

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN ALIMENTACIÓN Y DESARROLLO, A. C.

Efecto del Consumo de Alimentos con Alto Contenido de Hidratos de Carbono antes de un Ejercicio Intenso, precedido de un Período de Reducción Glucogénica Relativa sobre el Rendimiento Deportivo

Por

Erica Angelina Soto-Mendivil

TESIS API O13ADA POF LA

DIRECCIÓN DE NUTRICIÓN

COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA EN CIENCIAS

HERMOSILLO, SONORA

JUNIO DEL 2000

DECLARACIÓN INSTITUCIONAL

Se permiten y agradecen las citas breves del material contenido en esta tesis sin permiso del autor, siempre y cuando se dé el crédito correspondiente. Para la reproducción parcial o total de la tesis con fines académicos, se deberá contar con la autorización escrita del director del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD).

La publicación en comunicaciones científicas o de divulgación popular de los datos contenidos en esta tesis, deberá dar los créditos a CIAD, previa aprobación escrita del manuscrito en cuestión, del director o directora de la tesis.

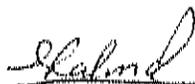


Dr. Inocencio Higuera Ciapara
Director General

APROBACIÓN

Los miembros del Comité designado para revisar la tesis de la Q.B. Erica Angelina Soto Mendivil la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ciencias.


Dra. Elizabeth Noriega González.
Directora de Tesis


Dra. Alma Rosa Islas Rubio.


Dr. Lidio Valencia Jullierat.


Dr. Francisco Goycoolea Valencia.

DEDICATORIA

Por siempre mi agradecimiento a Dios, por ser el autor y conductor total de mi vida.

Por el gran amor y el apoyo de aquellos que siempre me han cobijado con sus cuidados y atenciones. Mis Padres. Nunca terminaré de agradecerles lo que han hecho por mí. Y sobre todo a ti mamá por dar todo por tus hijos.

A ti Francisco, que para mi fortuna nos encontramos y me elegiste como tu otra mitad. Gracias por amarme y sobretodo por ese apoyo y fuerza que siempre me has dado para seguir adelante. Te amo.

A mis queridos hermanos y cuñados por todas las risas y lágrimas que hemos compartido. Gracias por todo el apoyo a lo largo de mi vida.

A la Familia Velasco Arellanes, por permitirme formar parte de su familia. Gracias.

A mis sobrinos por su gran cariño y por toda la bondad que hay en ellos.

A mis tíos y primos por los momentos compartidos y todo el apoyo brindado, especialmente a Coté y su familia. Gracias.

A todos mis amigos de quienes no necesito poner nombres porque ellos ya lo saben. Gracias por todo

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico brindado durante la realización de mis estudios de Posgrado.

Al Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD, A.C) por la oportunidad otorgada para crecer profesionalmente en sus instalaciones al realizar la Maestría en Ciencias en la Dirección de Nutrición.

Al Instituto Sonorense del Deporte y la Juventud (ISODEJ) por el apoyo brindado para la realización de este trabajo, y muy especialmente a los atletas participantes, ya que sin ellos no hubiese sido posible esta investigación. Mil gracias a ustedes muchachos.

Con profunda admiración expreso mi agradecimiento a mi Directora de Tesis, Dra. Elizabeth Noriega González por su dirección y consejos brindados para el desarrollo de este trabajo además de su gran calidad como persona. Por siempre Gracias.

Al comité de Tesis: Dra. Alma Rosa Isla Rubio, Dr. Mauro Valencia y Dr. Francisco Goycoolea, gracias por sus observaciones, sugerencias y el tiempo dedicado en la revisión para que este trabajo se enriqueciera.

Al Dr. Juan Pedro Camou por su gran trabajo como Coordinador del programa de Docencia y por el apoyo brindado.

A Coco Saucedo por su gran apoyo y disposición en la realización de este trabajo.

A mis maestros por esa enorme y bonita labor que realizan.

Al apoyo técnico y amistad de Diana Mendoza, Francisco Vázquez (Güero), Pepe Ponce, Rosa Olivia Méndez, Mary Barba, René Valenzuela, Alma Pergrino, Julián Esparza, Profesor Villarreal, Lety Félix, Andrés, Alejandrina, Aurora, Felipe, Martín Peralta, Luis, Beto, Alfonso, Martín Preciado, Dr. Francisco Isunza, Humberto González, Pame, Reynaldo, Ana Isabel, Normita, Héctor, Martín Valezuela, Katy, Don Héctor, Magda, Luis y Fernando.

A todos y cada uno de mis compañeros de generación por todos los momentos que pasamos juntos.

A ese grupo de amigos que me permitió momentos agradables de mi estancia en CIAD. Por siempre gracias a Aracely Angulo, Salvador Carrillo, Luisa Rivera y Paty González.

A mis amigos de CIAD: Abril, Erika, Javier, Fanny, Yolanda, etc.

A todos los que de una u otra forma colaboraron en el desarrollo de este trabajo les expreso mi gran agradecimiento.

INDICE

	Página
LISTA DE CUADROS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xi
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES.....	4
Dieta y Resistencia.....	5
Índices de Respuesta Postprandial.....	6
Digestión y Absorción de Hidratos de Carbono (HC).....	8
Glucólisis.....	9
Liberación aerobia de energía a partir de HC.....	10
Formación de ATP en el metabolismo de la glucosa.....	11
Consumo Máximo de Oxígeno (VO ₂ max).....	12
Metabolismo del Ejercicio	13
Frecuencia Cardíaca (FC).....	14
HC No Digeribles.....	15
Factores que Afectan la Respuesta Glucémica.....	16
Factores Intrínsecos.....	16
Forma física del alimento.	16
Composición del alimento.	17
Procesamiento.....	18
Presencia de antinutrientes.....	20
El papel de los lípidos.	20
El papel de las proteínas dietarias.	21
Fibra dietética (FD).....	21
Factores Extrínsecos.....	22
Frecuencia del consumo de alimentos.	22

Mezclas alimentarias.....	22
Factores Fisiológicos.....	23
Cinética del vaciado gástrico.	23
Variaciones intraindividuo e interindividuo.	23
Respuesta Hormonal a la Glucosa Sanguínea.....	24
Insulina.....	24
Glucagon.....	25
Epinefrina (adrenalina) y Norepinefrina (noradrenalina).....	26
Utilización de Substratos Durante el Ejercicio.....	26
Depósitos de Reserva Corporal.....	27
Fatiga Muscular Durante el Ejercicio.....	28
Reducción Glucogénica	30
Supercompensación de Glucógeno.....	31
Ingestión de HC 30 a 60 Minutos Antes del Ejercicio.....	32
SUJETOS Y MÉTODOS.....	35
Sujetos.....	35
Alimentos.....	36
Análisis Proximal y Químico de los Alimentos.....	36
Análisis Proximal	36
Fibra Dietética Soluble (FDS) e Insoluble (FDI).....	36
Almidón Total.....	37
Almidón Resistente.....	37
Amilosa y Amilopectina.....	38
Medidas Antropométricas.....	39
Prueba de VO ₂ max.....	39
Percepción Subjetiva del Esfuerzo o Escala de Borg.....	40
Diseño.....	40
Período de Reducción Glucogénica.....	41

Ingestión del Alimento Seguida de un Período de Actividad Física Intensa.....	41
Pruebas Bioquímicas.....	42
Método Enzimático para la Determinación de Glucosa en Sangre Total (Hemo Cue).....	42
Procedimiento.....	43
Obtención de Muestras.....	43
Glucosa.....	43
Procedimiento.....	44
Insulina.....	44
Procedimiento.....	44
Ácido láctico.....	45
Procedimiento.....	45
Análisis Estadístico.....	46
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
Sujetos.....	47
Análisis Proximal y Químico de los Alimentos.....	48
Consumo Máximo de Oxígeno.....	51
Respuesta Glucémica.....	51
Respuesta Insulinémica.....	56
Respuesta Lactacidémica.....	61
Percepción Subjetiva del Esfuerzo (PSE).....	64
CONCLUSIONES.....	66
REFERENCIAS.....	67
ANEXOS.....	75

INDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Características físicas y fisiológicas de los atletas adolescentes que participaron en el estudio.....	47
Cuadro 2. Composición química de los alimentos, expresado en porcentaje en base húmeda.....	49
Cuadro 3. Contenido de almidón total y resistente y fracciones amilosa y amilopectina de los alimentos evaluados, expresado en porcentaje en base seca.....	50

INDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Índice glucémico e índice insulinémico de los alimentos.....	7
Figura 2. Derivación de la energía de la glucosa por glucólisis (anaerobio) y oxidativa (aerobio)	10
Figura 3. VO_2 max en hombres y mujeres entrenados (19 grupos de atletas) y no entrenados.....	13
Figura 4. Influencia del procesamiento hidrotérmico en las características físicas del almidón.....	19
Figura 5. Evolución de la glucemia durante el reposo y el ejercicio de alta intensidad (85% VO_2 max) después de la reducción glucogénica relativa por diversas fuentes de HC.....	52
Figura 6. Evolución de la insulinemia durante el reposo y el ejercicio de alta intensidad (85% VO_2 max) después de la reducción glucogénica relativa por diversas fuentes de HC.....	57
Figura 7. Evolución de la lactacidemia durante el reposo y el ejercicio de alta intensidad (85% VO_2 max) después de la reducción glucogénica relativa por diversas fuentes de HC.....	62
Figura 8. Percepción subjetiva de esfuerzo durante el ejercicio de alta intensidad (85% VO_2 max) después de la reducción glucogénica relativa por diversas fuentes de HC.....	65

RESUMEN

Se evaluó el efecto del consumo de alimentos con alto contenido de hidratos de carbono (HC) antes de un ejercicio intenso, precedido de un período de reducción glucogénica relativa sobre el rendimiento deportivo. Participaron 6 sujetos masculinos, con un mínimo de 15 h de entrenamiento por semana, de 15.16 ± 0.4 años de edad, índice de masa corporal (IMC) < 23.5 , $VO_2\text{max}$ de 49.87 ± 1.03 mL*kg/min. Primera etapa: el atleta pedaleó en un cicloergómetro al 75% de su $VO_2\text{max}$ hasta alcanzar una glucemia de 3.3 mmol/L. Segunda etapa: el atleta consumió el alimento propuesto (1g de HC/kg de peso corporal). Transcurridos 30 min de medición basal, el sujeto pedaleó nuevamente al 85% de su $VO_2\text{max}$ hasta llegar al agotamiento. La glucemia, lactacidemia, insulinemia, percepción subjetiva del esfuerzo (PSE) y frecuencia cardiaca (FC) fueron evaluadas. La granola (4.81 ± 0.22 mmol/L) y la tortilla de maíz (4.88 ± 0.17 mmol/L) difirieron significativamente en su respuesta glucémica en relación a la tortilla de harina de trigo (4.06 ± 0.14 mmol/L) y el placebo (3.52 ± 0.05 mmol/L) en el minuto 30 de reposo. La insulinemia difirió significativamente entre granola (21.71 ± 7.14 $\mu\text{U/mL}$) y tortilla de harina de trigo (9.47 ± 4.30 $\mu\text{U/mL}$) en el minuto 15 antes del ejercicio, además se observó una mayor tendencia a elevarse por parte de la granola y tortilla de maíz durante el ejercicio. El pico lactacidémico más alto lo presentó el placebo (3.96 ± 0.95 mmol/L) en el minuto 15 sin diferencias significativas, pero se observó que la tortilla de harina de trigo y granola presentaron una respuesta menor. También se observó que cuando el sujeto fue alimentado con tortilla de harina de trigo (7.67 ± 1.02), su PSE fue menor que cuando se alimentó con los otros alimentos.

INTRODUCCIÓN

Además de las características genéticas y la preparación atlética, la nutrición del deportista es un factor determinante del rendimiento deportivo. Fue a mediados de 1930, cuando el consumo de los hidratos de carbono (HC) cobró un lugar importante dentro de la dieta del deportista. Lo anterior, principalmente durante la realización de un ejercicio prolongado (Konopka, 1988). El método de intercambio respiratorio entre oxígeno y dióxido de carbono empleado en estos estudios probó la utilización de los HC como fuente energética principal para el músculo. Debido a la importancia del almacenamiento de glucógeno muscular en el rendimiento atlético (Hermansen, *et al.*, 1967), se ha realizado la importancia del efecto ergogénico de la ingestión de HC durante el ejercicio prolongado (Coyle, *et al.*, 1983; Coyle, *et al.*, 1986).

En las últimas etapas del ejercicio intenso y prolongado, cuando las reservas glucogénicas están casi agotadas, la oxidación de la glucosa plasmática se incrementa (Coyle, *et al.*, 1986). La disminución consecuente en la glucemia puede contribuir al desarrollo de la fatiga (Coggan y Coyle, 1987). Esto puede evitarse, mediante la suplementación de una fuente exógena de glucosa durante el ejercicio (Coyle, *et al.*, 1983; Coyle, *et al.*, 1986). Sin embargo, el consumo de HC durante un evento atlético no siempre es práctico o posible. De forma alternativa, se puede realizar el mantenimiento de un buen

nivel de glucemia durante el ejercicio prolongado, a través de la ingestión de HC, particularmente aquellos de bajo índice glucémico (IG), antes del ejercicio, ya que estos liberan la glucosa al torrente sanguíneo más lentamente (Thomas, *et al.*, 1991).

En investigaciones recientes, se ha estudiado el efecto de la ingestión de HC mediante el uso del IG (Thomas, *et al.*, 1991). Se ha observado, que en las últimas etapas del ejercicio, los mayores niveles de ácidos grasos libres y el mayor tiempo de resistencia están dados por la ingestión de alimentos de bajo IG a diferencia de los de alto IG. Este incremento en la resistencia se puede deber, a que los alimentos de bajo IG inducen a menores respuestas posprandiales de glucosa e insulina, más bajos niveles de lactato antes y durante el ejercicio, y el mantenimiento de niveles mayores de glucemia y ácidos grasos libres durante los períodos críticos del ejercicio.

Sin embargo, aún existe controversia sobre el efecto de la ingestión de alimentos con alto contenido de HC 30 a 60 minutos antes del ejercicio, ya que ciertos estudios reportan un incremento en el rendimiento (Thomas, *et al.*, 1991; Sherman, *et al.*, 1991); otros reportan un decremento (Foster, *et al.*, 1979) o no se observan alteraciones (Hargreaves, *et al.*, 1987; Chryssanthopoulos, *et al.*, 1994; Sparks, *et al.*, 1998). No obstante, la mayoría de los estudios, al haberse enfocado a la ingestión de alimentos simples como la glucosa y la fructosa, han descuidado el efecto de la ingestión de alimentos completos. Por lo anterior, el

propósito de este estudio fue evaluar el efecto del consumo de alimentos con alto contenido de HC antes de un ejercicio intenso, precedido de un período de reducción glucogénica relativa sobre el rendimiento deportivo, esto mediante la comparación de las respuestas postprandiales de la glucosa e insulina, así como también parámetros de rendimiento en deportistas entrenados.

ANTECEDENTES

Las recomendaciones actuales en el deporte sugieren que los atletas deben consumir hidratos de carbono (HC) antes, durante y después del ejercicio, ya que de esta forma se optimiza el rendimiento y la recuperación del deportista. Hawley, *et al.*, 1992, reportan que algunos estudios clásicos realizados en 1920 y 1930 por Levine, *et al.*, 1924; Gordon, *et al.*, 1925; Dill, *et al.*, 1932; Christensen y Hansen, 1939a, b, c establecieron que el consumo de dietas altas en HC antes del ejercicio y la ingestión de glucosa durante el ejercicio podía retardar la fatiga, en parte debido a la prevención de la hipoglucemia. Sin embargo, en los siguientes 30 a 40 años, el interés por el estudio de la ingestión de HC disminuyó.

En realidad, fue hasta la introducción de técnicas para biopsias musculares en fisiología del ejercicio en los años 60's, cuando se llevaron a cabo una serie de estudios sobre la ingestión de HC durante el ejercicio (Bergstrom, *et al.*, 1967; Hermansen, *et al.*, 1967). Las investigaciones realizadas por fisiólogos escandinavos mostraron que la reducción glucogénica durante el ejercicio prolongado coincidía con el desarrollo de la fatiga. A pesar de estos hallazgos, los intentos para retardar la fatiga durante el ejercicio prolongado se realizaron principalmente con técnicas que podrían incrementar las reservas de glucógeno muscular antes del ejercicio. Sin embargo, no se realizaron estudios sobre la influencia de la ingestión de HC durante el ejercicio

y con ello la posibilidad de retardar la fatiga, debido a la postergación del uso de glucógeno (Hawley, *et al.*, 1992).

La ingestión de HC antes del ejercicio puede afectar las respuestas metabólicas y la utilización de sustratos durante el ejercicio. Se han utilizado varios métodos para estudiar el efecto de la alimentación en el metabolismo energético durante el ejercicio. Entre ellos se encuentran estudios sobre el consumo de monosacáridos, de alimentos complejos con diferente IG, y de alimentos con distinto procesamiento (Wee, *et al.*, 1999). No obstante, existe poca información sobre la selección de HC adecuados a cada actividad. Los HC desempeñan un papel predominante en el metabolismo de la contracción muscular. La combustión de los HC en el músculo en acción es regulada y dirigida por un sistema muy preciso y complejo. Los HC pueden ser metabolizados anaeróbicamente cuatro veces más rápido y en forma aeróbica con el doble de rapidez cuando se comparan con las grasas. Esto confirma la importancia que tienen los HC para los esfuerzos máximos e intensos (Konopka, 1988).

Dieta y Resistencia

Christensen y Hansen (Christensen y Hansen, 1939 a, b, c) fueron los primeros en explorar sistemáticamente la relación entre dieta y la capacidad al ejercicio. Examinaron la resistencia de un grupo de sujetos en un

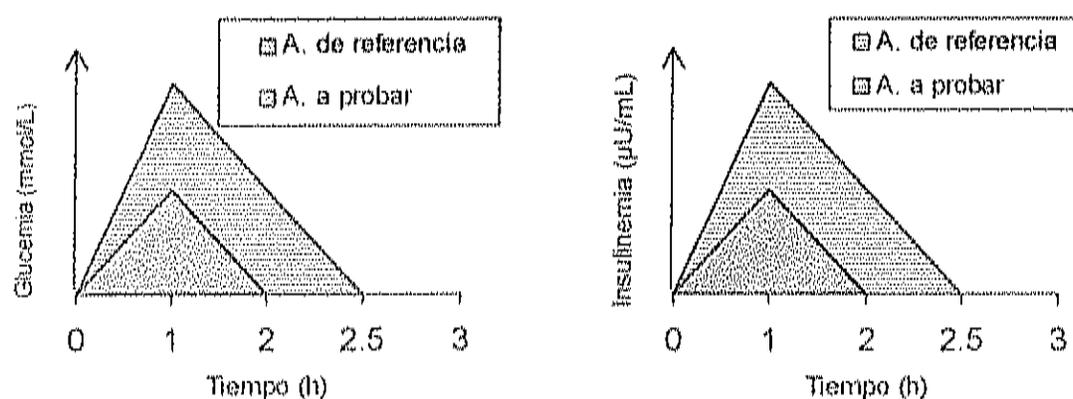
cicloergómetro, después de 3-4 días de una dieta normal, una dieta de grasa y proteína y una dieta rica en HC. Después del período de la dieta alta en HC la resistencia al ejercicio se duplicó en comparación al tiempo del ejercicio que ellos registraron después de consumir una dieta normal. En contraste, con la dieta rica en grasa y proteína se redujo la capacidad casi a la mitad que la dieta normal. Estos estudios mostraron los beneficios de consumir una dieta alta en HC antes del ejercicio prolongado (Williams, 1994).

En las últimas etapas del ejercicio, cuando las reservas glucogénicas se encuentran casi agotadas, se incrementa la oxidación de la glucosa plasmática. Esta disminución en los niveles de glucosa puede contribuir al desarrollo de la fatiga cuando el sujeto está ejercitando. Este efecto se puede evitar por medio de la suplementación de una fuente exógena de glucosa mientras se ejercita. Sin embargo, el consumo de HC en un evento atlético no siempre es práctico o posible. Alternativamente, el mantenimiento de la glucosa sanguínea durante el ejercicio prolongado se puede realizar mediante el consumo de HC antes del ejercicio, particularmente alimentos de bajo IG, los cuales entran al torrente sanguíneo más lentamente (DeMarco, *et al.*, 1999).

Índices de Respuestas Postprandial

Una medida de la potencia hiperglucémica de los alimentos son el índice glucémico (IG) y el índice insulínico (InIn). El IG y el InIn se definen como el incremento del área bajo la curva de la respuesta glucémica (RG) y la respuesta

insulinémica (RI) con respecto al tiempo respectivamente, de una porción de 50 g de HC del alimento probado. Los IG e InIn se expresan como el porcentaje en respuesta a la misma cantidad de HC ingeridos de un alimento de referencia en un mismo sujeto (Figura 1). (Foster-Powell y Brand-Miller, 1995; Jenkins, *et al.*, 1981; Jenkins, *et al.*, 1983).



$$\text{Índice glucémico} = \frac{\text{Área bajo la curva de la RG del alimento probado}}{\text{Área bajo la curva de la RG del alimento de referencia}} \times 100$$

$$\text{Índice insulinémico} = \frac{\text{Área bajo la curva de la RI del alimento probado}}{\text{Área bajo la curva de la RI del alimento de referencia}} \times 100$$

Figura 1. Índice glucémico e índice insulinémico de los alimentos.

El IG teórico de mezclas de alimentos se puede predecir de los IG de los alimentos que componen la mezcla, con el promedio de los IG individuales basados en el porcentaje total de HC que provee cada alimento. Se ha observado una correlación positiva entre el índice glucémico y el índice glucémico estimado de alimentos en conjunto (DeMarco, *et al.*, 1999; Kiens y

Richter, 1996). En el vaciado gástrico de alimentos como pastas y leguminosas se observa una lenta pero constante liberación de glucosa a la sangre (bajo IG) con poca estimulación de la insulina. Sin embargo, alimentos como la papa, el pan y muchos cereales de desayuno provocan una RG y RI casi tan altas como una cantidad equivalente de glucosa (alto IG)(Thomas, *et al.*, 1991).

Angulo (2000) reportó un comportamiento postprandial similar en dos desayunos de IG teórico diferente. El desayuno de RG baja presenta un IG teórico de 65.11 y está compuesto por granola en barra, Raisin Bran[®], naranja, frijoles guisados aguados, tortilla de harina de trigo, leche 2% semidescremada y huevo cocido. Por otro lado, el desayuno de RG alta presentó un IG teórico de 81.72 y está compuesto por margarina con sal, Corn Flakes Kellogs[®], pan blanco Bimbo[®], tortilla de maíz, yogurt de fresa Danone[®], azúcar, huevos revueltos, jugo de naranja y leche 2% semidescremada.

Digestión y Absorción de Hidratos de Carbono (HC)

La mayoría de los HC que consume el humano se encuentran en forma de almidón. Aproximadamente el 20% de los almidones son polisacáridos lineales constituidos por residuos de D-glucopiranososa conectados por enlaces α -1,4, llamados amilosa. El otro 80% está formado por moléculas ramificadas de gran peso molecular con enlaces α -1,4 y α -1,6, llamado amilopectina. Además algunos HC se ingieren como mono y disacáridos. Los disacáridos

comunes son sucrosa y lactosa y los monosacáridos comunes son glucosa y fructosa (Hawley, *et al.*, 1992).

Debido a la complejidad de los almidones, éstos son degradados en dos regiones del sistema digestivo. En la boca, se encuentra la enzima que degrada el almidón (amilasa), la cual está presente en la saliva e inicia el proceso de hidrólisis de los enlaces que mantienen al almidón. Como resultado de esta acción, se forman pequeñas dextrinas y maltosas (Christian y Greger, 1984). Posteriormente hay una nueva hidrólisis por una enzima pancreática (amilasa). La amilasa rompe las dextrinas y maltosas. Finalmente, la enzima intestinal (maltasa), termina la hidrólisis en unidades monosacáridas (glucosa). De esta forma, la glucosa puede ser utilizada por el organismo (Wickham, 1982).

La glucosa se utiliza como energía en las células. Parte de la energía de la glucosa se libera por un proceso llamado glucólisis, el cual no requiere oxígeno, pero la mayor parte de la energía se libera cuando la glucosa se oxida (metabolismo oxidativo) (Mathews and Van Holde, 1996).

Glucólisis

La molécula de glucosa de 6 átomos de carbono, sufre una serie de hidrólisis enzimáticas formándose así dos moléculas con 3 átomos de carbono. Posteriormente, estas moléculas de tres carbonos son modificadas en 2 moléculas de 3 carbonos llamadas ácido pirúvico (Guyton, 1984).

Durante la glucólisis se provee de una pequeña cantidad de energía. Esta energía se utiliza en forma de adenosina trifosfato (ATP). Debido a la división de la glucosa en dos moléculas de ácido pirúvico, la energía se libera sin el gasto de oxígeno. Esta liberación de energía se reconoce como el metabolismo anaerobio (primera etapa de la Figura 2) (Guyton, 1984).

Liberación aerobia de energía a partir de HC

Después de que la glucosa ha sido convertida en dos moléculas de ácido pirúvico, éstas son metabolizadas con oxígeno hasta formar dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O) (segunda etapa de la Figura 2). El metabolismo aerobio provee 18 veces más energía que la glucólisis. Por ello, la mayor cantidad de energía producida por los HC se deriva del metabolismo aerobio (Guyton, 1984).

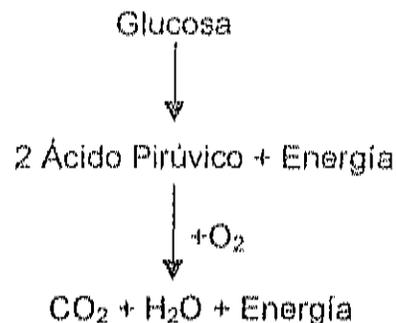


Figura 2. Derivación de la energía de la glucosa por glucólisis (anaerobio) y oxidación (aerobio)

Las reacciones de la primera etapa del metabolismo aerobio se reconocen como el ciclo del ácido cítrico (ciclo de Krebs), donde el ácido pirúvico se divide en dos moléculas de CO_2 e hidrógeno; el CO_2 es removido por las enzimas descarboxilasas y los átomos de hidrógeno son removidos por las deshidrogenasas. La segunda etapa se llama oxidación, aquí, el hidrógeno reacciona con el oxígeno para formar agua y liberar energía en forma de ATP (Guyton, 1984).

Formación de ATP en el metabolismo de la glucosa

La cantidad de ATP formado en las diferentes etapas del metabolismo de la glucosa es el siguiente: por cada molécula de glucosa metabolizada se forman 2 ATP durante la glucólisis, 2 en el Ciclo de Krebs y 34 durante la oxidación del hidrógeno, haciendo un total de 38 moléculas de ATP.

La cantidad de energía total en cada molécula de glucosa es 686,000 Cal. De esta cantidad 266,000 Cal. se almacenan en forma de ATP, el remanente se pierde por calor con las reacciones químicas. Por esto, la eficiencia en la transferencia de energía de glucosa a ATP es 39%, ya que el 61% remanente de la energía convertida en calor, representa el gasto energético (Guyton, 1984).

Consumo Máximo de Oxígeno (VO₂max)

El VO₂max es un parámetro de la captación máxima de oxígeno indicado en términos de litros de oxígeno consumido por kilogramo de peso por minuto L*kg/min ó mL*kg/min. Es sinónimo de resistencia cardiorespiratoria y es el mejor parámetro aislado de la aptitud aeróbica. Representa la capacidad de resíntesis aeróbica de adenosina trifosfato. Este parámetro se determina mediante la prueba de resistencia, y una vez que se conoce se puede establecer la intensidad a la cual se desarrollará el ejercicio (Anexo 4) (Clyde, 1993). Para su determinación se requiere el valor del equivalente metabólico en reposo (MET). Un MET equivale a un índice de consumo de oxígeno en reposo de 3.5 mL O₂*kg/min.

No existe diferencia con respecto al sexo en el VO₂max, pero si lo hay entre sujetos entrenados y no entrenados. Los valores altos de VO₂max son para aquellos grupos de atletas cuyo deporte requiere resistencia aerobia (campo traviesa en esquí, maratón, ciclismo, etc.) los valores bajos son para los atletas que participan en pruebas anaerobias (levantamiento de pesas, lucha, esgrima, etc.), mientras que en los valores medios se encuentran aquellos deportes que a la vez requieren un metabolismo aerobio y anaerobio (gimnasia, remo, natación) (Figura 3) (Fox, 1984).

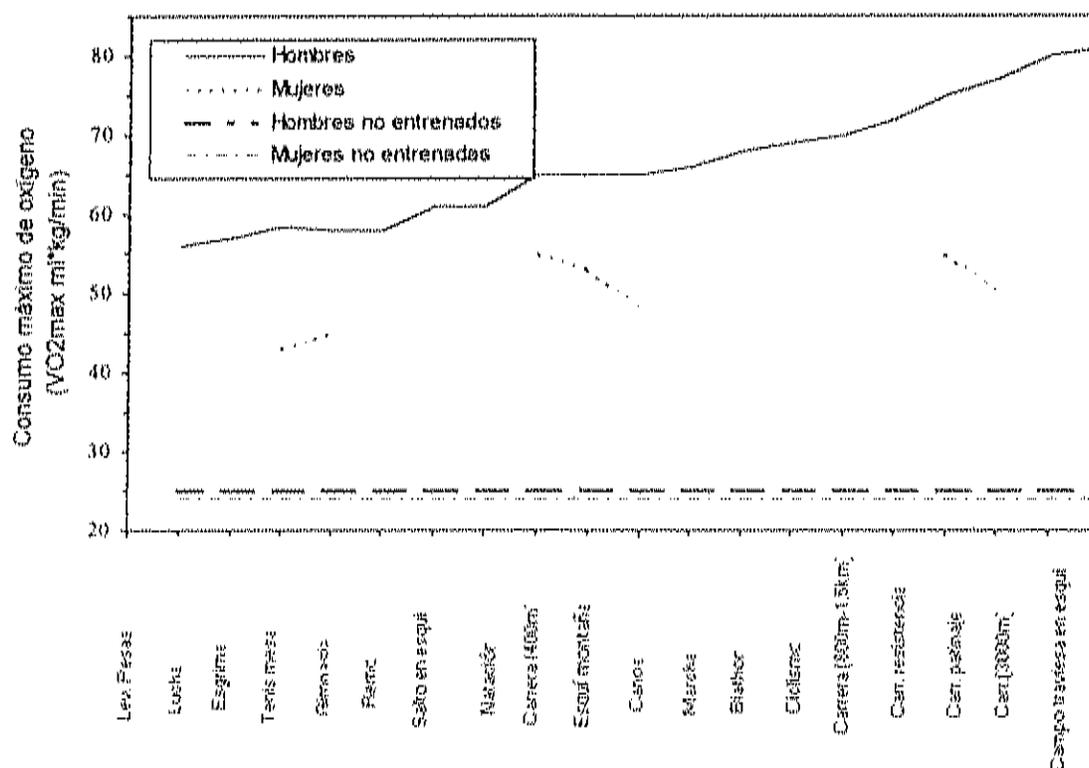


Figura 3. VO₂max en hombres y mujeres entrenados (19 grupos de atletas) y no entrenados. American Heart Association, 1972; Saltin y Astrand, 1967.

Metabolismo del Ejercicio

Al desempeñar actividades deportivas, el organismo se somete a un estrés mayor. Esto se debe al incremento en el riego sanguíneo del músculo y al consumo de oxígeno, el cual puede ser hasta 20 veces más elevado. Además, se eleva la frecuencia cardíaca seis veces más de lo normal (Guyton, 1984). En estas condiciones, el organismo requiere del metabolismo de las reservas corporales para proveer la energía suficiente para la contracción del

músculo. La fuente de energía utilizada durante el ejercicio se deriva predominantemente de la oxidación de HC y grasas, ya que la proteína es poco metabolizada para suministrar tal energía (Sherman, 1995; Coyle, 1995; Houtkooper, 1992).

Durante el reposo, o bien durante el ejercicio de baja intensidad, el metabolismo de grasas ofrece una proporción considerable de energía. Casi toda la energía necesaria para un ejercicio de baja intensidad (25 % de VO_2max) como el caminar, se deriva de los ácidos grasos del plasma y una pequeña contribución de la glucosa sanguínea, cuando se realiza en condiciones rápidas. Sin embargo, a medida que la intensidad del ejercicio aumenta (65 y 85% VO_2max), la grasa no puede ser oxidada lo suficientemente rápido para proveer la energía requerida en el ejercicio de intensidad moderada (Sherman, 1995). Por lo tanto, la mitad de la energía total se deriva simultáneamente de la oxidación de HC (glucosa sanguínea y glucógeno del músculo) (Coyle, 1995).

Frecuencia Cardíaca (FC)

La FC es el número de veces que el corazón late por minuto. Habitualmente el corazón late entre 60 y 80 veces/min en los sujetos masculinos y femeninos no entrenados, pero la frecuencia es generalmente mucho menor (40-55 latidos/min) en los atletas de resistencia hombres y

mujeres altamente entrenados. La FC aumenta durante el ejercicio y está directamente relacionada con la intensidad del trabajo realizado (Fox, 1984).

El aumento en la FC durante el ejercicio es normalmente menor en hombres y mujeres altamente entrenados que en los no atletas, aún durante un esfuerzo máximo. La FC se mide con facilidad mediante un electrocardiógrafo o puede medirlo la propia persona (colocando directamente la mano sobre la parte izquierda del pecho o palpando la arteria radial en la muñeca o la arteria temporal frente al oído) (Fox, 1984).

HC No Digeribles

Hasta hace poco, el almidón se consideraba un HC disponible que se digería completamente en el intestino delgado. Sin embargo, ahora se sabe que existen fracciones de almidón que son resistentes a la acción enzimática, pasando del intestino delgado hasta llegar al intestino grueso y son fermentados por la flora microbiana. Esta fracción se conoce como Almidón Resistente (AR), y se define como la suma del almidón y productos de la degradación del mismo que no son absorbidos en el intestino delgado en sujetos sanos. El AR se ha clasificado a su vez en tres fracciones: AR_1 , éste representa el almidón físicamente inaccesible (semillas y granos parcialmente molidos y estructuras densamente empacadas como las pastas); AR_2 , compuesto por gránulos de almidón nativo (alimentos no cocinados); AR_3 , o almidón retrogradado, que corresponde a la fracción no digerible formada después del calentamiento en

presencia de agua y un posterior enfriamiento (papas cocidas y enfriadas, legumbres enlatadas) (Bravo, *et al.*, 1998).

El contenido de almidón digerible y con ello el contenido de AR en los alimentos, puede afectar algunas de las propiedades fisiológicas de los alimentos, lo cual conlleva a diferentes efectos en la salud (reducción de la respuesta glucémica e insulinémica, efectos hipocolesterolémicos, efecto protector contra el cáncer de colon, entre otros) (Asp, *et al.*, 1996).

Factores que Afectan la Respuesta Glucémica

Entre los factores que posiblemente influyen en la glucemia postprandial, es necesario hacer una distinción entre factores intrínsecos y extrínsecos.

Factores Intrínsecos

Forma física del alimento. Este factor determina parcialmente la RG del alimento. En la realización de pruebas comparativas del arroz, se encontró una mayor RG por parte del arroz blanco a diferencia del arroz integral (O'Dea, *et al.*, 1980). También, estudios realizados en frijol y papa produjeron resultados similares. Estos hallazgos, pueden ser igualmente explicados tanto por el proceso de molienda, en el cual se da el rompimiento de la pared celular, facilitando la acción de la amilasa; como también por el tiempo de tránsito de estos alimentos (Björck, *et al.*, 1994).

Composición del alimento. En la corteza del pan se encuentra una cantidad considerable de almidón. Usualmente el almidón no es consumido en su estado nativo; éste normalmente sufre una etapa inicial de gelatinización. La relación inversa que existe entre el nivel de amilosa y el IG se puede explicar por la alta tendencia de la amilosa a producir geles duros, amilosa retrogradada y complejos amilo-lípidos. También la proporción de glucosa y fructosa en el alimento puede afectar de igual manera la respuesta glucémica, la primera provoca un incremento, mientras que la última promueve la disminución del IG (Bornet, *et al.*, 1997). Una comparación realizada por Crapo (1977) entre glucosa, papas, pan, arroz y maíz, mostró que la naturaleza del almidón por sí sola, puede ser el factor determinante de las respuestas glucémicas e insulinémicas del alimento.

El arroz es un buen ejemplo de alimento que varía significativamente su IG dependiendo del contenido de amilosa (Brand-Miller, *et al.*, 1992). Goddard y cols (1984) mostraron que el alto contenido de amilosa en el arroz provoca una lenta liberación de insulina al torrente sanguíneo. Con ello, la absorción de HC se ve retardada.

A pesar de las diferencias metabólicas en la digestión de almidones, pocos estudios han considerado el IG de los alimentos respecto al efecto del consumo de HC y el ejercicio. Thomas, *et al.*, (1994) y Febbraio y Stewart (1996) utilizaron papas y lentejas como fuente de HC de alto y bajo IG, aportando 1 g de HC por kilogramo de peso corporal. Las lentejas presentan

mayor contenido de proteínas que la papa. Thomas, *et al.*, (1994) reportan un contenido proteico y energético de las lentejas más alto 208% y 36% respectivamente, en comparación con la papa. Debido a estas diferencias, los resultados deben ser expresados cautelosamente. Además, no es posible definir los aumentos insulinémicos y glucémicos, así como otras respuestas metabólicas relacionadas con el alto contenido proteico de las lentejas (Wee, *et al.*, 1999).

Procesamiento. Cualquier procesamiento mecánico que altera la superficie externa del gránulo del almidón puede incrementar la susceptibilidad al ataque enzimático. Los procesos hidrotérmicos industriales y culinarios modifican la estructura del almidón (Figura 4). El calentamiento de almidón alrededor de 80°C en un medio acuoso, provoca que el gránulo de almidón se hidrate e hinche. Primero entra en solución una parte de la amilosa y luego la amilopectina dando como resultado la gelatinización del almidón. La solución se torna viscosa, y el almidón se hidroliza más fácilmente por la α -amilasa. Al enfriar, debido a que la temperatura de la solución disminuye, el sistema se reorganiza en estructuras cristalinas compuestas por amilosa, amilopectina y cristales de amilosa-amilopectina, fenómeno conocido como retrogradación (Bornet, 1993).

Por lo anterior, el almidón del pan, el de las hojuelas de papa y de maíz es modificado. La cocción a temperaturas superiores a 100°C provoca un aumento en el IG. La gelatinización podría no llevarse a cabo si durante la

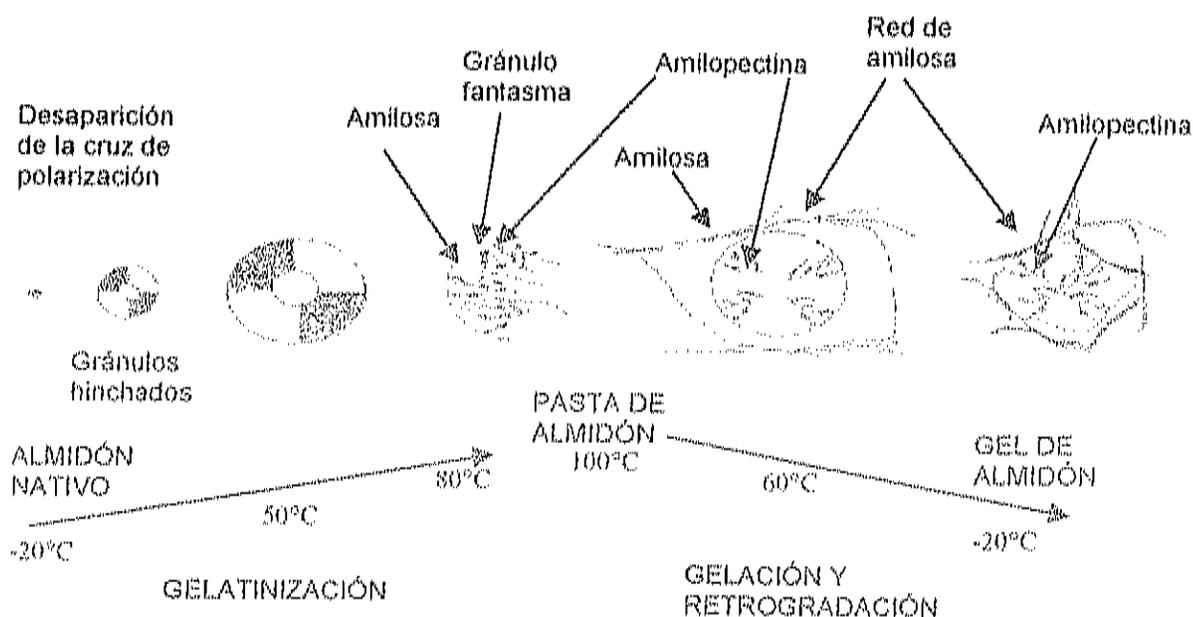


Figura 4. Influencia del procesamiento hidrotérmico en las características físicas del almidón.

cocción no hay suficiente agua. Los gránulos de almidón que no estén completamente gelatinizados y los gránulos de almidón en su forma nativa que permanecen en los productos cocinados son capaces de resistir la acción enzimática (Bornet, 1993).

El proceso de manufactura de pastas (harina de trigo durum) transforma el almidón nativo en una matriz gelatinizada embebida en una red de gluten, impidiendo así la acción de las amilasas (Bornet, *et al.*, 1997). Lo anterior

explica el bajo IG de las pastas. El almidón de las leguminosas (ricos en amilosa) es encapsulado en la pared celular del vegetal, limitando de esta forma la capacidad de hinchazón y con ello su solubilidad (Björck, 1994).

Presencia de antinutrientes. El ácido fítico y los polifenoles actúan como inhibidores de la acción enzimática. Estos constituyentes, referidos en ocasiones como antinutrientes, retardan la digestión de los HC disponibles. La influencia de estos antinutrientes, puede ser menor cuando se compara al efecto que produce la presencia de otros nutrientes como la proteína, la grasa y la fibra (Thompson, *et al.*, 1984).

El papel de los lípidos. Los lípidos reducen el efecto hiperglucémico de los HC. Esto se debe principalmente a la disminución del vaciado gástrico. La influencia de los lípidos en el vaciado gástrico y su efecto en el IG y el InIn se ha determinado en 12 sujetos sanos quienes ingirieron un desayuno con 50 g de almidón en forma de espagueti; el consumo de proteínas y lípidos fue 2 huevos, 20 g de aceite de oliva y 25 g de mantequilla. Se observó una disminución en el vaciado gástrico debido a la presencia de lípidos, y también en la RG, sin embargo, no se observa ningún cambio en la RI (Latge, *et al.*, 1994).

Los bocadillos tipo confitería (chocolate en barra, galletas) son convencionalmente catalogados como hiperglucemiantes. Shively y cols (1986) probaron esta afirmación mal fundamentada. El 90% de los HC en los bocadillos son mono y disacáridos los cuales provocan un aumento en la

glucemia a niveles más bajos que la glucosa. Sin embargo, la variación de la glucemia fue prácticamente idéntica a las papas fritas, en las cuales más del 80% de los HC están gelatinizados. Los bocadillos, como las papas fritas, contienen lípidos y un poco de proteína, los cuales ayudan a reducir la RG.

El papel de las proteínas dietarias. La proteína atenúa la RG postprandial. Este efecto se debe principalmente a que la proteína promueve la secreción de insulina. También, las proteínas atenúan la RG porque forman una red que protege a los HC de la acción de las enzimas glicolíticas. El pan libre de gluten tiene una RG más alta que el pan elaborado con harina de contenido regular de gluten (Bornet, *et al.*, 1987).

Fibra dietética (FD). La FD está compuesta por polisacáridos que incluyen en su mayor parte celulosa, hemicelulosa, pectinas, gomas y mucílagos que por ser resistentes a las enzimas digestivas, tiene limitadas modificaciones y es eliminada y/o fermentada por el colon (Asp, 1994). El contenido de fibra puede influir en la RG provocada por un alimento. La fibra soluble disminuye la RG del alimento. El tipo de fibra es más importante que la fibra dietética total (FDT); la fibra soluble (FS) se correlaciona de forma inversa más marcadamente con la RG del alimento, cuando es comparada con la fibra insoluble (FI). Sin embargo, Wolever (1990) no encontró relación entre la fibra soluble y la RG. No obstante, se cree que la fibra soluble disminuye la RG, debido a la formación de un gel

viscoso en la boca lo cual disminuye la digestión del almidón (Wolever, *et al.*, 1991).

Algunos trabajos sugieren que la fibra dietaria, especialmente la fibra soluble, disminuye la motilidad estacionaria en el intestino delgado aunque aumenta la propagación de motilidad. La reducción en la motilidad estacionaria puede reducir el contacto de los alimentos con las enzimas en el intestino delgado e impedir así la absorción de la glucosa en su superficie. Estos cambios en la actividad contráctil, pueden ser parcialmente responsables de que la FD disminuya la RG (Walton y Rhodes, 1997).

Factores Extrínsecos

Frecuencia del consumo de alimentos. Cuando la frecuencia de comidas durante el día se incrementa, las RG y RI, así como la concentración sérica de colesterol de lipoproteínas de baja densidad y las apoproteínas B son más bajas tanto en sujetos sanos como en diabéticos. Este es un método que ofrece una alternativa más convencional que los métodos nutricionales (Jenkins y Wolever, 1989).

Mezclas alimentarias. La RG difiere de acuerdo a si el alimento con alto contenido en HC se ingiere solo o bien como parte de una comida. La combinación de HC, lípidos y proteínas en una comida, reduce el pico hiperglucémico (Bornet, *et al.*, 1987).

Estudios realizados a corto y largo plazo en sujetos sanos y diabéticos muestran que la ingesta de sacarosa en cantidades moderadas durante una comida (aproximadamente 10-15% de los HC totales) no perjudica la glucemia (Slama, *et al.*, 1984).

Factores Fisiológicos

Cinética del vaciado gástrico. El tamaño de partícula del alimento depende de la forma y el tiempo de masticación del mismo. Este a su vez, tiene efecto en el tiempo requerido para el vaciado gástrico: las partículas pequeñas son evacuadas más rápidamente que las partículas de mayor tamaño. El tiempo de vaciado gástrico varía de acuerdo a varios factores, entre ellos la naturaleza del alimento (sólido vs líquido); el contenido energético; el contenido de HC, grasa y proteína (Latge, *et al.*, 1994); la presencia de fibra dietética soluble (Leelere, *et al.*, 1994); la temperatura a la cual se consume el alimento y la biodisponibilidad de los HC que lo componen (Bornet, *et al.*, 1997).

Variaciones intraindividuo e interindividuo. Un factor clave en la variación del IG es el sujeto. Rasmussen (1993) evaluó las variaciones de RG diariamente en sujetos diabéticos dependientes de insulina. Ocho insulino dependientes consumieron 100 g de pan en tres ocasiones (días diferentes). Durante el experimento la glucosa sanguínea se estandarizó utilizando un alimento euglucémico 2 horas antes. Bajo condiciones estrictas, los resultados muestran que el área bajo la curva de la glucemia y la concentración de insulina no

difieren en las tres ocasiones. Los componentes intraindividuo e interindividuo representan el 26 y 74% respectivamente de la varianza total del IG.

Respuesta Hormonal a la Glucosa Sanguínea

El control de la glucemia durante el ejercicio está determinado por hormonas como insulina, glucagon, epinefrina y norepinefrina, las cuales tienen grandes efectos en el almacenamiento y movilización del combustible.

Insulina

La insulina es una hormona polipeptídica producida y secretada por las células beta de los Islotes de Langerhans del páncreas. Como se señaló anteriormente, la insulina puede afectar el metabolismo de HC, y entre sus funciones se encuentran: a) disminuir los niveles de glucosa sanguínea debido al incremento de la entrada de la glucosa a la célula, b) estimular el almacenamiento de glucógeno, c) incrementar el almacenamiento de grasa, d) incrementar el consumo de aminoácidos por la célula, e) incrementar la síntesis de proteínas y f) suprimir el catabolismo de proteínas. La insulina sirve como una hormona de almacenamiento energético. En el humano los niveles plasmáticos de insulina se incrementan en respuesta al aumento de la glucosa sanguínea, pero también al incrementarse los niveles de aminoácidos y ácidos grasos (Conley y Stone, 1996).

Hasta hace pocos años, las adaptaciones a los cambios fisiológicos al ejercicio habían sido poco estudiados. La resistencia al ejercicio puede ser afectada por el estado fisiológico de numerosas hormonas y muy especialmente por la insulina y ésta a su vez puede ser afectada por la ingestión de HC y ejercer una influencia considerable en las respuestas y adaptaciones al ejercicio (Conley y Stone, 1996). El entrenamiento físico tiende a disminuir la RI a una determinada carga de glucosa.

Glucagon

El glucagon es una hormona polipeptídica sintetizada por las células alfa del páncreas, en respuesta a los bajos niveles de glucosa en estado de ayuno. Su principal sitio de acción es el hígado. El glucagon estimula la glucogenólisis e inhibe la síntesis de glucógeno por activación de la cascada de la adenosina monofosfato cíclica (cAMP). Esta hormona, también inhibe la síntesis de ácidos grasos por la disminución en la producción de piruvato y actividad de la acetil CoA carboxilasa. Además, el glucagon estimula la gluconeogénesis y bloquea la glucólisis mediante la disminución de la fructosa 2,6-bisfosfato. El resultado neto de las acciones del glucagon es incrementar la liberación de glucosa por parte del hígado. De igual forma, el glucagon aumenta el nivel de cAMP en las células adiposas, las cuales activan la lipasa que moviliza los triacilglicerolos (Stryer, 1995).

Epinefrina (adrenalina) y Norepinefrina (noradrenalina)

Estas hormonas catecolaminas son secretadas por la médula adrenal, en respuesta a la disminución de la glucosa sanguínea. Al igual que glucagon, éstas estimulan la movilización del glucógeno y triacilglicerolos debido a que desencadenan la cascada del cAMP. Las catecolaminas difieren del glucagon en que su efecto glucogenolítico es más grande a nivel muscular que en el hígado. Otra de las acciones de las catecolaminas es que inhiben el consumo de glucosa por parte de los músculos. De esta forma, los ácidos grasos se liberan del tejido adiposo y son usados como combustible. La epinefrina también estimula la secreción de glucagon e inhibe la secreción de insulina. Así, las catecolaminas incrementan la cantidad de glucosa liberada al torrente sanguíneo por parte del hígado y disminuyen la utilización de glucosa por el músculo (Stryer, 1995).

Utilización de Substratos Durante el Ejercicio

Los atletas pueden obtener más energía de los lípidos que los individuos no entrenados. A una intensidad de 50 a 55% del VO_2 max los lípidos son la fuente principal de energía en los sujetos no entrenados, mientras que en los entrenados la utilización principal de estos substratos corresponde al 65% del VO_2 max. Bajo estas condiciones, los deportistas mejor entrenados pueden retardar la fatiga durante más tiempo que los menos entrenados (Valeriani, 1991).

La habilidad para sostener el ejercicio aeróbico prolongado es determinada por la disponibilidad del sustrato adecuado (Kirwan, 1998). El glucógeno muscular se usa predominantemente en los primeros 60 a 90 minutos de actividad, mientras que en las siguientes fases, cuando el glucógeno muscular ha sido muy reducido, la glucosa sanguínea contribuirá progresivamente al gasto energético (Costill, 1988; Coyle *et al.*, 1986). En estas condiciones, la glucosa participa por arriba del 90% de los HC metabolizados por los músculos en las etapas finales del ejercicio prolongado (Jandrain, 1989; Valeriani, 1991). Se ha demostrado que el mantenimiento de euglucemia y la oxidación de HC en la etapa final del ejercicio puede aplazar la fatiga, lo cual implica que el consumo de HC antes y durante el ejercicio puede ser clave para prolongar la duración del ejercicio aeróbico (Kirwan, *et al.*, 1998).

Depósitos de Reserva Corporal

Durante el ejercicio prolongado, los depósitos de reserva corporal son movilizados para proveer la energía requerida para la contracción muscular. Varios factores, tales como la duración, la intensidad y el tipo de ejercicio, influyen en la contribución relativa de estos depósitos en la contracción muscular (Sherman y Lamb, 1988).

El depósito de HC (≈ 2000 Kcal) en el organismo no es tan alto como el de grasa ($\approx 140,000$ Kcal). La reserva total disponible para la generación de energía durante el ejercicio se encuentra localizado como glucógeno en el

hígado o músculo, o como glucosa en la sangre. Por su mayor tamaño de masa, el músculo posee la mayor cantidad de glucógeno (400g), seguido por el hígado (70 g) quienes aportan el 79 y 14% de energía respectivamente, el 7% restante de la energía se encuentra en la glucosa sanguínea (Sherman, 1995).

Si los HC son la única fuente de energía a un VO_2max de 2 L/min, la oxidación de HC puede sostener la demanda energética del ejercicio aproximadamente durante 90 minutos. Pero, frecuentemente el entrenamiento y competencias de muchos eventos atléticos requieren esfuerzos mayores a 3 horas. Así, los HC no son la única fuente energética durante el ejercicio intenso y prolongado. Sin embargo, a diferencia de las grasas, el metabolismo de los HC puede mantener el ejercicio de mayor intensidad por un período substancial de tiempo; por ello, los HC son preferidos como combustible para el metabolismo muscular, cuando la intensidad del ejercicio es superior a 65 % del VO_2max (Sherman y Lamb, 1988).

Fatiga Muscular Durante el Ejercicio

La fatiga se refiere a la pérdida de la capacidad de trabajo del músculo cuando éste ha estado activo por cierto tiempo. Usualmente se reconoce por un deterioro en el mantenimiento o desarrollo de la resistencia o fuerza requerida (McLester, 1997). Este estado fisiológico puede ocurrir en el ejercicio de larga duración y se refleja en la incapacidad de las fibras musculares para responder

a las demandas de ejercicio y mantener la actividad (Costill, 1988; Newsholme y Leech, 1988).

Con respecto al origen de la fatiga, es importante considerar la intensidad de la actividad. Si la intensidad del ejercicio es del 60% $VO_2\text{max}$, la fatiga ocurre como resultado del cansancio, deshidratación, hipertermia, bajos niveles de glucemia o bien, por algún malestar ortopédico. Cuando la intensidad del ejercicio es superior al 90% $VO_2\text{max}$, la fatiga se encuentra relacionada con un incremento en la concentración de ácido láctico en el músculo y sangre, producto del metabolismo por vía anaerobia. Sin embargo, cuando la intensidad del ejercicio se encuentra entre 65 y 85% del $VO_2\text{max}$, la fatiga ocurre debido al agotamiento del glucógeno del músculo. Así, la aparición de la fatiga es directamente proporcional al agotamiento glucogénico (Sherman, 1995; Below, *et al.*, 1995; Wright, *et al.*, 1991; Coyle y Coggan, 1984).

La fatiga en algunos individuos está relacionada a la susceptibilidad de una disminución moderada de la glucosa sanguínea, mientras que en otros individuos ocurre sólo cuando la glucosa sanguínea se encuentra en concentraciones hipoglucemiantes (<3.3 mmol/L). Por esto, las manipulaciones dietéticas tienen una influencia potencial favorable en el entrenamiento de los atletas y el desempeño de sus capacidades (Sherman, 1995). Por lo tanto para elevar la concentración de glucógeno en el hígado y en el músculo antes del ejercicio, es necesario incrementar el consumo de HC. Por otro lado, para mantener una fuente de glucosa sanguínea durante el ejercicio es

recomendable el consumo de HC durante el mismo (Sherman, 1995). La demora de la fatiga permitirá a un atleta mantener o mejorar su rendimiento en las partes inicial y media de una prueba.

Reducción Glucogénica

En estudios previos se muestra que el contenido de glucógeno muscular disminuye durante la actividad y que durante el ejercicio exhaustivo los depósitos de glucógeno son casi totalmente agotados. Hermansen, *et al.*, (1967) encontraron que la proporción de combustión de los HC es alta y constante durante el desempeño del ejercicio. En este trabajo, se indica que la concentración de glucógeno muscular inicial está relacionada con la disponibilidad para realizar ejercicio extenuante y prolongado.

Después del ayuno nocturno, la reserva de glucógeno hepático se puede reducir. Sin embargo, la reserva glucogénica hepática es esencial para mantener concentraciones de glucosa normales durante el ejercicio. Al iniciar el ejercicio prolongado con reservas limitadas de glucógeno hepático la glucosa sanguínea disminuye rápidamente y por lo tanto se puede desarrollar hipoglucemia (Schabort, *et al.*, 1999).

La reducción glucogénica en el músculo y los niveles de glucosa sanguínea bajos, son factores que contribuyen a la fatiga durante el ejercicio prolongado. Sin embargo, la ingestión de HC incrementa los niveles de glucosa sanguínea, debido a que hay un aumento en la utilización de combustible

exógeno subsecuente a la alta oxidación de la glucosa en el músculo activo, reservando de esta forma el glucógeno muscular. Por eso la ingestión de HC antes y durante el ejercicio puede retardar la fatiga y mejorar el rendimiento al ejercicio durante el ejercicio prolongado (Shi y Gisolfi, 1988; Parkin, *et al.*, 1997; Hargreaves, *et al.*, 1984).

Afortunadamente, cuando la dieta previa al ejercicio es de alto contenido de HC, se promueve una síntesis moderada de glucógeno. Sin embargo, la ingestión de dietas con alto contenido en grasas y proteínas después del ejercicio trae como consecuencia una síntesis lenta de glucógeno. De esta manera, una dieta adecuada consumida después del ejercicio intenso, permitirá recobrar los niveles de glucógeno muscular en el individuo (Bergstrom, *et al.*, 1967).

Supercompensación de Glucógeno

La concentración de glucógeno en el humano se incrementa considerablemente al realizar primeramente el agotamiento de los depósitos de glucógeno mediante el ejercicio pesado, seguido de la ingesta de una dieta con alto contenido de HC. El incremento en la síntesis de glucógeno se promueve en el área muscular ejercitada, sin afectar otro grupo de músculos (Bergstrom, *et al.*, 1967). Sin embargo, Sherman, *et al.* (1989) reportan que la dieta con reducción glucogénica y la carga posterior de HC no provoca una concentración de glucógeno muscular mayor, cuando se compara con la ingesta de la dieta

alta en HC consumida únicamente 3 días antes de la competencia (Schabort. *et al.*, 1999).

Burke, *et al.* (1996) reportan que la ingestión de alimentos con HC de alto IG provocan un mayor almacenamiento de glucógeno (106 ± 11.7 mmol/kg de peso corporal) y respuestas glucémicas e insulinémicas mayores durante las 24 horas posteriores al ejercicio a diferencia de los alimentos con HC de bajo IG (71.5 ± 6.5 mmol/kg de peso corporal).

Ingestión de HC 30 a 60 Minutos Antes del Ejercicio

La reducción observada de glucógeno muscular y la hipoglucemia están asociados a la fatiga durante el ejercicio prolongado. Como se ha visto, la suplementación de HC durante el ejercicio puede retardar la fatiga (Coggen y Coyle, 1989; Coyle, *et al.*, 1986). En contraste, aún existe controversia sobre el efecto de la ingestión de HC 30 a 60 minutos antes del ejercicio, ya que ciertos estudios reportan un incremento en el rendimiento (Thomas, *et al.*, 1991; Sherman, *et al.*, 1991), otros reportan un decremento (Foster, *et al.*, 1979) o no se observan alteraciones (Chryssanthopoulous, *et al.*, 1994; Sparks, *et al.*, 1998). Sin embargo, la mayoría de los estudios, al haberse enfocado en la ingestión de nutrientes simples, como la glucosa y fructosa, han descuidado el efecto de la ingestión de alimentos completos.

Los nutrientes como la glucosa y la fructosa, se absorben en diferente proporción y pueden afectar el nivel de hormonas circulantes y substratos en la sangre. Frecuentemente, la ingestión de glucosa antes del ejercicio conduce a un estado transitorio de hiperglucemia, seguido por un aumento significativo de la concentración de insulina plasmática (Koivisto, *et al.*, 1985). En la etapa inicial del ejercicio, la hiperinsulinemia provoca una disminución de la glucosa por abajo del nivel basal y promueve la reducción lipolítica incrementando la oxidación de HC, lo cual afecta el rendimiento deportivo (Foster, *et al.*, 1979).

Los alimentos con alto contenido de HC, también son absorbidos y oxidados en diferente proporción (Horowitz y Coyle, 1993). Debido a que estos alimentos son consumidos frecuentemente antes del ejercicio, es sorprendente que haya pocas investigaciones sobre la influencia de éstos en el rendimiento.

Recientemente, Thomas, *et al.* (1991) reportan que el consumo de alimentos de baja RG antes de un ejercicio intenso y prolongado puede incrementar el rendimiento deportivo debido a una menor posibilidad de hiperglucemia e hiperinsulinemia postprandial. También reportan menores niveles plasmáticos de lactato antes y durante el ejercicio. De igual forma, se reportan niveles de glucosa plasmática y ácidos grasos libres mucho más altos durante los períodos críticos del ejercicio. Coyle, *et al.* (1983) muestran que la ingestión de HC durante el ejercicio puede retardar la fatiga, esto debido a que mantiene los niveles de glucosa e insulina más altos. Estos efectos incrementan la utilización de glucosa sanguínea y a la vez el uso atenuado del glucógeno

muscular debido a la movilización de los ácidos grasos libres. Los HC que se absorben más lentamente presentan menor efecto hipoglucémico y una liberación de glucosa al torrente sanguíneo más lenta (Foster-Powell y Brand-Miller, 1995).

En México se han realizado pocas investigaciones en esta materia, y específicamente en alimentos de consumo regional, los cuales pueden conducir a nuestros atletas a mejores resultados. Noriega, *et al.* (1999) reportan que en atletas y no atletas mexicanos, la ingesta de papa, tortilla de maíz y pan blanco provocan las más altas RG y RI (valores más altos para los no atletas). Por otro lado, la tortilla de harina y el frijol presentaron el mismo comportamiento pero con la RI más baja. De igual forma, Bello (1998) reporta resultados similares cuando se desarrolla un ejercicio físico moderado.

SUJETOS Y MÉTODOS

El trabajo experimental se desarrolló en las instalaciones del Departamento de Nutrición Humana del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD, A.C.) de Hermosillo, Sonora. Este estudio fue aprobado por el Comité de Ética Interno-Externo de CIAD, A.C.

Sujetos

Se seleccionaron sujetos masculinos entre 14 y 18 años de edad, con un consumo máximo de oxígeno de 45 a 60 mL*kg/min; un índice de masa corporal (IMC) menor a 23.5kg/m², además de realizar un entrenamiento intensivo (fútbol soccer y lucha grecorromana) aproximado de 15 horas por semana. Los sujetos respondieron a un cuestionario para conocer su estado general de salud (Anexo 2).

A los sujetos se les informó sobre la prueba a la cual serían sometidos, además de contar con el consentimiento de sus padres o tutores (Anexo 1). También se requirió del peso corporal, talla, determinación del consumo máximo de oxígeno y se determinó el 75 y el 85% de su capacidad para la 1a. y 2a. etapa del estudio respectivamente.

Alimentos

La granola, tortilla de maíz y tortilla de harina de trigo se obtuvieron en el comercio de la localidad, el mismo día de la prueba. El placebo [2 pastillas de Canderel (aspartame) en 250 mL de agua] se preparó el mismo día de la prueba.

Análisis Proximal y Químico de los Alimentos

Análisis Proximal

Las determinaciones de humedad, grasa, cenizas y proteína se determinaron por triplicado, siguiendo los Métodos Oficiales del AOAC 934.01, 920.39, 923.03 y 960.52 respectivamente (AOAC, 1990). Los hidratos de carbono se obtuvieron por la diferencia del 100% menos el contenido de humedad, grasa, cenizas y proteína; de igual forma el contenido de hidratos de carbono disponibles se obtuvieron por la diferencia del 100 % menos contenido de humedad, grasa, cenizas, proteína y fibra dietética total.

Fibra Dietética Total (FDT) y sus Fracciones Soluble (FDS) e Insoluble (FDI)

Se utilizó la técnica 985.29 modificada del AOAC (AOAC, 1990). Se utilizó un kit comercial (Dietary Fiber Kit TDFAB-1, Sigma Chemical CO St.

Louis, Mo 63178 USA), además un equipo de filtración Tekator (Fibertec System E 1023; Tekator, Sweden) y un baño con agitación Tekator (Tekator 1024; Tekator, Sweden). El contenido de Fibra Dietética Total (FDT) se determinó como la suma de la FDS y FDI.

Almidón Total

Se realizó utilizando un kit comercial (Total Starch Assay Procedure: Amyloglucosidase/ α Amylase Method MEGAZYME 1997 International Ireland LTD. Bray Business Park, Bray, CO. Wicklow, Ireland) con el Método Oficial 996.11 del AOAC (1990). El procedimiento Megazyme permite determinar el almidón total en la mayoría de los productos de cereales (naturales o procesados). En este análisis, la hidrólisis del almidón procede en dos fases. En la fase I, el almidón es parcialmente hidrolizado y totalmente solubilizado. En la fase II, las dextrinas del almidón son cuantitativamente hidrolizadas a glucosa por la amiloglucosidasa. La glucosa se leyó en un Spectronic 21D UV-VIS, Milton Roy a 510 nm. Los reactivos fueron preparados de acuerdo al fabricante (McCleary, *et al.*, 1997).

Almidón Resistente

Se realizó según el método modificado del AOAC 996.11 (1990), utilizando reactivos de un kit comercial (Total Starch Assay Procedure: Amyloglucosidase/ α Amylase Method MEGAZYME 1997 International Ireland

LTD., Bray Busines Park, Bray, CO. Wicklow, Ireland), los reactivos fueron preparados de acuerdo al fabricante.

Amilosa y Amilopectina

Se realizó mediante un kit comercial (Amylose/Amylopectin Assay Kit Megazyme; MEGAZYME, 1996 International Ireland LTD., Bray Busines Park, Bray, CO. Wicklow, Ireland). En este método se presenta la ventaja de la formación de un complejo entre la lectina Concanavalina A (Con A) y la amilopectina, lo cual evita una sobrevaloración de amilosa, que es común en otros métodos (Gibson, *et al.*, 1997).

En este análisis, las muestras de almidón son completamente dispersadas con calor y dimetil sulfóxido (DMSO). Los lípidos son removidos por precipitación del almidón con etanol y se recupera el almidón precipitado. Después de la disolución de la muestra precipitada en una solución salina de acetato, la amilopectina es específicamente precipitada por la adición de la ConA y removida por centrifugación. En una alícuota del sobrenadante, la amilosa se hidroliza enzimáticamente a glucosa, la cual se analiza usando un reactivo de glucosa oxidasa/peroxidasa (GOPOD). El almidón total en una alícuota separada de la solución salina de acetato, es similarmente hidrolizada a glucosa y medida colorimétricamente por el método de la glucosa oxidasa/peroxidasa. La concentración de amilosa en la muestra de almidón es estimada como la proporción de la absorbancia del GOPOD a 510 nm

(Spectronic 21D) del sobrenadante de la muestra precipitada con Concanavalina A (Con A). Los reactivos fueron preparados de acuerdo al fabricante (Gibson, *et al.*, 1997).

Medidas Antropométricas

El peso se evaluó utilizando una balanza electrónica digital con capacidad de 0 a 150±0.5kg (AND FV-150K). El sujeto se pesó sin calzado y con la menor cantidad de ropa posible (Jellife y Jellife, 1989).

La medición de la talla se realizó con un estadiómetro Holtain (Holtain Ltd, UK) de 2.05×10^{-4} m. Los sujetos se midieron sin calzado, con la cabeza descubierta y en el plano de Frankfort (Jordan, 1984).

El IMC se obtuvo a partir de los parámetros de peso y talla utilizando la fórmula de Garrow (1988)

$$\text{IMC} = \text{Peso/Talla}^2 \text{ (kg/m}^2\text{)}.$$

Prueba de VO_2 max

Esta prueba permitió conocer la condición física del sujeto, por medio de la realización de ejercicio intenso y prolongado. La prueba se realizó en una bicicleta ergométrica (Monark Ergomedic 818 E, Monark, sporting Goods Inc.), en la cual el sujeto pedaleó inicialmente a 50 rpm y una resistencia de 100W (611 kg*m/min) durante 2 min. Posteriormente, la carga de ejercicio se

incrementó de manera constante a 50 W cada 2 min hasta que el sujeto ya no pudo continuar, debido a la incapacidad para sostener el ritmo de 50 rpm. Se monitoreó la frecuencia cardíaca a través de un monitor Polar Vantage NV HRM (Polar Electro O.Y. Finland). En esta prueba, el sujeto también indicó cada 2 minutos el nivel de esfuerzo donde se encontraba de acuerdo a la escala de Borg (Anexo 3)(Borg, 1982). Finalmente, se determinaron los componentes de resistencia (energía consumida por minuto a frecuencia cardíaca constante) y el componente de reposo (oxígeno consumido por minuto en reposo) para calcular así el VO_2max relativo y absoluto (Anexo 4).

Percepción Subjetiva del Esfuerzo o Escala de Borg

Este método permite la medición de la percepción subjetiva del esfuerzo de acuerdo a la Escala de Borg. Para ello, el sujeto indicó cada 15 min el nivel de esfuerzo en el que se encontraba durante el desarrollo del ejercicio, de acuerdo a una escala subjetiva (Anexo 3) (Borg, 1982).

Diseño

Los sujetos se presentaron a la prueba con 12 h de ayuno y 8 h sueño, además de no haber realizado actividades extenuantes el día anterior a la prueba. De igual forma, se sugirió al deportista consumir la misma porción y tipo de alimento cada noche anterior a la prueba.

Período de Reducción Glucogénica.

Al sujeto se le colocó el monitor de Frecuencia Cardíaca (FC) (Polar Vantage NVHRM Polar Electro O.Y., Finland) y pedaleó al 75% de VO_2 max en una bicicleta ergométrica (Monark ergomedic 818 E, Monark Sporting Goods Inc) hasta alcanzar una glucemia de 3.3 ± 0.2 mmol/L. La determinación de glucosa se realizó mediante el Hemo Cue (B-Glucose Photometer Hemo Cue AB, Ängelholm Sweden) tomándose para ello muestra capilar a los 60 y 90 min, además del tiempo en el cual el sujeto ya no podía continuar con el mismo ritmo de pedaleo. Durante este tiempo, el sujeto indicó cada 15 min la percepción subjetiva de esfuerzo de acuerdo a la escala de Borg (Anexo 3).

Ingestión del Alimento Seguida de un Período de Actividad Física Intensa.

El sujeto consumió el alimento correspondiente (1g de HC/kg de masa corporal) en un lapso no mayor de 10 minutos y permaneció 20 minutos adicionales en reposo. En este tiempo, se tomaron 3 muestras de sangre (5mL) cada 15 minutos para la medición de glucemia, insulinemia y lactacidemia. Transcurridos 30 minutos de haber ingerido el alimento, el adolescente trabajó al 85% de VO_2 max, el tiempo necesario para llegar al agotamiento (momento en el cual el sujeto difícilmente mantiene un ritmo constante a la potencia exigida).

En esta parte del estudio, las muestras de sangre se tomaron cada 5 minutos los primeros 15 minutos y después cada 15 minutos hasta el final de la

prueba. El muestreo se realizó mediante la colocación de un catéter (Vacutainer Brand Blood Collection Set 21 G3/4 7251) colocada arriba del pliegue del brazo (vena media cubital), el cual se mantuvo patente debido al flujo frecuente de una solución salina por el mismo. La sangre se recolectó en tubos (Becton Dickinson VACUTAINER system Franklin Lakes, N.J. USA) determinándose en éstas la glucemia, insulinemia y lactacidemia.

Los sujetos consumieron todos los alimentos asignados (granola, tortilla de maíz, tortilla de harina de trigo) y el placebo en forma aleatoria. Las pruebas se realizaron con una semana de intervalo para cada alimento. Las posibles interferencias debidas a la deshidratación se minimizaron mediante el suministro de 125 mL de agua cada 15 min durante el ejercicio. Esta cantidad fue suficiente para evitar deshidratación y a la vez no promover la micción.

Pruebas Bioquímicas

Método Enzimático para la Determinación de Glucosa en Sangre Total (Hemo Cue)

El Hemo Cue β -Glucosa es un sistema para la determinación de la cantidad total de glucosa en sangre total sin diluir. En la hemólisis de los eritrocitos, su contenido es liberado. La enzima GDH (Glucosa Deshidrogenasa específica para β -D-Glucosa) actúa en una catálisis y en la oxidación de la β -D-Glucosa en presencia de nicotinamida adenina dinucleótido (NAD) para formar

nicotinamida adenina dinucleótido en forma reducida (NADH). La cantidad formada de NADH es directamente proporcional a la concentración de la glucosa (Banauch, *et al.*, 1975).

Procedimiento: Se tomó una gota de sangre capilar en la microcubeta. Se introdujo la microcubeta al portacubetas del HemoCue y se realizó la medición. Después de 15 a 240 segundos el valor de la glucosa en sangre aparece en la pantalla del aparato.

Obtención de Muestras

Las muestras sanguíneas se tomaron en tubos de 5 mL (Vacutainer Brand Blood Collection tubes, Becton Dickinson VACUTAINER Systems, Franklin Lakes, N.J. USA). La separación total del plasma se realizó en una centrifuga refrigerada (IEC-Centra 8-R Beckman, USA) a 2780rpm /10 min.

Glucosa

Se determinó mediante el método enzimático de la glucosa oxidasa, donde la β -D-Glucosa en presencia de oxígeno es oxidada a ácido glucónico y peróxido. Durante esta reacción se mide la velocidad de consumo de oxígeno, el cual es directamente proporcional a la concentración de glucosa en la muestra (Beckman, 1989).

Procedimiento: El volumen exacto de la muestra (10 μ l) se pipeteó manualmente junto con el reactivo enzimático agregado automáticamente por el aparato (Analizador de glucosa II de Beckman, México) en una cubeta que contiene un electrodo que responde a la concentración de oxígeno. El contador digital del panel da la lectura en mg de glucosa por 100 mL (Beckman, 1989).

Insulina

Se determinó por un método de radioinmunoanálisis (Coat-A-Count, 1999). El método se basa en una competencia entre la insulina marcada con 125 I y la insulina contenida en las muestras, con respecto a un número dado y limitado de sitios anticuerpo-antiinsulina. Como resultado, los anticuerpos pierden parte de su radiactividad. Esta pérdida en radiactividad se puede relacionar con la cantidad de insulina en la muestra.

Procedimiento: Se colocaron los tubos de polipropileno enumerados y se vertieron sobre ellos 200 μ l del calibrador (set de siete viales de suero humano liofilizado). Las muestras se descongelaron previamente y se vertieron 200 μ l de cada una de ellas en los tubos de polipropileno. Posteriormente, se le adicionó 1.0 mL de insulina [125 I] a cada tubo. Se incubaron por 18-24 hrs a temperatura ambiente y se realizó el conteo por 60 segundos en el contador gama ICN. (MULTCNT Isodata V3.30, Screen saver V2.5 1988 Acculogic, Inc. XT IDE Bios ver 1.2, Isodata Vector Version 3.0, New Jersey, USA)

Ácido láctico

Se determinó utilizando un kit enzimático comercial de lactato deshidrogenasa (LDH) (Sigma, 1994), donde el ácido láctico es convertido a piruvato y peróxido de hidrógeno (H_2O_2) por la enzima lactato oxidasa. En presencia del H_2O_2 formado, las peroxidasas catalizan la condensación oxidativa de un precursor cromogénico para producir una coloración a una absorbancia máxima de 540 nm. El incremento en la absorbancia es directamente proporcional a la concentración de lactato en la muestra (Sigma, 1994).

Procedimiento: Se preparó el reactivo de acuerdo a las instrucciones del fabricante; se pipeteó 1.0 mL de reactivo de ácido láctico en los tubos de ensaye, también se preparó un tubo para el blanco, otro tubo para el estándar y los tubos de las muestras. En el estándar se agregaron 10 μ l del estándar de lactato. Posteriormente se dejaron reposar las soluciones por 10 min. Se dio lectura a la absorbancia del estándar y las muestras en un espectrofotómetro (Spectronic 21D UV-VIS, Milton Roy) con capacidad de absorbancia de 540 nm (Sigma; 1994).

Análisis estadístico

El análisis estadístico se llevó a cabo mediante un ANOVA no paramétrico (Kruskall y Wallis) y la comparación entre los datos por la prueba de Wilcoxon (NCSS,1996).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sujetos

Las características de los seis sujetos que participaron en el estudio se observan en la Cuadro 1. Cuatro sujetos seguían una preparación de fútbol soccer y dos de lucha grecorromana.

Cuadro 1: Características físicas y fisiológicas de los atletas adolescentes que participaron en el estudio.

Sujeto	Deporte	Edad (años)	Peso (kg)	Talla (m)	IMC (kg/m ²)	VO ₂ max		FC(p/m) [*]	
						L/min	mL*kg/min	75% VO ₂ max	85% VO ₂ max
1	futbol	15	66.00	1.67	23.40	3.28	49.78	156	169
2	futbol	15	54.45	1.67	19.33	2.56	47.02	147	159
3	futbol	15	66.50	1.70	22.80	3.28	49.43	171	178
4	futbol	14	59.70	1.75	19.36	3.25	54.60	157	171
5	lucha	17	65.20	1.70	22.40	3.23	49.68	164	173
6	lucha	15	67.50	1.72	22.00	3.28	48.72	146	160
\bar{X}		15.16	63.22	1.70	21.50	3.14	49.87	156	168
EE		±0.4	±2.08	±0.01	±0.72	±0.11	±1.03	±3.9	±3.0

*Frecuencia cardíaca en pulsaciones por minuto

$\bar{X} \pm EE$, n=6: Valor medio \pm error estándar, tamaño de muestra.

Aún cuando el peso fue la característica más variable, no fue de gran importancia ya que el IMC fue estable. Los atletas presentaron un buen

entrenamiento, lo cual se denota en el $VO_2\text{max}$ que presentaron ($49 \text{ mL}\cdot\text{kg}/\text{min}$) (ver Figura 3). La American Heart Association (1972) considera que un $VO_2\text{max}$ menor a $25 \text{ mL}\cdot\text{kg}/\text{min}$ indica una baja condición física; mientras que $25\text{-}33 \text{ mL}\cdot\text{kg}/\text{min}$ es mediana; $34\text{-}42 \text{ mL}\cdot\text{kg}/\text{min}$ regular; $43\text{-}52 \text{ mL}\cdot\text{kg}/\text{min}$ buena y mayor a $53 \text{ mL}\cdot\text{kg}/\text{min}$ a la condición física.

Análisis Proximal y Químico de los Alimentos

En el Cuadro 2 se muestra la composición química de los alimentos. Se observó que la granola presentó el mayor contenido de HC (65.14%) respecto a la tortilla de maíz (34.36%) y la tortilla de harina de trigo (51.3%). Los alimentos con mayor contenido de grasa fueron la granola (15.52%) y la tortilla de harina de trigo (12.73%), los cuales aún cuando presentan el menor contenido de humedad difieren notoriamente respecto a la tortilla de maíz (0.47%), lo cual puede afectar en su RG (Smith, 1994).

La tortilla de harina de trigo presentó mayor contenido de proteína en base seca (10.44%) a diferencia de la granola y la tortilla de maíz (9.23 y 9.12% respectivamente), lo que probablemente pudo disminuir la RG. Esto debido a que la proteína promueve la secreción de insulina. Además, la proteína forma una red que protege a los HC de la acción de las enzimas glucolíticas (Bornet, *et al.*, 1987).

Cuadro 2. Composición proximal y química de los alimentos, expresado en porcentaje en base húmeda.

	Granola (%)	Tortilla Maíz (%)	Tortilla Harina Trigo (%)
Humedad	3.98	48.93	23.68
Grasa	15.52	0.47	12.73
Ceniza	1.34	0.79	2.14
Proteína	8.86	4.65	7.96
Fibra dietética total	5.16	10.8	2.19
Fibra dietética soluble	1.90	1.41	1.16
Fibra dietética insoluble	3.26	9.39	1.03
Hidratos de carbono*	65.14	34.36	51.3
Índice glucémico teórico	87.1 ^{**}	73.8 ^{***}	42.5 ^{***}

*Hidratos de Carbono= 100-(%humedad+%proteína+%grasa+%cenizas),

** Brand- Miller, *et al.*, 1999.

***Noriega, *et al.* 2000.

Por otro lado la tortilla de maíz presentó mayor contenido de FDT (10.8%). Además 9.39% para FI y 1.41% para FS, es por ello la baja influencia de la FS en la RG por parte de la tortilla de maíz. En contraste, la tortilla de harina de trigo con un contenido de FDT de 2.19% tuvo mayor influencia en la RG, debido al contenido de FS (1.16%).

Respecto al almidón total, la tortilla de harina de trigo presentó mayor contenido (63.37%), seguida por la tortilla de maíz (62.1%) y la granola (44.28%). Sin embargo, el mayor contenido de amilosa lo tuvieron la tortilla de maíz (28.52%) y tortilla de harina de trigo (26.95%) y finalmente la granola

(20.25%) (Cuadro 3). Así, podemos suponer que en este estudio, tanto el contenido de fibra, la cual provoca cambios en la actividad contráctil del intestino delgado (Walton y Rhodes, 1997); como el contenido de amilosa, que puede formar complejos amilosa-lípidos, son factores importantes que pueden ser responsables en parte de la disminución de la RG de la tortilla de harina de trigo respecto a los demás alimentos. El mayor contenido de almidón resistente expresado en base seca fue 1.35, 3.61 y 1.04% para granola, tortilla de maíz y tortilla de harina de trigo respectivamente; lo cual hubiese podido provocar una RG más baja por parte de la tortilla de maíz debido a su resistencia al ataque enzimático. Sin embargo, son quizás el mayor contenido de grasa y proteína en la tortilla de harina de trigo los factores que tuvieron mayor influencia en la respuesta glucémica.

Cuadro 3. Contenido de almidón total, almidón resistente, amilosa y amilopectina de los alimentos evaluados, expresado en porcentaje en base seca.

	Granola (%)	Tortilla Maíz (%)	Tortilla Harina Trigo (%)
Almidón total	44.28	62.1	63.37
Almidón resistente	1.35	3.61	1.04
Amilosa*	20.25	28.52	26.95
Amilopectina*	79.75	71.48	73.05

*Porcentaje del almidón total.

Consumo Máximo de Oxígeno

Con el registro de la frecuencia cardiaca (FC) y la Escala Subjetiva de Borg (Anexo 3) minuto a minuto fue posible estandarizar la FC correspondiente a la intensidad requerida en las dos etapas del estudio (75 y 85% de $VO_2\text{max}$) (Anexo 4).

Se observó una correlación positiva entre el $VO_2\text{max}$ obtenido y la FC registrada. De igual forma se observó una relación directamente proporcional con la percepción subjetiva del esfuerzo de la escala de Borg.

Respuesta Glucémica

En la Figura 5. se muestran la etapa de reposo y la etapa de ejercicio físico de alta intensidad (85% de $VO_2\text{max}$). Como se señaló anteriormente, todos los sujetos se sometieron inicialmente a un período de reducción glucogénica relativa. Inicialmente, los sujetos llegaron al lugar de estudio con una glucemia promedio de 4,58 mmol/L, la cual después de la reducción glucogénica relativa (tiempo=-30min) alcanzó niveles de glucemia de 3,78 mmol/L en promedio. No se observaron diferencias significativas en la glucemia basal entre sujetos. Esto se logró mediante el ayuno al cual se sometieron los deportistas, así como también a la estandarización de la dieta de los mismos, el día previo al estudio. Durante los primeros 15 y 30 minutos de medición basal, se observó un incremento en la respuesta glucémica en los tres alimentos, donde los más altos fueron para la tortilla de maíz y la granola (alimentos de

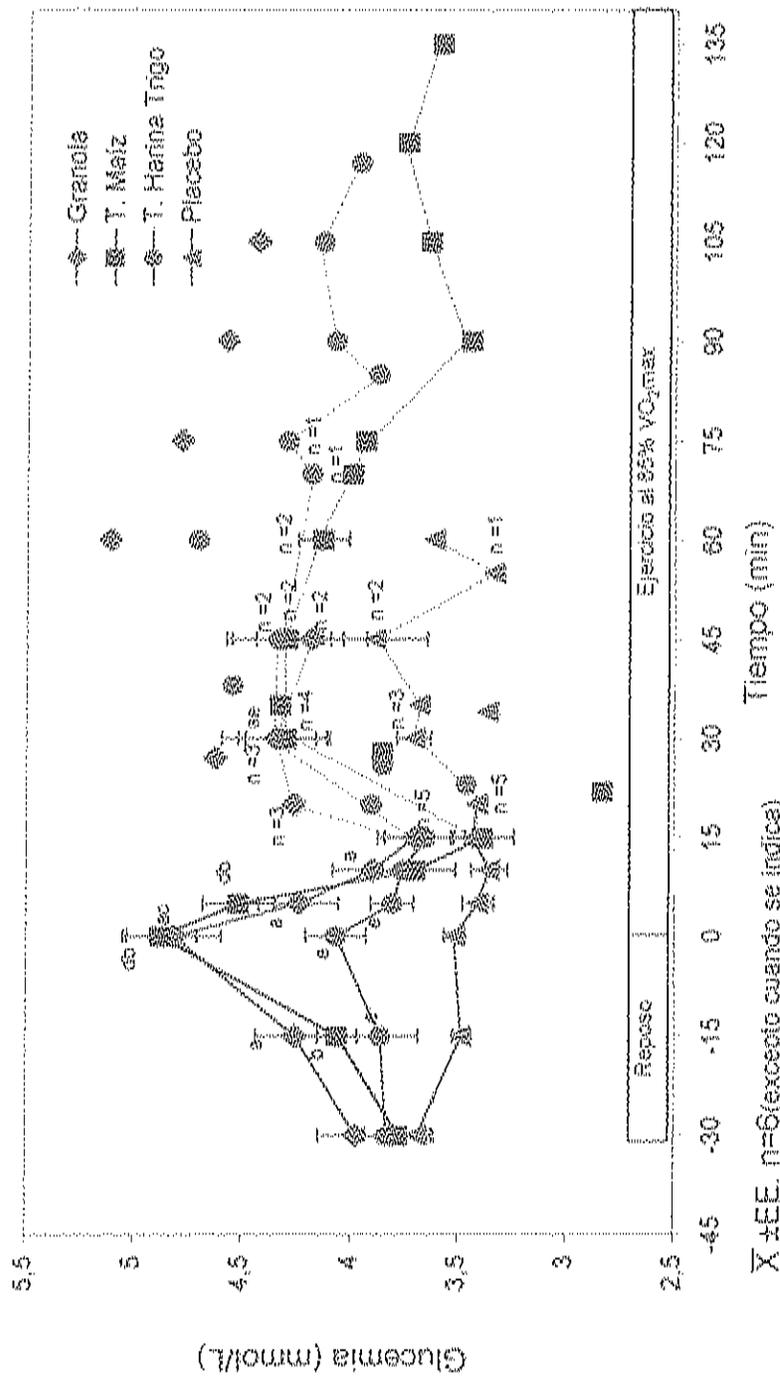


Figura 5. Evolución de la glucemia durante el reposo y el ejercicio de alta intensidad (85%VO₂ max) después de la reducción glucogénica relativa, para diversas fuentes de HC (según leyenda). Literales adyacentes a valores medios indican diferencia significativa: a(granola vs placebo)(p<0.001), b (t. maiz vs placebo)(p<0.001), c (granola vs t. harina trigo)(p<0.003), d(t. maiz vs t.harina trigo)(p<0.003), e (t. harina trigo vs placebo)(p<0.01). n=sujetos que continuaron la prueba en un mismo alimento.

alto IG). Lo anterior, en el caso de la tortilla de maíz coincide con los resultados de Noriega, *et al.* (1999), quienes reportan una RG y una RI más alta cuando se consume tortilla de maíz tanto en atletas como no atletas, con valores más altos para no atletas. La tortilla de harina de trigo también presenta un comportamiento similar, con los valores insulínemicos más bajos cuando se comparan con el resto de los alimentos. De igual forma, Bello (1998) reporta respuestas similares, cuando se desempeña una actividad moderada. En contraste, en el presente estudio, se observó un descenso de la glucemia al consumir la tortilla de maíz ($3.38 \pm 0.15 \text{ mmol/L}$) similar a los valores observados para el placebo en el minuto 15 del ejercicio.

En el minuto 15 de reposo se observó una mayor respuesta glucémica ($p < 0.001$) al consumir la granola ($4.25 \pm 0.18 \text{ mmol/L}$) y la tortilla de maíz ($4.06 \pm 0.09 \text{ mmol/L}$) respecto al placebo ($3.48 \pm 0.04 \text{ mmol/L}$). En el minuto 30 de reposo (tiempo que coincide con el minuto cero de la etapa del ejercicio intenso al 85% de VO_2max) se observó el mayor pico glucémico en la tortilla de maíz ($4.88 \pm 0.17 \text{ mmol/L}$), con una diferencia significativa ($p < 0.001$) respecto al placebo ($3.52 \pm 0.05 \text{ mmol/L}$) y la tortilla de harina de trigo. La granola, presentó mayor respuesta glucémica ($4.81 \pm 0.22 \text{ mmol/L}$) ($p < 0.001$, $p < 0.003$) respecto al placebo ($3.52 \pm 0.05 \text{ mmol/L}$) y la tortilla de harina de trigo ($4.06 \pm 0.14 \text{ mmol/L}$) respectivamente; también, la tortilla de harina de trigo ($4.06 \pm 0.14 \text{ mmol/L}$) fue mayor que el placebo ($3.52 \pm 0.05 \text{ mmol/L}$).

Al minuto 5 del ejercicio, se observó una disminución de la glucemia en todos los alimentos, proporcional a la respuesta mostrada en el minuto 30 de reposo. Esto podría deberse a la aceleración de la glucólisis en respuesta al ejercicio (Hargreaves, *et al.*, 1987). En este tiempo, la tortilla de maíz presentó una respuesta glucémica mayor ($4.51 \pm 0.17 \text{ mmol/L}$) ($p < 0.001$) comparada con la tortilla de harina de trigo ($3.80 \pm 0.10 \text{ mmol/L}$) y el placebo ($3.41 \pm 0.07 \text{ mmol/L}$). De igual forma, la granola fue mayor ($4.24 \pm 0.18 \text{ mmol/L}$) ($p < 0.001$) respecto al placebo ($3.4 \pm 0.07 \text{ mmol/L}$). La tortilla de harina de trigo ($3.80 \pm 0.10 \text{ mmol/L}$) presentó una respuesta glucémica moderada y más alta que el placebo ($3.41 \pm 0.07 \text{ mmol/L}$) ($p < 0.01$). En el minuto 10 de ejercicio, se observaron diferencias significativas entre la granola ($3.90 \pm 0.18 \text{ mmol/L}$) respecto al placebo ($3.35 \pm 0.08 \text{ mmol/L}$) ($p < 0.001$) y la tortilla de harina de trigo ($3.76 \pm 0.09 \text{ mmol/L}$) respecto al placebo ($p < 0.01$).

La rápida disminución observada de la glucemia, seguida por la ingestión de alimentos de alto IG apoya investigaciones previas de Sherman, *et al.* (1991) y Thomas, *et al.* (1991). Sin embargo, el significado funcional de esta disminución aún no es claro. Se ha sugerido, que esta disminución se debe al incremento de la glucogenólisis vía una reducción en el suministro de glucosa al músculo activo (Hargreaves, *et al.*, 1987). Costill, *et al.*, (1977) observaron un aumento en la utilización de glucógeno si al inicio del ejercicio se presenta una disminución en el nivel de glucosa sanguínea menor a 3.5 mmol/L , y

habiéndose ingerido 75 g de glucosa 45 minutos antes del ejercicio, cuando se compara con un control.

En las tomas de muestra, realizadas posterior al minuto 15 del ejercicio, no fue posible realizar comparaciones significativas entre los sujetos, ya que no todos los sujetos superaron los 30 minutos. Sin embargo, en este tiempo, fue notoria la disminución en la respuesta glucémica en todos los alimentos debido probablemente al aumento de la glucólisis en respuesta al esfuerzo físico (Hargreaves, *et al.*, 1987). Esta disminución en la glucemia fue más marcada en los alimentos que presentaron mayor respuesta glucémica en el minuto 30 de reposo (ver Figura 5).

La ingestión de tortilla de harina de trigo (bajo IG) provocó un aumento y caída de la glucosa más gradual, a diferencia de la ingestión de la granola y la tortilla de maíz (los cuales son considerados de alto IG). Coyle, *et al.*, (1986), muestran que el incremento en el rendimiento deportivo, previa ingestión de alimentos de bajo IG, se debe al mantenimiento de un buen nivel de glucemia en las últimas etapas de la actividad física.

Estudios realizados por Crapo, (1977), Horowitz y Coyle, (1993), Thomas, *et al.*, (1991), muestran que los HC "complejos" pueden tener RG diferentes. Los resultados de este estudio apoyan dichos trabajos. Es probable, que las diferencias en las RG entre la granola, la tortilla de maíz y la tortilla de harina de trigo en este estudio, estén relacionadas con el contenido de fibra, además del contenido de amilosa en el alimento.

De la misma manera, De Marco, *et al.*, (1999) reportan un incremento en el rendimiento del ejercicio máximo, cuando los sujetos consumen alimentos de bajo IG, 30 minutos antes del ejercicio comparado a alimentos de alto IG. Estos hallazgos apoyan el consumo de alimentos de bajo IG en atletas que participan en eventos matutinos. Con ello, se promueve la disponibilidad de la glucosa sanguínea exógena vía una fuente energética de lenta liberación que puede suplir los depósitos endógenos en forma adecuada, lo suficiente para mejorar el rendimiento durante el ejercicio intenso.

Los resultados de este estudio muestran que la ingestión de alimentos de bajo IG antes del ejercicio intenso (85% del $VO_2\text{max}$), puede retardar la fatiga en sujetos entrenados. Es importante señalar, que en ninguna de las pruebas se presentó el caso de hipoglucemia, lo cual nos aseguró que la cantidad de HC aportada fue la adecuada.

Respuesta Insulinémica

En la Figura 6 se muestran la etapa de reposo y la etapa de ejercicio físico de alta intensidad. Como se observa, no hubo diferencias significativas en la insulinemia basal entre los sujetos. Durante los primeros 15 minutos de medición basal, la insulinemia comienza a incrementarse con una respuesta

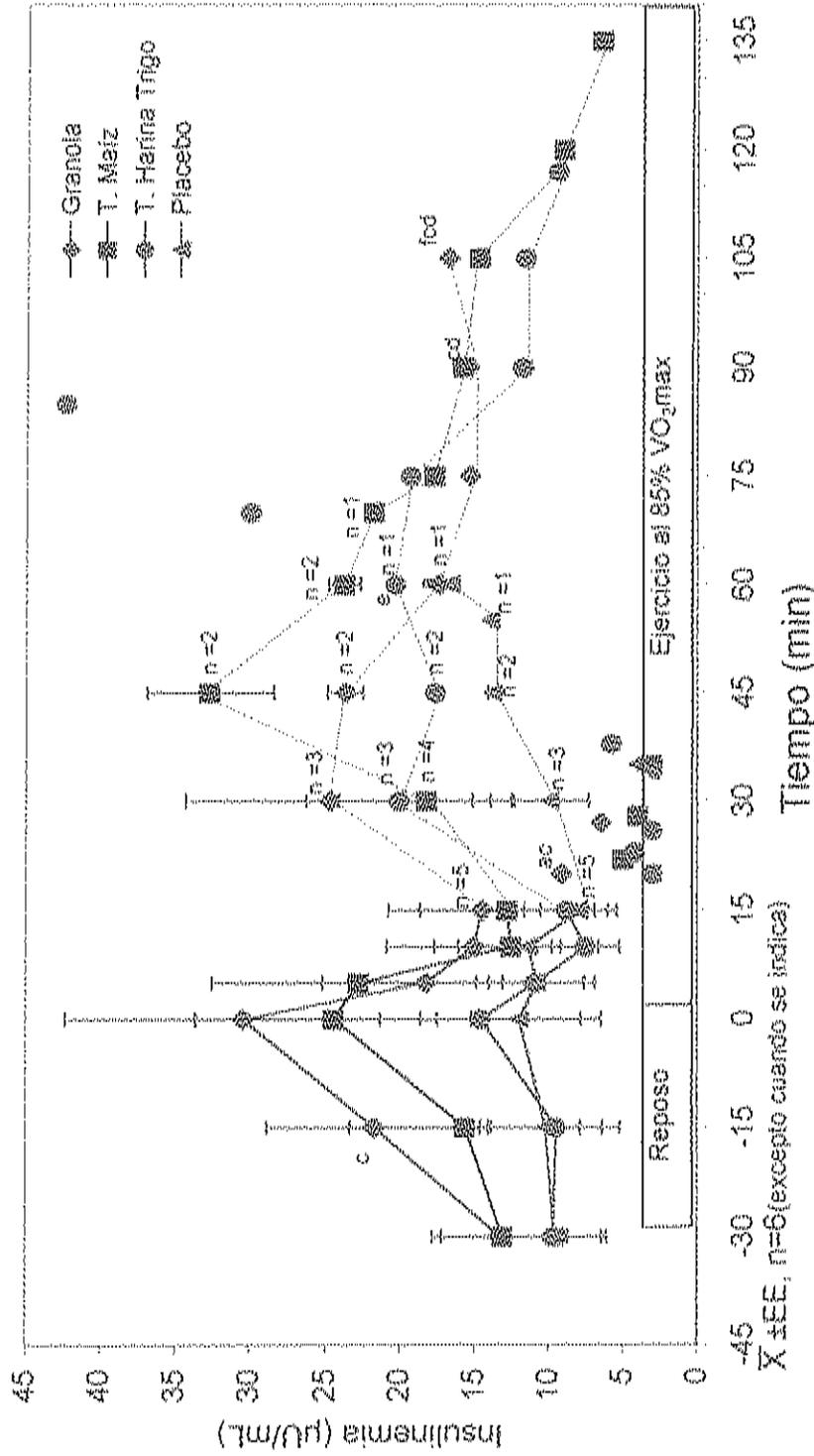


Figura 6. Evolución de la insulinemia durante el reposo y el ejercicio de alta intensidad (85% VO₂max) después de la reducción glucogénica relativa, para diversas fuentes de HC (según leyenda). Literales adyacentes a valores medios indican diferencia significativa: a (granola vs placebo) (p<0.001), c (granola vs t. harina trigo) (p<0.049 y p<0.001), d (t. maíz vs t. harina trigo) (p<0.001), e (t. harina trigo vs placebo) (p<0.001), f (granola vs t. maíz) (p<0.001).

significativamente mayor la respuesta de la granola ($21.71 \pm 7.14 \mu\text{U/mL}$) ($p < 0.049$) respecto a la tortilla de harina de trigo ($9.47 \pm 4.30 \mu\text{U/mL}$). Las concentraciones elevadas de insulina en los alimentos de alto y bajo IG, son responsables de la disminución acelerada del nivel de glucemia durante los primeros 5 minutos (Costill, *et al.*, 1977).

Al minuto 5 del ejercicio, el nivel de insulina disminuyó en los tres alimentos y el placebo, pero no hubo diferencia significativa. Debido al efecto insulinémico (entrada de la glucosa a la célula y reducción en el gasto de glucógeno), se puede explicar la rápida disminución en el nivel de glucemia en estudios similares (Chryssanthopoulos, *et al.*, 1994).

Sin embargo, posterior al minuto 30 de reposo no se observaron diferencias significativas entre los alimentos, aún cuando todos los alimentos presentaron su pico insulinémico en este tiempo: granola ($30.45 \pm 11.90 \mu\text{U/mL}$), tortilla de maíz ($24.39 \pm 9.21 \mu\text{U/mL}$), tortilla de harina de trigo ($14.53 \pm 6.74 \mu\text{U}$) y placebo ($11.94 \pm 5.51 \mu\text{U/mL}$). La respuesta insulinémica se asemeja a la glucémica en este punto. Las diferencias insulinémicas postprandiales de los alimentos ricos en HC pueden ser atribuidas a varios factores, por ejemplo al alto contenido de grasa en la granola (15.52%) y la tortilla de harina de trigo (12.73%), lo cual puede provocar un aumento en la viscosidad de los HC e interferir con la acción enzimática (Bornet, *et al.*, 1997).

A partir del minuto 55 la respuesta insulinémica disminuyó hasta niveles basales. No obstante, en el minuto 60 del ejercicio, se observó diferencia

significativa en la respuesta insulinémica por parte de la tortilla de harina de trigo ($20.26 \pm 0.00 \mu\text{U}/\text{mL}$) ($p < 0.001$) respecto al placebo ($16.52 \pm 0.00 \mu\text{U}/\text{mL}$). De igual forma, en el minuto 60 existe diferencia entre la granola ($17.34 \pm 0.00 \mu\text{U}/\text{mL}$) ($p < 0.001$) y el placebo ($16.52 \pm 0.00 \mu\text{U}/\text{mL}$).

En el minuto 105, se observó una mayor respuesta insulinémica de la granola ($16.69 \pm 0.00 \mu\text{U}/\text{mL}$) ($p < 0.001$) comparado a la tortilla de maíz ($14.62 \pm 0.00 \mu\text{U}/\text{mL}$) y la tortilla de harina de trigo ($10.71 \pm 0.00 \mu\text{U}/\text{mL}$). Es importante señalar que la tortilla de harina de trigo presentó baja respuesta insulinémica durante el desarrollo del ejercicio. Thorburn, *et al.*, (1983) muestran que el arroz con diferente contenido de amilosa provocan RG y RI diferentes, las cuales no se atribuyen únicamente al contenido de amilosa, sino también a la formación de un complejo amilosa:lipido que lo hace resistente a la digestión, como el caso de la tortilla de harina de trigo. Goddard, *et al.* (1984) reportan diferencia significativa en la RG y RI del arroz con diferente contenido de amilosa. Sin embargo, Panlasigui, *et al.* (1991) observan que el contenido de amilosa por sí solo no es un buen predictor de la RG o la digestión del almidón; ya que el arroz con un contenido de amilosa similar, puede diferir en las propiedades fisicoquímicas como la gelatinización y por lo tanto tener efecto en la RG. Estas investigaciones apoyan la hipótesis de que el alto contenido de amilosa está asociado con una RG inicial más baja y una liberación de glucosa e insulina más lenta.

La RI de los alimentos no siempre está relacionada con la composición del alimento, ya que la tortilla de maíz (HC complejos) presenta un comportamiento postprandial similar al de la sucrosa (HC simple) (Horowitz y Coyle, 1993). Como se pudo observar, la ingestión de alimentos con IG bajo mantuvieron una glucemia estable durante más tiempo y provocaron un ahorro en las reservas de glucógeno. Por otro lado, la elevación de insulina por parte de los alimentos con alto IG, pudo haber incrementado el uso de las reservas glucogénicas durante el ejercicio, debido a la disminución de la glucosa plasmática y la disminución en la producción de glucosa hepática. Nuestros datos son apoyados por Kiens y Richter (1996), quienes reportan que la ingestión de HC de bajo IG (lenta absorción) provoca una menor concentración de insulina que cuando se ingieren HC de alto IG (rápida absorción). Esto puede ser debido a que la concentración plasmática de ácidos grasos es mayor cuando los HC son principalmente de lenta absorción.

Como se observó en este estudio, el nivel de insulinemia se incrementó poco antes del ejercicio y el nivel de glucemia disminuyó rápidamente al inicio del ejercicio. Esto sugiere que el consumo de glucosa muscular fue mayor en alimentos de alto IG (como la granola y la tortilla de maíz), de ahí que la disminución de glucemia al minuto 5 haya sido mayor con la tortilla de maíz.

Respuesta Lactacidémica

En la Figura 7 se observa la respuesta lactacidémica de los alimentos, durante la etapa de reposo y la etapa de ejercicio de alta intensidad (85%VO₂max). El incremento en la producción de lactato ocurre en actividades realizadas entre el 50-70% del VO₂max. Sin embargo, aún no está bien establecido el mecanismo por el cual se incrementa la concentración de lactato. La explicación más aceptada es que el músculo activo se encuentra deficiente de oxígeno y por ello parte de su requerimiento energético lo obtiene a través del incremento en la producción de lactato (Katz y Sahlin, 1988).

En el minuto 0 de la etapa de reposo, se observó una mayor respuesta lactacidémica cuando los sujetos consumieron la granola (2.45±0.20mmol/L) al compararse con la tortilla de maíz (2.00±0.11mmol/L) (p<0.04). Esto podría denotar que aún en estado de reposo, la lactacidemia se puede ver afectada por la absorción de HC (Thomas, *et al.*, 1991). Horowitz y Coyle (1993), reportan diferencias en la lactacidemia entre alimentos de IG alto y bajo, demostrando que los alimentos con IG alto presentan valores lactacidémicos significativamente superiores.

En los primeros 15 minutos de medición basal, se observó que la lactacidemia de los tres alimentos tiende a disminuir. En el minuto 30 de reposo, la lactacidemia alcanza nuevamente los niveles iniciales, encontrándose diferencias en la granola (1.85±0.08mmol/L) (p<0.01,0.03) respecto al placebo (1.45±0.09mmol/L) y la tortilla de maíz (1.48±0.15mmol/L). En el minuto 5 del

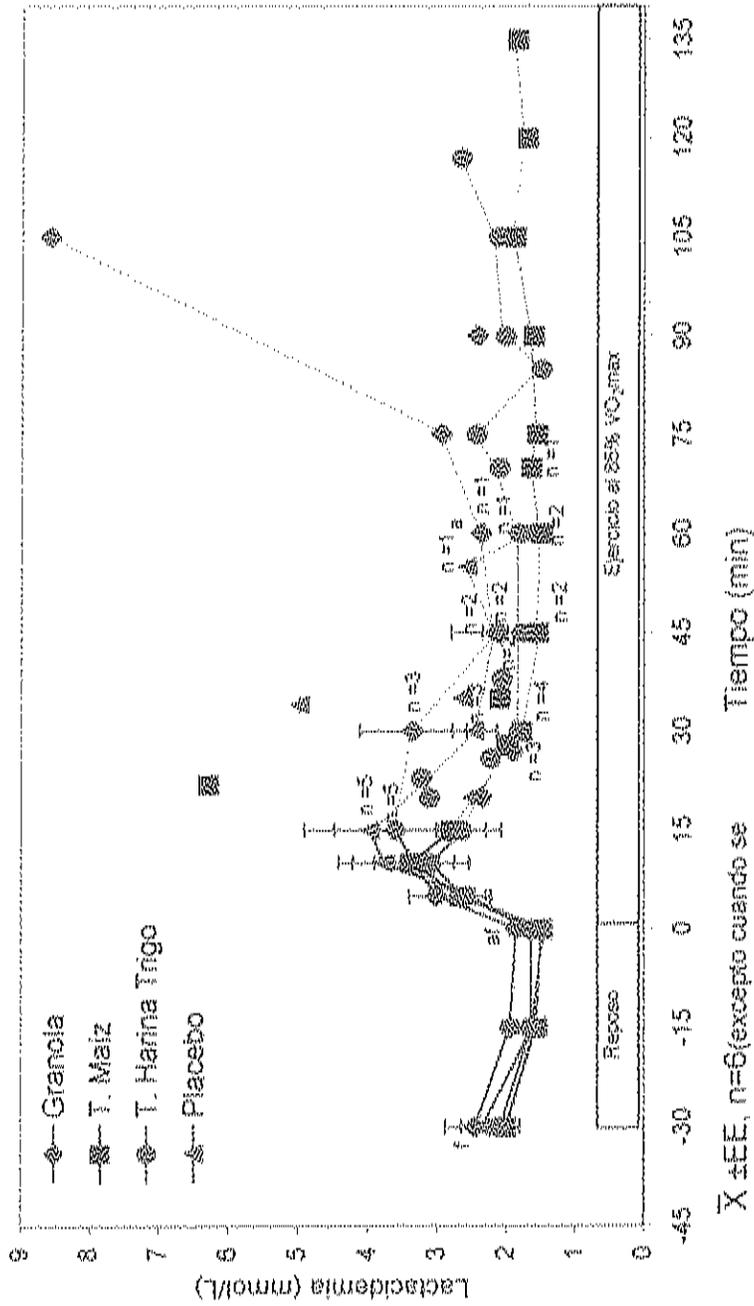


Figura 7. Evolución de la lactacidemia durante el reposo y el ejercicio de alta intensidad (85% VO_{2max}) después de la reducción glucoagénica relativa, para diversas fuentes de HC (según leyenda). Valores superiores a valores medios indican diferencia significativa: $\#$ granoja vs placebo ($p < 0.01$ y $p < 0.001$), \square granoja vs \triangle maiz ($p < 0.04$ y $p < 0.03$).

ejercicio, se incrementó el nivel de lactatos, en todos los casos, mostrando sus picos máximos en el minuto 15 del ejercicio, pero sin superar el umbral de lactatos en ningún caso. El valor más alto lo presentó el placebo ($3.96 \pm 0.95 \text{ mmol/L}$) sin diferencias significativas respecto a los demás alimentos.

En este estudio, ningún sujeto rebasó su umbral de lactacidemia. Se ha sugerido que el umbral de lactato es un reflejo de la adaptación periférica del sujeto al ejercicio de intensidad submáxima (Hagberg, 1984). El aumento en la concentración de lactato está relacionado directamente con la secreción de catecolaminas, las cuales previenen la caída abrupta de la glucemia, estimulando la glucogenólisis hepática, por lo tanto, debe evitarse un incremento lactacidémico con el objeto de retardar la fatiga debido al agotamiento del glucógeno (Smith, 1994).

Después de 15 minutos de ejercicio, no es posible realizar comparaciones entre los diferentes alimentos. Esto es debido a que los sujetos terminaron su ejercicio antes de llegar al minuto 30. A pesar de ello, es notorio como la lactacidemia disminuyó paulatinamente, manteniéndose niveles semejantes a la etapa inicial. Esta disminución en la concentración de lactato, se debe probablemente a que este substrato, en términos de producción de ATP, es de menor importancia respecto a la cantidad de energía que puede generarse, ya que por medio de esta vía no se proporciona energía suficiente para cubrir los requerimientos de un ejercicio de intensidad y duración prolongada (Katz y Sahlin, 1988).

La ingestión de HC antes del ejercicio puede incrementar (Thomas, *et al.*, 1991), o bien no alterar (Sherman, *et al.*, 1991) la concentración de lactato cuando se compara con el placebo. Los datos del presente estudio, coinciden con los resultados de Sherman, *et al.* (1991).

Percepción Subjetiva del Esfuerzo (PSE)

Como se observa en la Figura 8, la PSE se incrementó gradualmente durante el desarrollo del ejercicio, mostrando un valor promedio de 8 (Muy Fuerte) al final de la prueba. No se observaron diferencias significativas en la PSE al ingerir los distintos alimentos.

De la misma manera, en la Figura 8, se puede observar que cuando el sujeto fue alimentado con tortilla de harina de trigo, la PSE disminuyó sus valores (7.67 ± 1.02) durante el desempeño del ejercicio, no obstante, no se presentaron diferencias significativas.

Horowitz y Coyle (1993) no reportan diferencias significativas en la PSE entre alimentos una hora después del ejercicio, lo cual puede deberse a que la percepción del esfuerzo es más aguda a medida que el tiempo de actividad aumenta.

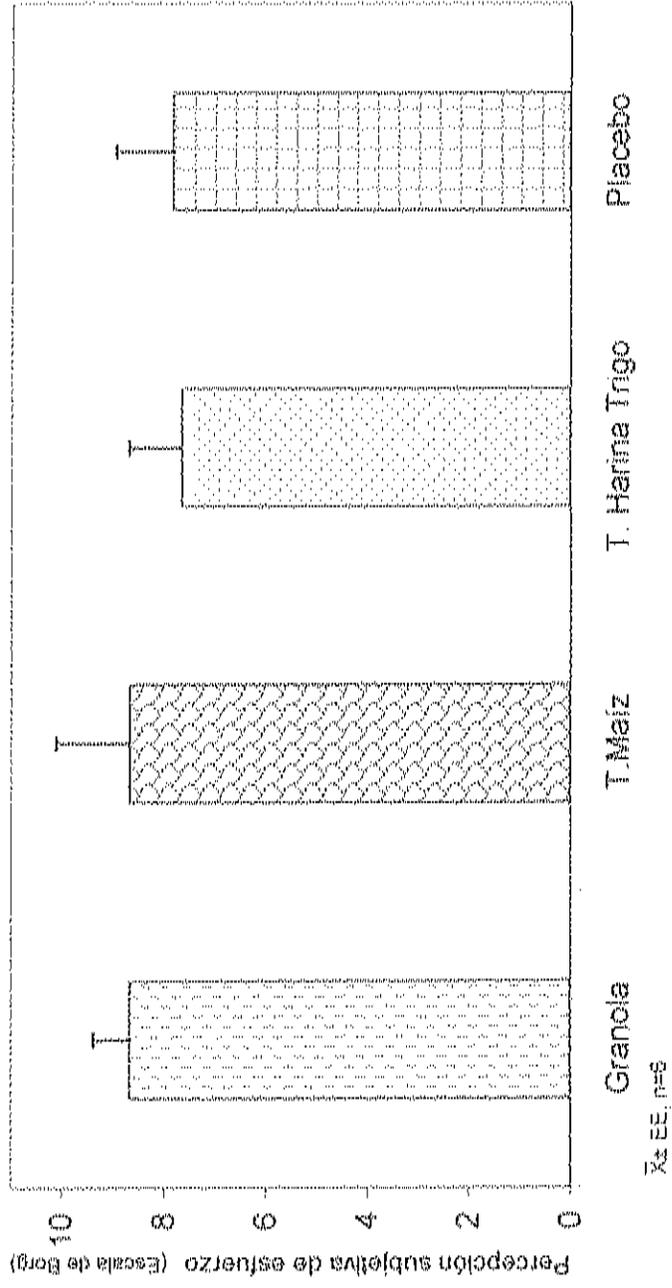


Figura 8. Percepción subjetiva de esfuerzo durante el ejercicio de alta intensidad (85% VO2max), después de la reducción glucogénica relativa, por diversas fuentes de HC

CONCLUSIONES

La tortilla de harina de trigo presentó una respuesta glucémica más baja respecto a la granola y la tortilla de maíz. Con la ingestión de la tortilla de harina de trigo, se observó una glucemia estable durante el ejercicio. De la misma manera la tortilla de harina de trigo presentó los niveles más bajos de insulinemia y lactacidemia, así como de PSE durante la actividad física.

Estos resultados apoyan el consumo de alimentos de bajo IG en atletas, ya que la tortilla de harina de trigo facilita la lenta utilización de glucosa sanguínea exógena, lo cual permite suplir los depósitos de glucógeno en forma adecuada y así mejorar el rendimiento deportivo.

REFERENCIAS

- American Heart Association. Exercise testing and training of apparently healthy individuals: A handbook of physicians. Dallas: Am. Heart Association, 1972.
- Angulo, M.A. Influencia del consumo de dos desayunos de índice glucémico diferente en el rendimiento del deportista. Tesis de Maestría. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Hermosillo, Son. México, 2000.
- AOAC. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 15th edition. Edited by Kenneth Helrich. Arlington, Virginia, U.S.A. Vol. I y II. 1990.
- Asp, N. Nutritional Classification and Analysis of Food Carbohydrates. *Am J. Clin. Nutr.* 59: 679-681.
- Asp, N.G., Van Amelsvoort, J.M.M., Hautvast, J.G.A.J. Nutritional implications of resistant starch. *Nutr. Res. Rev.* 9:1-31. 1996.
- Banauch, et.al. *Z. Klin. Chem. U. Klin. Biochem.* 13:101-107. 1975.
- Beckman Instructions. Glucose Reagent Kit. No. 0671640 Beckman Instrument Inc. Galway, Ireland. 1989
- Bello, E.I. Efecto de la Ingestión de Alimentos con Alto Contenido de Carbohidratos antes de la Realización de un Ejercicio de Intensidad Moderada. Tesis de Maestría. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Hermosillo, Son. Méx. 1998.
- Below, P.R., Mora-Rodríguez, R., González-Alonso, J. and Coyle, E.F. Fluid and carbohydrate ingestion independently improve performance during 1h of intense exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1995. 200-210.
- Bergstrom, J., Hermansen, L., Hultman, E. and Saltin, B. Diet, muscle glycogen and physical performance. *Acta Physiol. Scand.* 1967. 71: 140-150.
- Björck, I, Granfeldt, Y., Tovar, J. and Asp, N.G. Food properties affecting the digestion and absorption of carbohydrates. *Am. J. Clin. Nutr.* 1994; 59 (suppl): 699s-705s.
- Borg, G.A.V. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med. Sci. Sports Exercise.* 1982. 14(5): 377-381.
- Bornet, F. Technological treatment of cereals. Repercussions on physiological properties of starch. *Carbohydrates Polymers.* 1993; 21:195-203.
- Bornet, F., Costagliota, D., Rizkalla, S.W. Blayo, A., Fontvielle, A.M., Haardt, M.J., Letanoux, M., Tchobroutsky, G. and Slama, G. Insulinemic and glycemic indexes of six starch-rich foods taken alone and in a mixed meal by type 2 diabetics. *Am. J. Clin. Nutr.* 1987; 45:588-595.
- Bornet, F.R.J., Billaux, M.S. and Messing, B. Glycaemic index concept and metabolic diseases. *Int. J. Biol. Macromolecules.* 1997; 21:207-219.
- Brand Miller, J., Pang, E. and Bramall, L. Rice: a high or low glycemic index food? *Am. J. Clin. Nutr.* 1992. 56:1034-1036.

- Costill, D.L. Coyle, E., Dalsky, W., Fink, W. and Hoopes, D. Effects of elevated plasma FFA and insulin on muscle glycogen usage during exercise. *J. Appl. Physiol.* 1977. 43: 695-699.
- Coyle, E.F. Substrate utilization during exercise in active people. *Am. J. Clin. Nutr.* 1995. 61 (suppl):968s – 979s.
- Coyle, E.F. Hagber, J.M., Harley, B.F. Martin, W.H., Ehsani, A.A. and Hollozy, J.O. Carbohydrate feeding during prolonged strenuous exercise can delay fatigue. *J. Appl. Physiol.* 1983. 55:230-235.
- Coyle, E.F. and Coggan, A.R. Effectiveness of Carbohydrate Feeding in Delaying Fatigue during Prolonged Exercise. *Sports Med.* 1984. 1:446-458.
- Coyle, E.F., Andrew, R., Coggan, Mari, K., Hemert and Ivy, J.L. Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. *J. Appl. Physiol.* 1986. 61(1): 165 – 172.
- Crapo, P.A. Reaven, G. and Olefsky, J. Postprandial Plasma-glucose and -insulin Responses to Different Complex Carbohydrates. *Diabetes.* 1977. 26:1178-1183.
- DeMarco, H.M. Sucher, K.P. Cisar, C.J. and Butterfield, G.E. Pre-exercise carbohydrate meals: application of glycemic index. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1999. 31(1): 164-170.
- Dill, D.B. Edwards, H.T. and Talbott, J.H. Studies in muscular activity. VII. Factors limiting the capacity for work. *J. Physiol. (London)* 1932. 77:49-62. En : Hawley, J.A., Dennis, S. and Noakes, T.D. Oxidation of Carbohydrate Ingested During Prolonged Endurance Exercise. *Sports Med.* 1992. 14(1):27-42.
- Febbraio, M.A. and Stewart, K.L. CHO feeding before prolonged exercise: effect of glycemic index on muscle glycogenolysis and exercise performance. *J. Appl. Physiol.* 1996; 31: 1115-1120.
- Foster, C., Costill, D.L. and Fink, W.J. Effects of preexercise feedings on endurance performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1979. 11: 1-5.
- Foster-Powell, K. and Brand-Miller, J. International tables of glycemic index. *Am. J. Clin. Nutr.* 1995. 62: 871s-893s.
- Fox, E.L. *Fisiología del Deporte.* Cap. 3. El combustible para el ejercicio. Editorial Médica Panamericana, S.A. Buenos Aires, Argentina. 1984.
- Garrow, J.S. *Obesity and related disease.* Churchill Livingstone. New York. 1988.
- Gibson, T.A., Solah, V., and McCleary, B. A Procedure to Measure Amylose in Cereal Starches and Flours with Concanavalin A. *J. Cereal Sci.* 25: 111-119. 1997.
- Goddard, M.S. Young, G., and Marcus, R. The effect of amylose content on insulin and glucose responses to ingested rice. *Am. J. Clin. Nutr.* 1984. 39:388-392.
- Gordon, B. Kohn, L.A. Levine, S.A., Matton, M. Schriver, et al. Sugar content of the blood in runners following a marathon race. *J. Am. Med. Assoc.* 1925.

- 185:508-509. En: Hawley, J.A., Dennis, S. and Noakes, T.D. Oxidation of Carbohydrate Ingested During Prolonged Endurance Exercise. *Sports Med.* 1992. 14(1):27-42.
- Guyton, C.A. *Physiology of the Human Body*. Cap. 39. *Sports Physiology*. Sixth edition, Saunders College Publishing, Philadelphia, 1984, 691 pp.
- Hagberg, J.M. Physiological implications of the lactate threshold. *Int. J. Sports Med.* 1984. 5 (suppl): 106-109.
- Hargreaves, M and Costill, D.L. Effect of pre-exercise carbohydrate feedings on endurance cycling performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1987. 19(1): 33-36.
- Hargreaves, M., Costill, D.L., Coggan, A., Fink, W.J. and Nishibata, I. Effect of carbohydrate feedings on muscle glycogen utilization and exercise performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1984. 16(3):219-222.
- Hargreaves, M., Costill, D.L., Fink, W.J., King, D.S. and Fielding, R.A. Effect of preexercise CHO feedings on endurance cycling performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1987. 19:33-36.
- Hawley, J.A., Dennis, S. and Noakes, T.D. Oxidation of Carbohydrate Ingested During Prolonged Endurance Exercise. *Sports Med.* 1992. 14(1):27-42.
- Hermansen, L., Hultman, E. and Saltin, B. Muscle glycogen during prolonged severe exercise. *Acta Physiol. Scand.* 1967; 71:129-139
- Horowitz, J.F. and Coyle, E.F. Metabolic responses to preexercise meals containing various carbohydrates and fat. *Am. J. Clin. Nutr.* 1993. 58: 235-241.
- Houtkooper, L. Food selection for endurance sports. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1992. 24: 9(suppl):S349-S359.
- Jandrain, B.J., Pirnay, F., Lacroix, M., Mosora, F. and Schenn. Effect of Osmolality on availability of glucose ingested during prolonged exercise in humans. *J. Appl. Physiol.* 1989.67:76-82.
- Jeliffe, E.F. and Jellife, P. *Community Nutritional Assessment*. Oxford Medical Publications. NY, USA. 1989.
- Jenkins, D.J.A and Wolever, T.M.S. Nibbling versus gorging: Metabolic advantages of increased meal frequency. *N. Engl. J. Med.* 1989: 321-324. In: Bornet, F.R.J., Billaux, M.S. and Messing, B. Glycaemic index concept and metabolic diseases. *Int. J. Biol. Macromolecules.* 1997; 21:207-219.
- Jenkins, D.J.A., Wolever, T.M.S., Taylor, R.H., Barker, H., Fielden, H. Baldwin, J.M. Bowling, A.C., Newman, H.C. Jenkins, A.L. and Goff, D.V. Glycemic index of foods: a physical basis for carbohydrate exchange. *Am. J. Clin. Nutr.* 1981. 34:362-366.
- Jenkins, D.J.A., Wolever, T.M.S., Jenkins, A.L., Thorne, M.J., Lee, R., Kalmusky, J. Reichert, R., and Wong, G.S. The Glycemic Index of Food Tested in Diabetic Patients: A New Basis for Carbohydrate Exchange Favouring the Use of Legumes. *Diabetologia.* 1983. 24:257-264.
- Jordan, J.R. *Desarrollo Humano en Cuba*. Ministerio de Cultura. Editorial Científico Técnica. La Habana, Cuba. 1984.

- Katz, A and Sahlin, K. Regulation of lactate acid production during exercise. *J. Appl. Physiol.* 1988. 65(2): 509-518.
- Kiens, B. and Richter, E.A. Types of carbohydrate in a ordinary diet affect insulin action and muscle substrates in humans. *Am J. Clin. Nutr.* 1996. 63:47-53.
- Kirwan, J.P., O'gorman, D. and Evans, W.J. A moderate glycemic meal before endurance exercise can enhance performance. *J. Appl. Physiol.* 1998. 84(1):53-59.
- Koivisto, V. Harkonen, M., Karonen, S.L. Groop, P.H. Elovaino, R. Ferrannini, E. Sacca, L. and DeFronzo, R. Glycogen depletion during prolonged exercise: influence of glucose, fructose or placebo. *J. Appl. Physiol.* 1985. 58: 731-737.
- Konopka, P. La Alimentación del Deportista. Deportes Técnicas. Ediciones La Roca, S.A.México. 1988.
- Latge, C., Thouvenot, P. and Kedzierewicz, F. The influence of lipid loading on gastric emptying and glycemia. *Am. J. Clin. Nutr.* 1994, 59 (suppl):182s.
- Leclere, C., Champ, M., Boillot, J., Guille, G., Lecannu, G., Molis, C., Bornet, F., Krempf, M., Delort-Lavat, J and Galmiche, J.P. Viscous guar gums lower glycemic responses after a solid meal: mode of action. *Am. J. Clin. Nutr.* 1994. 59:914-921.
- Levine, S.A., Gordon, B. and Derick, C.L. Some changes in the chemical constituents of the blood following a marathon race. *J. Am. Med. Assoc.* 1924. 82:1778-1779. En : Hawley, J.A., Dennis, S. and Noakes, T.D. Oxidation of Carbohydrate Ingested During Prolonged Endurance Exercise. *Sports Med.* 1992. 14(1):27-42.
- Mathews, C.K. and Van Holde, K.E. Biochemistry. 2nd ed. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. Menlo Park. C.A. 1996.
- McCleary, B. V. , Gibson, T.S., Mugford, D.C. Measurement of Total Starch in Cereal Products by Amiloglucosidase- α - Amylase Method. *JOAC.* 30: 571-579. 1997.
- McLester, J.R. Muscle contraction and fatigue. The role of Adenosine 5'-Diphosphate and inorganic phosphate. *Sports Med.* 1997. 23(5):287-305.
- Megazyme. Kit Amylose/Amylopectin Assay Kit and Total Starch. Method 996.11 (AOAC). Megazyme International Ireland Ltd. Bray Business Park, Bray, Co. Wicklow. Ireland. 1996.
- NCSS. 6.02.21. Statistical system for Windows. Number Cruncher. Statistical system, Kaysville, Utah. 1996.
- Newsholme, E.A. and Leech, A.R. Biochemistry for Medical Sciences. Metabolism in exercise. Cap. 9. John Wiley and Sons. Great Britain. 1988.
- Noriega, E., Castro, H., And Villarreal, J. Glycemic and Insulinemic Responses of High Complex Carbohydrate Foods in Adolescent Athletes and Non-

- Athletes. 4th Annual Congress of the European College of Sport Science. Rome, Italy. 1999.
- Noriega, E., Rivera, L. and Peralta, E. Glycaemic and Insulinaemic Indices of Mexican Foods High in Complex Carbohydrates. *Diab. Nutr. Metab.* 2000. 13(1):13-19.
- O'Dea, K., Nestel, P.J. and Antonoff, L. Physical factors influencing postprandial glucose and insuline responses to starch. *Am. J. Clin. Nutr.* 1980; 33:760-5.
- Panlasigui, L.N., Thompson, L.U. Juliano, B.O., Pérez, C.M., Yiu, S.H. and Greenberg, G.R. Rice varieties with similar amylose content differ in starch digestibility and glycemic response in humans. *Am. J. Clin. Nutr.* 1991; 54:871-877.
- Parkin, J.A., Carey, M.F., Martin, I.K., Stojanovska, L. and Febbraio, M.A. Muscle glycogen storage following prolonged exercise: effect of timing of ingestion of high glycemic index food. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1997. 29(2):220-224.
- Rasmussen, O. Day to day variation of the glycemic response in subjects with insulin-dependent diabetes with standardized premeal blood glucose and prandial insulin concentrations. *Am. J. Clin. Nutr.* 1993; 57:908-911.
- Saltin, B. and Astrand, P.O. Maximal Oxygen uptake in athletes. *J. Appl. Physiol.* 1967. 23:353-358.
- Schabort, E.J., Bosch, A.N. Wellan, S.M. and Noakes, T.D. The Effect of a Preexercise meal on time to fatigue during prolonged cycling exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1999. 31(3): 464-471.
- Shi, X. And Gisolfi, C. Fluid and carbohydrate Replacement During Intermittent Exercise. *Sports Med.* 1988, 25(3): 157-172.
- Shively, C.A., Apgar, L.L. and Tarka, S.M. Postprandial glucose and insulin responses to various snacks of equivalent carbohydrate content in normal subjects. *Am. J. Clin. Nutr.* 1986; 43: 335-342.
- Sherman, W.M. Metabolism of sugars and physical performance. *Am. J. Clin. Nutr.* 1995. 62 (suppl): 228s – 241s.
- Sherman, W.M. and Lamb, D.R. Nutrition and prolonged exercise. In: *Perspectives in Exercise Science and Sports Medicine.* Lamb, D.R. and Murray, R. Vol I. Prolonged Exercise. Edited by A. Pyke. Benchmark Press, Inc. Indianapolis, Indiana. 1988.
- Sherman, W.M., Brodowicz, G., Wright, D.A., Allen, W.K. Simonsen, J. and Dernback, A. Effects of 4 h preexercise carbohydrate feedings on cycle performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1989. 21:598-604.
- Sherman, W.M., Peden, M.C. and Wriqth, D.A. Carbohydrate feedings 1 h before exercise improves cycling performance. *Am. J. Clin. Nutr.* 1991. 54: 866-870.
- SIGMA DIAGNOSTICS. Lactato procedimiento. No. 735. England. Sigma Chemical Company. San Louis MO. USA. 1994.

- Slama, G., Jean-Joseph, P., Goicolea, I., Elgrably, F., Haardt, M.J., Costagliola, D., Bornet, F. and Tchobroutsky, G. Sucrose taken during a mixed meal has no additional hyperglycaemic action over isocaloric amounts of starch in well controlled diabetics. *Lancet*. 1984; 11:122-125.
- Smith, U. Carbohydrates, fat and insulin action. *Am J. Clin. Nutr.* 1994; 59:747-756.
- Sparks, M., Selig, S.S. and Febbraio, M. Pre-exercise carbohydrate ingestion: effect of the glycemic index on endurance exercise performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1998. 30(6):844-849.
- Stryer, L. *Biochemistry*. Chapter 30 Integration of Metabolism. 4th Edition. Stanford University. W.H. Freeman and Company, N.Y. 1664 pp.
- Thomas, D.E., Brotherhood, J.R. and Brand, J. D. Carbohydrate feeding before exercise: effect of Glycemic Index. *Int. J. Sports Med.* 1991. 12 (2): 180-186.
- Thomas, D.E., Brotherhood, J.R. and Miller, J.B. Plasma glucosa levels after prolonged strenuous exercise correlate inversely with glycemic response to food consumed before exercise. *Int. J. Sport. Nutr.* 1994; 4:361-373.
- Thompson, L.U. Yoon, J.U., Jenkins, D.J.A., Wolever, T.M.S. and Jenkins, A.L. Relationship between polyphenol intake and blood glucose response of normal and diabetic individuals. *Am. J. Clin. Nutr.* 1984; 39:7456-751.
- Thorburn, A.W., Brand, J.C. and Truswell, A.S. Slowly digested and absorbed carbohydrate in traditional bush foods: a particular factor against diabetes?. *Am. J. Clin. Nutr.* 1983; 38: 481-488.
- Valeriani, A. The Need for Carbohydrate Intake During Endurance Exercise. *Sports Med.* 1991. 12(6):349-358.
- Walton, P. and Rhodes, E. Glycaemic Index and Optimal Performance. *Sports Med.* 1997. 23(3):164-172.
- Wee, S.L., Williams, C. Gay, S. Horabin, J. Influence of high and low glycemic index meals on endurance running capacity. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1999. 31(3): 393-399.
- Wickham, S.J. *Human Nutrition. A Self-Instructional Text*. Cap. 3. Carbohydrates. Prentice-Hall Publishing and Communications Company. U.S.A. 1982. 397 pp.
- Williams, C. *Diet and Sports Performance*. Oxford Textbook of Sports Med. Edited by: Marck Harries, Clyde Williams, William D. Stanish and Lyle J. Micheli. Oxford University Press. Oxford Medical Publications. Oxford. 1994.
- Wolever, T.M.S. Relationship between dietary fibre and composition of foods and the glycemic index. *Am. J. Clin. Nutr.* 1990; 51: 72-5.
- Wolever, T.M.S., Vuksan, V., and Eshuis H. Effect of method of administration of psyllium on glycaemic response and carbohydrate digestibility. *J. Am. Coll. Nutr.* 1991, 10:364-371.

Wright, D.A. Sherman, W.M. and Dernbach, A.R. Carbohydrate feedings before, during or in combination improve cycling endurance performance. *Am. J. Physiol. Society.* 1991. 1082 – 1088.

ANEXOS

Forma de Consentimiento Posterior a la Información

Hermosillo, Sonora a ____ de _____ de _____

Por medio de la presente yo _____
_____ hago constar que participaré en forma voluntaria, en un estudio realizado con el fin de determinar la influencia del consumo de diferentes alimentos con alto contenido de hidratos de carbono en el rendimiento del deportista. El objetivo de dicho estudio es identificar los alimentos de mayor consumo regional que le ayuden al deportista a tener mejores resultados con menor esfuerzo.

Estoy enterado que en el estudio se valorará la composición corporal, la tensión arterial (TA), la intensidad del esfuerzo, así como la determinación de la glucemia, insulinemia y lactacidemia. Así mismo estoy enterado del tipo de análisis y del tiempo necesario para probar los alimentos regionales propuestos. De la misma manera se me ha informado que los exámenes a practicar no representan riesgo para mi salud.

El estudio se llevará a cabo por personal profesional de la Dirección de Nutrición del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.

Nombre y firma del participante: _____

Nombre y firma del Padre o Tutor: _____

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN ALIMENTACIÓN Y DESARROLLO, A.C.

NOMBRE _____ FECHA _____
FECHA DE NAC. _____ EDAD: _____ SEXO _____

SIGNOS VITALES:

T/AR: _____ FCR: _____
T/AF: _____ FCMAX: _____
TALLA: _____ FCF: _____
PESO: _____ PESO C/ Z I: _____ PESO T: _____
HORAS DE AYUNO _____ HORAS SUEÑO _____
BEBIDAS O ALIMENTOS CONSUMIDOS EN EL TRANCURSO DE LA
NOCHE: _____

CANTIDAD DE AGUA CONSUMIDA AL FINAL: _____

ESTADO GENERAL DE SALUD:

SEMANA: _____
15 DIAS: _____
MES: _____
6 MESES: _____
AÑO: _____

ESTADO FÍSICO:

OBSERVACIONES: _____

NOMBRE: _____

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN ALIMENTACIÓN Y DESARROLLO, A.C.

PAR-Q & YOU*

Physical Activity Readiness Questionnaire

*British Columbus Ministry of Health May, 1976

NOMBRE: _____

SI

NO

PADECE USTED ALGUN PROBLEMA CARDIACO? _____

TIENE DOLOR EN EL PRECHO FRECUENTEMENTE? _____

PADECE USTED SEVEROS MAREOS O DESMAYOS? _____

PADECE PRESIÓN ARTERIAL ELEVADA? _____

TIENE ALGÚN PROBLEMA ÓSEO O ARTICULAR QUE
PUEDA EMPEORAR CON LA PRÁCTICA DEL EJERCICIO _____

HAY ALGUNA RAZÓN FÍSICA NO MENCIONADA POR LA
CUAL USTED NO DEBA SEGUIR UN PROGRAMA DE
EJERCICIOS AUNQUE LO DESEE? _____

CUAL: _____

ESTÁ ACOSTUMBRADO A EJERCICIOS VIGOROSOS? _____

PADECE COLESTEROL? _____

QUÉ ENFERMEDADES PADECE CON MÁS FRECUENCIA: _____

SEMANA: _____

MES: _____

6 MESES: _____ AÑOS: _____

HA ESTADO HOSPITALIZADO? _____

RAZÓN: _____

SE HA REALIZADO ELECTROCARDIOGRAMA? _____

LLENADO CAPILAR: POSITIVO () NEGATIVO ()

QUÉ MÉDICO VISITA CON MAYOR FRECUENCIA? _____

SE HA REALIZADO ALGÚN ANÁLISIS? _____

BAÑO: _____

MOLESTIA O DIFICULTAD EN ALGUNA REGIÓN DEL CUERPO AL REALIZAR UN
EJERCICIO (ESCALA 0-10): _____

Escala de Borg

0	Nada
0.5	Muy muy poco
1	Muy poco
2	Poco
3	Poco moderado
4	Poco fuerte
5	Fuerte
6	
7	Muy fuerte
8	
9	
10	Demasiado fuerte

*Máximo

Borg G.A., 1982

Obtención del VO₂max

Sujeto del sexo masculino de 66 kg pedaleó hasta el minuto 8 (250 W o 1527.5 kg*m/min) de la prueba sosteniendo el ritmo requerido (50 rpm):

Componente de Resistencia (Comp. Res) = (Trabajo en kg*m/min) (2 ml/kg) = (1527.5)(2) = 3055 ml/min

Componente en Reposo (Comp. Rep) = (1 MET) (peso corporal) = (3.5 ml*kg/min) (66 kg) = 231 ml/min.

VO₂absoluto=Comp. Res + Comp. Rep = 3055ml/min + 231 ml/min = 3286 ml/min(1/1000ml)=3.286 l/min.

VO₂ relativo = VO₂ abs / Peso corporal = 3286 ml/min/ 66 kg = 49.78 ml*kg/min

VO₂max

Fecha:

Nombre : Manuel de Jesús García Santana

Edad: 15

Peso C.: 66

GRAFICA

Tiempo (min)	kg*m/min	W	FC	Comp. Resp.	Comp.Rep.	VO ₂ abs. (mL*kg/min)	VO ₂ rel. (ml*kg/min)	VO ₂ rel	FC
2	611	100	114	1222	231	1453	22.02	22.02	114
4	916.5	150	137	1833	231	2064	31.27	31.27	137
6	1222	200	164	2444	231	2675	40.53	40.53	164
8	1527.5	250	185	3055	231	3286	49.79	49.79	185
10	1833	300							

r = 0.99

	50%	60%	70%	75%	80%	85%	90%
X=	24.89	29.87	34.85	37.34	39.83	42.32	44.81
FC=	124.46	137.37	150.28	156.73	163.19	169.64	176.09

