

Universidad Nacional
Facultad de Ciencias de la Salud
Escuela de Ciencias del Deporte
Posgrado en Salud Integral y Movimiento Humano

**“Efecto de la suplementación con hierro
sobre las variables bioquímicas y el consumo
máximo de oxígeno en las jugadoras de la
Selección Nacional de Fútbol de
Costa Rica, Categoría Sub 19”.**

Autora: Jéssica Quesada González

Tutora: MSc. María Mercedes Beltranena Falla de Enríquez

**Tesis presentada para optar por el grado de Magíster
Scientiae en Salud Integral y Movimiento Humano con
énfasis en Salud**

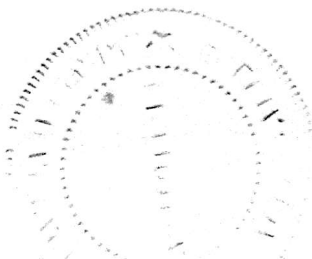
Heredia, 20 de mayo del 2002.

“Efecto de la suplementación con hierro sobre las variables bioquímicas y el consumo máximo de oxígeno en las jugadoras de la Selección Nacional de Fútbol de Costa Rica, Categoría Sub 19”.

Licda. Jéssica Quesada González

8005 932 1 1

Tesis presentada para optar por el grado de Magíster Scientiae en Salud Integral y Movimiento Humano con énfasis en Salud. Cumple con los requisitos establecidos por el Sistema de Posgrado de la Universidad Nacional. Heredia. Costa Rica.



Miembros del Tribunal Examinador

Adela Rojas Marín

Dra. Adela Rojas Marín
Consejo Central de Posgrado
Universidad Nacional

C. A. Álvarez

MSc. Carlos Álvarez
Coordinador del Programa de Posgrado

Maria Mercedes Beltranena Falla

MSc. Maria Mercedes Beltranena Falla
Tutora

F. Araya

MSc. Felipe Araya Ramírez
Lector

Walter Salazar

Walter Salazar Rojas. PhD
Lector

J. Quesada

Licda. Jéssica Quesada González

RESUMEN

Los objetivos del presente estudio fueron: determinar la prevalencia de deficiencia de hierro en mujeres adolescentes futbolistas y determinar el efecto de la suplementación con hierro durante 8 semanas sobre el $VO_{2\text{máx}}$ de la Selección Nacional de Fútbol femenino de Costa Rica, categoría Sub 19. La evaluación del estado del hierro incluyó hemoglobina, hematocrito, CHCM, eritrocitos, HCM, VCM, índice de saturación de transferrina, ferritina sérica y protoporfirina eritrocitaria. La ingesta de hierro dietético fue evaluada con registro de consumo de 3 días. Fueron estudiadas 16 jugadoras en total, separadas aleatoriamente en dos grupos el grupo control (9 sujetos) y el grupo experimental (7 sujetos). Ambos grupos ejecutaron una prueba para medir $VO_{2\text{máx}}$ y determinar el umbral ventilatorio, durante la fase estrogénica de su ciclo menstrual. Se encontró diferencia significativa entre la ferritina sérica y $VO_{2\text{máx}}$ ($p < 0.05$) después de la suplementación con hierro. Se encontró una interacción significativa en CHM y VCM ($p < 0.05$). No hubo diferencias significativas entre grupos en indicadores antropométricos, dietéticos, $VO_{2\text{max}}$, umbral ventilatorio. En comparación con el grupo control, el grupo experimental mejoró su estado del hierro después de la suplementación y se eliminaron las deficiencias encontradas al inicio. En conclusión se encontró una prevalencia de hierro sin anemia en el total de la muestra de un 37,5 %, la cual disminuyó después de la suplementación. El tratamiento no tuvo ningún efecto sobre el $VO_{2\text{máx}}$ ni el umbral ventilatorio del grupo experimental, la tendencia a disminuir se atribuye a otros factores como el entrenamiento.

Palabras claves: deficiencia de hierro sin anemia, mujeres futbolistas, ciclo menstrual, $VO_{2\text{max}}$, umbral ventilatorio, estado nutricional.

DEDICATORIA

*A mami, por haberme enseñado lo maravilloso que es haber nacido
mujer y haber forjado durante muchos años
la mujer que soy hoy.*

*A todas las mujeres deportistas del país, que con su esfuerzo
y perseverancia me motivaron a trabajar con ellas.*

*A todas las personas que son capaces de entender que
"Si continuamos haciendo lo que siempre hemos hecho,
seguiremos obteniendo lo que siempre hemos obtenido"
(John Maxwell)*

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la Virgen por haber estado siempre conmigo y haberme brindado la fortaleza que necesité estos dos últimos años de mi vida para poder superar las muchas adversidades y concluir hoy una de mis metas profesionales.

A Mariamer, por ser más que mi tutora, mi compañera de trabajo. Por haber sido durante estos dos años mi más grande apoyo para seguir adelante fortaleciéndome como ser humano y como mujer, porque cuando te necesito las distancias no existen para sentir el abrazo de una amiga.

Al MSc. José Moncada, por su apoyo incondicional como otro lector de esta investigación y por su aporte intelectual a la misma. ¡Gracias por estar siempre conmigo cuando más lo necesité; y también por presionarme!

A Pedro Rojas y Caro, por brindarme toda su amistad y apoyo cuando más lo necesité.

Al MSc. Felipe Araya, por su aporte intelectual a este trabajo.

A Walter Salazar. PhD, por ser mi amigo aunque no lo sepa, y brindarme siempre la asesoría que necesité aun cuando no pude ser su estudiante.

Al MSc. Randall Gutiérrez, por su aporte inicial a la investigación.

A PROCESA, por su contribución en esta investigación.

A la FEDERACIÓN COSTARRICENSE DE FÚTBOL, por todo el apoyo económico brindado para el desarrollo de este trabajo.

A la Subcomisión de Selecciones Femeninas por colaborar con la investigación cuando fue necesario.

A la entrenadora Karla Alemán y las jugadoras integrantes de la Selección Nacional de Fútbol Femenino, Categoría Sub 19, por su apoyo y participación en esta investigación.

TABLA DE CONTENIDOS

Páginas

Resumen	ii
Dedicatoria	iii
Agradecimientos	iv
Tabla de contenidos	v
Lista de cuadros.....	vi
Lista de gráficos	vi

CAPÍTULOS

I. INTRODUCCIÓN.	1
Planteamiento del problema	1
Justificación	1
Objetivo general	4
Objetivos específicos	4
II. MARCO CONCEPTUAL	6
A. Metabolismo del hierro	7
B. Funciones del hierro	13
C. Necesidades de hierro	15
D. Evaluación del estado del hierro	15
E. Deficiencia de hierro	16
F. Rendimiento deportivo y deficiencia de hierro	17
G. Fútbol femenino	31
H. Menstruación y rendimiento	36
III. METODOLOGÍA	38
Sujetos	38
Diseño del estudio	38
Instrumentos.....	39
Procedimientos	40
Análisis estadístico	43
IV. RESULTADOS	44
V. DISCUSIÓN	56
VI. CONCLUSIONES	66
VII. RECOMENDACIONES	68
BIBLIOGRAFÍA	70

ANEXOS.....	74
1. Hoja de consentimiento informado	76
2. Fórmulas para el cálculo del porcentaje de grasa corporal	78

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Porcentaje de absorción de hierro según reservas de hierro corporal y biodisponibilidad del tiempo de comida.	9
Cuadro 2. Pérdidas de hierro corporal.	13
Cuadro 3. Cuadro resumen de investigaciones sobre deficiencia de hierro en deportistas.....	20
Cuadro 4. Valores de consumo máximo de oxígeno encontrado en diferentes equipos de fútbol femenino a nivel mundial.....	36
Cuadro 5. Indicadores antropométricos de las jugadoras de la Selección Nacional de Fútbol Categoría Sub 19. Costa Rica. 2001.....	44
Cuadro 6. Indicadores bioquímicos de las jugadoras de la Selección Nacional de Fútbol Categoría Sub 19. Costa Rica. 2001.....	45
Cuadro 7. Valor nutricional de la dieta de las jugadoras de la Selección Nacional de Fútbol. Categoría Sub 19. Costa Rica. 2001.....	48
Cuadro 8. Valor nutricional de la alimentación de los días previos a las pruebas efectuadas a las jugadoras de la Selección Nacional de Fútbol. Categoría Sub 19. Costa Rica. 2001.	50
Cuadro 9. Variables cardiorrespiratorias de las jugadoras de la Selección Nacional de Fútbol. Categoría Sub 19. Costa Rica. 2001.....	55

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Valores de Hemoglobina corpuscular media (HCM) de las jugadoras de la Selección Nacional de Fútbol Categoría Sub 19. Costa Rica 2002.	46
Gráfico 2. Valores de Volumen corpuscular medio (VCM) de las jugadoras de la Selección Nacional de Fútbol Categoría Sub 19. Costa Rica 2002.....	47
Gráfico 3. Valores de Ferritina sérica de las jugadoras de la Selección Nacional de Fútbol Categoría Sub 19. Costa Rica, 2002.....	47

Gráfico 4 : Distribución porcentual de macronutrientes, según el valor energético total de las mediciones realizadas en el grupo experimental de jugadoras de la Selección Nacional de Fútbol Femenino, Categoría Sub 19. Costa Rica-2001.	51
Gráfico 5: Distribución porcentual de macronutrientes, según el valor energético total de las mediciones realizadas en el grupo control de jugadoras de la Selección Nacional de Fútbol Femenino, Categoría Sub 19. Costa Rica-2001.	51
Gráfico 6. Comparación de la ingesta energética durante el estudio. Selección Nacional de Fútbol Femenino Categoría Sub 19. Costa Rica 2001.	52
Gráfico 7. Comparación de la ingesta energética durante el estudio. Selección Nacional de Fútbol Categoría Sub 19. Costa Rica 2001.	52
Gráfico 8: Evaluación de la alimentación del Grupo experimental, porcentaje de las Recomendaciones Dietéticas Diarias cubiertas en las mediciones. Selección Nacional de Fútbol Femenino, Categoría Sub 19. Costa Rica-2001.	53
Gráfico 9: Evaluación de la alimentación del Grupo control, porcentaje de las Recomendaciones Dietéticas Diarias cubiertas en las mediciones. Selección Nacional de Fútbol Femenino, Categoría Sub 19. Costa Rica-2001.	53
Gráfico 10. Consumo máximo de oxígeno ($VO_{2m\acute{a}x}$) de las jugadoras de la Selección Nacional de Fútbol Categoría Sub 19. Costa Rica 2002.	55

CAPÍTULO I.

INTRODUCCIÓN

Planteamiento del problema.

¿Presentarán alguna deficiencia de hierro sin anemia las jugadoras que integran la Selección Nacional de Fútbol Femenino, Categoría Sub 19? . ¿Cuál sería el efecto de la suplementación con hierro en su salud y desempeño deportivo?.

Justificación.

La deficiencia de hierro es uno de los problemas nutricionales más comunes en el mundo, no solo en los países en vías de desarrollo en donde muchas veces esta situación se da por carencia de alimentos, sino también en aquellos que se hacen llamar desarrollados en donde por el contrario no es la cantidad de alimentos sino la calidad de los mismos que afecta la biodisponibilidad de este nutriente.

El hierro es uno de los minerales esenciales más estudiados por los investigadores del área de la salud y el deporte dadas las consecuencias que su deficiencia provoca no solo a nivel de capacidad de trabajo sino también de desarrollo cognitivo.

Comprender el metabolismo del hierro es fundamental para los profesionales en salud porque les permite detectar a tiempo las deficiencias y evitar que progrese y que se observen ya los signos y síntomas a nivel físico, por tanto, uno de los puntos básicos que debe aclararse es dónde está el hierro y cuáles son las sustancias en el organismo que

contienen este mineral. Según Yip y Dallman (1997), esas sustancias se pueden dividir en 2 categorías según su función:

- a. Funcionales, las cuales cumplen una función metabólica o enzimática).
- b. Almacenamiento (utilizadas para almacenamiento y transporte de hierro).

Se ha podido determinar que las concentraciones de hierro orgánico en los varones es de 3,8 mg y en mujeres de 2,3 mg aproximadamente. De esta cantidad total estimada se sabe que dos terceras partes corresponden a hierro funcional. Sin embargo, existen diferencias según género, ya que en hombres un tercio se encuentra en depósitos, mientras que en mujeres esto solo representa una octava parte (Yip y Dallman, 1997).

Los individuos pueden experimentar problemas de salud tanto por exceso de hierro (menos frecuente) como por deficiencia; la deficiencia subclínica de hierro ocurre en los primeros estadíos cuando las reservas de hierro corporales se agotan. Este problema puede tener dos orígenes, uno de ellos es la ingesta inadecuada de este mineral debido a una dieta deficiente, y el otro es porque el cuerpo no absorbe ni utiliza de manera adecuada el hierro que se ingiere (Yip y Dallman, 1997).

Las consecuencias de una deficiencia de hierro son notables dentro de la población normal y dadas las funciones que este mineral desempeña en el cuerpo humano, durante años se ha pensado que esta deficiencia podría incidir directamente de manera negativa sobre el rendimiento deportivo, específicamente en lo que respecta a la capacidad aeróbica.

Las investigaciones en ciencias del deporte realizadas en torno al hierro, parten del hecho de reconocer que entre las principales funciones biológicas, las más conocidas son

aquellas que se relacionan con el grupo heme: hemoglobina para el transporte de oxígeno, mioglobina para el almacenamiento muscular de oxígeno y citocromos para la producción oxidativa de energía celular en forma de ATP. Adicionalmente a estas funciones, existen enzimas en el cuerpo que contienen hierro no heme como los complejos hierro-azufre de la NADH deshidrogenasa y la succinato deshidrogenasa que participan activamente en el metabolismo energético (Klingshirn, Russell, Bourque, Davis y Sargent, 1992; LaManca y Haymes, 1993; Schmid, Jakob, Berg, Rubmann, König, Irmer, y Keul, 1996; Yip y Dallman, 1997).

Con el fin de conocer a tiempo el problema de deficiencia de hierro, existen en la actualidad parámetros sanguíneos sensibles que permiten detectar problemas por deficiencia de hierro en sus estadios primarios sin que aún se haya presentado la anemia o anemia ferropriva como tal. Es entonces cuando se observa que además de los parámetros sanguíneos hemoglobina, hematocrito, se hace necesaria la valoración de la concentración de ferritina sérica, hierro sérico, capacidad total de ligar hierro, porcentaje de saturación de transferrina, protoporfirina eritrocitaria o la determinación del índice transferrina/ferritina, el cual ha sido estudiado como un buen parámetro para identificar pacientes con reservas de hierro agotadas (Ashenden, Martin, Dobson, Mackintosh y Hahn, 1998; Faintuch, Lotufo y Gilgerto, 1994; Klingshirn, Russell, Bourque, Davis y Sargent, 1992; LaManca y Haymes, 1993; Punnonen, Irjala y Rajamaki, 1997; Walker, 1996; Whitney, Cataldo y Rolfes, 1994).

Una vez reconocido de manera adecuada el problema de deficiencia es que surgen las ideas para solucionarlo y sin duda una de ellas ha sido la suplementación con diferentes compuestos de hierro cuya biodisponibilidad también difiere de un estudio a otro.

No obstante, la evaluación de este tratamiento ha sido controversial, pues las conclusiones respecto a la suplementación con hierro en deportistas con deficiencia pero sin anemia franca, se contraponen. Algunas investigaciones han demostrado que no existe mejora en el rendimiento deportivo, evaluado a partir de la capacidad aeróbica, si se suplementa a un deportista y éste eleva sus niveles de ferritina sérica pero mantiene en niveles normales su hemoglobina sin cambio alguno (Fogelholm, Jaakkola y Lampisjarvi, 1992; Friedmann, Weller, Mairbäurl y Bärtsch, 2000; Zhu y Haas, 1997; Klingshirn, Russell, Bourque, Davis y Sargent, 1992). Sin embargo algunos otros autores insisten en la necesidad de suplementación (Cavill, 1999; Chatard, Mujika, Guy y Lacour, 1999; Friedmann, Weller, Mairbäurl y Bärtsch, 2000; Karamizrak, Islegen, Varol, Taskiran, Yaman, Mutfak y Akgun, 1996; LaManca y Haymes, 1993), mientras que otros objetan que los estudios de suplementación realizados hasta el momento han fallado en su diseño (control de la variable tiempo de suplementación y biodisponibilidad del hierro) y por eso no han obtenido los resultados que se esperaban sobre el rendimiento (capacidad aeróbica) (Nielsen y Natchtigall, 1998).

Objetivo general

Evaluar el estado del hierro en las jugadoras de la Selección Nacional de Fútbol Femenino de Costa Rica, Categoría Sub 19 y su efecto sobre la salud y el desempeño físico.

Objetivos específicos

- a. Determinar la prevalencia de deficiencia de hierro sin anemia en mujeres adolescentes futbolistas

- b. Determinar el efecto que tiene la suplementación con hierro durante 8 semanas sobre los indicadores bioquímicos y el $VO_{2\text{máx}}$ de mujeres adolescentes futbolistas.

CAPÍTULO II.

MARCO CONCEPTUAL

En Estados Unidos, la prevalencia de deficiencia de hierro es alta, alcanzando más de un 11 % de los adolescentes y mujeres (Braun, Flynn, Carl, Carroll, Brickman y Lambert, 2000). Otro estudio menciona que la prevalencia de anemia por deficiencia de hierro en mujeres con edades entre 18 – 44 años es solo de un 2,3 %, sin embargo, destaca que la prevalencia de deficiencia marginal (deficiencia de hierro sin anemia y reservas de hierro agotadas) es de aproximadamente 16 % (Zhu y Haas, 1997).

En Costa Rica se conoce que en preescolares y mujeres la prevalencia de anemia ferropriva es de 25-33 % y 28 % respectivamente (INCAP y Escuela de Nutrición, Universidad de Costa Rica, 1995). En otro estudio realizado en nadadores de la Selección Nacional de Costa Rica, se encontró en mujeres, niveles de ferritina sérica de 45 ng/ml, que aunque no demostraban aún deficiencia de hierro ya eran considerados bajos (Quesada, 1998). A pesar de esto, no se han tomado las acciones respectivas para prevenir detectando primero deficiencia de hierro antes de que sobrevenga la anemia con todas las consecuencias negativas que esta trae sobre el desarrollo psicomotor de los niños y la capacidad de trabajo de niños y adultos.

Al hablar de grupos de la población que se encuentran en riesgo, las mujeres jóvenes, en edad reproductiva y físicamente activas parecieran tener un mayor riesgo de deficiencia de hierro, debido a varios factores: sangrado menstrual, ingesta deficiente de hierro, composición inadecuada de la dieta y eritropoyesis (Zhu y Haas, 1997; Rowland, 1990; Malczewska, Raczynski y Stupnicki, 2000).

Rowland (1990) en su revisión bibliográfica menciona que más del 40 – 50 % de las mujeres adolescentes deportistas muestran algún grado de agotamiento de las reservas de hierro sin anemia, y subraya además que es importante detectar este problema porque las funciones gastrointestinales, neurológicas e inmunológicas podrían afectarse negativamente por una baja reserva de hierro.

El hierro, al igual que todos los demás nutrientes esenciales tiene funciones específicas en el ser humano, las cuales se verán alteradas si se da un desbalance en su metabolismo, el cual de hecho se debe conocer en detalle para poder decidir cómo evaluar su condición a nivel orgánico y determinar las posibles acciones o soluciones al problema si es que se detecta alguno.

A. METABOLISMO DEL HIERRO.

El metabolismo del hierro puede ser explicado con base en 4 puntos fundamentales: absorción, transporte, depósito o reservas y recambio o pérdidas. A continuación se hace una breve descripción de éstos:

1. Absorción.

Se dice que la absorción del hierro va a depender de varios factores: aporte dietético diario, composición de la dieta, cantidad de hierro almacenado y tasa de formación de eritrocitos (Yip y Dallman, 1997).

Existen 2 tipos de hierro que una persona podría ingerir: el hierro heme y el no heme. El primero se encuentra fundamentalmente en la hemoglobina y la mioglobina de las carnes, aves y pescado; mientras que el segundo, que consiste fundamentalmente en sales de hierro, se encuentra en alimentos como los vegetales y los productos lácteos (Mahan y Escott – Stump, 1996; Yip y Dallman, 1997).

Ambos tipos de hierro se absorben de manera distinta, de ahí la importancia de distinguir entre uno y otro.

a. Hierro no heme.

Aproximadamente el 85 % del hierro proveniente de la dieta es hierro no heme. Su absorción estará determinada por su solubilidad, la cual se lleva a cabo en la parte alta del intestino delgado (duodeno y yeyuno alto) y está influenciada por los demás componentes de la dieta, por lo que se dice que su absorción será proporcional a la cantidad de potenciadores e inhibidores de su solubilidad que se consuman en un mismo tiempo de comida (Mahan y Escott – Stump, 1996; Yip y Dallman, 1997).

El potenciador de la absorción de hierro más conocido es la vitamina C o ácido ascórbico, mientras que los inhibidores son: fosfato cálcico, el salvado, el ácido fítico (presente en los cereales integrales no procesados) y los polifenoles (en el té y algunos vegetales). Se ha dicho que el café es otro producto que podría causar problemas en la absorción, sin embargo sigue sin

identificarse el componente responsable (INCAP, 1994; Yip y Dallman, 1997).

Según las reservas corporales de hierro y el contenido de carne y vitamina C que estén presentes en un mismo tiempo de comida, la biodisponibilidad del mismo puede ser baja, moderada o alta; tal y como se muestra en el cuadro 1 para el caso de las mujeres, representado de manera porcentual sobre los miligramos de hierro ingerido en un mismo tiempo de comida.

Cuadro 1. Porcentaje de absorción de hierro según reservas de hierro corporal y biodisponibilidad del tiempo de comida.

Características del tiempo de comida	Porcentaje de absorción según reservas de hierro (mg)		
	0	250	500
Comida de baja disponibilidad			
• < 30 g de carne ó	5	4	3
• < 25 mg de vitamina C			
Comida de moderada disponibilidad	10	7	5
• 30 - 90 g de carne ó			
• 25 - 75 mg de vitamina C			
Comida de alta disponibilidad			
• 90 g de carne ó	20	12	8
• 75 mg de vitamina C ó			
• 30 - 90 g de carne y 25 - 75 mg de vitamina C			

Apuntes del curso Nutrición Normal, 1994

b. Hierro heme.

La cantidad de hierro heme que se puede obtener de la dieta es de un 5 a un 10 % del hierro total, sin embargo su absorción es de un 25 % comparada con solo un 5% del hierro no heme. Además su absorción se afecta mínimamente por los diferentes componentes dietéticos (Mahan y Escott-Stump, 1996)

La tasa de absorción del hierro pareciera estar controlada por la mucosa intestinal, la cual acepta cantidades de hierro dependiendo de las necesidades corporales del mismo, pues un exceso de hierro puede también deteriorar la salud.

2. Transporte.

La transferrina es la proteína plasmática transportadora encargada del paso del hierro desde los productos de degradación de hemoglobina o desde el intestino hacia los tejidos. Esta proteína libera hierro hacia los tejidos a través de los receptores de la membrana celular específicos para ella (Yip y Dallman, 1997).

De manera sencilla se podría decir que la transferrina recoge el hierro del lumen intestinal y lo lleva a la superficie de las células intestinales, donde esta proteína se liga a sus respectivos receptores y libera el hierro dentro de la célula y regresa al lumen por más hierro. Una vez dentro de la célula de la mucosa este

hierro se combina con apoferritina y forma la ferritina como una reserva temporal de hierro (Mahan y Escott – Stump, 1996).

La cantidad de hierro que se vaya a liberar de las células de la mucosa al cuerpo dependerá del tamaño de los depósitos de hierro y de la ingesta de este mineral en la dieta (Mahan y Escott – Stump, 1996).

Es importante también reconocer que el número de receptores de transferrina en la membrana celular se ajusta según las necesidades de las células del individuo. De manera que cuando las células perciben un medio rico en hierro, la cantidad de receptores disminuye. Por el contrario, cuando no existe un aporte que satisfaga las necesidades celulares de este mineral, ya sea por una ingesta dietética deficiente o por un alto recambio celular (que aumenta las necesidades), el número de receptores de transferrina aumenta (Yip y Dallman, 1997).

La cantidad de receptores de transferrina existentes en las membranas celulares es proporcional a la concentración de receptores de esta proteína en el suero y por tanto estos receptores séricos pueden ser utilizados para valorar el estado del hierro (Yip y Dallman, 1997). Se dice que las deficiencias de hierro dietético se reflejan primero en la saturación de la transferrina circulante (Mahan y Escott – Stump, 1996; Yip y Dallman, 1997).

3. Depósitos.

Cerca de 200 a 1500 mg de hierro son almacenados en el cuerpo como ferritina y hemosiderina. El hierro unido a la primera es más fácil de movilizar que en el caso de la hemosiderina (Mahan y Escott – Stump, 1996).

Este hierro que se almacena sirve como reservorio para cubrir las necesidades celulares especialmente la producción de hemoglobina, cuando la ingesta es deficiente o bien las necesidades del mineral son tan altas que se incurre en un desbalance. Este balance negativo de hierro sostenido por período prolongado, conlleva a la depleción de las reservas de hierro antes de que aparezca una deficiencia a nivel de tejidos (Mahan y Escott – Stump, 1996; Yip y Dallman, 1997).

4. Recambio y pérdida de hierro.

En su mayoría, el recambio de hierro se relaciona con la producción y destrucción de eritrocitos. Mientras que las pérdidas de hierro se producen a través del sangrado y muy pequeñas cantidades se excretan en heces, sudor y por la descamación de células epidérmicas. El siguiente cuadro (Nº 2), resume de forma cuantitativa las pérdidas de hierro que experimenta el cuerpo y las diferentes vías.

tesis
4407

CD 1058

Cuadro 2. Pérdidas de hierro corporal.

	Cantidad perdida
Heces	0,6 mg / día
Células epidérmicas descamadas y sudor	0,2 a 0,3 mg / día
Pérdidas urinarias	< 0,1 mg / día
Pérdidas durante el ciclo menstrual *	0,5 – 0,8 mg / día

Tomado de Yip y Dallman, 1997.

* INCAP, 1994.

B. FUNCIONES DEL HIERRO.

El hierro desempeña una serie de funciones tan importantes en el cuerpo, que su deficiencia, como en el caso de otros nutrientes, acarrea problemas de salud importantes.

De manera resumida se puede decir que entre las principales funciones del hierro, las más conocidas son aquellas que se relacionan con el grupo heme; es decir: hemoglobina para el transporte de oxígeno, mioglobina para el almacenamiento muscular de oxígeno y citocromos para la producción oxidativa de energía celular en forma de ATP (Yip y Dallman, 1997). A continuación una breve descripción de sus funciones:

1. Hemoglobina.

Desempeña un papel esencial en la transferencia de oxígeno desde los pulmones hasta los tejidos.



2. Mioglobina.

Su principal función consiste en transportar y almacenar oxígeno en el interior del músculo y liberarlo para cubrir el aumento de las necesidades metabólicas que se producen durante las contracciones musculares, en especial cuando se realiza actividad física (Yip y Dallman, 1997; Klingshirn, Russell, Bourque, Davis y Sargent, 1992).

3. Citocromos.

Los citocromos son compuestos que van a tener un papel esencial en los metabolismos respiratorio y energético gracias a su función en el transporte mitocondrial de electrones; de tal manera que son los que se encargan de la producción de energía celular a partir de la fosforilación oxidativa (transporte de electrones y transformación de ADP en ATP) (Whitney y col, 1994; Mahan y Escott – Stump, 1996; Yip y Dallman, 1997).

4. Otras enzimas que contienen hierro.

La NADH deshidrogenasa y la succinato deshidrogenasa son enzimas que contienen hierro no heme y cuya función a nivel de metabolismo energético es ampliamente conocida (Yip y Dallman, 1997).

C. NECESIDADES DE HIERRO.

Los requerimientos fisiológicos deben ser convertidos en requerimientos dietéticos considerando la biodisponibilidad del mineral en la dieta. Por otra parte, definen también que los requerimientos basales de hierro hacen referencia a la cantidad de hierro dietético necesario para poder mantener un suministro normal a los tejidos, sin incluir un incremento apreciable de reserva y para conservar todas las funciones evaluables clínicamente (INCAP, 1994). Las necesidades de hierro van a depender del género, la edad de los sujetos y de su estado fisiológico.

En Costa Rica, una vez analizadas las características de la dieta de la población, se logró establecer como meta nutricional la ingesta de 18 mg diarios de hierro total para poder llenar las necesidades nutricionales de este mineral (INCAP y Escuela de Nutrición, 1995).

D. EVALUACIÓN DEL ESTADO DEL HIERRO.

Antes de valorar las deficiencias de hierro, es necesario aclarar de qué forma se evalúa el estado nutricional del hierro. Al respecto, distintos autores coinciden en que la mejor forma de hacerlo es a través de los parámetros bioquímicos, utilizando para ello la medición de las proteínas o compuestos que de una u otra forma cumplen algunas funciones el metabolismo del hierro (Yip y Dallman, 1997; Punnonen, Irjala, Rajamaki, 1997; Garza, Shrier, Kohl Harold, Ford, Brown, y Matheson, 1997; Ashenden, Martin, Dobson, Mackintosh y Hahn, 1998; Malczewska, Szczepanska, Stupnicki y Sendeki, 2001).

Se dice que uno de los métodos menos invasivos para la valoración de los depósitos de hierro es la ferritina sérica. La concentración sérica de hierro, la capacidad de captación total del hierro y la saturación de transferrina reflejan el aporte de hierro a los tejidos. Cuando el aporte de hierro para la síntesis del heme es insuficiente, en los eritrocitos se produce una elevación de la protoporfirina, el precursor del heme. De igual forma los receptores de transferrina responden al suministro insuficiente de hierro a las células incrementando su presencia en las superficies celulares y en el plasma. El tamaño eritrocitario, medido como volumen corpuscular medio (VCM) y la concentración de hemoglobina disminuyen en caso de ferropenia significativa (Yip y Dallman, 1997).

E. DEFICIENCIA DE HIERRO.

A pesar de ser uno de los minerales más estudiados y descritos en la literatura, la carencia o deficiencia de hierro continúa siendo la deficiencia nutricional más frecuente en muchos países, y Costa Rica no es la excepción.

Beard y Tobin (2000) comentan que la deficiencia de hierro puede ser definida a partir del momento en que las reservas de hierro se van agotando y se empieza a evidenciar la restricción del suministro de hierro a los tejidos.

Según Yip y Dallman (1997) y Klingshirn y col (1991) mencionan que la deficiencia de hierro puede clasificarse en tres estadios entre leve y grave. De esta forma se tiene:

- El primer estadio se refiere solo a la disminución de las reservas de hierro, lo cual se observa con la reducción de los niveles de ferritina sérica, sin que esto se asocie a ninguna consecuencia adversa a nivel fisiológico, sin embargo un balance marginal de hierro sostenido por largo período, hace que el individuo esté más propenso a presentar una deficiencia más grave.
- El segundo estadio se caracteriza por alteraciones en los parámetros bioquímicos que van a reflejar la ausencia de suficiente hierro para la producción de hemoglobina y otros compuestos esenciales, aunque aún no se presente anemia franca.
- El tercer estadio es una clara anemia ferropénica, cuya gravedad dependerá de la concentración de hemoglobina.

F. RENDIMIENTO DEPORTIVO Y DEFICIENCIA DE HIERRO.

El rendimiento deportivo para efectos de la presente investigación será entendido como la capacidad que desarrolla un individuo entrenado que le permite realizar el máximo esfuerzo para cumplir con una prueba determinada.

Dependiendo de las características y requisitos de las diferentes disciplinas deportivas, los fisiólogos del ejercicio y los preparadores físicos determinan cuál es la mejor prueba ya sea de laboratorio o de campo, con el fin de evaluar su rendimiento.

Al respecto, es importante destacar que para deportes de resistencia como lo son el ciclismo de ruta, la maratón, el triatlón y las carreras de fondo y medio fondo; el desarrollo de la capacidad aeróbica es fundamental, por tanto se requiere de un constante monitoreo de

su consumo máximo de oxígeno, en especial cuando se desea conocer el efecto que ha tenido el entrenamiento o cualquier otra variable psicológica, fisiológica o biomecánica, sobre el rendimiento.

La valoración del $VO_{2\text{máx}}$ es un parámetro fisiológico que refleja la habilidad que tiene el cuerpo de un individuo de suplir la energía para actividades que duran más de 30 segundos, esto obedece a que este proceso metabólico depende del consumo y la utilización del oxígeno a nivel de tejidos y células (Brooks, Fahey y White, 1995).

Según el Colegio Norteamericano de Medicina Deportiva (ACSM), proporciona información de gran utilidad para los profesionales en ciencias del ejercicio, por ejemplo (ACSM, 2000):

1. Bajo ciertas condiciones, proporciona una medición del gasto energético durante ejercicio.
2. El índice de consumo de oxígeno durante la realización de un ejercicio máximo ($VO_{2\text{máx}}$) muestra la capacidad para el transporte de oxígeno y su utilización durante el ejercicio.

Es en este punto en donde la valoración de este parámetro cobra especial importancia en la presente investigación, pues si el metabolismo del hierro estuviera alterado, este índice se afectaría de manera negativa, influyendo sobre el rendimiento deportivo de los sujetos.

3. El $VO_{2\text{máx}}$ también sirve como criterio de la condición aeróbica de los individuos y su comparación.

4. En combinación con el índice medido del gasto de dióxido de carbono (VCO_2), el $VO_{2\text{máx}}$ proporciona información general sobre los combustibles que se emplean durante la realización del ejercicio.

Por otra parte, con base en la bioenergética se puede recordar que en los ejercicios de moderada intensidad y larga duración, el sistema aeróbico es el que mayor cantidad de energía aporta en la ejecución del mismo. Sin embargo se debe destacar que existen límites en la realización del ejercicio aeróbico continuo, y uno de ellos es la aparición de la fatiga que puede ser el resultado de la acumulación de ácido láctico a nivel muscular debido a la incapacidad del cuerpo de seguir produciendo energía a partir del sistema aeróbico, es decir cuando se alcanza y se sobrepasa el umbral anaeróbico es cuando se dispara la concentración del metabolito en mención (Brooks, y col, 1995). A partir de esto se podría decir que una menor concentración de lactato en sangre podría reflejar una mejor utilización del oxígeno para la realización de los procesos energéticos.

Con base en todo lo anteriormente citado, tanto nutricionistas como fisiólogos del ejercicio, se ha cuestionado acerca del posible efecto que la deficiencia de hierro podría tener no solo en la salud sino también en el rendimiento de sus atletas. El cuadro que se presenta a continuación resume datos importantes de algunas de las investigaciones que se han hecho en torno a este tema.

Cuadro 3. Cuadro resumen de investigaciones sobre deficiencia de hierro en deportistas

Autores	Propósito	Sujetos	Parámetros bioquímicos evaluados	Suplementación	Variables fisiológicas de rendimiento	Tipo de estudio
LaManca y Haymes, 1993.	Efecto de la suplementación	20 mujeres voluntarias de diferentes deportes. Con ferritina sérica <20 ng/ml Edad: 18 - 35 años Clasificación de DH: ferritina sérica < 20 ng / ml	[Redacted]	8 semanas de tratamiento. 159 mg sulfato ferroso + 50 mg de hierro elemental (100 mg de hierro).	Rendimiento de resistencia (Tiempo de agotamiento en el cicloergómetro a una intensidad de 80 % VO ₂ max) Capacidad aeróbica (VO ₂ max) Concentración de lactato sanguíneo	Estudio experimental de doble ciego.
Russell, Dover, Goodyear, Jun-Zong y Lamber, 1984.	Describir el estado de reservas de hierro.	el Corredoras las 55 mujeres, con edades de desde los 20 hasta los 34 años aproximadamente	Hemoglobina. Hematocrito. [Redacted]	No se evaluaron	No se evaluaron	Estudio transversal descriptivo
Constantini, Eliakim, Zigel, Yaaron y Falk, 2000.	Describir el estado del hierro en adolescentes gimnastas.	68 deportistas de élite Edad: 12 - 18 años. 43 hombres y 25 mujeres. Gimnastas No gimnastas	Hemoglobina. Hematocrito. Glóbulos rojos Volumen corpuscular medio Hemoglobina corpuscular media Concentración sérica de hierro Transferrina [Redacted]	No hubo	No se evaluaron	Estudio transversal descriptivo

Cuadro 3 (continuación). Cuadro resumen de investigaciones sobre deficiencia de hierro en deportistas.

Autores	Propósito	Sujetos	Parámetros bioquímicos evaluados	Suplementación	Variables fisiológicas de rendimiento	Tipo de estudio
Klingshirn, cols, 1992.	Efecto de la suplementación en la capacidad de resistencia	18 sujetos con deficiencia de hierro sin anemia. Edad: 22 - 39 años. Corredores Clasificación de DH: ferritina sérica < 20 ng / ml	Hemoglobina. Hematocrito. Concentración sérica de hierro. Capacidad de captación total del hierro. [Redacted]	8 semanas de tratamiento. 160 mg sulfato ferroso equivalente a 50 mg de hierro elemental	Consumo máximo de oxígeno Evaluación de la resistencia (correr hasta agotamiento)	Estudio experimental
Zhu y Haas, 1997.	Efecto de la deficiencia de hierro sin anemia en el rendimiento físico	69 mujeres de Edades 19 - 36 años Físicamente activas. Clasificación de DH: ferritina sérica < 12 ug / L	Hemoglobina. Hematocrito [Redacted] Concentración sérica de hierro Capacidad de captación total del hierro. % [Redacted]	No hubo	Consumo máximo de oxígeno. Umbral ventilatorio δ eficiencia	Estudio transversal descriptivo
Ashenden cols, 1998.	Investigar indicador ferritina sérica	92 mujeres Diferentes deportes: canotaje, balonmano, baloncesto. Clasificación de DH: ferritina sérica < 12 ug / L	Hemoglobina. Hematocrito [Redacted] Volumen corpuscular medio Hemoglobina corpuscular media	No hubo	Macrocielo entrenamiento	Estudio retrospectivo, descriptivo
Dan Garza cols, 1997	Revisión artículos	de 10 estudios	--	Cita varios estudios con suplementación	Consumo máximo de oxígeno.	Revisión narrativa de estudios.

Cuadro 3 (continuación). Cuadro resumen de investigaciones sobre deficiencia de hierro en deportistas.

Autores	Propósito	Sujetos	Parámetros bioquímicos evaluados	Suplementación	Variables fisiológicas de rendimiento	Tipo de estudio
Malczewska cols, 2001	Describir deficiencia de hierro sin anemia en mujeres y hombres deportistas	252 sujetos de 131 hombres y 121 mujeres practicantes de distintas disciplinas deportivas.	Hemoglobina. Hematocrito Cuenta de eritrocitos Cuenta de leucocitos Concentración de hemoglobina corpuscular media Volumen corpuscular medio Hemoglobina corpuscular media Concentración plasmática de los receptores séricos de transferrina (Tfr-s) Concentración plasmática de hierro Capacidad de captación total del hierro Haptoglobina Índice Tfr-s/ log ferritina	No hubo	No se evaluaron	Estudio transversal descriptivo
Malczewska cols, 2000.	Estado del hierro en mujeres deportistas de resistencia y no deportistas.	126 mujeres deportistas de diferentes disciplinas deportivas. 52 control Edades: 16 – 20 años	Hemoglobina. Hematocrito Cuenta de eritrocitos Cuenta de leucocitos Concentración de hemoglobina corpuscular media Volumen corpuscular medio Hemoglobina corpuscular media Cuenta de reticulocitos Concentración de hierro en plasma Capacidad de captación total del hierro Saturación de transferrina con hierro. Haptoglobina	No hubo	No se evaluaron	Estudio transversal descriptivo

Cuadro 3 (continuación). Cuadro resumen de investigaciones sobre deficiencia de hierro en deportistas.

Autores	Propósito	Sujetos	Parámetros bioquímicos evaluados	Suplementación	Variables fisiológicas de rendimiento	Tipo de estudio
Karamizrak cols, 1996.	Evaluar relación entre capacidad física de trabajo y estado del hierro. Efecto de la suplementación.	71 hombres y 18 mujeres deportistas de diferentes disciplinas	Hemoglobina Cuenta de glóbulos rojos Hierro sérico Capacidad de captación total del hierro	3 semanas de tratamiento. 175 - 350 mg fumarato ferroso diario.	Ejecución en el test de capacidad física de trabajo (PWC170).	Experimental

Como se puede observar en el cuadro, varios investigadores se han preocupado por reconocer y estudiar el estado del hierro en deportistas, observando la prevalencia no solo de anemia sino más bien de deficiencia de hierro. El cuadro resume datos básicos de las investigaciones. A continuación se presenta un resumen de los principales resultados y conclusiones encontrados; sin embargo es importante aclarar un concepto que se ha venido malinterpretando y es el de **anemia del deportista**, pues esta situación no es más que una falsa anemia y una adaptación beneficiosa al ejercicio aeróbico, causada por una expansión del volumen plasmático que diluye los glóbulos rojos (Eichner, 1992).

Todos los estudios anteriormente citados parten del principio de reconocer que el hierro es un importante nutriente en el organismo que cumple con muchas funciones metabólicas que pueden afectar directamente el rendimiento de un deportista si se presenta deficiencia.

En lo que respecta a descripción del estado del hierro en diferentes deportes, se puede citar a Russell y col (1984), quienes después de estudiar a un grupo de 35 corredoras (de 5 km y de maratón) y comparar los resultados de las variables hematológicas con un grupo de mujeres control, concluyen que las corredoras de distancia no difieren significativamente de las mujeres del grupo control en lo que respecta a reservas de hierro y demás indicadores hematológicos ($p < 0.05$), de hecho resaltan que la incidencia de deficiencia de hierro fue alta tanto en corredoras como en el grupo control de mujeres sedentarias.

Al investigar la evidencia de reservas de hierro agotadas en adolescentes gimnastas, Constantini y col (2000) después de estudiar los parámetros sanguíneos en un grupo de deportistas con edades de 12 – 18 años, 23 gimnastas (11 hombres y 12

mujeres) y 45 no gimnastas, pertenecientes a deportes como natación, tenis y tenis de mesa (32 hombres y 13 mujeres), concluyen que la prevalencia de deficiencia de hierro sin anemia (basados en niveles de ferritina sérica $< 20\text{ng/ml}$) no solo se da en corredores sino también en otros jóvenes deportistas (especialmente mujeres) involucradas en otros deportes. En este estudio además se encontró que este tipo de deficiencia está presente en los hombres gimnastas. Comentan además que la realidad es que los estudios no son consistentes en lo que respecta al efecto de la suplementación con hierro sobre el rendimiento deportivo de atletas con deficiencia subclínica de hierro. Resaltando que podría ser que el efecto de este tipo de deficiencia sobre el rendimiento no sea solo por su efecto sobre el metabolismo aeróbico intracelular, sino que también podría ser por su posible efecto sobre el estado de ánimo, las funciones cognitivas, habilidad intelectual, motivación y períodos de atención.

Zhu y Haas, (1997), publican un estudio en el que no hubo suplementación, sin embargo parte de algunos análisis que es importante mencionar antes de comentar su estudio en sí. Al igual que otros investigadores, estos mencionan algunos estudios que se han realizado en animales en donde la capacidad de rendimiento se vio disminuida cuando éstos presentaron deficiencia de hierro sin anemia. Comentan que el deterioro en el rendimiento se debió probablemente a una disminución en la capacidad aeróbica oxidativa y mediada por un aumento en la dependencia de otras vías que sintetizan ATP, como la glicólisis anaeróbica, rompimiento de fosfocreatina, y disminución en la utilización de ácidos grasos. Mencionan por otra parte que una prueba de rendimiento a una intensidad de trabajo menor, es más apropiada que una máxima, pues son relativamente más dependientes de las vías aeróbicas para la generación de energía;

argumentando que además las mediciones de la eficiencia del trabajo muscular y el umbral ventilatorio pueden ser una herramienta útil.

En lo que respecta al estudio realizado por Zhu y Haas (1997), se estudiaron 69 sujetos, a los cuales les realizaron pruebas de consumo de oxígeno según el protocolo de McArdle y Magel utilizando un cicloergómetro, determinación del umbral ventilatorio y de la δ eficiencia (de acuerdo con la fórmula de Gaesser y Brooks). Las personas que participaron en el estudio no eran deportistas sino sujetos físicamente activos. Los resultados que encontraron se subdividen en:

Efecto del estado del hierro en $VO_{2m\acute{a}x}$: encontraron que el $VO_{2m\acute{a}x}$ en los sujetos con deficiencia marginal de hierro sin anemia fue significativamente menor que en los sujetos con suficientes reservas de hierro una vez que se controlaron las variables actividad física y masa libre de grasa. Estos resultados contrastan con lo que hasta ahora se había encontrado en otras investigaciones, sin embargo, los autores mencionan que en otras ocasiones no se llevó un control sobre la actividad física de las personas y la composición corporal (masa libre de grasa), variables que en definitiva influyen en la capacidad aeróbica. Discuten que anteriormente se asumía que el $VO_{2m\acute{a}x}$ se afectaba principalmente por la capacidad de transporte de oxígeno y por tanto si esta capacidad no se afectaba en los sujetos con deficiencia de hierro sin anemia, el $VO_{2m\acute{a}x}$ tampoco debería afectarse. No obstante, cuando se habla de consumo de oxígeno existen otros factores aparte de la capacidad de transporte de oxígeno en sangre que se presentan cuando se alcanza una tasa de trabajo máxima; esto incluye: la tasa de

difusión de oxígeno en los tejidos musculares (lo cual depende de la concentración de mioglobina), el suministro de sustratos oxidables (como las deshidrogenasas mitocondriales) y la capacidad respiratoria oxidativa (la cual depende en parte del contenido tisular de las enzimas respiratorias en las mitocondrias y las cadenas de proteínas).

Efecto del agotamiento marginal de hierro sobre el umbral ventilatorio y la δ eficiencia: estos parámetros no fueron mayores en los sujetos con un mejor estado de hierro que aquellos con deficiencia, los autores mencionan varios factores o variables que no se controlaron y que de hecho afectan las pruebas de rendimiento y la clasificación misma de los sujetos. Mencionan que no controlaron la alimentación de los sujetos antes de la prueba, tampoco prestaron atención al momento de ejecución de la prueba dentro del ciclo menstrual de la mujer, el cual pareciera afectar el rendimiento de las mujeres deportistas, y por último no consideraron que la toma de las muestras sanguíneas de las participantes debía ser cuando no estuvieran menstruando, dadas las grandes pérdidas que este proceso representa, por lo que algunas se pudieron clasificar como deficientes de hierro cuando en realidad no lo eran.

La revisión bibliográfica realizada por Garza y cols, 1997, tenía como propósito analizar la evidencia científica existente hasta esa fecha sobre reservas bajas de hierro y el rendimiento deportivo. Se incluyeron al menos 11 estudios, 8 de los cuales reportaron suplementación con hierro, y concluyen que la suplementación con hierro

puede aumentar los niveles de ferritina sérica, acompañados por un aumento en la concentración de hemoglobina, pero sin mostrar un aumento en la resistencia deportiva.

Mencionan LaManca y Haymes (1993) en su estudio, que el hierro es un elemento esencial para la hemoglobina, la mioglobina, los citocromos y muchas enzimas involucradas en la utilización del oxígeno. Continúan citando algunos estudios hechos con animales que demuestran que la deficiencia de hierro sin anemia puede disminuir el rendimiento de resistencia y reducir la capacidad oxidativa de los tejidos musculares. Una vez seleccionados los sujetos que presentaban deficiencia de hierro sin anemia (< 20 ng/ml) y ejecutadas las pruebas respectivas del pre test, se suplementaron los sujetos por un período de 8 semanas con sulfato ferroso (159 mg) y después del pos test concluyen que 82 mg de hierro elemental ingerido diariamente por un período de 8 semanas mejora considerablemente el estado del hierro en mujeres con agotamiento de reservas. Argumentando además que esa mejora se asoció con una menor concentración de ácido láctico después de ejecutado un ejercicio submáximo hasta el agotamiento y un aumento en el $VO_{2máx}$ ($p < 0.05$), pero no hubo ninguna mejora significativa en el tiempo de agotamiento. Destacan estos investigadores que algunas variables que pudieron afectar los resultados en lo que respecta a agotamiento de hierro y rendimiento son: los sujetos pertenecían a diferentes disciplinas deportivas y presentaron un rango muy amplio en lo que respecta a $VO_{2máx}$, es decir todos tenían diferentes grados de condición aeróbica. El hecho de haber determinado el consumo máximo en un cicloergómetro pudo haber afectado el resultado en aquellas personas que no estaban acostumbrados a entrenar en bicicleta, de manera que el principio de especificidad del entrenamiento es muy importante.

Klingshirn y cols (1991), mencionan que la deficiencia de hierro se da en tres estados: agotamiento de reservas, deficiencia de hierro para eritropoyesis y anemia por deficiencia de hierro o anemia ferropriva. Continúan diciendo que aproximadamente 2/3 del total del hierro corporal se encuentra dentro de los glóbulos rojos, los cuales se encargan de transportar el oxígeno a los músculos en actividad. A nivel muscular, la mioglobina que contiene hierro, ayuda con el almacenamiento de oxígeno y transporte dentro de la célula. Por tanto infieren que una deficiencia de hierro puede potencialmente afectar tanto el transporte como la utilización del oxígeno. Su estudio consistió en la valoración de 18 corredoras con edades entre los 22 y 39 años quienes entrenaban al menos 3 veces por semana y un mínimo de 120 min semanales. Uno de los criterios de selección fue el nivel de ferritina sérica (< 20 ng/ml), pues debían presentar deficiencia de hierro sin anemia. Una vez seleccionada la muestra se procedió a realizar las pruebas de capacidad aeróbica y resistencia pre test, luego se suplementó a los sujetos por un máximo de 8 semanas con 160 mg de sulfato ferroso. Al finalizar el período del tratamiento se ejecutaron las mismas pruebas y los investigadores concluyen que la suplementación con hierro por 8 semanas puede mejorar el estado del hierro de mujeres corredoras de distancia con deficiencia de hierro sin anemia. Si embargo, este aumento en las reservas de hierro no mejora la capacidad de resistencia evaluada como el tiempo de agotamiento alcanzado en una distancia prolongada. Sugieren estudios por un tiempo más prolongado para poder observar mayores efectos.

Ashenden y col (1998), después de realizar su estudio retrospectivo comentan que a pesar de la amplia utilización de la concentración de ferritina sérica como indicador de las reservas de hierro corporal en mujeres deportistas, los resultados de las pruebas

sanguíneas deben ser interpretados con precaución, pues los niveles de ferritina sérica varían dentro del ciclo de entrenamiento ($p < 0.05$) y entre deportistas de diferentes disciplinas. Por lo tanto, algunas deportistas con una deficiencia de hierro aparente podrían no presentarla y por tanto no se beneficiarían con suplementación.

Malczewska y cols (2000), quisieron identificar los factores responsables de la deficiencia de hierro. Ellos encontraron que en deportistas con una ingesta adecuada de hierro, la principal causa de deficiencia de hierro fueron las pérdidas de sangre debido a la menstruación. Concluyen que un aumento en la ingesta de hierro de los factores dietéticos involucrados en el metabolismo del hierro, previenen las posibles pérdidas de hierro inducidas por el ejercicio en mujeres deportistas.

Como se puede observar, todos los estudios citados hasta el momento basan su criterio de clasificación de deficiencia de hierro sin anemia en el parámetro de ferritina sérica, sin embargo no existe un punto de corte constante en todas las investigaciones.

Por su parte Malczewska y col (2001) mencionan que durante muchos años se ha utilizado la concentración de ferritina sérica como parámetro de detección de deficiencia de hierro sin anemia, sin embargo, al estudiar a fondo la función de esta proteína en el cuerpo se observa que la valoración de sus niveles refleja únicamente el estado de las reservas del hierro y no su pool funcional (por ejemplo el hierro contenido en hemoglobina, mioglobina y algunas enzimas más el hierro ionizado circulante); por lo tanto, la deficiencia de hierro para eritropoyesis no podría ser detectada de esa manera debido a que una concentración baja de ferritina sérica no corresponde necesariamente a deficiencia de hierro. Esta aseveración se hace debido a que se sabe que la ferritina sérica es una proteína periférica que se comporta como una proteína de la fase aguda y es

influenciada por varias citokinas y por tanto su concentración aumenta en estados infecciosos o de inflamación, enmascarando la situación actual de las reservas de hierro.

Malczewska y col (2001) comentan además que la detección de deficiencia de hierro subclínica, basado en ferritina sérica es particularmente difícil porque las cargas de trabajo físico a las que son sometidos los deportistas, podrían inducir reacciones de tipo inflamatorio, las cuales eventualmente inducirían una respuesta aguda. Además estas cargas de trabajo podrían también producir microlesiones, así como reacciones inflamatorias en músculos y articulaciones, produciendo un aumento en las proteínas de la fase aguda.

Es por todo lo anteriormente expuesto que se sugiere que la evaluación del estado del hierro no se base en la medición de un solo parámetro sino que se combinen varios, sin que esto signifique el aumento desproporcionado en los costos de esta valoración. La Unidad de Investigación del Hospital Nacional de Niños sugiere que se utilicen para este fin: ferritina sérica, % saturación de transferrina y protoporfirina eritrocitaria; de manera que si dos de estos parámetros se encuentran alterados es probable que exista un problema en el estado del hierro.

G. FUTBOL FEMENINO

La práctica del fútbol por mujeres es un acontecimiento relativamente nuevo, tanto que en el año 1991 se llevó a cabo la Primera Copa del Mundo para mujeres (Davis y Brewer, 1993)

Debido a esta relativa novedad, la investigación en este campo es escasa, y tanto su calidad como su cantidad son incomparables con lo que se ha hecho hasta el momento en fútbol masculino.

Aún en los países donde el fútbol femenino está bien establecido, las mujeres, contrario a los hombres, son jugadoras no de tiempo completo. Ellas deben combinar las demandas de sus entrenamientos con sus múltiples ocupaciones de tiempo completo, lo cual tiene grandes implicaciones sobre sus hábitos alimentarios, afectando de manera directa su estado nutricional y por tanto su rendimiento (Brewer, 1994).

1. Análisis del juego.

El fútbol es considerado un deporte intermitente. Las jugadoras cubren durante el juego una distancia total considerable, además frecuentemente deben realizar movimientos a altas intensidades con períodos de recuperación cortos. Investigaciones realizadas en Suiza un equipo élite de la Liga Nacional describió que sus jugadoras recorren una distancia promedio de $8471 \text{ m} \pm 2200 \text{ m}$ durante un juego y $14,9 \pm 5,6 \text{ m}$ en promedio cada vez que ellas hacen un "sprint". Además los investigadores reportan que en un partido de fútbol una jugadora puede ejecutar unos 100 "sprints" (Davis y Brewer, 1993; Brewer, 1994; Shepard, 1999).

2. Características físicas.

En lo que respecta a las características físicas los estudios reportan que los promedios de estatura de las futbolistas se encuentran entre 158,1 y 169,0 cm, en mujeres australianas y danesas. Ellas presentaban una masa corporal aproximada de 59,5 y 63,2 kg. Datos sin publicar de la Selección Nacional de Fútbol Femenino Guatemalteca, reportan una edad promedio de 24,5 años, talla de 1,60 m y una masa corporal de 57,3 kg (Beltranena, 2002).

Otras investigaciones reportan porcentajes de grasa mayores a 16 %, con un rango entre 19,7 y 22 %, determinado por pesaje hidrostático y por medio de pliegues cutáneos, sin encontrar diferencias entre los métodos (Davis y Brewer, 1993; Shepard, 1999). Las jugadoras guatemaltecas presentaron un porcentaje de grasa de 21,9 % estimado por el método de pliegues cutáneos.

3. Indicadores bioquímicos.

Con respecto a los indicadores bioquímicos es importante que se considere que en países en vía de desarrollo, las deficiencias de micronutrientes son un problema de salud pública. Por ejemplo en Costa Rica se reporta anemia (hemoglobina <12.0 g/dl) en un 12,5 % de las mujeres con edades entre los 15 y 19 años. Esta situación es el resultado de una ingesta de micronutrientes deficiente; se sabe que en Costa Rica la ingesta promedio de hierro es de 12,28 mg (68,2 % Recomendaciones Dietéticas Diarias). Esta deficiencia nutricional

tan común en países centroamericanos, sostenido durante un tiempo, es en definitiva una de las causas principales de deficiencia de hierro sin anemia y anemia ferropriva en las deportistas.

4. Alimentación.

La alimentación de un futbolista, según recomienda Brewer (1994), debe estar caracterizada por una ingesta adecuada de energía, la cual debe mantenerse entre $197 - 251 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ ($47 - 60 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$). Sin embargo señala que los estudios realizados hasta el momento reportan ingestas de energía $< 188 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ ($45 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$).

Con respecto a la distribución porcentual de macronutrientes, Brewer comenta que dada la poca información existente en fútbol, es necesario en ocasiones referirse a otros deportes de conjunto cuando se trata de aspectos nutricionales. Este investigador menciona que en un estudio realizado con 9 jugadoras de hockey se reporta una distribución del valor energético total (VET) de 54 % para carbohidratos, 15 % para proteínas y 27 % para grasas.

Por otra parte tanto Brewer (1994) como Shepard (1999) mencionan como dato importante que los estudios en futbolistas reportan ingestas de hierro que se encontraba un 30 % por debajo de las recomendaciones.

5. Característica fisiológicas.

Antes de iniciar cualquier discusión en esta área es importante definir algunos conceptos acerca del consumo de oxígeno o la potencia aeróbica. Se dice que la tasa a la cual el metabolismo aeróbico puede suplir de potencia es dependiente de dos factores: la habilidad química de los tejidos de usar el oxígeno en el desdoblamiento de los combustibles y las habilidades conjuntas de los mecanismos pulmonares, cardiacos, sanguíneos, vascular y celular de transportar oxígeno a la maquinaria aeróbica del músculo (Canadian Association of Sport Science, 1991).

El consumo máximo de oxígeno es igual a la cantidad máxima de oxígeno que un organismo puede obtener de la atmósfera y transportarlo y utilizarlo en los tejidos.

Las investigaciones realizadas en mujeres que consideraron esta variable fisiológica no son muchas, sin embargo el siguiente cuadro 6 muestra los hallazgos hechos hasta el momento.

Los parámetros fisiológicos al igual que las otras variables, tampoco han sido ampliamente estudiados o descritos; no obstante los estudios revisados reportan que en un partido de fútbol las mujeres sostienen frecuencias cardiacas por encima del 85 % de la frecuencia cardiaca máxima estimada durante aproximadamente dos tercios del mismo; mantienen también una intensidad del ejercicio de 70 % del $VO_{2máx}$. Esto correspondería a un consumo energético de

alrededor de 4600 kJ (1100 kcal) para una jugadora que pese 60 kg y tenga un $\text{VO}_{2\text{máx}}$ de $50 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (Brewer, 1994).

Como se muestra en el cuadro 4, diversos estudios citados por Shepard (1999) reportan $\text{VO}_{2\text{máx}}$ en jugadoras de fútbol universitarias entre $47 - 49 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$; en futbolistas inglesas de $52 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ y japonesas de $54,7 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Menciona también que en un partido el promedio de frecuencias cardiacas se mantuvo en un rango de $173 - 177 \text{ latidos} \cdot \text{min}^{-1}$.

Cuadro 4. Valores de consumo máximo de oxígeno encontrado en diferentes equipos de fútbol femenino a nivel mundial.

Año	Sujetos	$\text{VO}_{2\text{máx}}$
1992 *	12 jugadoras universitarias de fútbol elite de Canadá.	$47,1 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
1986 *	10 jugadoras de fútbol universitarias australianas	$47,9 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
1992 *	12 jugadoras de fútbol elite de Italia	$49,75 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
1991 **	Selección Nacional de Fútbol de Japón	$54,7 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$
1992 **	Jugadoras de fútbol Inglaterra	$52 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$

* Davis y Brewer, 1993

** Shepard, 1999.

H. MENSTRUACIÓN Y RENDIMIENTO.

Las alteraciones en el rendimiento deportivo están sujetas a una considerable variabilidad individual. Algunas mujeres no tienen ningún cambio apreciable en su capacidad de rendimiento durante las diferentes etapas de su ciclo menstrual, sin embargo, algunas presentan dificultades en la fase previa al flujo o en ambas. El

número de mujeres que declara sufrir un deterioro en su rendimiento durante la fase del flujo es aproximadamente el mismo que el de las que no experimentan ninguna dificultad.

Se dispone de poca información procedente de estudios bien diseñados y bien controlados. Diversos estudios han indicado que el rendimiento deportivo alcanza su mejor nivel durante el período inmediatamente posterior al flujo hasta el decimocuarto día del ciclo es decir el día de ovulación. Esta es la fase conocida como fase estrogénica en el ciclo menstrual de una mujer (Beltranena, 2001)

CAPÍTULO III.

METODOLOGIA

Sujetos

En el estudio participaron 25 mujeres con edades entre los 15 y 18 años, integrantes de la Pre-Selección Nacional de Fútbol Femenino de Costa Rica, categoría Sub-19. Se excluyeron 6 participantes debido a que el cuerpo técnico llevó a cabo la escogencia definitiva de las integrantes de la Selección. Otras tres jugadoras fueron excluidas debido a que presentaron lesiones que les impidió llevar a cabo el entrenamiento regular.

Se explicó el objetivo de la investigación al cuerpo técnico de esta Selección así como a los padres de familia, a quienes se les pidió que si estaban de acuerdo en autorizar la participación de sus hijas, firmaran un consentimiento informado (ANEXO 1).

Diseño del estudio.

La población fue dividida en 2 grupos de manera aleatoria, tomando como criterio la posición de juego, de manera que todas las jugadoras de una misma posición no podrían quedar en un mismo grupo. Los grupos fueron denominados como Grupo control (GC) y Grupo experimental (GE).

Al GE se le suministró por un período de 8 semanas un suplemento de hierro aminoquelado (30 mg de hierro elemental y 250 mcg de ácido fólico), en una dosis de 1 tableta por día según indicaciones del fabricante UNIPHARM, S.A..

Este es un diseño de medidas repetidas, en el que a ambos grupos se le practicaron las mediciones antes y después del tratamiento.}

Instrumentos

Para medir el peso corporal (kg) se utilizó una balanza electrónica marca Healthometer[®], con una precisión de 0,1 kg. Para medir la estatura corporal (cm) se utilizó un tallímetro. Para llevar a cabo la toma de pliegues se utilizó un calibrador de pliegues cutáneos marca LANGE. ($\sim 10 \text{ g} \cdot \text{mm}^2$) (Beta Technology Inc., Santa Cruz, CA). Los indicadores bioquímicos hemoglobina, hematocrito, volumen corpuscular medio (VCM), hemoglobina corpuscular media (HCM), concentración de hemoglobina corpuscular media (CHCM) y eritrocitos fueron medidos utilizando el SYSMEX SF 3000 a través del método colorimétrico. La ferritina se midió utilizando el sistema de quimioluminiscencia de IMMULITE (Diagnostic Products Corporation, Los Angeles, CA). El hierro sérico y la capacidad total de fijación del hierro (CTL hierro) se determinaron utilizando el sistema SYNCHRON CX (Randox Laboratories, Inglaterra) con el método colorimétrico. La protoporfirina eritrocitaria ligada al zinc se determinó por el método de fluorescencia.

Los indicadores dietéticos se obtuvieron por medio de un registro de alimentos de 3 días y un recordatorio de 24 horas.

Las variables cardiorrespiratorias se midieron utilizando un carro metabólico marca MEDGRAPH, modelo VO 2000 (Medical Graphics Corp.) y una banda sin fin (Cardio-Stress Hill Med Corp.).

Procedimientos

Indicadores antropométricos

El tamaño corporal y la composición corporal fueron determinados en el Laboratorio de Fisiología de la Escuela de Ciencias del Deporte de la Universidad Nacional. El peso corporal y la talla fueron evaluados siguiendo las técnicas descritas por INCAP (1990); Lee y Nieman (1996) y Ministerio de Salud (1995).

La toma de pliegues se llevó a cabo siguiendo el protocolo de medición descrito por el American College of Sports Medicine (2000). Posteriormente se llevó a cabo la aplicación de la ecuación para obtener la densidad corporal con base en tres pliegues (triceps, suprailíaco y cuádriceps) para poder posteriormente obtener el porcentaje de grasa a partir de la ecuación descrita por el American College of Sports Medicine (2000) para mujeres adolescentes blancas (ANEXO 2).

Indicadores bioquímicos

Todos los exámenes de laboratorio fueron hechos en el Laboratorio Clínico del Hospital CIMA San José y en el Centro de Investigación en Hemoglobinas Anormales y Trastornos Afines (CIHATA). En ambas ocasiones, las jugadoras se presentaron al laboratorio en condiciones de ayuno de 12 horas y durante la fase estrogénica de su ciclo menstrual. Se tomaron las muestras y estas fueron procesadas de manera inmediata. Para el análisis de la protoporfirina eritrocitaria parte de la muestra se traslado al CIHATA almacenada a la temperatura adecuada para su transporte.

Indicadores dietéticos

Para obtener los indicadores dietéticos se le solicitó a las participantes que hicieran un registro de alimentos de 3 días para establecer los parámetros de consumo, además de los tiempos de comida previos al pre test. Las jugadoras fueron capacitadas sobre la técnica correcta para la recolección de dichos datos. Esta información se utilizó para controlar la influencia que pudiera ejercer la dieta de las jugadoras al momento de ejecutar las pruebas.

A cada una de las jugadoras se le entregó un listado de los alimentos consumidos el día anterior al pre test y los tiempos de comida previos al mismo, con el fin de que siguieran el mismo patrón alimentario previo al post test, es decir 8 semanas después del tratamiento. Para comprobar si las jugadoras habían seguido las instrucciones que les fueron dadas se llevó a cabo la recolección de

datos de consumo a través de un Recordatorio de 24 h cuantificado con fotografías de porciones estándar, el mismo que se usó para verificar los tamaños de porciones de los registros de 3 días (Chinnock y Sedó, 2000). Los datos fueron analizados con el programa de computación NUTRITIONIST IV (First Databank Division, 1995).

Variables cardiorrespiratorias

Las variables cardiorrespiratorias fueron medidas en el Laboratorio de Fisiología de la Escuela de Ciencias del Deporte de la Universidad Nacional. Tanto las jugadoras del GC como las del GE visitaron el laboratorio una semana antes de la prueba inicial con el fin de que se familiarizaran con el equipo.

A cada jugadora se le determinó el consumo máximo de oxígeno ($VO_{2\text{máx}}$) siguiendo un protocolo de rampa adaptado para fútbol, sin elevación de pendiente. El protocolo comprendió una fase de calentamiento de 5 minutos a una velocidad de $4,8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, para iniciar la prueba con un aumento de $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ cada minuto hasta el agotamiento. Este protocolo se probó 3 semanas antes con un grupo de jugadoras que no formaban parte del estudio, para poder establecer si los criterios de validez eran alcanzados. Como criterio de validez de la prueba máxima se estableció el alcance de un RQ de 1,10 y un 85 % de la frecuencia máxima estimada, tal de acuerdo a parámetros por varios autores (Howley y col, 1995; Duncan y col 1997; Rivera-Brown, y col 1994; Spring y col, 2000).

Para llevar a cabo las pruebas cardiorrespiratorias se contempló el ciclo menstrual de las jugadoras, el cual tuvo un seguimiento de dos meses previo a las pruebas. A cada una de las jugadoras se les preguntó durante este período las fechas de su menstruación y la regularidad de la misma o existencia de amenorrea, esto con el fin de poder estimar la fecha de sus pruebas físicas. Todas las jugadoras realizaron sus pruebas de $VO_{2\text{máx}}$ tanto el pre test como el post test dentro la fase estrogénica de su ciclo, es decir antes del día 14 (o día estimado de ovulación) esto con el fin de evitar que las molestias pre menstruales pudieran influenciar su rendimiento deportivo.

Todas las participantes fueron instruidas para que evitaran el consumo de alimentos durante las 2 horas previas a las pruebas.

Análisis estadístico

Se obtuvo la estadística descriptiva para cada una de las variables en estudio. Se usó análisis de varianza mixto (ANOVA 2 x 2) para grupos independientes y medidas repetidas en un factor para estudiar las variables antropométricas, bioquímicas, dietéticas y cardiorrespiratorias. Se utilizó el Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales (SPSS, 1998). Las diferencias fueron consideradas significativas a una $p < 0.05$.

CAPÍTULO IV.

RESULTADOS

En este estudio participaron mujeres futbolistas pertenecientes a la Selección Nacional de Fútbol de Costa Rica categoría Sub 19 ($n = 16$). La edad promedio de las participantes de los grupos fue de $17,4 \pm 0,5$ en el grupo experimental, y de $16,6 \pm 0,7$ en el control. Los aspectos antropométricos, bioquímicos y nutricionales que caracterizan el estado nutricional de las futbolistas, se muestran en los cuadros 5, 6 y 7 respectivamente. Como se puede observar, se presentan los datos por grupo experimental (GE) y grupo control (GC) y por medición (pre test y post test).

En el Cuadro 5, se puede observar el peso promedio ($GC = 58 \pm 5,6$ kg, $GE = 57 \pm 4,0$ kg), la talla ($GC = 161,3 \pm 3,4$ cm, $GE = 161,5 \pm 4,6$ cm) y el porcentaje de grasa ($GC = 21,9 \pm 4,4$ %, $GE = 17,2 \pm 1,8$ %), no se encontró ninguna diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las mediciones ni tampoco entre grupos de ninguna de las variables que aquí se muestran.

Cuadro 5. Indicadores antropométricos de las jugadoras de Selección Nacional de Fútbol. Categoría Sub 19. Costa Rica. 2001.

Indicador antropométrico	Grupo control		Grupo Experimental	
	Pre test ($\bar{x} \pm DE$)	Post test ($\bar{x} \pm DE$)	Pre test ($\bar{x} \pm DE$)	Post test ($\bar{x} \pm DE$)
Peso (kg)	$58,0 \pm 5,6$	$58,7 \pm 5,7$	$57,0 \pm 4,0$	$57,8 \pm 4,9$
Talla (cm)	$161,3 \pm 3,4$	$161,5 \pm 3,5$	$161,5 \pm 4,6$	$161,7 \pm 4,6$
IMC (kg/m^2)	$22,3 \pm 1,9$	$22,5 \pm 1,9$	$21,9 \pm 1,3$	$22,1 \pm 0,9$
Sumatoria de 3 pliegues [#]	$52,5 \pm 10,4$	$51,2 \pm 11,6$	$58,3 \pm 14,9$	$62,1 \pm 13,4$
Grasa corporal (%)	$21,9 \pm 4,4$	$21,4 \pm 4,2$	$17,2 \pm 1,8$	$18,6 \pm 4,6$

[#]3 pliegues: tríceps, suprailíaco, cuádriceps.

Cuadro 6. Indicadores bioquímicos de las jugadoras de la Selección Nacional de Fútbol Categoría Sub 19. Costa Rica. 2001.

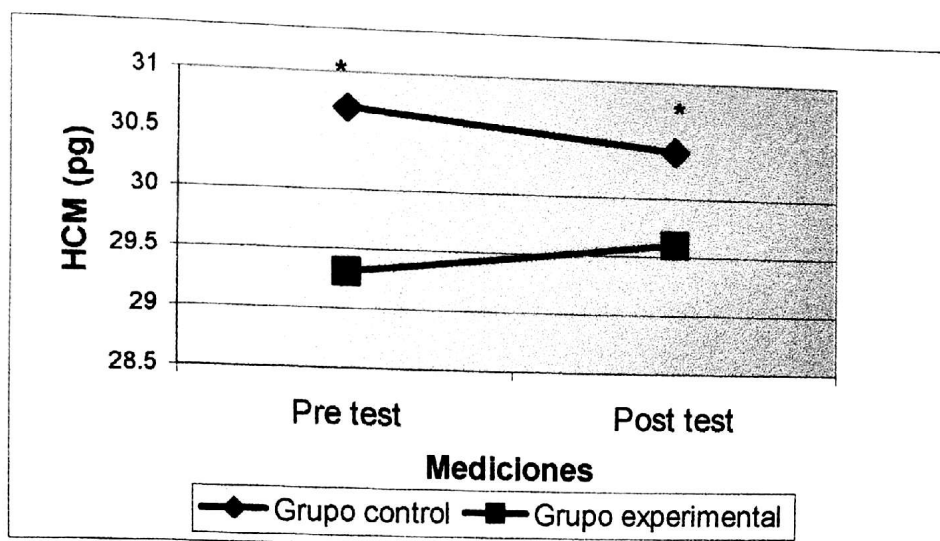
Indicador antropométrico	Grupo control		Grupo Experimental	
	Pre test ($\bar{x} \pm DE$)	Post test ($\bar{x} \pm DE$)	Pre test ($\bar{x} \pm DE$)	Post test ($\bar{x} \pm DE$)
Hemoglobina (mg/dl)	13,7 $\pm$ 0,8	13,4 $\pm$ 0,7	13,8 $\pm$ 0,6	13,6 $\pm$ 0,7
Hematocrito (%)	40,3 $\pm$ 1,4	39,6 $\pm$ 1,9	41,6 $\pm$ 1,0	40,6 $\pm$ 1,9
CHCM (%)	33,9 $\pm$ 1,0	34,0 $\pm$ 0,9	33,1 $\pm$ 0,8	33,5 $\pm$ 0,5
Eritrocitos (millones/mm ³)	4,5 $\pm$ 0,3	4,4 $\pm$ 0,3	4,7 $\pm$ 0,16	4,6 $\pm$ 0,3
HCM (pg)	30,7 $\pm$ 1,4*	30,4 $\pm$ 1,2*	29,3 $\pm$ 1,7*	29,6 $\pm$ 1,7*
VCM (fl)	90,6 $\pm$ 3,2*+	89,4 $\pm$ 2,5*+	88,4 $\pm$ 3,8*+	88,3 $\pm$ 4,0*+
Hierro sérico (mcg/dl)	68,3 $\pm$ 38,8	72,1 $\pm$ 29,9	61,6 $\pm$ 20,0	96,7 $\pm$ 31,1
CTL hierro (mcg/dl)	307,4 $\pm$ 45,7	321,9 $\pm$ 60,0	331,1 $\pm$ 46,2	320,0 $\pm$ 47,7
Indice de saturación de transferrina	22,9 $\pm$ 13,6	24,1 $\pm$ 13,4	19,3 $\pm$ 8,0	30,3 $\pm$ 8,3
Ferritina sérica (ng/ml)	24,7 $\pm$ 13,5+	43,4 $\pm$ 32,5+	36,3 $\pm$ 34,8+	44,6 $\pm$ 29,6+
Protoporfirina ligada a Zn (ug PPZn/dl globules rojos)	13,8 $\pm$ 4,3	15,6 $\pm$ 10,5	15,2 $\pm$ 5,3	12,5 $\pm$ 2,2

* indica una interacción significativa (grupos x mediciones), $p < 0,05$

+ indica diferencias significativas entre mediciones (pre test vs. post test), $p < 0,05$

Por medio del ANOVA 2 x 2 se encontró una interacción significativa ($p = 0,032$) entre las mediciones y los grupos en los valores promedio de HCM. Por medio de un análisis *post hoc* de efectos simples, se determinó que los niveles de HCM fueron significativamente mayores ($p < 0,001$) en el GC que en el GE en el pre test y en el post test (Gráfico 1).

Gráfico 1. Valores de Hemoglobina corpuscular media (HCM) de las jugadoras de la Selección Nacional de Fútbol Categoría Sub 19. Costa Rica 2002.

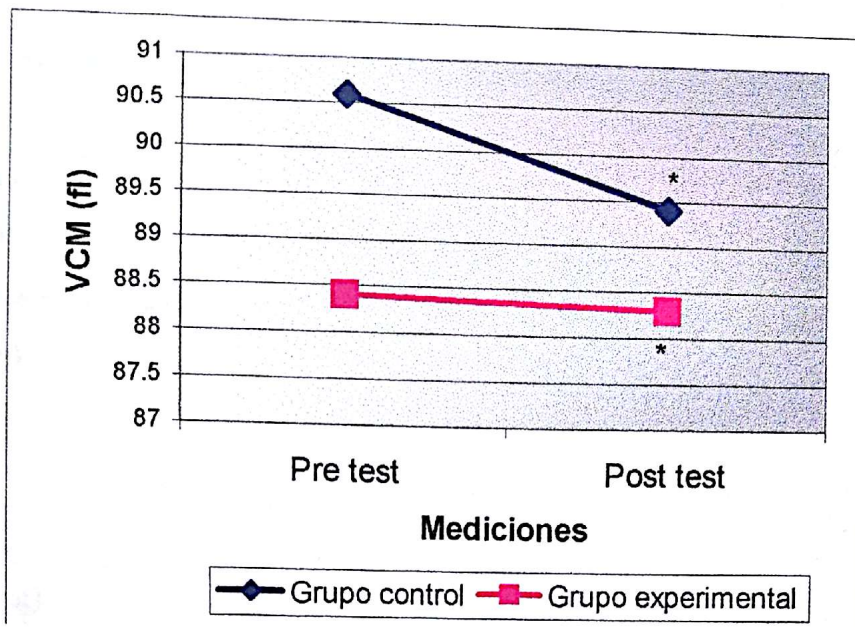


* $p < 0,01$ entre el GC y el GE

Al analizar el VCM por medio del ANOVA 2 x 2, se encuentra también una interacción significativa ($p = 0,047$) entre mediciones. El análisis de efectos simples indicó que existieron diferencias significativas ($p < 0,001$) en el pre test y en el post test del GC y el GE; y también en el pre test y post test del grupo control ($p = 0,004$) (Gráfico 2).

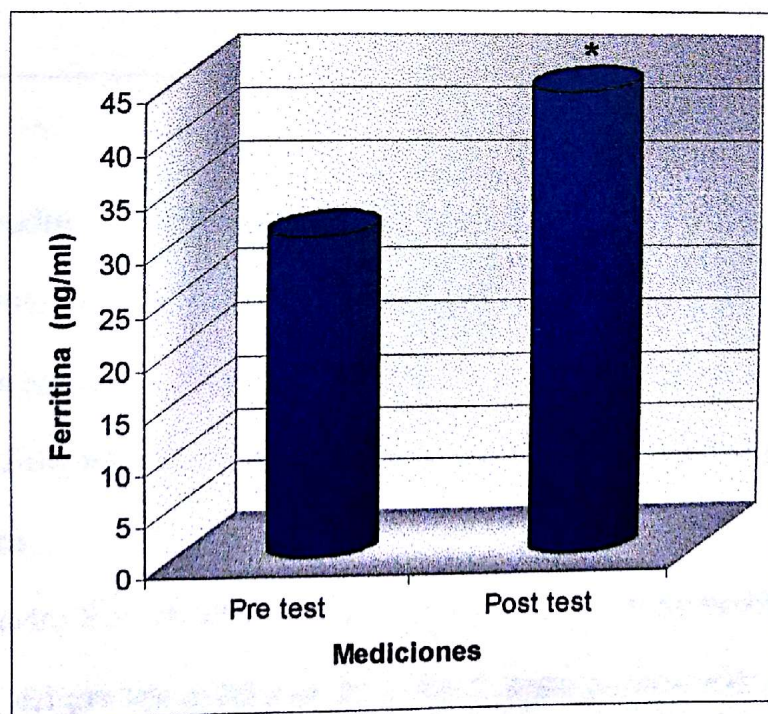
Finalmente, el ANOVA 2 x 2 revela que existen diferencias significativas ($p = 0,017$) en los niveles de ferritina sérica pre y post test, independientemente del grupo en estudio (Gráfico 3).

Gráfico 2. Valores de Volumen corpuscular medio (VCM) de las jugadoras de la Selección Nacional de Fútbol Categoría Sub 19. Costa Rica 2002.



* $p < 0,05$ entre mediciones en cada grupo.

Gráfico 3. Valores de Ferritina sérica de las jugadoras de la Selección Nacional de Fútbol Categoría Sub 19. Costa Rica, 2002.



* $p < 0,05$.

Cuadro 7. Valor nutricional de la dieta de las jugadoras de la Selección Nacional de Fútbol. Categoría Sub 19. Costa Rica. 2001.

Nutriente	Grupo control ($\bar{x} \pm DE$)	Grupo experimental ($\bar{x} \pm DE$)
Energía (kcal)	1832 $\pm$ 308	1981 $\pm$ 356
Energía (kJ)	7658 $\pm$ 1286	8279 $\pm$ 1488
Carbohidratos totales (g)	249,2 $\pm$ 60,6	294,1 $\pm$ 37,1
Azúcar (g)	71,4 $\pm$ 28,0	94,7 $\pm$ 16,9
Proteínas (g)	60,6 $\pm$ 15,0	61,7 $\pm$ 20,0
Grasas (g)	68,4 $\pm$ 12,9	64,7 $\pm$ 19,1
Hierro (mg)	9,51 $\pm$ 2,4	9,66 $\pm$ 1,78
Magnesio (mg)	183,3 $\pm$ 35,6	194,1 $\pm$ 36,9
Zinc (mg)	6,45 $\pm$ 1,58	6,13 $\pm$ 1,30
Ácido fólico (mcg)	169 $\pm$ 45	260 $\pm$ 131
Vitamina C (mg)	78 $\pm$ 33	99 $\pm$ 50
Vitamina A (mcg RE)	723 $\pm$ 335	1056 $\pm$ 594
Vitamina B12 (mcg)	2,29 $\pm$ 0,58	1,80 $\pm$ 0,66
Fibra (g)	8 $\pm$ 3	8 $\pm$ 3

En el Cuadro 7, se presenta el valor nutricional de la dieta de ambos grupos, se incluye únicamente los nutrientes que se consideran importantes para brindar energía a la deportista y aquellos que se relacionan con en el metabolismo del hierro. Los gráficos 4 y 5 presentan la distribución porcentual de macronutrientes de ambos grupos (GE y GC) según mediciones.

En el cuadro 8 se observa el valor nutricional de la alimentación que tuvieron las jugadoras antes del pre test y del post test. En el grupo experimental la energía pre test fue de 7757 kJ (1856 kcal) mientras que en el post test fue de 6334 kJ (1515 kcal), por

tanto se observa una disminución de 1423 kJ (340 kcal). Por su parte, el grupo control reportó una ingesta energética pre test de 7108 kJ (1700 kcal), mientras que en el post test ingirió 6379 (1526 kcal), es decir, una disminución de 729 kJ (174 kcal) (Gráfico 6).

Este cuadro muestra como además de la energía en el grupo experimental se dio una disminución en los siguientes nutrientes: carbohidratos totales, azúcar, hierro, vitamina C, vitamina A y fibra; siendo ésta última un inhibidor de la absorción de hierro. En el grupo control, la disminución en la ingesta de nutrientes se presentó para: carbohidratos totales, proteínas, grasas, hierro, zinc, vitamina C, vitamina A, vitamina B12 y fibra. La disminución en las ingestas de hierro se puede observar en el gráfico 7.

Según el peso de las jugadoras participantes y el total de proteínas ingeridas se logró determinar la ingesta en términos de g/kg de peso, los resultados son los siguientes; para el GE: 0,9 g/kg en dieta promedio, 1,1 g/kg en alimentación pre test y 1,1 post test. El grupo control presentó ingestas de 1,0 g/kg en dieta promedio, 1,0 g/kg en alimentación pre test y 1,2 g/kg en post test. En lo que respecta a carbohidratos se reportó lo siguiente: 5,2 g/kg para la dieta promedio, 4,6 g/kg alimentación pre test y 3,9 g/kg post test, en el grupo experimental. El grupo control presentó ingestas de 4,3 g/kg (dieta promedio); 4,1 g/kg (pre test) y 3,7 g/kg (post test).

Los gráficos 8 y 9 muestran el porcentaje de adecuación para las vitaminas y minerales de ambos grupos, los datos se presentan para la dieta promedio, la alimentación pre test y la post test. Ninguno de los grupos satisface, solo con su alimentación, sus necesidades de hierro, magnesio, zinc, y fibra; por el contrario sobrepasan las recomendaciones de vitamina A, C, B12 y ácido fólico.

Es importante mencionar que al evaluar los alimentos consumidos por los sujetos el día antes de ambas pruebas, así como los alimentos consumidos el mismo día en los tiempos de comida previos a las pruebas, se encontró que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los nutrientes ingeridos en el pre test y aquellos ingeridos en el post test ($p < 0,05$), indicando que no variaron su patrón de alimentación.

Cuadro 8. Valor nutricional de la alimentación de los días previos a las pruebas efectuadas a las jugadoras de la Selección Nacional de Fútbol.
Categoría Sub 19. Costa Rica. 2001.

Nutriente	Grupo Experimental		Grupo control	
	Pre test ($\bar{x} \pm DE$)	Post test ($\bar{x} \pm DE$)	Pre test ($\bar{x} \pm DE$)	Post test ($\bar{x} \pm DE$)
Energía (kcal)	1856 $\pm$ 578	1515 $\pm$ 326	1700 $\pm$ 333	1526 $\pm$ 649
Energía (kJ)	7757 $\pm$ 2415	6334 $\pm$ 1365	7108 $\pm$ 1393	6379 $\pm$ 2714
Carbohidratos totales (g)	263,6 $\pm$ 55,8	225,9 $\pm$ 63,4	235,8 $\pm$ 54,4	215,7 $\pm$ 93,0
Azúcar (g)	90,6 $\pm$ 22,4	67,5 $\pm$ 31,5	61,9 $\pm$ 31,7	66,9 $\pm$ 40,2
Proteínas (g)	50,0 $\pm$ 19,3	51,4 $\pm$ 11,8	57,0 $\pm$ 23,4	50,0 $\pm$ 21,0
Grasas (g)	67,3 $\pm$ 32,9	47,5 $\pm$ 12,8	61,1 $\pm$ 16,3	53,8 $\pm$ 28,3
Hierro (mg)	8,23 $\pm$ 2,07	8,07 $\pm$ 2,64	8,87 $\pm$ 2,79	8,06 $\pm$ 3,77
Magnesio (mg)	165,3 $\pm$ 49,7	174,7 $\pm$ 41,4	165,2 $\pm$ 23,9	171,5 $\pm$ 60,6
Zinc (mg)	5,48 $\pm$ 2,17	5,80 $\pm$ 1,91	6,06 $\pm$ 2,93	5,68 $\pm$ 2,85
Ácido fólico (mcg)	188 $\pm$ 91	205 $\pm$ 88	158 $\pm$ 74	187 $\pm$ 71
Vitamina C (mg)	128 $\pm$ 106	61 $\pm$ 55	114 $\pm$ 107	80 $\pm$ 61
Vitamina A (mcg RE)	994 $\pm$ 843	735 $\pm$ 329	761 $\pm$ 404	570 $\pm$ 317
Vitamina B12 (mcg)	1,55 $\pm$ 0,65	2,36 $\pm$ 1,50	2,13 $\pm$ 1,33	1,64 $\pm$ 0,95
Fibra (g)	7 $\pm$ 3	5 $\pm$ 3	7 $\pm$ 4	7 $\pm$ 3

Gráfico 4. Distribución porcentual de macronutrientes, según el valor energético total de las mediciones realizadas en el grupo experimental de jugadoras de la Selección Nacional de Fútbol, Categoría Sub 19. Costa Rica-2001.

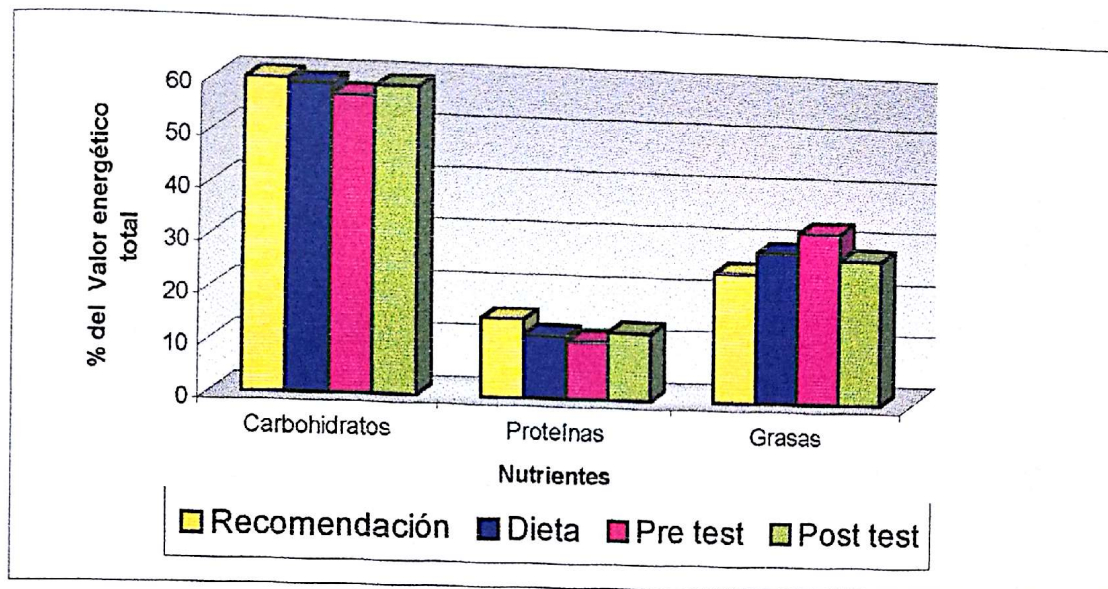


Gráfico 5. Distribución porcentual de macronutrientes, según el valor energético total de las mediciones realizadas en el grupo control de jugadoras de la Selección Nacional de Fútbol. Categoría Sub 19. Costa Rica-2001.

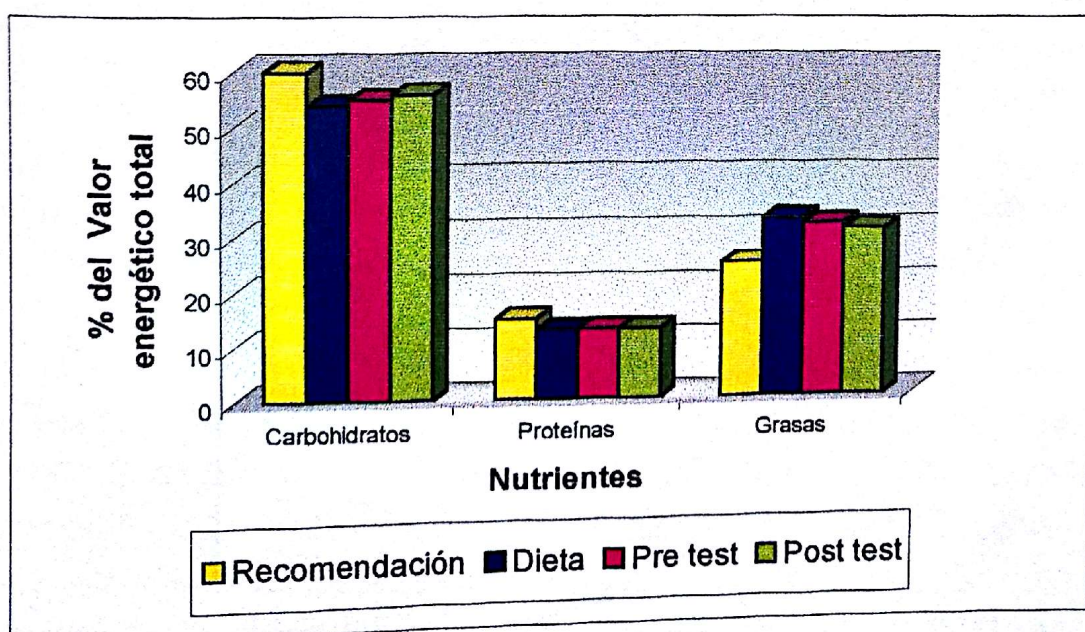


Gráfico 6. Comparación de la ingesta energética durante el estudio. Selección Nacional de Fútbol Femenino Categoría Sub 19. Costa Rica 2002.

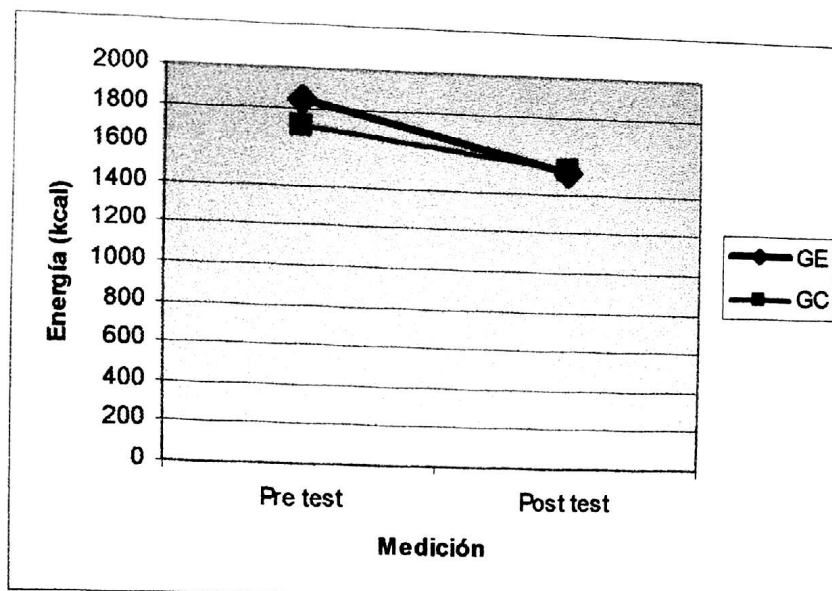


Gráfico 7. Comparación de la ingesta de hierro durante el estudio. Selección Nacional de Fútbol Femenino Categoría Sub 19. Costa Rica 2002.

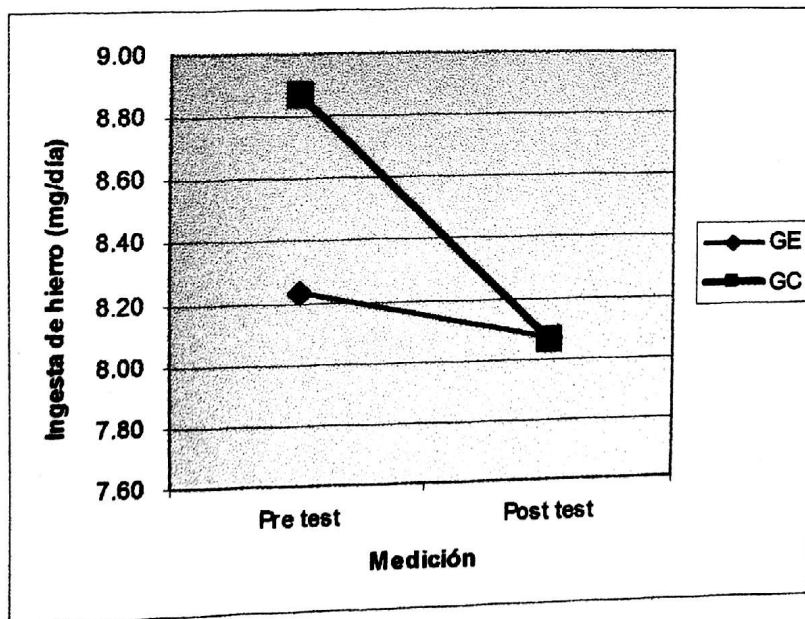


Gráfico 8. Evaluación de la alimentación del Grupo experimental, porcentaje de las Recomendaciones Dietéticas Diarias cubiertas en las mediciones. Selección Nacional de Fútbol Femenino, Categoría Sub 19. Costa Rica-2001.

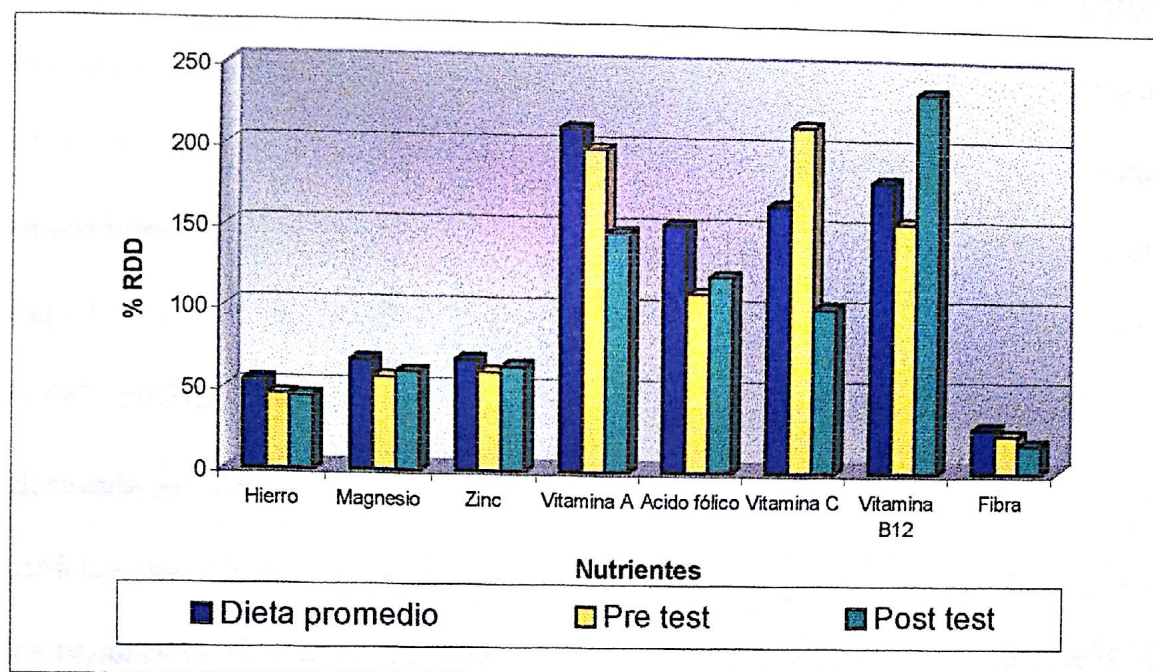
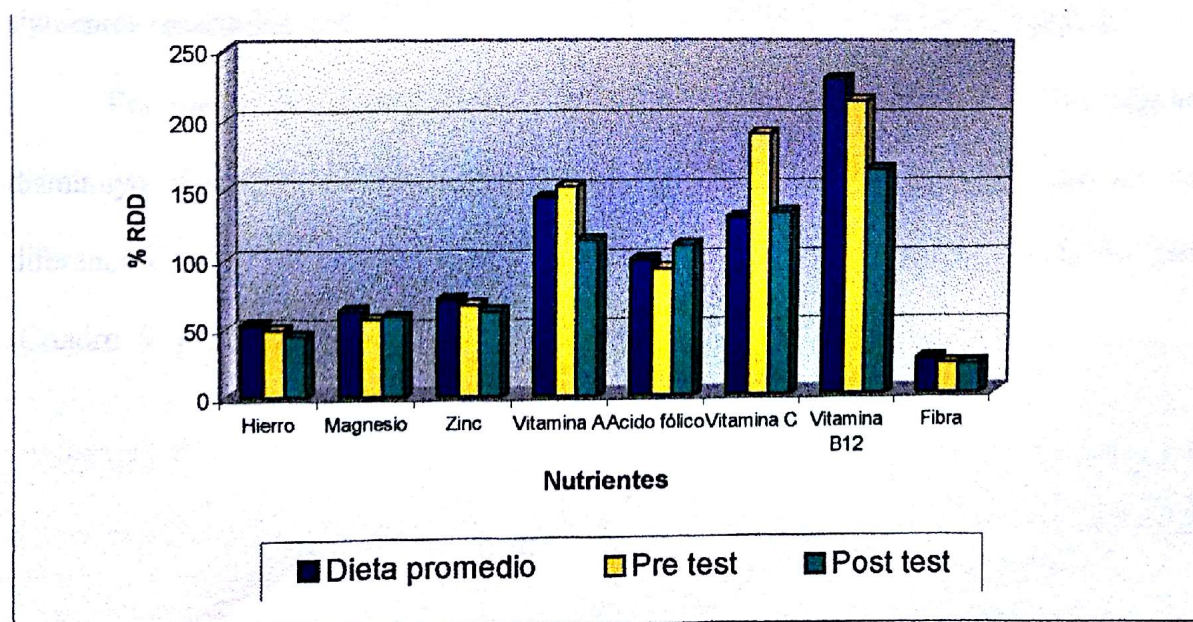


Gráfico 9. Evaluación de la alimentación del Grupo control, porcentaje de las Recomendaciones Dietéticas Diarias cubiertas en las mediciones. Selección Nacional de Fútbol Femenino, Categoría Sub 19. Costa Rica-2001.



Según los resultados observados, al llevar a cabo la prueba de $VO_{2\text{máx}}$ se observó el cumplimiento de los criterios establecidos para reconocer dicha prueba como válida. De esta forma el GE presentó en la prueba pre test un RQ promedio de $1,15 \pm 0,09$ y una frecuencia cardiaca máxima alcanzada de 196 ± 10 latidos/minuto, correspondiente a un 97 % de la frecuencia cardiaca máxima (Fc) esperada corregida por la edad (203 latidos/minuto); en la prueba post test los resultados de este grupo fueron los siguientes: $RQ = 1,16 \pm 0,05$, Fc máxima alcanzada de 194 ± 10 latidos/minuto (96%). Por su parte el GC alcanzó los siguientes parámetros en el pre test, $RQ = 1,20 \pm 0,08$, Fc máxima alcanzada de 188 ± 7 latidos/minuto, correspondiente a un 92 % de la frecuencia cardiaca máxima (Fc) esperada corregida por la edad (203 latidos/minuto). En el post test los parámetros fueron los siguientes: $RQ = 1,16 \pm 0,04$, Fc máxima alcanzada de 187 ± 8 latidos/minuto (92%).

La duración de la prueba hasta el agotamiento, reporta los siguientes resultados: GE pre test = $14,9 \pm 1,2$ minutos, post test = $14,2 \pm 1,8$ minutos. El GC obtuvo los siguientes resultados, pre test = $14,6 \pm 1,2$ minutos, post test = $14,2 \pm 1,4$ minutos.

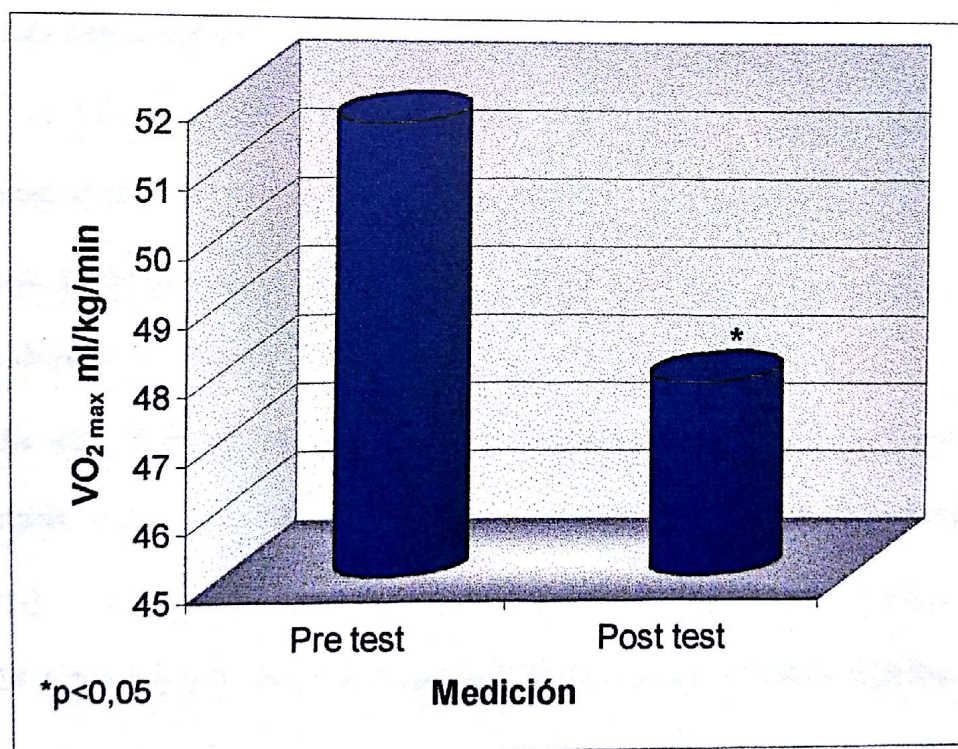
Por medio de un ANOVA 2 x 2, se encontró que el $VO_{2\text{máx}}$ de las jugadoras disminuyó significativamente entre mediciones ($p = 0,002$); sin embargo no hubo diferencias entre los grupos después de las 8 semanas de suplementación con hierro (Cuadro 9 y Gráfico 5)

Cuadro 9. Variables cardiorrespiratorias de las jugadoras de la Selección Nacional de Fútbol. Categoría Sub 19. Costa Rica. 2001.

Variable cardiorrespiratoria	Grupo control		Grupo Experimental	
	Pre test ($\bar{x} \pm DE$)	Post test ($\bar{x} \pm DE$)	Pre test ($\bar{x} \pm DE$)	Post test ($\bar{x} \pm DE$)
VO _{2máx} (ml/kg/min)	52,0 $\pm$ 5,7	48,3 $\pm$ 6,3+	51,1 $\pm$ 4,6	47,0 $\pm$ 4,6+
Umbral ventilatorio (lat/min)	168 $\pm$ 14	175 $\pm$ 14	182 $\pm$ 11	178 $\pm$ 8

+ indica diferencias significativas entre mediciones (pre test vs. post test), $p < 0,05$

Gráfico 10. Consumo máximo de oxígeno (VO_{2máx}) de las jugadoras de la Selección Nacional de Fútbol Categoría Sub 19. Costa Rica 2002.



El tiempo en el cual los grupos alcanzan el umbral ventilatorio es el siguiente: GE pre test = 12,8 $\pm$ 1,5 minutos , post test = 11,9 $\pm$ 1,8 minutos. El GC presentó los siguientes resultados, pre test = 11,1 $\pm$ 2,4 minutos, post test = 11,7 $\pm$ 2,4 minutos.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

Indicadores Antropométricos

Un alto porcentaje de grasa es asociado con una disminución en el rendimiento deportivo, especialmente en aquellas disciplinas en donde la masa corporal debe sostenerse y transferirse tanto horizontal como verticalmente por el individuo (Davis y Brewer, 1993).

Las participantes de este estudio presentaron porcentajes de grasa de 21,9 y 17,2 % para el GC y el GE respectivamente, sin presentar cambios significativos entre mediciones al finalizar el estudio. Con base en estos resultados se puede decir que estas futbolistas presentan porcentajes de grasa semejantes a los reportados en la literatura por Davis y Brewer, 1993 y por Shepard (1999).

Es importante mencionar que la talla de las jugadoras costarricenses, es similar a la reportada por Davis y Brewer (1993), en futbolistas australianas y danesas (158,1 y 169,0 cm). Por otra parte, las jugadoras costarricenses reportan una masa corporal menor (GC= $58 \pm 5,6$ kg, GE= $57 \pm 4,0$ kg) que la mencionada en estos estudios (59,5 y 63,2 kg).

Al comparar estas mismas características con jugadoras guatemaltecas, se observa que aunque las edades son diferentes, tanto la talla como el peso presentan la misma tendencia. No obstante el porcentaje de grasa de las jugadoras del GE es menor

(17,2 %), mientras que el GC ($21,9 \pm 4,4$ %) presentó un porcentaje de grasa igual que el de las guatemaltecas (21,9 %) (Beltranena, documento sin publicar, 2002).

Indicadores Bioquímicos

Los niveles de hemoglobina y hematocrito han sido considerados por mucho tiempo como únicos parámetros para la determinación de la anemia. Sin embargo esta evaluación no sirve para prevenir el deterioro del rendimiento deportivo causado por anemia ferropriva, pues cuando estos disminuyen ya la capacidad de transporte de oxígeno se ha visto deteriorada. Por esta razón y con base en las recomendaciones hechas por los microbiólogos de la Unidad de Investigación del Hospital Nacional de Niños, en esta investigación se evaluó el estado del hierro con parámetros más sensibles que permitieran detectar deficiencias de hierro sin anemia en los deportistas. Los valores normales para cada indicador son los siguientes: ferritina sérica (18 – 370 ng/ml), el índice de saturación de transferrina (22 – 45) y la protoporfirina ligada al zinc (< 50 mcg PPZn/dl glóbulos rojos).

Con base en estos indicadores se logró determinar que la prevalencia de deficiencia de hierro sin anemia en la muestra completa es de 37,5 % (6 sujetos de la muestra total). Las jugadoras con deficiencia de hierro quedaron distribuidas por partes iguales en el GC y el GE. Al finalizar las 8 semanas de suplementación en el GE ninguna de las participantes presentó este tipo de deficiencia, mientras que en el GC de las 3 jugadoras que presentaban la situación al inicio, 2 de ellas se recuperaron mientras que una mantuvo la deficiencia y apareció un nuevo caso con niveles bajos de ferritina sérica e índice de saturación de transferrina (< 20 ng/ml y 12 ng/ml respectivamente).

Uno de los objetivos específicos del presente estudio fue determinar el efecto que tenía la suplementación con hierro durante 8 semanas sobre las variables bioquímicas. Por tanto, analizando los resultados se puede observar en el cuadro 6 que el GE elevó sus niveles de ferritina sérica de 36,3 a 44,6 ng/ml, y su índice de saturación de transferrina aumentó notablemente de 19,3 a 30,3, mientras que la protoporfirina disminuyó de un 15,2 a un 12,5 mcg PPZn/dl glóbulos rojos. Por otra parte el GC también sufrió un cambio en los niveles de ferritina sérica cuya magnitud fue mayor que la del GE (de 24,7 a 43,4 ng/ml); tanto el índice de saturación de transferrina como la protoporfirina aumentaron de 22,9 a 24,1 y de 13,8 a 15,6 mcg PPZn/dl glóbulos rojos respectivamente.

La magnitud del cambio en el GE es menor que la reportada por Lamanca y Haymes (1993) y por Klingshirn y col (1991) quienes también llevaron a cabo investigaciones con suplementación con hierro durante 8 semanas. La posible explicación de esta diferencia puede ser que las investigaciones citadas reportan promedios de ferritina sérica < 12 ng/ml en el grupo experimental, mientras que el promedio del grupo en el que se llevó a cabo la intervención en este estudio fue de 36,3 ng/ml. También es importante reconocer que en el GC, aún sin suplementación, 2 de los sujetos reportaron un mayor cambio en los niveles de ferritina sérica (51,0 a 116,0 ng/ml y de 14 a 63 ng/dl), lo cual podría explicar parcialmente las grandes variaciones (desviaciones estándar) y el incremento en este indicador para este grupo específicamente, aún si haber sido suplementado.

Según Rowland (1990), los estadios previos de deficiencia de hierro se caracterizan por niveles bajos de ferritina sérica con cantidades normales de hemoglobina. Conforme la deficiencia empeora, se da una disminución en el índice de

saturación de transferrina y un aumento en la protoporfirina eritrocitaria, lo cual indica desórdenes tempranos en la eritropoyesis normal. Por tanto, la mejoría en el estado del hierro del GE se evidencia no solo en el aumento de los niveles de ferritina sérica, sino también en la caída de la capacidad total de ligar hierro (331,1 a 320,0 mcg/dl), la cual muestra una tendencia a disminuir. Lo contrario sucede en el grupo control en el cual este indicador aumenta en el post test (307,4 a 321,9 mcg/dl), situación que denota una mayor necesidad por parte del organismo de llevar a acabo la captación del hierro circulante, aunque aún no se ve afectado negativamente el índice de saturación de transferrina. También se observa en el GC un leve aumento en los niveles de protoporfirina, de tal forma que cuando ambos indicadores se interpretan conjuntamente se podría decir que de mantenerse esta tendencia, podría aparecer deficiencia de hierro en las jugadoras no suplementadas.

Diversos estudios sobre deficiencia de hierro fijan los niveles de ferritina sérica como único punto de corte para establecer deficiencia de hierro, estableciendo que el sujeto es deficiente si presenta niveles en este indicador <20 ng/ml. Rowland (1990) cita un estudio realizado en corredoras con edades entre 14 y 17 años en donde se encontró que el 50 % de las participantes presentaron niveles de ferritina sérica menores de <20 ng/ml. También reporta que al finalizar la temporada de competición de un grupo de colegio de corredoras, el 40 % presentó niveles de ferritina sérica menores de <20 ng/ml. Es importante destacar que el 50 % de las participantes del presente estudio reportaron niveles de ferritina por debajo de este punto de corte pero con niveles normales de hemoglobina. Después de la suplementación en el GE ninguna atleta presentó valores por debajo de este punto de corte, mientras que en el GC, 2 de las jugadoras continuaron

con la deficiencia. Esta prevalencia es semejante a la reportada por Rowland (1990), quien ha encontrado que la prevalencia de deficiencia de hierro sin anemia en las mujeres adolescentes deportistas fluctúa de 40 a 50 %. Señala que el problema es que estas deficiencias aparecen precisamente en estas deportistas en un período crítico de la vida en donde están creciendo rápidamente y los requerimientos de hierro son altos. Además del impacto que pueda tener la deficiencia de hierro sobre la salud, Rowland (1990) menciona que de mantenerse esta deficiencia, simplemente ocasiona una disminución en el rendimiento deportivo.

Indicadores Dietéticos

Una adecuada alimentación para una mujer deportista debe cumplir no solo con la cantidad de energía necesaria para satisfacer sus necesidades sino también con la calidad apropiada, de manera que cubra, en la medida de lo posible, sus necesidades de vitaminas y minerales.

Brewer (1994) menciona que una mujer deportista debería mantener en su alimentación, ingestas de energía de $197 - 251 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$ ($47-60 \text{ kcal}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$), sin embargo se ha encontrado evidencia científica actual señalando que los estudios nutricionales sugieren que en muchas ocasiones las mujeres tienen ingestas de energía inferiores a $188 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$ ($45 \text{ kcal}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$).

Tanto Brewer (1994) como Shepard (1999), han encontrado que las mujeres deportistas no satisfacen las necesidades de hierro, sino que las ingestas de este mineral corresponden a un 70% de la recomendación diaria. La ingesta energética, según los datos presentados por el GE tiene un promedio de $145 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$ ($35 \text{ kcal}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$), lo

cual es mucho menor que lo recomendado para una mujer deportista, incluso por debajo del límite inferior sugerido. Además la ingesta presentó un cambio de $136 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$ ($33 \text{ kcal}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$) en el pre test a $110 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$ ($26 \text{ kcal}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$) en el post test. El GC tiene una ingesta energética promedio de $132 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$ ($32 \text{ kcal}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$), la cual se puede decir que tiende a ser menor que la del GE. Este GC también disminuyó su ingesta del pre test, $123 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$ ($29 \text{ kcal}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$), a $109 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$ ($26 \text{ kcal}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$).

El problema de una ingesta energética deficiente sostenida por mucho tiempo, es que lleva a los deportistas a sufrir de mal nutrición. Como bien lo describen Wilmore y Costill (1999), día con día los deportistas se enfrentan a grandes exigencias, no solo cuando compiten sino también cuando realizan sus entrenamientos. Sus cuerpos deben estar tan preparados como sea posible, y una alimentación inadecuada no contribuye al alcance de los objetivos no solo deportivos sino también de salud. Señalan además que el deterioro del rendimiento con frecuencia se debe a una mala nutrición.

Además de conocer si las necesidades de energía son satisfechas, la distribución de esta energía según los macronutrientes es indispensable, al respecto los gráficos 4 y 5 son claros en demostrar que en ninguna ocasión los grupos presentan una distribución adecuada.

Según las recomendaciones del ACSM; la American Dietetic Association (ADA) y Dietitian of Canada (2000), los deportistas deben mantener ingestas de carbohidratos de $6 - 10 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$, esto con el fin de mantener en niveles adecuados las reservas de glucógeno muscular. En esta investigación, la ingesta promedio de los carbohidratos de la dieta fue de $5,2 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$, cantidad que más se aproximó a la recomendación. Sin

embargo se dio una disminución del pre test al post test, pasando de 4,6 a 3,9 g ·kg⁻¹·día⁻¹. El GC presentó una ingesta que tiende a ser menor que la del GE (4,3 g ·kg⁻¹·día⁻¹) y al igual que en el GE se tiene a disminuir la ingesta de carbohidratos entre mediciones.

Con respecto a las proteínas, según menciona Shepard (1999), una ingesta de 1,0 g ·kg⁻¹·día⁻¹, no es suficiente para satisfacer las demandas de deportistas sometidos a altas cargas de entrenamiento, especialmente cuando se encuentran aún en período de crecimiento, siendo este el caso de algunas de las participantes del presente estudio. En resumen, Shepard recomienda 1,5 g ·kg⁻¹·día⁻¹ de proteína. Tal y como se muestra en los resultados, ninguno de los grupos satisface sus necesidades de proteínas. La ingesta más baja de este nutriente la presenta la dieta promedio del GE (0,9 g ·kg⁻¹·día⁻¹), mientras que el GC tiene una ingesta de 1,0 g ·kg⁻¹·día⁻¹. Aunque ambos grupos aumentaron su ingesta (GC) o la mantuvieron (GE) durante el pre test y el post test, ninguno alcanzó a llenar las recomendaciones.

En lo que respecta a grasas, el American College of Sports Medicine (ACSM), American Dietetic Association (ADA) y Dietitian of Canada (2000), recomiendan siempre mantenerla < 30 % VET como prevención de enfermedad cardiovascular. El GC presentó las mayores ingestas de este nutriente, el cual no es descrito en la literatura como el nutriente más apto para cubrir las necesidades de un deportista.

La bajas ingestas de hierro son características de la alimentación del costarricense y las jugadoras participantes de este estudio no fueron la excepción. Ambos grupos presentaron ingestas promedio que cubrían apenas el 50 % de las recomendaciones de hierro para Costa Rica; el problema se agrava cuando se observa claramente (Gráfico 7) una tendencia a disminuir esta ingesta por parte de la muestra completa.

Muchas son las investigaciones que se han realizado sobre el tema del hierro y se sabe que una ingesta deficiente sostenida por mucho tiempo conlleva a problemas de anemia, lo cual no contribuye a mantener una condición de salud adecuada y mucho menos al alcance de los objetivos de rendimiento propuestos (Whitney y colm 1994; Mahan y Escott Stump, 1996).

Los grupos tampoco satisfacen las necesidades de zinc y se sabe que las deficiencias de este mineral producen un deterioro en la división celular y síntesis de proteínas, además de anorexia, cansancio mental e irritabilidad entre otros síntomas. Un daño en la síntesis de proteínas va a dificultar la recuperación de lesiones y el crecimiento de la masa muscular (Whitney y colm 1994; Mahan y Escott Stump, 1996).

El magnesio es necesario para el metabolismo energético, así como para la síntesis de proteínas. En los resultados se demostró que ninguno de los grupos cubre las recomendaciones de este nutriente.

Indicadores Cardiorrespiratorios

En general, Shepard (1999) concluye que una potencia aeróbica adecuada podría estar entre 52 y 55 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. Según lo observado en los resultados, la evaluación pre test ubica a ambos grupos cerca del límite inferior de $\text{VO}_{2\text{máx}}$ para fútbol femenino dado por Shepard (GC:52 y GE 51,1 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). Sin embargo, después de las 8 semanas de suplementación ambos grupos disminuyeron significativamente el $\text{VO}_{2\text{máx}}$, sin embargo esta disminución no es atribuible a la ingesta de suplementos de hierro pues el grupo control también disminuyó.

La mejora en la potencia aeróbica estará determinada no solo por el adecuado transporte de oxígeno, sino también por la herencia y el entrenamiento aeróbico efectivo (Wilmore y Costill, 1999). Al respecto es importante destacar que los resultados obtenidos en la presente investigación se vieron influenciados por el entrenamiento al que fueron sometidas las participantes, el cual no fue una variable sobre la cual la investigadora ejerció control alguno. De hecho, al finalizar la investigación la entrenadora de La Selección Nacional reportó que antes del pre test el equipo estaba entrenando su capacidad aeróbica, sin embargo durante las 8 semanas de suplementación el entrenamiento fue de tipo anaeróbico, en donde se quiso mejorar la fuerza, potencia y velocidad de las jugadoras y no necesariamente la potencia aeróbica. La disminución en la ingesta energética y de carbohidratos son otras dos variables que se reconocen como determinantes del rendimiento físico de una persona y ambas disminuyeron entre ambas mediciones.

En lo que respecta al umbral ventilatorio es importante hacer notar que fue alcanzado por ambos grupos cuando se encontraban por encima del 82 % de su frecuencia cardíaca máxima estimada. También es importante reconocer que se observó una tendencia a disminuir el tiempo de alcance del umbral por parte del GE, el cual pasó de $12,8 \pm 1,5$ minutos en el pre test a $11,9 \pm 1,8$ minutos en el post test. Mientras que el GC presentó una leve tendencia a aumentar ese tiempo, pasando de $11,1 \pm 2,4$ minutos en el pre test a $11,7 \pm 2,4$ minutos post test. Sin embargo, a pesar de la disminución que se observó en el GE, éste siempre presentó un tiempo de umbral más tardío que el del GC. Lo importante de estos datos es destacar que dependiendo de la intensidad del partido, las jugadoras rápidamente pueden sobrepasar su umbral ventilatorio, lo cual las hace

cambiar de sustrato energético y mantenerse por mayor tiempo realizando el ejercicio de manera anaeróbica, llevando de esta forma al agotamiento de las reservas de glucógeno y la acumulación de ácido láctico, ambos componentes determinantes de la sensación de fatiga que sin duda disminuye el rendimiento individual.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES.

La investigación realizada en las jugadoras de la Selección Nacional de Fútbol Femenino , Categoría Sub 19, permitió concluir:

1. La evaluación del estado nutricional inicial (pre test) indica que en la Selección Nacional de Fútbol de Costa Rica, categoría sub 19, existe una prevalencia de hierro sin anemia de un 37,5 % según los niveles de ferritina sérica, índice de saturación de transferrina y protoporfirina eritrocitaria encontrados en el equipo.
2. El 50 % de la muestra total presentó niveles de ferritina sérica < 20 ng/ml.
3. La suplementación con hierro aminoquelado es una intervención de gran utilidad que contribuye a mejorar el estado del hierro de las jugadoras, evitando de esta forma que la condición empeore y la deficiencia aumente su severidad y afecte consecuentemente la salud y el rendimiento deportivo de las jugadoras
4. Al finalizar el estudio, el estado nutricional de las jugadoras no es el adecuado, pues a pesar de presentar en su mayoría una composición corporal adecuada e indicadores bioquímicos normales en su mayoría, los indicadores dietéticos reflejan que las ingestas de nutrientes son muy deficientes y no satisfacen las necesidades de las jugadoras, específicamente en lo que respecta a energía, carbohidratos, proteínas, hierro, zinc, magnesio y fibra.
5. La suplementación con hierro aminoquelado durante 8 semanas no presentó ningún efecto sobre el VO_{2max} ni el umbral ventilatorio del grupo experimental,

sin embargo este resultado se vio grandemente influenciado por el tipo de entrenamiento que llevaron a cabo las jugadoras, el cual fue de tipo anaeróbico y sobre el cual la investigadora no tuvo ningún control.

CAPÍTULO VII

RECOMENDACIONES

1. El estado del hierro es uno de los aspectos más importantes a considerar en la valoración de una mujer deportista, y los parámetros de hemoglobina y hematocrito no son suficientes para esto.
2. Se recomienda valorar en mujeres deportistas el estado del hierro incluyendo de manera conjunta el análisis de parámetros bioquímicos como ferritina sérica, índice de saturación de transferrina y protoporfirina eritrocitaria.
3. La valoración del estado del hierro debe llevarse a cabo dentro del macrociclo de entrenamiento en la fase de entrenamiento o preparación, de manera que se pueda recuperar a las jugadoras de la deficiencia antes de ir a una competencia.
4. Es necesario llevar a cabo más investigaciones sobre suplementación con hierro en mujeres atletas y su efecto sobre el rendimiento deportivo, sin embargo se sugiere que se controle la variable entrenamiento de manera que ésta no ejerza ningún efecto negativo sobre los resultados. Debido a la importancia del entrenamiento para una Selección Nacional, se sugiere que se trabaje con otro grupo de atletas.
5. Las investigaciones futuras deben incluir un grupo mayor de sujetos, de forma que se pueda contar con un grupo placebo, uno control y otro experimental.
6. El hierro aminoquelado disminuyó los malestares gastrointestinales reportados por las jugadoras en comparación con reportes de estudios realizados con sulfato ferroso.

7. Aunque la prescripción de hierro en esta investigación se hizo siguiendo las recomendaciones del fabricante, debe valorarse si es necesario y seguro suplementar con una cantidad mayor para observar mayor cambio en los parámetros bioquímicos que los que se observaron suministrando únicamente 30 mg de hierro elemental.

BIBLIOGRAFÍA

1. American College of Sports Medicine (ACSM); American Dietetic Association (ADA) y Dietitian of Canada. (2000). Joint Position Statement, Nutrition and Athletic Performance. En: Medicine and Science in Sports and Exercise. 32 (12): 2130 – 2145.
2. Ashenden M; Martin, D; Dobson, G; Mackintosh C; y Hahn, A. (1998). "Serum ferritin and anaemia in trained female athletes". En: International Journal of Sports Nutrition. 1998, 8: 223-225.
3. Beard J; Tobbin, B. (2000). "Iron status and exercise". En: American Journal of Clinical Nutrition. 72 (2 Suppl): 594 S – 7 S.
4. Beltranena, MM. (2001). Cuestiones relativas al sexo y a la mujer deportista, diferencias de genero en el rendimiento fisico. Comité Olímpico Guatemalteco, Documento sin publicar
5. Beltranena, MM. (2002). Evaluación del Estado Nutricional de las Futbolistas Guatemaltecas. Comité Olímpico Guatemalteco, Documento sin publicar.
6. Brewer, J. (1994). Nutritional Aspects of women soccer. En: Journal of Sports Sciences. 12 Spec: S35 – 8.
7. Brooks, G; Fahey, T y White, T. (1995). Exercise physiology. Human Bioenergetics and its applications. 2º ed. Mayfield Publishing Company. California, Estados Unidos.
8. Canadian Association of Sports Science. (1991). Physiological Testing of the High Performance Athlete. 2a. ed. Human Kinetics, Estados Unidos.
9. Cavill, I. (1999). "Iron status as measured by serum ferritin: the marker and its limitations". En: Am J Kidney Dis. 34 (4 Suppl 2): S12 – 17.
10. Chatard, JC; Mujika, I; Guy, C; y Lacour, JR. (1999). "Anaemia and iron deficiency in athletes. Practical recommendations for treatment". En: Sports Medicine 27 (4):229-240.
11. Chinnock, A y Sedó, P. 2000. Porciones de alimentos y preparaciones comunes en Costa Rica y equivalencias del Sistema de Listas de intercambio. Universidad de Costa Rica. Facultad de Medicina. Escuela de Nutrición.
12. Constantini NW; Eliakim, A; Zigel, L; Yaaron, M and Falk, B. (2000). "Iron status of highly active adolescents: evidence of depleted iron stores in

- gymnasts". En: International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism. 10 (1): 62 -70.
13. Davis, JA y Brewer, J. (1993). Applied physiology of female soccer players. En: Sports Medicine. Sep; 16 (3): 180 - 9.
 14. Duncan, GE; Howley, ET y Johnson, BN. (1997). Applicability of VO₂máx criteria: discontinuous versus continuous protocols. En: Medicine and Science in Sports and Exercise. 29 (2): 273 - 278.
 15. Eichner, R. (1992). "Sports anaemia, and iron supplements and blood doping". En: Medicine and Science in Sports and Exercise. 24 (9 Suppl): S315 - S318.
 16. Faintuch, J; Lotufo, PA y Gilgerto J. (1994). "Hematologic features of Olympic volley ball athletes". En: Rev. Hosp. Clin. Fac. Med. Sao Paulo. 49 (6): 231-3.
 17. First Databank División. 1995. Nutritionist IV: Food Product and Nutrition Labeling. Version 4.0.
 18. Fogelholm M; Jaakkola, Lampisjarvi, T. (1992). "Effects of iron supplementation in female athletes with low serum ferritin concentration". En: International Journal of Sports Medicine. 13 (2):158-62.
 19. Friedmann, B; Weller, E; Mairbäurl, H; y Bärtsch, P. (2000). "Effect of iron repletion on red blood cell volume and Exercise performance". En: Medicine and Science in Sports and Exercise. 32 (5): S75. Abstract.
 20. Garza, D; Shrier, I; Kohl III; Harold, W; Ford P; Brown, M; y Matheson, G. (1997). "The clinical value of serum ferritin tests in endurance athletes. En: Clinical Journal of Sports Medicine. 7 : 46-53.
 21. Howley, ET; Bassett DR Jr y Welch HG. (1995). Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. En: Medicine and Science in Sports and Exercise. 27 (9): 1292 - 1301.
 22. INCAP. 1990. Unidad 3: Técnica para la toma de medidas antropométricas y para la estandarización del personal. En: Monitoreo del crecimiento físico del niño. Guatemala.
 23. Instituto de Nutrición para Centroamérica y Panamá (INCAP) y Organización Panamericana de la Salud. (1994). Recomendaciones dietéticas diarias. Guatemala.
 24. Instituto de Nutrición para Centroamérica y Panamá (INCAP) y Escuela de Nutrición de la Universidad de Costa Rica. (1995). Guías de Alimentación. Lineamientos metodológicos y criterios técnicos. San José, Costa Rica.

25. Karamizrak, SO; Islegen, C; Varol, SR; Taskiran, Y; Yaman, C; Mutfak, I; Akgun, N. (1996). "Evaluation of iron metabolism indices and their relation with physical work capacity in athletes". En: Br. J. Sports Medicine. 30 (1): 15 – 9.
26. Klingshirn, L; Pate Russell; Bourque, S; Davis, M; Sargent, R. (1992). "Effect of iron supplementation on endurance capacity in iron – depleted female runners". En: Medicine and Science in Sports and Exercise. 24 (7): 819 – 824.
27. LaManca, J; y Haymes, EM. (1993). "Effects of iron repletion on VO_2 max, endurance and blood lactate in women". Medicine and Science in Sports and Exercise. 25 (12): 1386 – 1392.
28. Lee, RD y Nieman, DC. 1996. Nutritional Assessment. 2ª. ed. Editorial Mosby-Year Book Inc. Missouri, USA.
29. Mahan, LK y Escott Stump, S. (1996). Krause's food nutrition and Diet therapy. 9ª ed. WB Saunder. Co, Pensilvania, Estados Unidos, pp: 257-274.
30. Malczewska, J; Raczyński, G; Stupnicki, R. (2000). "Iron status in female endurance athletes and in Non-athletes". En: International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism. 10: 260 - 276.
31. Malczewska, J; Szczepanska, B; Stupnicki, R y Sendeki, W. (2001). "The assessment of frequency of iron deficiency in athletes from the transferring receptor-ferritin index". En: International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism. 11: 42 - 52.
32. Ministerio de Salud / Departamento de Nutrición / Sección de Vigilancia Nutricional. 1995. Instructivo para la toma de medidas antropométricas. Documento Impreso.
33. Nielsen, P; Nachtigall, D. (1998). "Iron supplementation in athletes. Current recommendations". En : Sports Medicine. 26 (4) : 207 – 216.
34. Punnonen, K. Irjala, K ; Rajamaki, A. (1997). "Serum transferrin receptor and its ratio to serum ferritin in the diagnosis of iron deficiency". En: Blood. 89 (3):1052- 7.
35. Quesada, J. (1998). "Evaluación de la situación nutricional y alimentaria de los nadadores de la categoría "senior" de la Selección Nacional". Tesis de grado para optar por el título de nutricionista con el grado académico de Licenciatura. Universidad de Costa Rica, San José – Costa Rica.

36. Rivera-Brown, A; Rivera, MA y Frontera, WR. (1994). Achievement of VO_{2max} criteria in adolescents runners: effects of testing protocol. Pediatric Exercise Science. 6: 236 – 245.
37. Rowland, T. (1990). "Iron deficiency in the young athlete". En: Pediatrics Clinics of North America. 37 (5): 1153 – 1163.
38. Russell, P; Dover, V; Goodyear, L; Jun-Zong, P y Lambert, M. (1984). Iron storage in female distance runners. En: Olympic Scientific Congress proceedings; vol 2: Sport, Health and Nutrition. Frank I Katch Editor. Human Kinetics Publishers Inc.
39. Schmid, A; Jakob, E; Berg, A; Rubmann, T; König, D; Irmer, M; y Keul, J. (1996). "Effect of physical exercise and vitamin C on absorption of ferric sodium citrate". Medicine and Science in Sports and Exercise. 28 (12): 1470 – 1473.
40. Shepard, RJ. (1999). Biology and medicine of soccer: an update. En: Journal of Sports Sciences. 17: 757 – 786.
41. SPSS, Inc. (1998). SPSS Advanced statistics 8.0. Chicago, IL.: SPSS Inc.
42. Spring, H; Dvořák, J; Dvořák, V; Schneider, W; Tritschler, T y Villiger, B. (2000). Teoría y práctica del ejercicio terapéutico (movilidad, fuerza, resistencia y coordinación). Editorial Paidotribo. Barcelona, España.
43. Walker, AR. (1996). "Iron deficiency, development and cognitive function". En: American Journal of Clinical Nutrition. 64 (1): 120 – 1.
44. Whitney E, Cataldo C y Rolfes S. (1994). Understanding Normal and Clinical Nutrition. 4ª ed. West Publishing Co., Minneapolis, Estados Unidos.
45. Yip, R y Dallman P. (1997). "Hierro". En: Conocimientos actuales en nutrición. 7ª ed. Publicación Científica N° 565. OPS.
46. Zhu, YI y Haas J. (1997). "Iron depletion without anaemia and physical performance in young women". En: American Journal of Clinical Nutrition. 66 (2): 334 – 41.

ANEXOS

ANEXO 1

Hoja de participación en investigación y consentimiento

Yo _____, cédula número _____, como padre o
encargado de _____, autorizo a que ella como parte del
proceso de la Selección Nacional Sub-19 participe en la investigación que se llevará a cabo por
parte de la Licda. Jéssica Quesada en el área de Nutrición Deportiva.

Firma jugadora

Firma del padre o encargado

ANEXO 2

FÓRMULA UTILIZADAS PARA EL CÁLCULO DE DENSIDAD CORPORAL:

DENSIDAD CORPORAL (DC) = $(1,099421 - (0,0009929 * (\text{SUMATORIA DE PLIEGUES})) + (0,0000023 * (\text{SUMATORIA DE PLIEGUES})^2) - (0,0001392 * \text{EDAD}))$

PLIEGUES: TRICEPS, SUPRAILÍACO Y CUADRICEPS.

FÓRMULA UTILIZADA PARA LA DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE GRASA:

$$\% \text{ DE GRASA} = ((5,10/\text{DC}) - 4,66) * 100$$