37.56	7.79
VO_{2max} Indirecto 2**	41.41	6.75

Los datos se presentan como media \pm desviación estándar. *Indirecto 1= VO_{2max} estimado por ecuación de protocolo de Bruce, **Indirecto 2= VO_{2max} estimado por ecuación de carrera del ACSM en test de 1.5 millas.

Tabla 8. Valores de Consumo de oxígeno máximo por posición expresados en forma relativa.

	LINIEROS		NO LINIEROS		<i>U de Mann-Whitney</i>	<i>p</i>
	N= 10		N= 10			
	Media	D.E.	Media	D.E.		
VO_{2max} Directo	34.77	10.41	46.82	4.41	86000	0.005 [†]
VO_{2max} Indirecto 1*	32.56	7.67	42.56	3.74	88500	0.002 [†]
VO_{2max} Indirecto 2**	36.87	5.18	45.96	4.84	92000	0.001 [†]

Los datos se presentan como media \pm desviación estándar. *Indirecto 1= VO_{2max} estimado por ecuación de protocolo de Bruce, **Indirecto 2= VO_{2max} estimado por ecuación de carrera del ACSM en test de 1.5 millas. †= Resultados significativos al nivel $p \leq 0.05$.

El coeficiente de correlación de Spearman se determinó primero con el total de la muestra (n=20), (Tabla 9). Posteriormente se volvió a determinar de acuerdo a la posición de juego (Tabla 10).

Tabla 9. Correlación con el VO_{2max} de espirometría directa.

JUGADORES DE FUTBOL AMERICANO	
N= 20	
VO_{2max} Indirecto 1*	0.90 †
VO_{2max} Indirecto 2**	0.84 †

*Indirecto 1= VO_{2max} estimado por ecuación de protocolo de Bruce, **Indirecto 2= VO_{2max} estimado por ecuación de carrera del ACSM en test de 1.5 millas. †= Los resultados son significativos al nivel $p \leq 0.01$.

Tabla 10. Correlación con el VO_{2max} de espirometría directa.

	LINIEROS	NO LINIEROS
	N= 10	N= 10
VO_{2max} Indirecto 1*	0.79 †	0.78 †
VO_{2max} Indirecto 2**	0.63 †	0.73 †

*Indirecto 1= VO_{2max} estimado por ecuación de protocolo de Bruce, **Indirecto 2= VO_{2max} estimado por ecuación de carrera del ACSM en test de 1.5 millas. †= Los resultados son significativos al nivel $p \leq 0.05$.

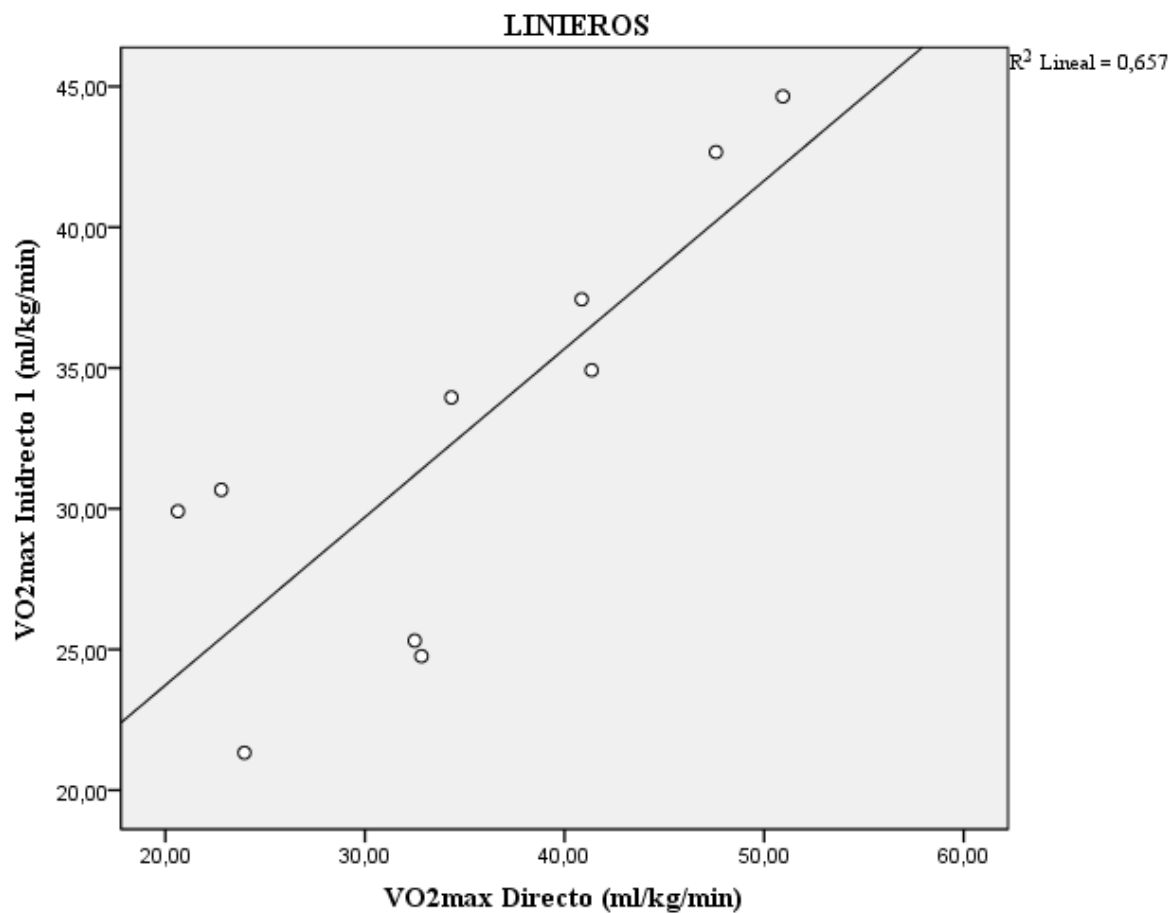


Figura 1. Correlación del VO₂max Directo con el VO₂max estimado por ecuación de protocolo de Bruce en Linieros.

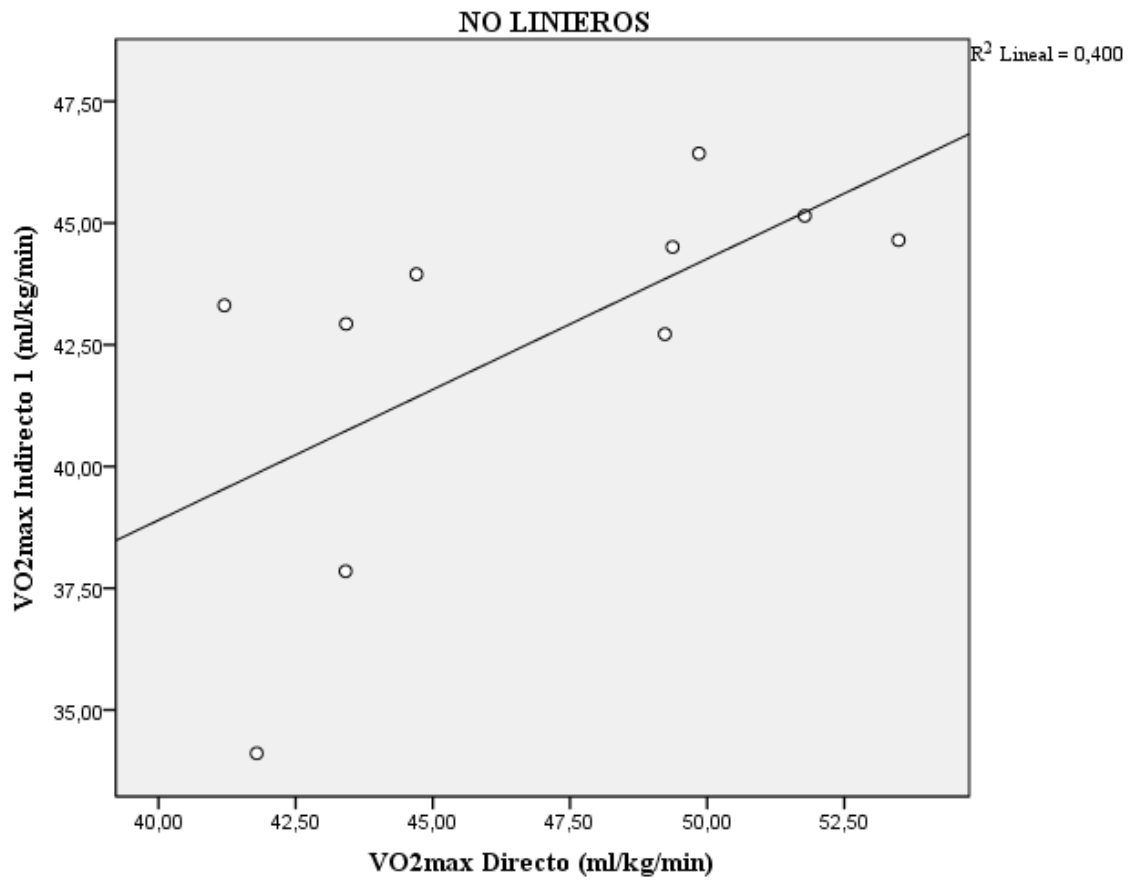


Figura 2. Correlación del VO_{2max} Directo con el VO_{2max} estimado por ecuación de protocolo de Bruce en No Linieros.

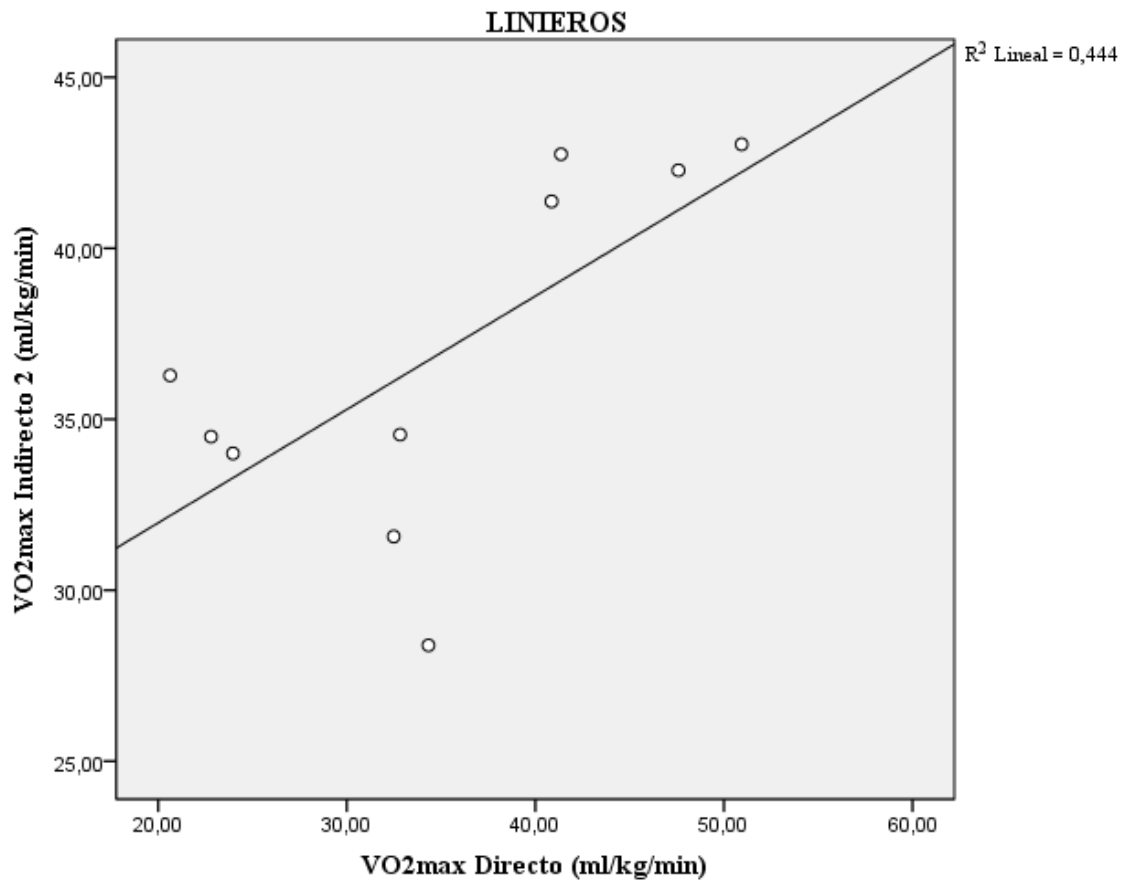


Figura 3. Correlación del VO_{2max} Directo con el VO_{2max} estimado por ecuación de carrera del ACSM con test de 1.5 millas en Linieros.

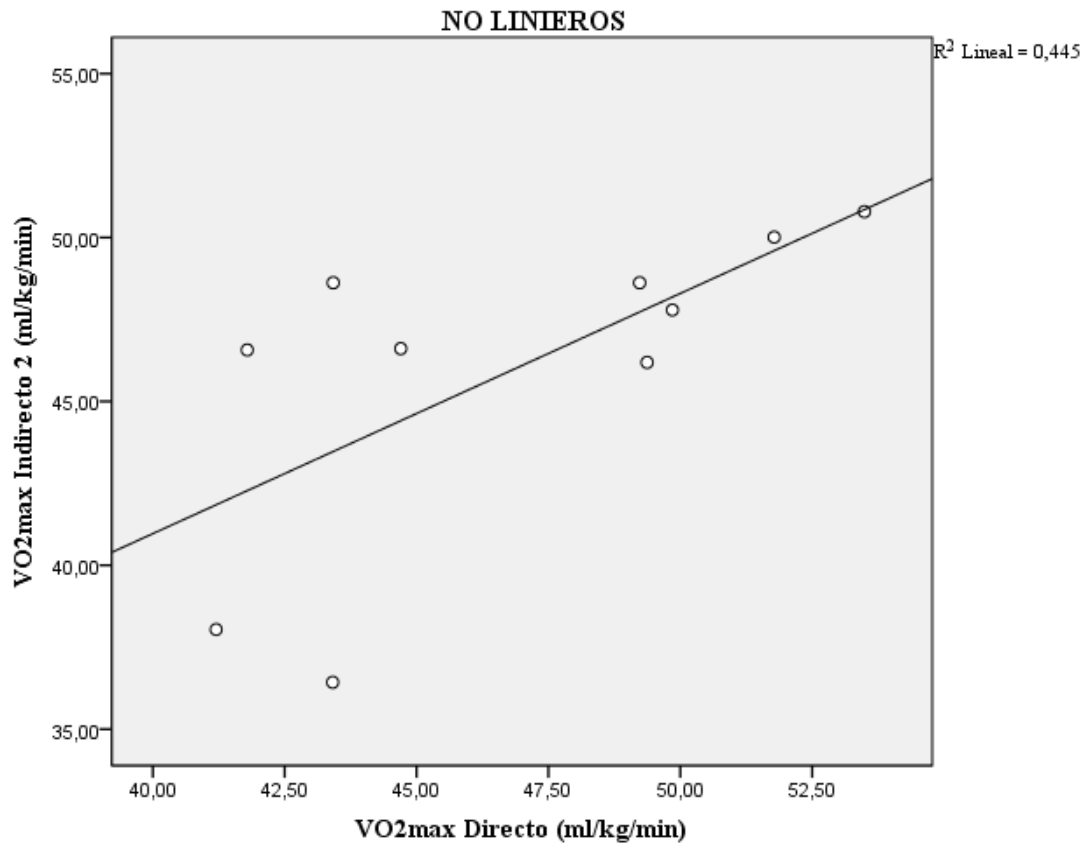


Figura 4. Correlación del VO₂max Directo con el VO₂max estimado por ecuación de carrera del ACSM con test de 1.5 millas en No Linieros.

9. DISCUSIÓN

Los valores obtenidos de la evaluación directa del VO_{2max} en la presente investigación fueron de 40.80 ± 9.93 ml/kg/min en el total de los jugadores (Tabla 7). Al dividir la muestra por posición de juego se encontró un VO_{2max} directo de 34.7 ± 10.4 ml/kg/min para los linieros y de 46.82 ± 4.41 ml/kg/min para los no linieros, teniendo una diferencia estadísticamente significativa (Tabla 8). Estos hallazgos son inferiores a los obtenidos por diversos autores. Fearheller et al.¹³ evaluaron a jugadores de la NCAA división III reportando (VO_{2max} linieros = 38.3 ± 6.5 ml/kg/min; VO_{2max} no linieros = 49.0 ± 4.4 ml/kg/min), mientras que Shields et al.¹⁴ evaluaron a jugadores profesionales, reportando (VO_{2max} linieros = 43.0 ± 5.5 ml/kg/min; VO_{2max} no linieros = 48.0 ± 4.9 ml/kg/min).

Lo anterior pone en evidencia que al hablar de capacidad aeróbica, éste tipo de atletas cuenta con valores bajos de VO_{2max} o inclusive llegan a obtener niveles similares a los de personas que no realizan actividad física. Fearheller et al.¹³ compararon a jugadores de futbol americano con controles sanos no deportistas, encontrando diferencias significativas en los resultados, siendo el VO_{2max} en los controles superior que el VO_{2max} de éste tipo de atletas (VO_{2max} controles = 49.6 ± 7.8 ml/kg/min vs VO_{2max} atletas = 42.4 ± 8.4 ml/kg/min). Esto coincide con lo publicado por Wilmore y Haskell¹¹, donde mencionan que comparado con otros deportes, el jugador de futbol americano muestra valores bajos de VO_{2max} ; encontrando en 15 atletas de distintas posiciones un promedio del mismo de 40.1ml/kg/min.

En general, al analizar las 3 evaluaciones del VO_{2max} , los no linieros obtuvieron valores superiores y con diferencias estadísticamente significativas en relación a los linieros. Esto se puede deber a las diferencias que existen en cuanto a las características físicas (peso, talla y/o composición corporal), así como también al tipo de entrenamiento que demanda cada posición y a la condición física de cada jugador.

Shields et al.¹⁴, manifiestan que en jugadores de futbol americano el VO_{2max} y el peso se comportan de manera inversamente proporcional, ya que un mayor peso corporal está asociado a mayor fuerza pero no necesariamente a mayor capacidad aeróbica.

Berning³ hace referencia a que el sistema de mayor contribución utilizado por los jugadores de futbol americano depende en gran medida de la posición que desempeñen, siendo los WR, LB Y DB (posiciones de no linieros) los que utilizan mayormente el metabolismo aeróbico y los DL y OL (linieros) el metabolismo anaeróbico.

De acuerdo con Gleim et al.⁶² el entrenamiento aeróbico no es el mayor componente en la preparación física de los jugadores de futbol americano. Esto pudiera ser la razón por la cual el VO_{2max} muestre éste tipo de comportamiento en esta disciplina.

Como se aprecia en la tabla 6, los linieros tienen mayor cantidad de peso corporal (126.4 ± 18.0 kg) en relación a los no linieros (87.4 ± 9.4 kg), teniendo una diferencia estadísticamente significativa. Esto concuerda con los resultados obtenidos por Kramer et al.⁶³, refiriéndose a la posición de liniero (especialmente los linieros ofensivos) como los jugadores más pesados del campo. Snow et al.⁶⁴ y Mathews y Wagner⁶⁵ han encontrado resultados similares; reportando el peso corporal de los linieros por arriba de los 120 kg e IMC por arriba de 30 respectivamente, mientras que los no linieros se encuentran a su vez por debajo de éstos mismos parámetros.

En la Tabla 9 se muestran las correlaciones de la totalidad de la muestra y en la Tabla 10 se muestran las correlaciones en función a la posición de juego. Los resultados obtenidos en este estudio evidencian que es posible rechazar la hipótesis nula, ya que se tiene una correlación de VO_{2max} directo con VO_{2max} indirecto 1 de 0.90 y de VO_{2max} directo con VO_{2max} indirecto 2 de 0.84; esto con una significancia al nivel $p \leq 0.01$ en la totalidad de la muestra (Tabla 9). Lo anterior denota que en conjunto, correlaciona mejor el VO_{2max} predicho por ecuación de protocolo de Bruce que el predicho por

ecuación del ACSM, clasificando ambas correlaciones como “muy fuertes” según Evans⁶¹. Al dividir la muestra en los grupos antes mencionados se obtuvieron resultados diferentes. En los linieros tuvo mejor correlación el VO_{2max} indirecto 1 (0.79) que el VO_{2max} indirecto 2 (0.63), al igual que en los no linieros, donde se obtuvo una correlación con el VO_{2max} indirecto 1 de 0.78 y del VO_{2max} indirecto 2 de 0.73. En ambos grupos se obtuvo mayor correlación con el VO_{2max} indirecto 1 que con el VO_{2max} indirecto 2; todas clasificándose como correlaciones “fuertes” según Evans⁶¹ y siendo significativas al nivel $p \leq 0.05$.

Con lo anterior, se rechaza la hipótesis nula, ya que tanto la ecuación del protocolo de Bruce como la ecuación del ACSM con el test de 1.5 millas en jugadores universitarios de futbol americano en México son confiables y tienen alta correlación con el VO_{2max} medido de manera directa en el laboratorio con ergoespirometría. Sin embargo, si fuera necesario elegir un método de medición, tendría que efectuarse en función de los recursos materiales y humanos con los que se cuenten, así como también de la posición de juego de cada atleta.

10. CONCLUSIONES

El VO_{2max} medido fisiológicamente en el laboratorio con ergoespirometría es el estándar de oro para conocer la capacidad aeróbica.

En jugadores mexicanos de futbol americano universitario, tanto el VO_{2max} estimado por la ecuación del protocolo de Bruce (Indirecto 1) y VO_{2max} estimado por la ecuación de carrera del ACSM en el test de 1.5 millas (indirecto 2), tienen alta correlación con el VO_{2max} directo. Sin embargo, si se tuviera limitaciones en cuanto al acceso a un espirómetro, pero no así a una banda sin fin, la ecuación para predecir el VO_{2max} en base al protocolo de Bruce es una buena opción, ya que es confiable y cuenta con una alta correlación con el VO_{2max} medido directamente. Si tampoco se tuviese acceso a una banda sin fin y/o se tuviera que medir a una buena cantidad de atletas, la ecuación metabólica del ACSM en el test de 1.5 millas también resulta una muy buena opción para estimar el VO_{2max} ya que también es confiable y cuenta con una alta correlación con el VO_{2max} medido directamente. Cabe señalar que en la búsqueda de la literatura para efectos de esta investigación, no se encontró ningún estudio que realizara esta comparación en este tipo de población.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. International Federation of American Football (IFAF) [Internet]. <http://www.ifaf.org>.
2. Pincivero D, Bompa T. A Physiological Review of American Football. *Sports Medicine*. 1997;23 (4):247-260.
3. Berning J. Fueling a football team. *Sports Science Exchange*. 2015;28(146):1-7.
4. Hoffman J. *Physiological aspects of sport training and performance*. Champaign, Ill.: Human Kinetics; 2002.
5. Craig Jr. A. Exposure time to injury in professional football. *Research Quarterly*. American Association of Health, Physical Education and Recreation. 1968;39(3):789-791.
6. Miller G, Dougherty P, Green J, Crouse S. Comparison of cardiorespiratory responses of moderately trained men and women using two different treadmill protocols. *J Strength Cond Res*. 2007;21(4):1067.
7. Wilmore J, Costill D, Padró J, González del Campo Román P, Mateo J, Bagur Calafat C. *Fisiología del esfuerzo y del deporte*. Barcelona: Paidotribo; 2007.
8. Kaminsky L. *ACSM's resource manual for Guidelines for exercise testing and prescription*. Baltimore, MD: Lippincott Williams & Wilkins; 2006.
9. Franklin B, Whaley M, Howley E, Balady G. *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2000.
10. Arthur M, Bailey B. *Complete conditioning for football*. Champaign, IL: Human Kinetics; 1998.
11. Wilmore J, Haskell W. Body composition and endurance capacity of professional football players. *Journal of Applied Physiology*. 1972;33(5):564-567.

12. Fukuoka Y, Gwon O, Sone R, Ikegami H. Characterization of sports by the Vo₂dynamics of athletes in response to sinusoidal work load. *Acta Physiologica Scandinavica*. 1995;153(2):117-124.
13. Fearheller D, Aichele K, Oakman J, Neal M, Cromwell C, Lenzo J et al. Vascular Health in American Football Players: Cardiovascular Risk Increased in Division III Players. *International Journal of Vascular Medicine*. 2016;2016:1-6.
14. Shields C, Whitney F, Zomar V. Exercise performance of professional football players. *The American Journal of Sports Medicine*. 1984;12(6):455-459.
15. Unal M, Unal D, Baltaci A, Mogulkoc R, Kayserilioglu A. Investigation of serum leptin levels in professional male football players and healthy sedentary males. *Neuroendocrinology Letters*. 2005;26(2):148-151.
16. Hitchcock K, Millard-Stafford M, Phillips J, Snow T. Metabolic and Thermoregulatory Responses to a Simulated American Football Practice in the Heat. *J Strength Cond Res*. 2007;21(3):710-717.
17. Hoffman J. Physiological demands of american football. *Sports Science Exchange*. 2015;28(143):1-6.
18. Seiler S, Taylor M, Diana R, Layes J, Newton P, Brown B. Assessing Anaerobic Power in Collegiate Football Players. *J Strength Cond Res*. 1990;4(1):9-15.
19. Hetzler R, Vogelpohl R, Stickley C, Kuramoto A, DeLaura M, Kimura I. Development of a Modified Margaria-Kalamen Anaerobic Power Test for American Football Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2010;24(4):978-984.
20. Takahashi H, Inaki M, Fujimoto K, Katsuta S, Anno I, Niitsu M et al. Control of the rate of phosphocreatine resynthesis after exercise in trained and untrained human quadriceps muscles. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 1995;71(5):396-404.

21. Balsom, Gaitanos, Soderlund, Ekblom. High-intensity exercise and muscle glycogen availability in humans. *Acta Physiol Scand*. 1999;165(4):337-345
22. Parolin M, Chesley A, Mastos M, Spriet L, Jones N, Heigenhauser G. Regulation of skeletal muscle glycogen phosphorylase and PDH during maximal intermittent exercise. *The American Journal of Physiology*. 1999;:E890-E900.
23. Carbuhn A, Womack J, Green J, Morgan K, Miller G, Crouse S. Performance and Blood Pressure Characteristics of First-Year National Collegiate Athletic Association Division I Football Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2008;22(4):1347-1354.
24. Zkol M. Physical and Physiological Status in American Football Players in Turkiye. *Serbian Journal of Sports Sciences*. 2009;3(1-4):9-17.
25. García Alvarado. Análisis y comparación morfofuncional del equipo Tigres CCH Sur de futbol americano categoría juvenil AA [Licenciatura]. Universidad Nacional Autónoma de México; 2009.
26. Offensive football strategies. Champaign, IL: Human Kinetics; 2000.
27. Defensive football strategies. Champaign, IL: Human Kinetics; 2000.
28. García Treviño M, García Treviño H, Gracia Perales J. Futbol Americano. Escuela de vida. Monterrey: Juan Antonio Perujo y Miguel Quintero; 2010.
29. Martínez Padilla M. Historia del Futbol Americano en México. 2016.
30. Farrell P, Joyner M, Caiozzo V. ACSM's advanced exercise physiology. Philadelphia: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins; 2012.
31. Hoffman J, Ratamess N, Kang J. Performance Changes During a College Playing Career in NCAA Division III Football Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2011;25(9):2351-2357.
32. Fox EL, Matthews D. Interval training: conditioning for sports and general fitness. Orlando: Saunders College/Harcourt Brace Jovanovich, 1974.

33. Gaitanos G, Williams C, Boobis H, Brooks S. Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *Journal of Applied Physiology*. 1993;75(2):712-719.
34. López Chicharro J, Fernández Vaquero A. *Fisiología del ejercicio*. Madrid: Médica Panamericana; 2006.
35. Glass S, Dwyer G. *ACSM'S Metabolic calculations handbook*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2007.
36. McArdle W, Katch F, Katch V. *Exercise physiology*; 2012.
37. Franklin B, Whaley M, Howley E, Balady G. *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2000.
38. Marsé P, Díez M, Raurich JM. Calorimetría: aplicaciones y manejo. *Nutrición Clínica en Medicina*. 2008; 2(3):155-166.
39. Evans H, Ferrar K, Smith A, Parfitt G, Eston R. A systematic review of methods to predict maximal oxygen uptake from submaximal, open circuit spirometry in healthy adults. *Journal of Science and Medicine in Sport*. 2015;18(2):183-188.
40. Ramsbottom R, Brewer J, Williams C. A progressive shuttle run test to estimate maximal oxygen uptake. *British Journal of Sports Medicine*. 1988;22(4):141-144.
41. McLaughlin J, King G, Howley E, Bassett, Jr D, Ainsworth B. Validation of the COSMED K4b² Portable Metabolic System. *International Journal of Sports Medicine*. 2001;22(4):280-284.
42. Forman D, Myers J, Lavie C, Guazzi M, Celli B, Arena R. Cardiopulmonary Exercise Testing: Relevant but Underused. *Postgraduate Medicine*. 2010;122(6):68-86

43. García G, Secchi J. Test course navette de 20 metros con etapas de un minuto. Una idea original que perdura hace 30 años. *Apunts Medicina de l'Esport*. 2014;49(183):93-103.
44. Léger L, Mercier D, Gadoury C, Lambert J. The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. *Journal of Sports Sciences*. 1988;6(2):93-101.
45. Cooper K, Cardenas Barrios R. *El nuevo aerobics*. Mexico: Diana; 1986.
46. Cooper K. A means of assessing maximal oxygen intake. Correlation between field and treadmill testing. *JAMA: The Journal of the American Medical Association*. 1968;203(3):201-204.
47. Terreros J. *Valoración funcional*. Madrid: Gymnos Editorial; 2003.
48. Burger S, Bertram S, Stewart R. Assessment of the 2,4 km run as a predictor of aerobic capacity. *South African Medical Journal*. 1990;78(6):327-329.
49. Mayorga-Vega D, Bocanegra-Parrilla R, Ornelas M, Viciano J. Criterion-Related Validity of the Distance- and Time-Based Walk/Run Field Tests for Estimating Cardiorespiratory Fitness: A Systematic Review and Meta-Analysis. *PLOS ONE*. 2016;11(3):e0151671.
50. Getchell L, Kirkendall D, Robbins G. Prediction of Maximal Oxygen Uptake in Young Adult Women Joggers. *Research Quarterly American Alliance for Health, Physical Education and Recreation*. 1977;48(1):61-67.
51. Heyward V. *Designs for fitness*. Minneapolis, Minn.: Burgess Pub. Co.; 1984.
52. Larsen G, George J, Alexander J, Fellingham G, Aldana S, Parcell A. Prediction of Maximum Oxygen Consumption from Walking, Jogging, or Running. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 2002;73(1):66-72.
53. ATS/ACCP Statement on Cardiopulmonary Exercise Testing. *Am J Respir Crit Care Med*. 2003;167(2):211-277.

54. Bruce R, Kusumi F, Hosmer D. Maximal oxygen intake and nomographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. *American Heart Journal*. 1973;85(4):546-562.
55. Kindermann W, Schramm M, Keul J. Aerobic Performance Diagnostics with Different Experimental Settings. *International Journal of Sports Medicine*. 1980;01(03):110-114.
56. Pollock M, Bohannon R, Cooper K, Ayres J, Ward A, White S et al. A comparative analysis of four protocols for maximal treadmill stress testing. *American Heart Journal*. 1976;92(1):39-46.
57. Marques-Neto S, Maior A, Maranhão Neto G, Santos E. Analysis of Heart Rate Deflection Points to Predict the Anaerobic Threshold by a Computerized Method. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2012;26(7):1967-1974.
58. Foster C, Jackson A, Pollock M, Taylor M, Hare J, Sennett S et al. Generalized equations for predicting functional capacity from treadmill performance. *American Heart Journal*. 1984;107(6):1229-1234.
59. Kline G, Porcari J, Hintermeister R, Freedson P, Ward A, Mccarron R et al. Estimation of VO_{2max} from a one-mile track walk, gender, age, and body weight. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 1987;19(3):253-259.
60. George J, Fisher A, Vehrs P. *Test y Pruebas Físicas*. 4th ed. Barcelona: Paidotribo; 2005.
61. Evans J. *Straightforward statistics for the behavioral sciences*. Pacific Grove: Brooks/Cole Pub. Co.; 1996.
62. Gleim G, Witman P, Nicholas J. Indirect assessment of cardiovascular "demands" using telemetry on professional football players. *The American Journal of Sports Medicine*. 1981;9(3):178-183.

63. Kraemer W, Torine J, Silvestre R, French D, Ratamess N, Spiering B et al. Body size and composition of National Football League Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2005;19(3):485-489.
64. Snow T, Millard-Stafford M, Roskopf L. Body Composition Profile of NFL Football Players. *J Strength Cond Res*. 1998;12(3):146.
65. Mathews E, Wagner D. Prevalence of Overweight and Obesity in Collegiate American Football Players, by Position. *Journal of American College Health*. 2008;57(1):33-38.