

Sección: Artículos originales

Nutrición y desarrollo de la capacidad física

Julio César Reina, M.D.¹, G.B. Spurr, Ph.D.²

RESUMEN

Al referirse a la capacidad de trabajo físico de una población del tercer mundo, donde la incidencia de desnutrición es alta, se debe tener en cuenta el estado nutricional de los individuos. Por lo general en estas poblaciones, hay porcentajes más o menos altos de adultos económicamente activos comprometidos en trabajo físico moderado o pesado. La productividad de algunas de estas ocupaciones tiene relación directa con la capacidad de trabajo físico del individuo. Además, esta capacidad depende del estado nutricional, de tal manera que el grado de desnutrición puede disminuir de modo significativo la capacidad de trabajo, en su gran mayoría por una disminución en la masa muscular. Como consecuencia, la productividad del adulto desnutrido estaría disminuida en las ocupaciones que requieran un trabajo físico moderado o pesado. Durante el crecimiento de niños escolares, aun la desnutrición crónica marginal tiene como consecuencia retrasos en el crecimiento, en el desarrollo sexual, en la aceleración del crecimiento en la adolescencia y una disminución de la capacidad de trabajo físico determinado por medio del VO_2 max (l/min). La reducción en el VO_2 max parece que se debe a un menor tamaño corporal (menor masa corporal) de los niños comprometidos. Los resultados indican que estos niños cuando sean adultos, producirán menos en las ocupaciones que requieran trabajo físico; también sugieren la necesidad de intervenir a fin de proporcionar una nutrición adecuada para este segmento económicamente importante de la población.

La gran mayoría de la población que habita el trópico la constituyen países del tercer mundo. Berg¹ publica una lista de 39 países, cuyas poblaciones tiene déficits significantes en la ingesta calórica, 30 de ellos están localizados en el trópico. En ellos, a pesar de que se está introduciendo la mecanización y la automatiza-

ción, la mayoría de la producción económica depende del trabajo físico manual. De acuerdo con los datos publicados por las Naciones Unidas², es posible calcular para 6 países latinoamericanos, que 54% de la población económicamente activa, desempeña labores que implican un trabajo físico moderado o pesado (agricultura, minería, construcción, etc) (Cuadro 1).

Cuadro 1
Porcentaje de Población Económicamente Activa de 6 Países Latinoamericanos que Desempeña Labores de Trabajo Físico, Moderado-Pesado.

País	Hombres	Mujeres
Honduras	75.1	7.5
Guatemala	70.5	7.1
Ecuador	58.7	13.0
Brasil	57.9	20.7
Costa Rica	52.7	4.3
Venezuela	33.9	3.6

El déficit crónico de energía es la mayor deficiencia nutricional existente, y afecta por lo menos a la mitad de la población infantil del mundo. Se calcula³ que el número de personas con desnutrición crónica en el mundo varía de 1 en 4 a 1 en 8. La gran variabilidad de estos valores refleja la dificultad para determinar la prevalencia de la desnutrición, pero aun si se considera el valor más bajo, se muestra la magnitud del problema.

En los niños se ha estimado que la prevalencia de la desnutrición severa oscila entre 1% y 3% de la población. Bengoa & Donoso⁴ concluyeron que estas cifras pueden ser 10 veces mayores cuando se consideran formas menos severas de déficit nutricional. La proporción de niños sometidos a periodos cortos o largos de desnutrición suficientes para producir una disminución en el crecimiento normal, es sin duda mucho más alta en los países del tercer mundo. Con base en la falla en el crecimiento, se ha calculado que 80% a 90% de los niños preescolares en las áreas más pobres del mundo, están desnutridos⁵. Este trabajo discutirá algunos de los efectos que produce la desnutrición crónica marginal durante el crecimiento, en el desarrollo de la capacidad física y sus implicaciones

1. Profesor Titular, Departamento de Pediatría, Facultad de Salud, Universidad del Valle, Cali, Colombia.
2. Profesor de Fisiología, Medical College of Wisconsin, Milwaukee, USA.

en la productividad durante la vida adulta.

Es necesario revisar en primer lugar, brevemente, la influencia de la desnutrición crónica en la capacidad de trabajo en el adulto y su relación con la productividad. Se definirán además los efectos de la deprivación nutricional en el crecimiento del niño y en el desarrollo de la capacidad para realizar un trabajo físico (capacidad de trabajo entendida en términos fisiológicos), en niños escolares de 6 a 16 años de edad, como futuros miembros de la fuerza laboral del país.

Existen pocos estudios en la literatura que muestran la relación del estado nutricional, la capacidad de trabajo físico medida con el consumo máximo de oxígeno (VO_2 mx) y la productividad. El VO_2 max ha sido reconocido como un estándar de referencia internacional del estado cardiorrespiratorio de una persona. El VO_2 max es la medida del gasto máximo de energía por el proceso aeróbico de los músculos comprometidos en un trabajo físico. Es también, la medida de la capacidad funcional del sistema circulatorio, pues hay una relación directa entre el VO_2 max y el gasto cardíaco. Indirectamente, es la medida de la capacidad de un individuo para sostener una determinada carga de trabajo⁶. Varios factores influyen el VO_2 max: dotación genética, edad, sexo, entrenamiento y estado nutricional, entre otros.

Este artículo sintetiza algunos estudios hechos en Cali. Diversos investigadores en otras partes del mundo han contribuido en forma importante al conocimiento de este problema, como Viteri et al.⁷ en Guatemala, Davies⁸ en Africa y Satyanarayana et al⁹ en la India. Debido a su naturaleza, casi todos los informes en la literatura son los resultados de observaciones en hombres.

MÉTODOS Y RESULTADOS

Algunos adultos que vivían en el área rural cerca a Cali, con diferentes grados de desnutrición, se clasificaron de acuerdo con la relación peso/talla, la concentración de albúmina sérica y el índice de la relación de excreción diaria de creatinina en orina por talla, según aparece en el Cuadro 2. Para incluir a cada sujeto en la investigación se le hizo una historia clínica completa, electrocardiograma, radiografía de tórax, hemograma, parcial de orina y coprológico. Si no se encontraba ninguna enfermedad, excepto el compromiso nutricional, anemia o parasitismo, el sujeto era apto para ser incluido en el estudio.

El diseño mismo del trabajo y las intervenciones en este grupo de sujetos, se describirán más adelante. La

Cuadro 2
Criterios de Selección, Promedios y Desviación Estándar de Hombres Adultos con Desnutrición Leve, Moderada y Severa

Grupo nutricional	Peso/talla kg/m	Albúmina sérica (g/dl)	U. creatinina/talla (mg/d/m)
Leve (n=11)	> 32 33.3 ± 2.1	> 35 3.5 ± 0.5	> 600 660 ± 67
Moderada (n=18)	29-32 30.8 ± 2.0	2.5-3.5 3.0 ± 0.7	450-600 559 ± 75
Severa (n=18)	< 29 27.4 ± 2.1	< 2.5 2.1 ± 0.5	< 450 391 ± 76

composición corporal, se determinó con base en el agua total medida con agua marcada con tritium mediante un contador de centelleo líquido (Packard, modelo 2110). El espacio del líquido extracelular se determinó con la inyección endovenosa de tiocianato de sodio, y se midió en el laboratorio por espectrofotometría, en un ultrafiltrado de plasma libre de proteínas. Todos los cálculos se hicieron con base en muestras de sangre tomadas dos horas después de la administración del marcador.

En el estudio de los corteros de caña de azúcar, se incluyeron 46 sujetos seleccionados de la nómina de un ingenio azucarero cercano a Cali, con base en su productividad establecida y en el ausentismo mínimo, factores que indirectamente servían para descartar la presencia de enfermedades crónicas. Puesto que su salario depende del monto total de toneladas métricas cortadas por día, los registros eran muy precisos. Los datos de productividad de cada sujeto se obtuvieron de estos registros según el promedio del peso de caña cortada por día, durante los 3 meses que duró la recolección de los datos. El costo energético de cortar caña se determinó en cada sujeto en el campo, al medir el VO_2 max y la ventilación (VE) con el respirómetro de Kofrany-Michaelis (K-M), calibrado de acuerdo con el método descrito por Consolazio¹⁰. Otros detalles de la metodología en este estudio siguieron los expuestos en Spurr et al.¹¹

En los niños, los estudios se realizaron en escolares de la ciudad de Cali y en 3 comunidades rurales cercanas a Cali. Tanto a los profesores como a los padres de familia se les dio una explicación amplia de las características del trabajo y se obtuvo un consentimiento firmado para cada uno de los niños. Todos los estudios se llevaron a cabo en un laboratorio móvil con aire acondicionado, que iba a las diferentes comunidades y barrios donde se efectuaban los estudios. El peso se midió en una balanza Homs con ± 25 g de

sensibilidad y los sujetos con un mínimo de ropas. La talla se consiguió mediante un estadiómetro, con los talones contra la pared y la cabeza en el plano de Frankfurt. Todas las medidas antropométricas las tomaron sólo 2 personas previamente entrenadas.

En 53% de los casos se pudo obtener una segunda medida de peso y talla entre 6 y 12 meses después de la primera. Las curvas de velocidad de crecimiento en peso y talla se calcularon de acuerdo con lo descrito por Tanner¹². El VO_2 max se midió en los niños con la técnica del circuito abierto y el método modificado de la "banda sin fin" descrito por Balke & Ware¹³, como se describió en detalle en el artículo de Spurr et al.¹⁴

Estudio en adultos. La Figura 1 muestra los 3 grupos de agricultores adultos con desnutrición crónica, en quienes se compararon los valores promedio de algunas medidas antropométricas, albúmina sérica, proteínas totales, hemoglobina y hematócrito. El grupo control (C) lo conformaban trabajadores con nutrición normal, del área rural de Cali. Los otros grupos los conformaron sujetos con grados variables de desnutrición: leve (L), moderada (M) y severa (S), según su relación peso/talla (P/T), concentración de albúmina sérica (A) y la excreción diaria de creatinina. Las líneas sólidas conectan puntos entre los que hay diferencias estadísticamente significantes, las líneas interrumpidas unen puntos entre los cuales no hay diferencias significantes. Se puede observar que el peso y la relación P/T son cada vez menores, de modo progresivo en los grupos con deprivación nutricional, como lo fueron los valores de albúmina sérica y proteínas totales. En el caso de la hemoglobina y el hematócrito, no hubo diferencias significantes entre el grupo control y el grupo con desnutrición leve, pero sí se encontró una disminución seria y significativa en estos parámetros en los grupos con desnutrición moderada y severa.

Los sujetos con desnutrición severa se internaron en la Unidad Metabólica del Hospital Universitario del Valle por un período promedio de 124 días. Los primeros 45 días se consideraron como período de base durante el cual los sujetos en estudio recibieron una ingesta calórica adecuada para las condiciones sedentarias de la unidad metabólica (2,240 kcal/día) y se mantuvo la misma ingesta proteica que tenían en la casa (27 g/día). Se obtuvieron datos de capacidad física al comienzo del estudio y al final del período basal. La ingesta proteica entonces se elevó a 100 g/día durante un período de 79 días, pero se mantuvo la dieta isocalórica. Se hicieron medidas repetidas de VO_2 max a los 90 y 124 días de hospitalización. En la Figura 1 es posible observar un aumento gradual de los parámetros que

indican una mejoría en el estado nutricional.

La Figura 2 muestra los resultados de la frecuencia cardíaca máxima, la capacidad aeróbica máxima y el VO_2 max (l/min) medidos directamente en la banda sin fin tanto en los sujetos controles como en los desnutridos. No hubo diferencias significantes entre los grupos con respecto a la frecuencia cardíaca promedio. Los agricultores con estado nutricional normal mostraron los valores más altos de VO_2 max en términos de l/min como lo muestra el panel inferior de la Figura 2, pero en los grupos con deprivación nutricional se vio una disminución progresiva y marcada hasta el grupo con desnutrición severa donde se notaron los valores más bajos, escasamente por encima de 1 l/min. Durante el período de repleción proteica hubo, sin embargo, un aumento progresivo y significativo del VO_2 max ($p < 0.001$), aunque no alcanzó a los niveles del grupo con desnutrición moderada, durante el período de estudio.

En la parte inferior de la misma Figura 2, se aprecia en teoría, una carga de trabajo submáximo de 750 ml/min en términos de VO_2 max para cada uno de los grupos. Para el grupo control esto representó sólo 27% del VO_2 max, mientras que para el grupo con desnutrición severa representó 72% del VO_2 max. Como conclusión se puede decir que la desnutrición crónica produce una disminución marcada en el VO_2 max y que el grado de esta reducción se relaciona con el grado de desnutrición.

En la Figura 3 aparecen los resultados de VO_2 max en relación con la composición corporal de los 3 grupos de sujetos desnutridos y para los severamente desnutridos durante la repleción proteica. No fue posible realizar estudios de composición corporal en el grupo control. El rasgo notable de la Figura está en la parte inferior que muestra que más de 80% de las diferencias en VO_2 max entre los grupos con desnutrición leve y severa se aprecian por diferencias en la masa corporal magra. Casi 20% de las diferencias restantes se podrían deber a una reducción en la capacidad de aporte y/o utilización de oxígeno por la célula muscular, por un descenso en la concentración de hemoglobina (Figura 1), o por una disminución en el gasto cardíaco.

Varios investigadores^{15,16} han encontrado cambios en el músculo cardíaco en deficiencias nutricionales que podrían disminuir la fuerza de contracción y por consiguientes el volumen minuto. Sin embargo, no existe ningún informe relacionado con desnutrición y gasto cardíaco. Otra posibilidad es que las células del músculo esquelético tengan un poder oxidativo máximo reducido debido a una disminución de las enzimas oxidativas, como ha sido demostrado en animales de

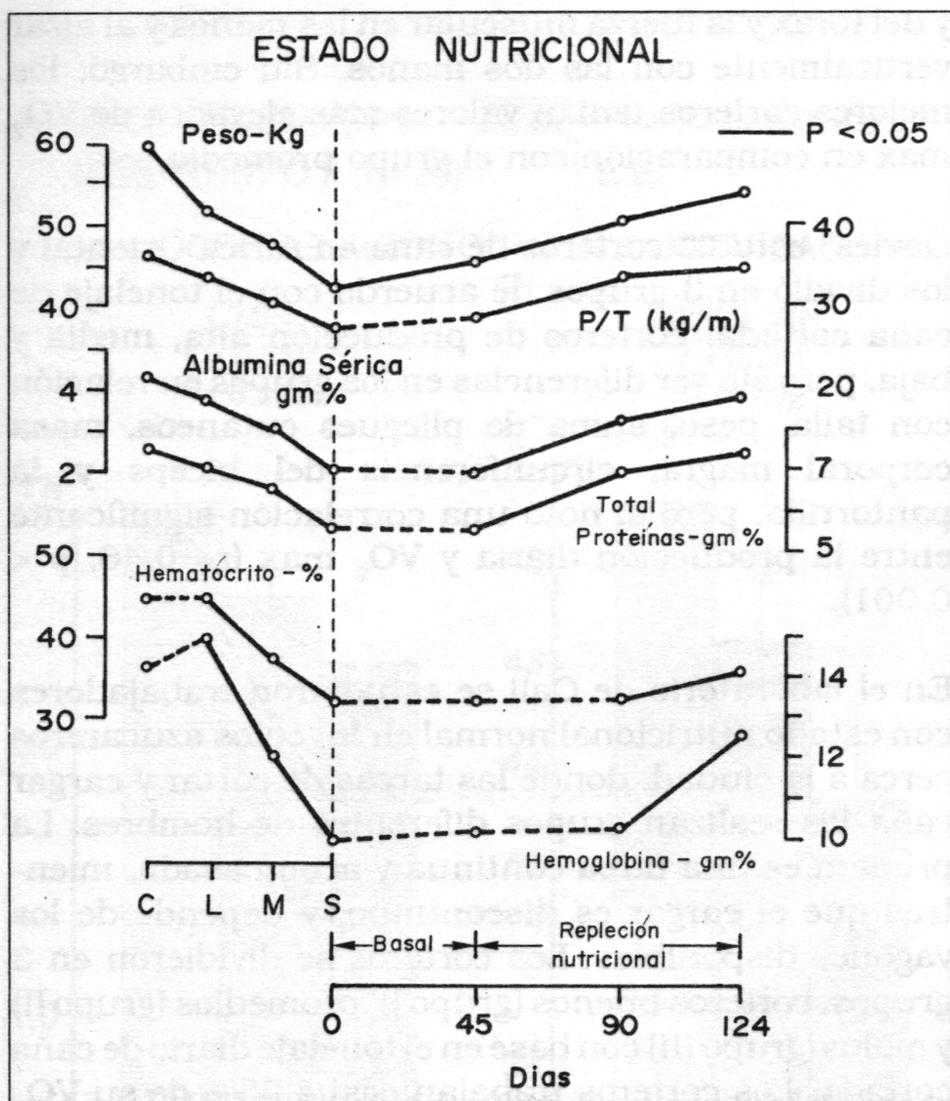


Figura 1. Valores promedio de algunas variables antropométricas en sujetos con estado nutricional normal (C), con desnutrición leve (L), moderada (M) y severa (S). En este último grupo durante el período de repleción proteica. Las líneas sólidas unen puntos de significancia estadística.

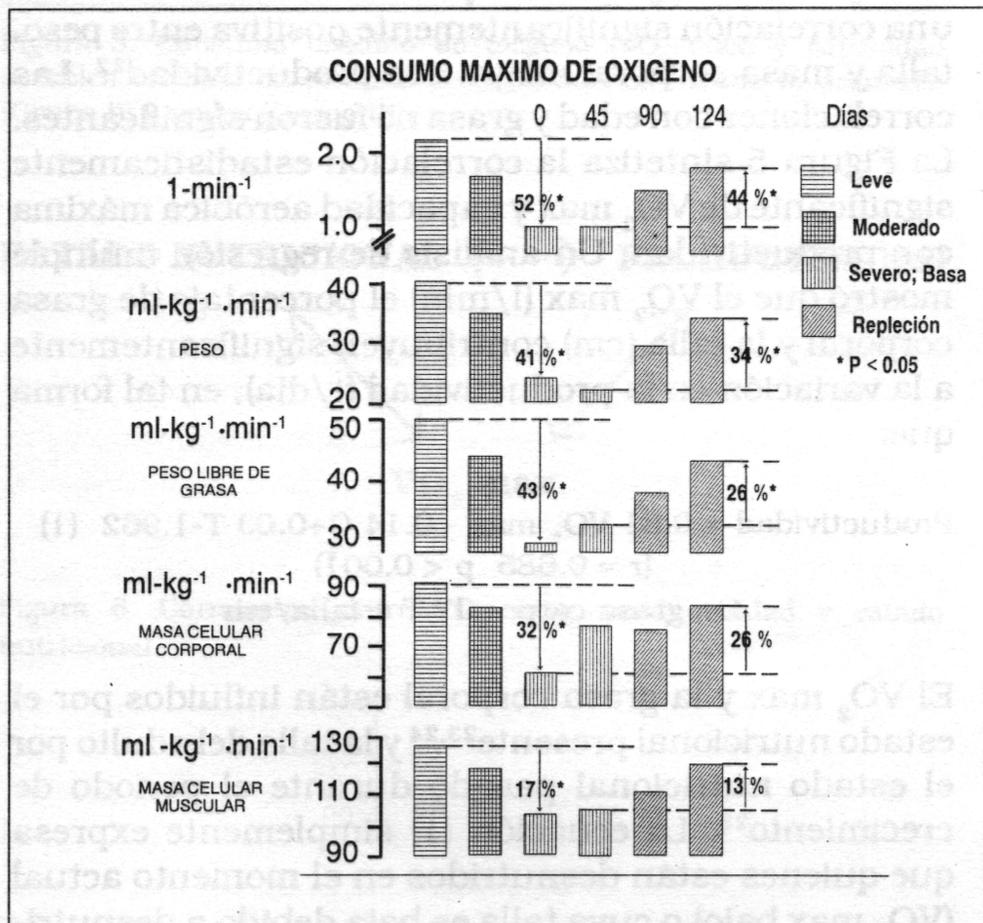


Figura 3. Consumo máximo de oxígeno (VO₂ max) expresado en términos de varios compartimientos en sujetos desnutridos y durante repleción nutricional en los sujetos desnutridos severos.

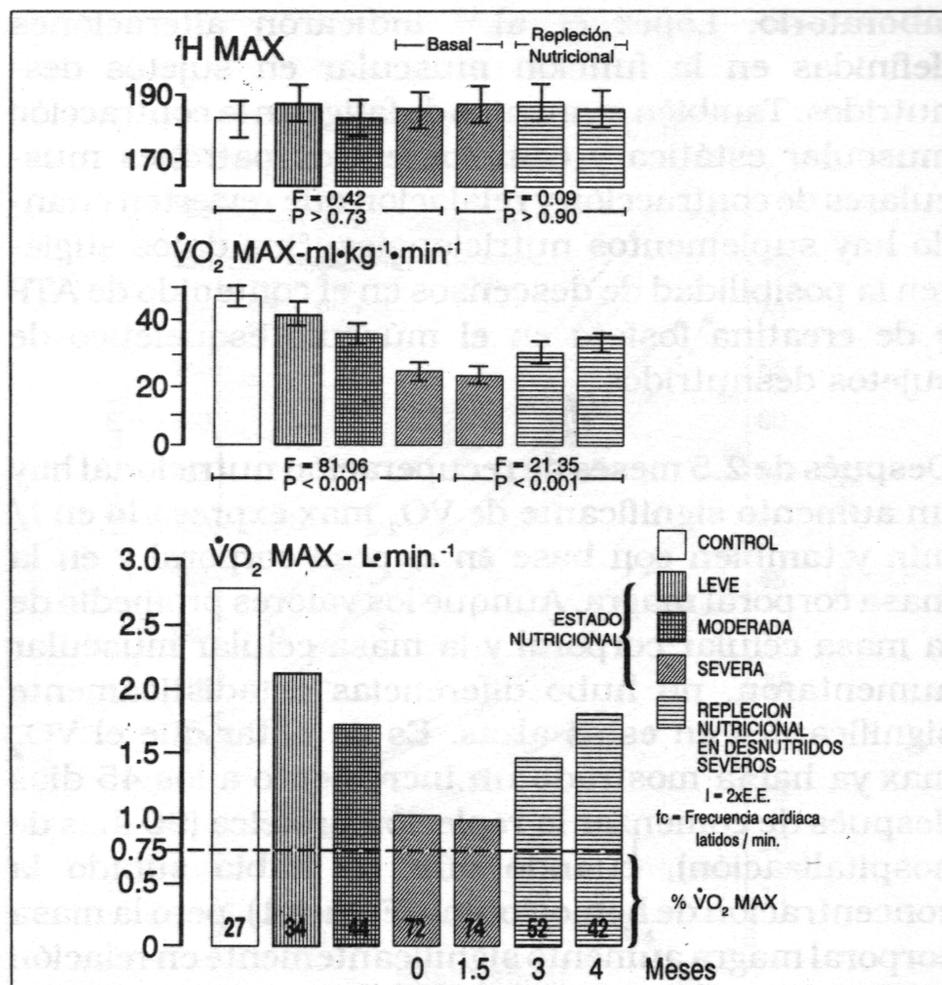


Figura 2. Frecuencia cardíaca máxima, capacidad aeróbica y VO₂ max en los sujetos control, los desnutridos y en los sujetos con desnutrición severa después de repleción nutricional. El panel inferior muestra una carga submáxima de trabajo (0.75 l/min) en términos de VO₂ max.

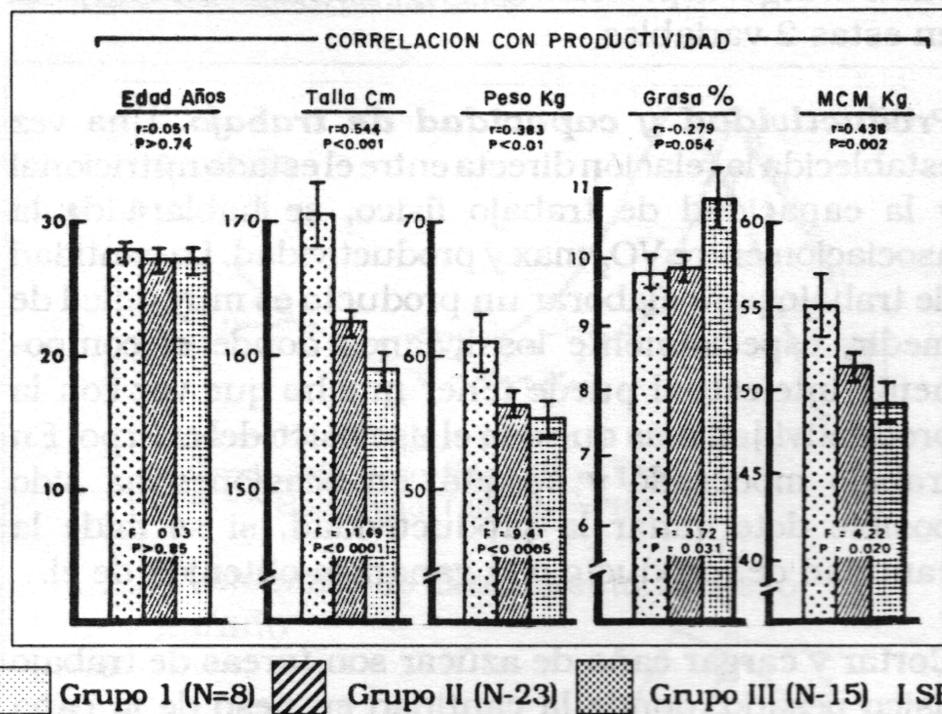


Figura 4. Características físicas de los 3 grupos de corteros de caña de azúcar. Grupo I: buenos; Grupo II: promedio y Grupo III: malos y su relación con productividad.

laboratorio. López et al.¹⁷ indicaron alteraciones definidas en la función muscular en sujetos desnutridos. También aumentos de fatiga en la contracción muscular estática y cambios en los patrones musculares de contracción y relajación que revierten cuando hay suplementos nutricionales. Sus datos sugieren la posibilidad de descensos en el contenido de ATP y de creatina fosfato en el músculo esquelético de sujetos desnutridos.

Después de 2.5 meses de recuperación nutricional hay un aumento significativo de VO_2 max expresado en l/min y también con base en el peso corporal y en la masa corporal magra. Aunque los valores promedio de la masa celular corporal y la masa celular muscular aumentaron, no hubo diferencias estadísticamente significantes en esas alzas. Es de notar que el VO_2 max ya había mostrado un incremento a los 45 días después de comenzar la repleción proteica (90 días de hospitalización), cuando aún no había subido la concentración de hemoglobina (Figura 1), pero la masa corporal magra aumentó significativamente en relación con los valores basales¹⁸. Además, parece que por sí sola la suplementación adecuada de calorías no es suficiente para producir un incremento en el VO_2 max o en la masa corporal magra y que apenas después de subir la ingesta proteica a 100 g/día hubo una mejoría en estas 2 variables.

Productividad y capacidad de trabajo. Una vez establecida la relación directa entre el estado nutricional y la capacidad de trabajo físico, se hablará de la asociación entre VO_2 max y productividad. La cantidad de trabajo para elaborar un producto es muy difícil de medir, especialmente los livianos donde el componente intelectual puede tener mucho que ver con la productividad más que con el uso físico del cuerpo. En trabajo moderado y pesado, en ocasiones ha sido posible determinar la productividad, si se mide la cantidad del producto o la ganancia obtenida de él.

Cortar y cargar caña de azúcar son tareas de trabajo físico pesado, donde la cantidad en peso de la caña cortada y cargada se determina cuidadosamente, pues los trabajadores ganan su salario con base en el tonelaje de caña cortada. Debido a que la escala de pagos en las plantaciones de caña es muy baja, se podría esperar que el factor motivación sería similar en los diferentes grupos de trabajadores y que trabajarían muy cerca a los límites de su capacidad física.

Hansson¹⁹ midió trabajo submáximo y determinó VO_2 max en un grupo excelente y otro promedio de corteros de árboles. No hubo diferencias entre ambos grupos en parámetros como talla, peso, circunferencia del brazo

y del tórax y la fuerza muscular en las manos y al alzar verticalmente con las dos manos. Sin embargo, los mejores corteros tenían valores más elevados de VO_2 max en comparación con el grupo promedio.

Davies⁸ estudió corteros de caña en Africa Oriental y los dividió en 3 grupos de acuerdo con el tonelaje de caña cortada: corteros de producción alta, media y baja, pero sin ver diferencias en los grupos en relación con talla, peso, suma de pliegues cutáneos, masa corporal magra, circunferencia del bíceps y la pantorrilla, pero sí notó una correlación significativa entre la producción diaria y VO_2 max ($r = 0.46$; $p < 0.001$).

En el laboratorio de Cali se estudiaron trabajadores con estado nutricional normal en ingenios azucareros cerca a la ciudad, donde las tareas de cortar y cargar caña las realizan grupos diferentes de hombres. La primera es una tarea continua y acompañada, mientras que el cargar es discontinuo, y depende de los vagones disponibles. Los corteros se dividieron en 3 grupos, corteros buenos (grupo I), promedios (grupo II) y malos (grupo III) con base en el tonelaje diario de caña cortada. Los corteros trabajan casi a 35% de su VO_2 max durante las 8 horas del día¹¹, que es cercano al máximo que se puede soportar en este periodo^{20,21}.

La Figura 4 muestra la correlación de varios parámetros antropométricos y edad con productividad. Se encontró una correlación significativamente positiva entre peso, talla y masa corporal magra con productividad²². Las correlaciones con edad y grasa no fueron significantes. La Figura 5 sintetiza la correlación estadísticamente significativa de VO_2 max y capacidad aeróbica máxima con productividad. Un análisis de regresión múltiple mostró que el VO_2 max (l/min) el porcentaje de grasa corporal y la talla (cm) contribuyen significativamente a la variación en la productividad (t/día), en tal forma que:

$$\text{Productividad} = 0.81 \text{ } VO_2 \text{ max} - 0.14 \text{ G} + 0.03 \text{ T} - 1.962 \quad (1)$$

$$(r = 0.685 \quad p < 0.001)$$

G = grasa corporal T = talla/cm

El VO_2 max y la grasa corporal están influidos por el estado nutricional presente^{23,24} y la talla del adulto por el estado nutricional pasado durante el periodo de crecimiento²⁵. La ecuación (1) simplemente expresa que quienes están desnutridos en el momento actual (VO_2 max bajo) o cuya talla es baja debido a desnutrición pasada, están en desventaja en términos de capacidad para producir en el corte de la caña de azúcar. El coeficiente negativo para la proporción de grasa corporal señala que hay una cierta ventaja en un

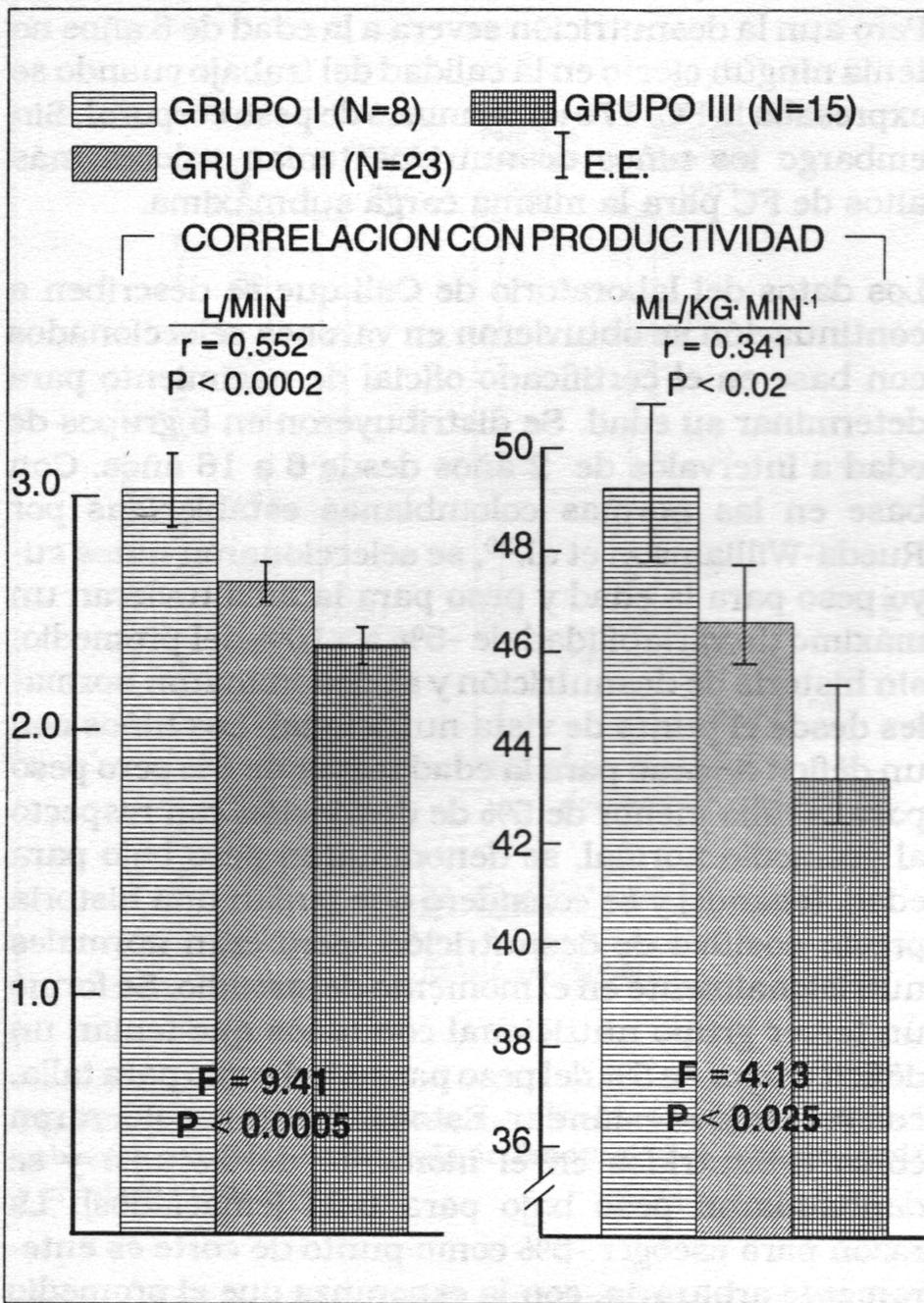


Figura 5. Consumo máximo de oxígeno (VO₂ max) y capacidad aeróbica máxima en corteros de caña buenos (Grupo I), promedio (Grupo II) y malos (Grupo III).

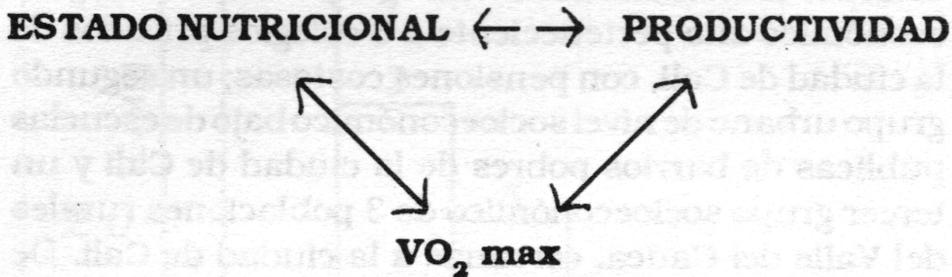


Figura 6. Correlación entre VO₂ max, productividad y estado nutricional.

Figura 8. Velocidad de crecimiento promedio de peso y talla de los niños con estado nutricional normal y los dos grupos de niños con deprivación nutricional con déficit de P/E y P/T.

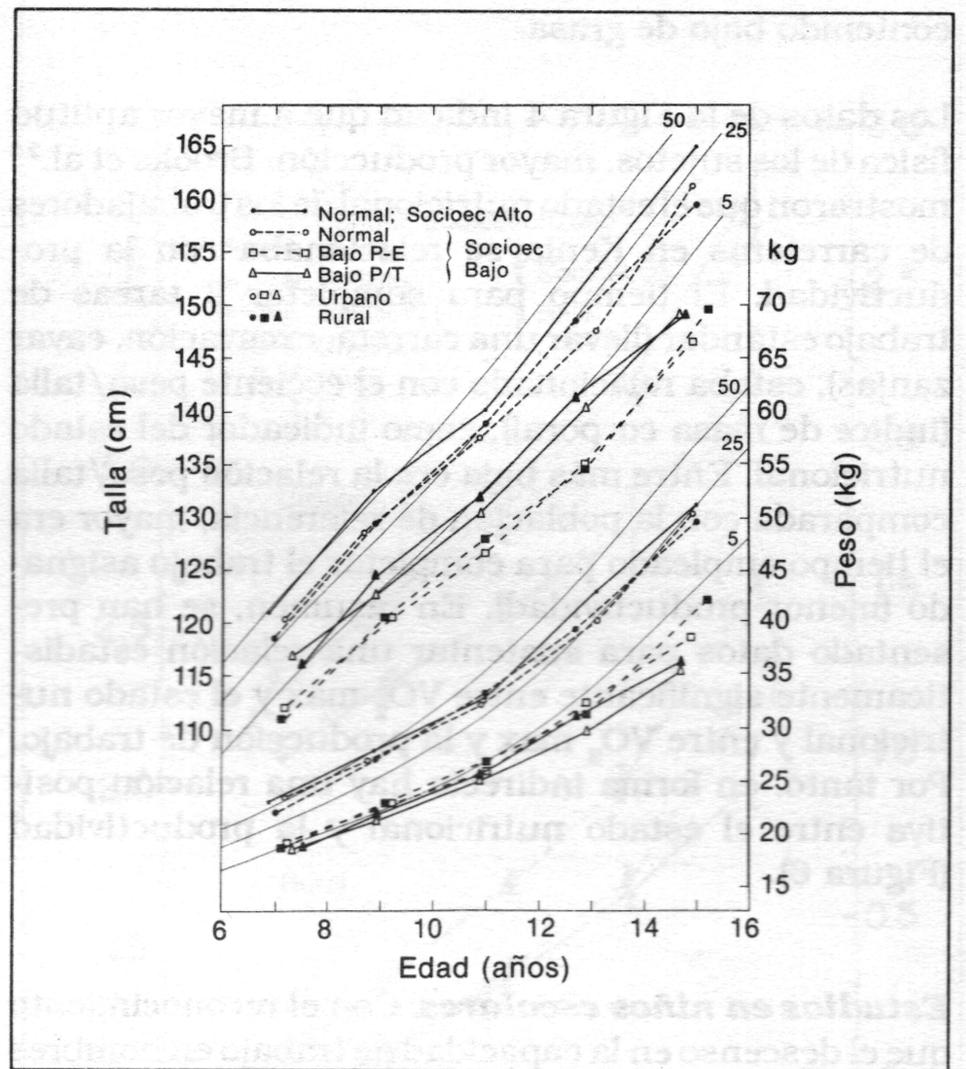
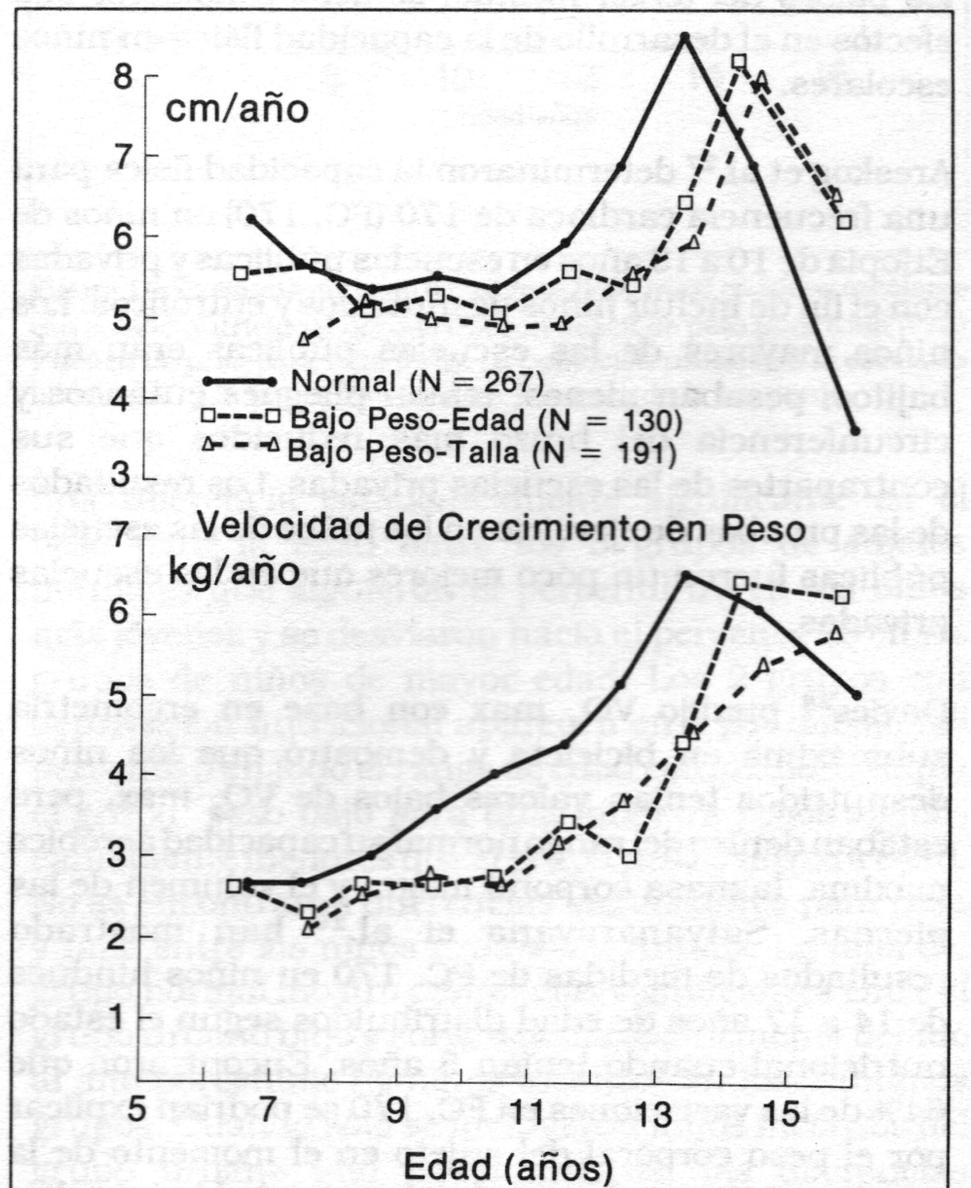


Figura 7. Valores promedio de peso y talla comparados con la población de referencia de los Estados Unidos: percentiles del Centro Nacional de Estadística para la Salud.



contenido bajo de grasa.

Los datos de la Figura 4 indican que a mayor aptitud física de los sujetos, mayor producción. Brooks et al.²⁶ mostraron que el estado nutricional de los trabajadores de carreteras en Kenia se relacionaba con la productividad. El tiempo para completar 3 tareas de trabajo estándar (llevar una carreta, excavación, cavar zanjas), estaba relacionado con el cociente peso/talla (índice de masa corporal), como indicador del estado nutricional. Entre más baja era la relación peso/talla comparada con la población de referencia, mayor era el tiempo empleado para completar el trabajo asignado (menor productividad). En resumen, se han presentado datos para sustentar una relación estadísticamente significativa entre VO_2 max y el estado nutricional y entre VO_2 max y la producción de trabajo. Por tanto, en forma indirecta hay una relación positiva entre el estado nutricional y la productividad (Figura 6).

Estudios en niños escolares. Con el reconocimiento que el descenso en la capacidad de trabajo en hombres adultos desnutridos se debe en su gran mayoría a una reducción en la masa muscular y como la desnutrición crónica marginal prevalece en los segmentos pobres de los países del tercer mundo, se debe considerar sus efectos en el desarrollo de la capacidad física en niños escolares.

Areskog et al.²⁷ determinaron la capacidad física para una frecuencia cardíaca de 170 (FC, 170) en niños de Etiopía de 10 a 13 años en escuelas públicas y privadas con el fin de incluir niños desnutridos y eutróficos. Los niños mayores de las escuelas públicas eran más bajitos, pesaban menos, tenían pliegues cutáneos y circunferencia del brazo más reducidos que sus contrapartes de las escuelas privadas. Los resultados de las pruebas de ejercicio en los niños de las escuelas públicas fueron un poco mejores que en las escuelas privadas.

Davies²⁸ predijo VO_2 max con base en ergometría submáxima en bicicleta y demostró que los niños desnutridos tenían valores bajos de VO_2 max, pero estaban dentro del rango normal su capacidad aeróbica máxima, la masa corporal magra y el volumen de las piernas. Satyanarayana et al.²⁹ han mostrado resultados de medidas de FC, 170 en niños hindúes de 14 a 17 años de edad distribuidos según el estado nutricional cuando tenían 5 años. Encontraron que 64% de las variaciones en FC, 170 se podrían explicar por el peso corporal del sujeto en el momento de la prueba y 10% por los niveles de actividad habituales.

Pero aun la desnutrición severa a la edad de 5 años no tenía ningún efecto en la calidad del trabajo cuando se expresaba la FC, 170 en términos de peso corporal. Sin embargo los niños desnutridos tenían valores más altos de FC para la misma carga submáxima.

Los datos del laboratorio de Cali que se describen a continuación se obtuvieron en varones seleccionados con base en el certificado oficial de nacimiento para determinar su edad. Se distribuyeron en 5 grupos de edad a intervalos de 2 años desde 6 a 16 años. Con base en las normas colombianas establecidas por Rueda-Williamson et al.³⁰, se seleccionaron niños cuyo peso para la edad y peso para la talla tuvieran un máximo de variabilidad de -5% a +10% del promedio, sin historia de desnutrición y se denominaron normales desde el punto de vista nutricional. Los niños con un déficit de peso para la edad mayor de 5% pero peso para la talla menor de 5% de desviación con respecto al promedio normal, se denominaron peso bajo para edad (enanos) y se consideró que tenían una historia previa positiva de desnutrición, pero eran normales nutricionalmente en el momento del estudio. Se formó un tercer grupo nutricional con niños que tenían un déficit mayor de 5% del peso para edad como para talla, con respecto al estándar. Estos niños se consideraron como desnutridos en el momento del estudio y se denominaron peso bajo para talla (emaciados). La razón para escoger -5% como punto de corte es enteramente arbitraria, con la esperanza que el promedio de los grupos estaría considerablemente por debajo de este punto.

Los niños también se seleccionaron con base en su estatus socioeconómico: un grupo urbano socioeconómico alto perteneciente a 3 colegios privados de la ciudad de Cali, con pensiones costosas; un segundo grupo urbano de nivel socioeconómico bajo de escuelas públicas de barrios pobres de la ciudad de Cali y un tercer grupo socioeconómico de 3 poblaciones rurales del Valle del Cauca, cercanas a la ciudad de Cali. De acuerdo con lo anterior, cada uno de los grupos socioeconómicos bajos tiene 3 grupos nutricionales: normales, peso bajo para edad, peso bajo para talla, mientras que el grupo urbano socioeconómico alto sólo tiene sujetos normales. El número de sujetos en cada uno de los 35 grupos así formados, varió entre 14 y 60, aunque casi todos los grupos tenían 30 sujetos. Se estudiaron en total 1108 niños.

Antropometría y desarrollo en la adolescencia. En la Figura 7 se muestran los valores promedio de peso y talla para la edad de los 35 grupos de niños, en las rejillas de percentiles del Centro Nacional de Estadísticas en Salud de los Estados Unidos. No se encontró

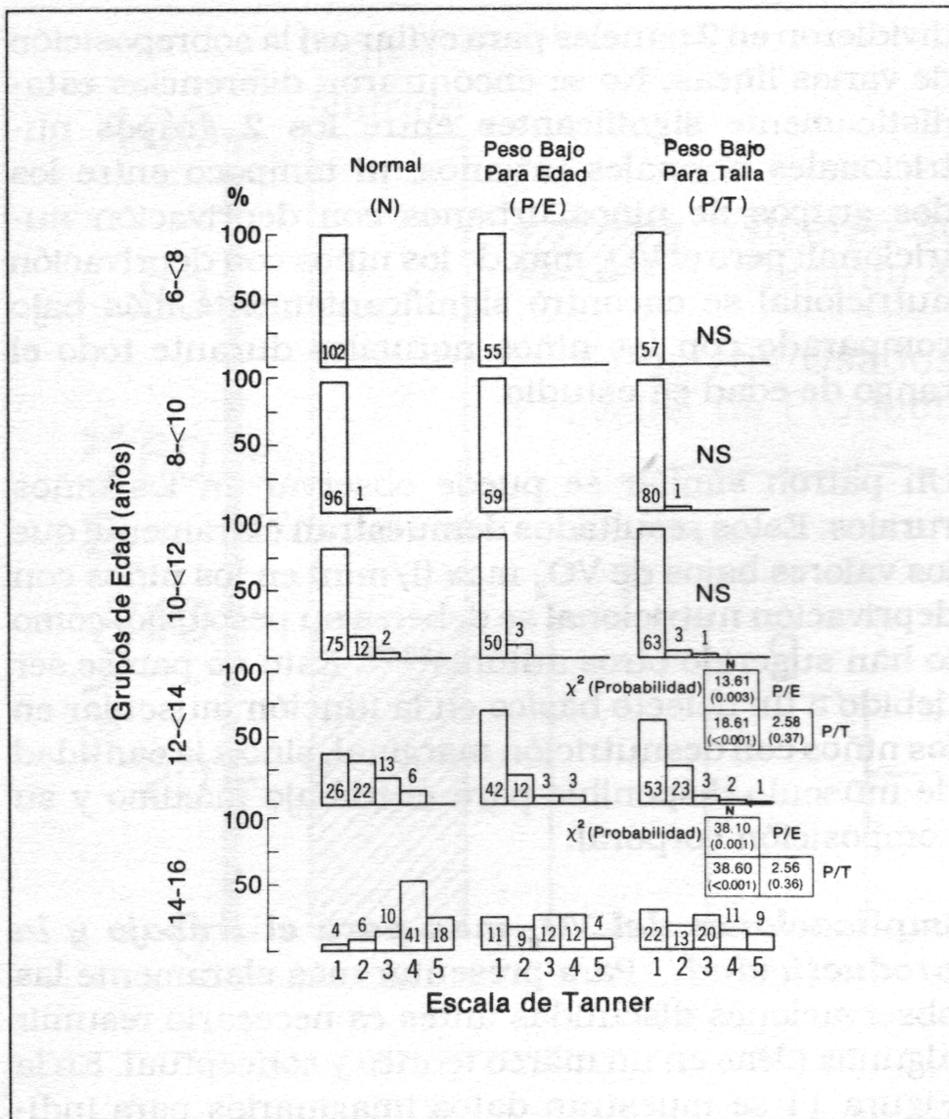


Figura 9. Desarrollo en la adolescencia. Frecuencia y porcentaje de la población estudiada en la escala de Tanner, de 1 a 5, según la edad y el estado nutricional.

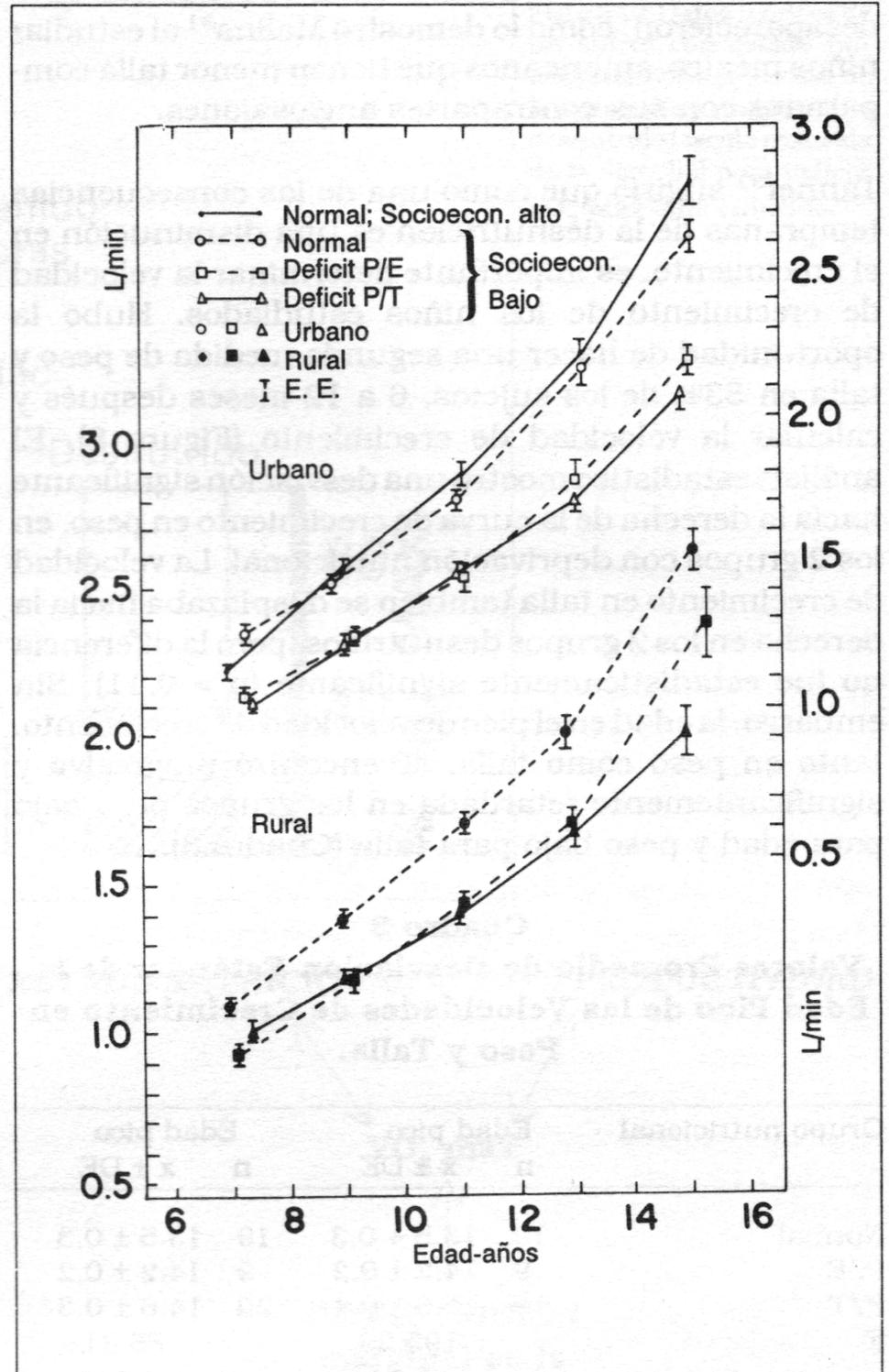


Figura 10. Consumo máximo de oxígeno (VO₂ max) en niños escolares con estado nutricional normal (N), con déficit de peso para edad (P/E) y déficit de peso para talla (P/T). La población urbana en la escala de la derecha, y la población rural en la escala de la izquierda.

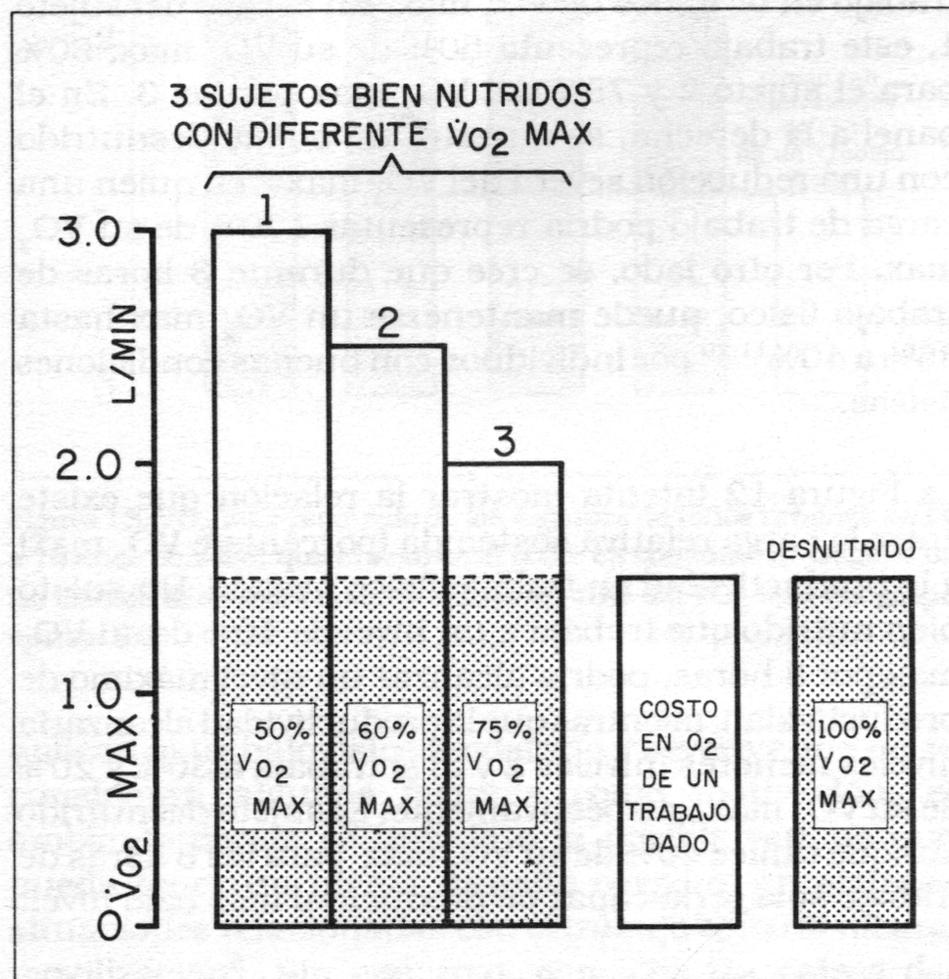


Figura 11. Datos teóricos de 3 sujetos con estado nutricional normal, que muestran la carga relativa de trabajo de una tarea dada en comparación con un individuo desnutrido.

una diferencia estadísticamente significativa en el peso para la edad entre los 3 grupos de sujetos normales que siguieron el percentil 50 en los niños más jóvenes y se desviaron hacia el percentil 25 en los grupos de niños de mayor edad. Los 2 grupos con privación nutricional aparecen en o por debajo del percentil 5 en todo el rango de edad estudiado, aunque el grupo peso bajo para talla muestra pesos significativamente menores que el grupo peso bajo para edad. No se encontraron diferencias significativas para peso y talla entre los niños urbanos y rurales. La talla del grupo normal mostró diferencias significativas entre el grupo urbano bajo y rural bajo, probablemente debido al alto porcentaje de niños mestizos en los 2 últimos grupos. Cuando sólo se incluyeron niños mestizos del grupo urbano alto en el análisis, las diferencias

desaparecieron, como lo demostró Malina³¹ al estudiar niños méxico-americanos que tienen menor talla comparados con sus contrapartes anglosajones.

Tanner³² sugirió que como una de las consecuencias tempranas de la desnutrición es una disminución en el crecimiento, es importante determinar la velocidad de crecimiento de los niños estudiados. Hubo la oportunidad de hacer una segunda medida de peso y talla en 53% de los sujetos, 6 a 12 meses después y calcular la velocidad de crecimiento (Figura 8). El análisis estadístico mostró una desviación significativa hacia la derecha de la curva de crecimiento en peso, en los 2 grupos con privación nutricional. La velocidad de crecimiento en talla también se desplazaba hacia la derecha en los 2 grupos desnutridos, pero la diferencia no fue estadísticamente significativa ($p = 0.11$). Sin embargo, la edad en el pico de velocidad de crecimiento, tanto en peso como talla, se encontró progresiva y significativamente retardada en los grupos peso bajo para edad y peso bajo para talla (Cuadro 3).

Cuadro 3
Valores Promedio de Desviación Estándar de la Edad Pico de las Velocidades de Crecimiento en Peso y Talla.

Grupo nutricional	Edad pico		Edad pico	
	n	$x \pm DE$	n	$x \pm DE$
Normal	19	13.5 ± 0.3	19	13.5 ± 0.3
P/E	9	14.2 ± 0.2	9	14.2 ± 0.2
P/T	19	15.6 ± 0.4	20	14.6 ± 0.3
F		195.29		86.81
p		< 0.001		< 0.001

P/E = peso bajo para edad P/T= peso bajo para talla

Además, un análisis de frecuencias en la escala de Tanner¹² (Figura 9), mostró que los niños de los grupos de edad entre 12 y 13 y 14 a 16 años, tenían una disminución estadísticamente significativa en el desarrollo sexual en los grupos de bajo peso para edad y bajo peso para talla si se comparan con el grupo normal³³.

En Cali también se encontraron valores altos para la hormona del crecimiento en un subgrupo de niños desnutridos estudiados. Todas las observaciones anteriores son características cardinales de la desnutrición crónica durante el período de crecimiento en niños.

Desarrollo de la capacidad física. El desarrollo de la capacidad física determinada por medio del VO_2 max (l/min) en 1013 niños de sexo masculino descritos antes, se muestra en la Figura 10, donde los datos se

dividieron en 2 paneles para evitar así la sobreposición de varias líneas. No se encontraron diferencias estadísticamente significantes entre los 2 grupos nutricionales normales urbanos, ni tampoco entre los dos grupos de niños urbanos con privación nutricional; pero el VO_2 max de los niños con privación nutricional se encontró significativamente más bajo comparado con los niños normales durante todo el rango de edad en estudio.

Un patrón similar se puede observar en los niños rurales. Estos resultados demuestran claramente que los valores bajos de VO_2 max (l/min) en los niños con privación nutricional se deben a su peso bajo, como lo han sugerido otros autores^{28,29}. Esto no parece ser debido a un defecto básico en la función muscular en los niños con desnutrición marginal, sino a la cantidad de músculo disponible para el trabajo máximo y su composición corporal.

Implicaciones del VO_2 max para el trabajo y la productividad. Para presentar más claramente las observaciones discutidas antes es necesario resumir algunas ideas en un marco teórico y conceptual. En la Figura 11 se muestran datos imaginarios para individuos con estado nutricional normal, que por alguna razón (p.e., genética, edad, condiciones físicas), tienen valores diferentes de VO_2 max. En la misma figura se muestra también el costo teórico de una carga de trabajo en términos de VO_2 max. En el caso del sujeto 1, este trabajo representa 50% de su VO_2 max; 60% para el sujeto 2 y 75% del VO_2 max para el 3. En el panel a la derecha, se muestra un sujeto desnutrido con una reducción severa del VO_2 max²³ en quien una carga de trabajo podría representar 100% de su VO_2 max. Por otro lado, se cree que durante 8 horas de trabajo físico, puede mantenerse un VO_2 max hasta 35% a 40%^{11,20} por individuos con buenas condiciones físicas.

La Figura 12 intenta mostrar la relación que existe entre la carga relativa sostenida (porcentaje VO_2 max) y la productividad en trabajo físico pesado. Un sujeto bien nutrido que trabaja a un nivel de 40% de su VO_2 max por 8 horas, podría alcanzar un nivel máximo de productividad, mientras que la productividad alcanzaría niveles menores (niveles 2 y 3) si trabaja a 30% y 20% de su VO_2 max, respectivamente. El sujeto desnutrido aunque utilice 40% de su VO_2 max para las 8 horas de trabajo sólo sería capaz de producir al más bajo nivel.

En conclusión, el individuo desnutrido, con una capacidad reducida de trabajo, no puede producir al mismo nivel de lo que produce el bien nutrido. Se debe aclarar, sin embargo, que estos conceptos sólo se

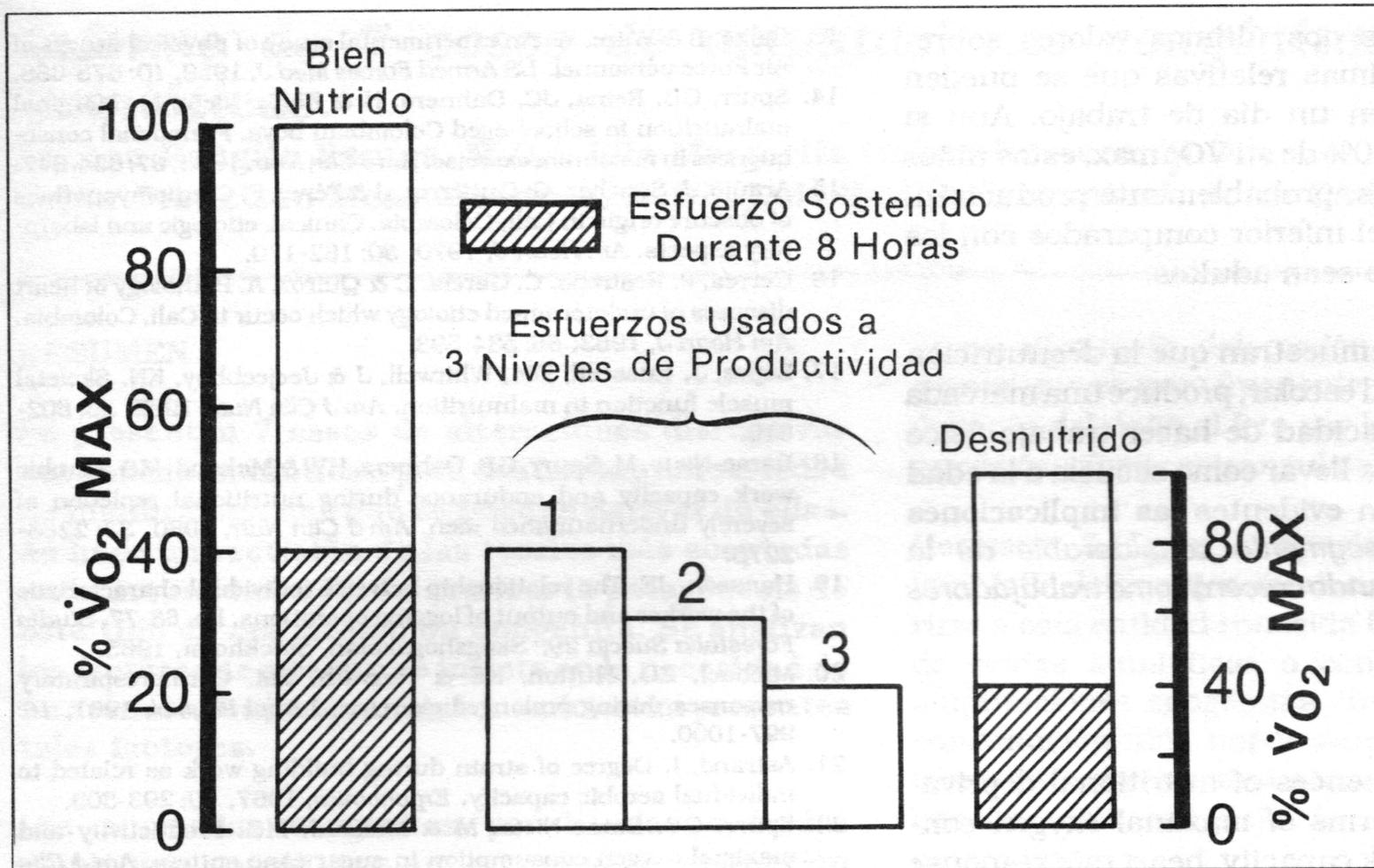


Figura 12. Datos teóricos de un sujeto con estado nutricional normal (escala de la izquierda) y un individuo desnutrido (escala reducida de la derecha) para indicar $\dot{V}O_2$ max total reducido.

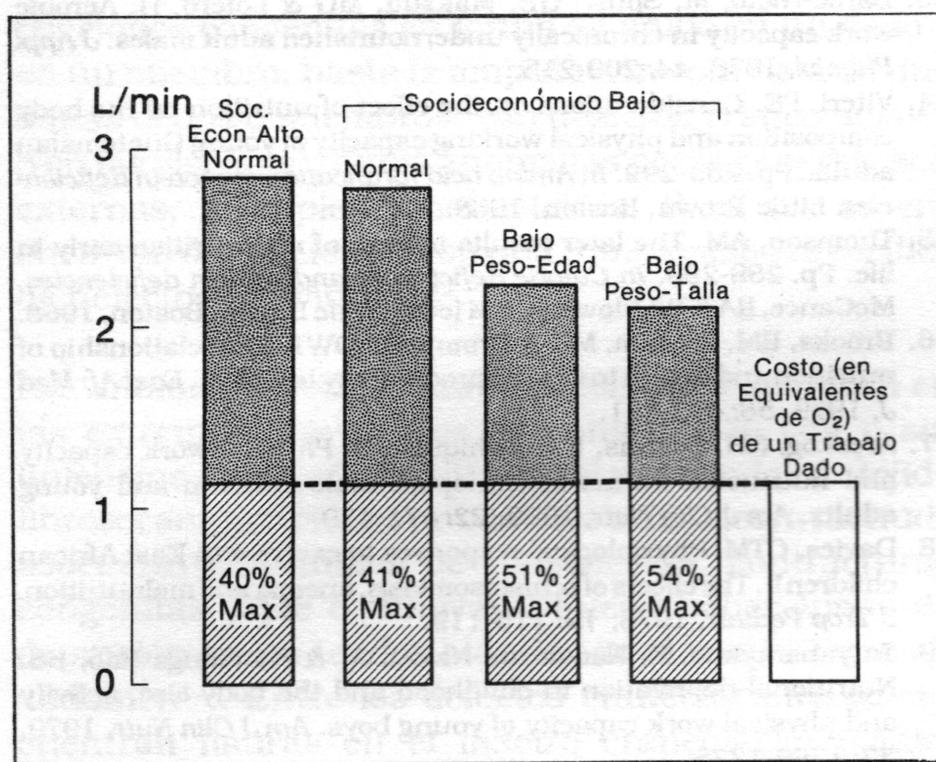


Figura 13. $\dot{V}O_2$ max promedio de los 4 grupos de niños urbanos de 14 a 16 años de edad, que muestran el costo en consumo de oxígeno de un trabajo dado teóricamente fijados en 40% del $\dot{V}O_2$ max del grupo normal (N).

aplican al trabajo físico moderado y severo y que no se consideran algunos factores como motivación, el ambiente donde se trabaja o la posible ventaja que pueda tener un menor tamaño corporal en algunas situaciones relacionadas con el trabajo como la misma movilización⁶. Sin embargo, como en los países del tercer mundo, la mayoría de la fuerza de trabajo en los hombres adultos, está comprometida en un trabajo físico que va desde moderado hasta pesado^{34,35}; las

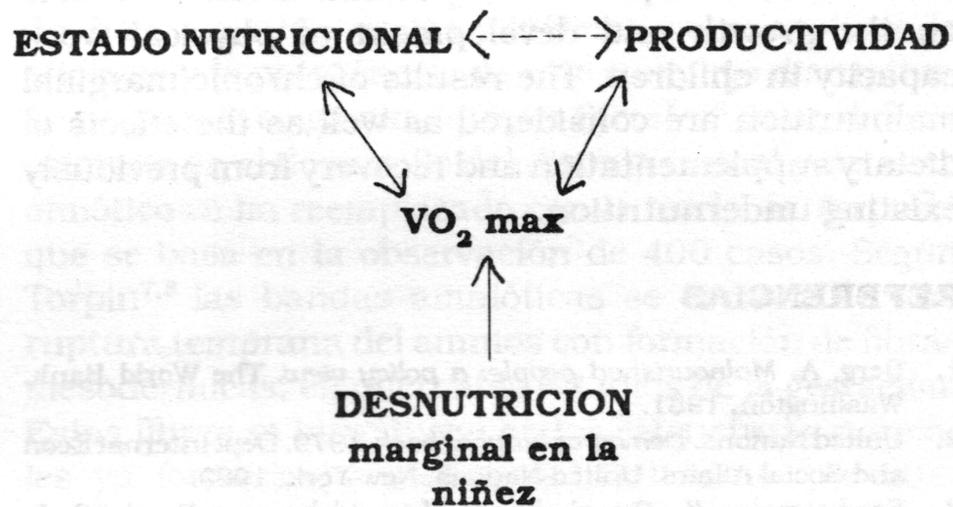


Figura 14. Relación entre el estado nutricional, la productividad y el $\dot{V}O_2$ max afectado por la desnutrición marginal en la niñez.

Implicaciones para la productividad de un país y su desarrollo económico, son obvias³⁶.

La productividad en ocupaciones más sedentarias está sin estudiar, si es que lo puede ser. Uno se pregunta ¿qué significado podrían tener estos resultados en relación con la capacidad de trabajo y la productividad en los grupos de niños estudiados cuando lleguen a ser adultos? En la Figura 13 se muestra el $\dot{V}O_2$ max de 4 grupos de adolescentes urbanos de 14 a 16 años en relación con el costo de oxígeno de un trabajo dado artificialmente, determinado en 40% del $\dot{V}O_2$ max del grupo normal urbano alto. Para el grupo de niños con nutrición normal urbano bajo, el costo de la misma carga de trabajo es similar (41%), pero para los niños con peso bajo para edad y peso bajo para talla, el costo llega a 51% y 54% del $\dot{V}O_2$ max,

respectivamente. Estos dos últimos valores sobrepasan las cargas máximas relativas que se pueden soportar en 8 horas en un día de trabajo. Aun si trabajan a un nivel de 40% de su VO_2 max, estos niños pequeños y desnutridos, probablemente producirán, en promedio, a un nivel inferior comparados con los niños normales cuando sean adultos.

Los datos anteriores demuestran que la desnutrición crónica marginal en edad escolar, produce una marcada disminución en la capacidad de hacer trabajo físico (VO_2 max), que se podría llevar como secuela a la edad adulta (Figura 14). Son evidentes las implicaciones económicas: *que un segmento considerable de la población infantil del mundo crecerá como trabajadores de segunda clase.*

SUMMARY

The functional consequences of nutritional deprivation are reviewed in terms of maximal oxygen consumption, physical work capacity, heart rate response to exercise, work productivity in adults and its effects on the growth and development of physical work capacity in children. The results of chronic marginal malnutrition are considered as well as the effects of dietary supplementation and recovery from previously existing undernutrition.

REFERENCIAS

- Berg, A. *Malnourished people: a policy view*. The World Bank, Washington, 1981.
- United Nations. *Demographic yearbook*, 1979. Dept Internat Econ and Social Affairs. United Nations, New York, 1980.
- Soedjatmoko, K. The challenge of world hunger. Pp. 1-16. In *Nutrition in health and disease and international development*. Harper AE & Davis, GK (eds). AR Liss Inc, New York, 1981.
- Bengoa, JM & Donoso, G. Prevalence of protein-calorie malnutrition (1963-1973). *PAG Bull*, 1974, 4: 24.
- Reddy, V. Protein energy malnutrition: an overview. Pp. 237-246. In *Nutrition in health and disease and international development*. Harper AE & Davis, GK (eds). AR Liss Inc, New York, 1981.
- Astrand, P & Rodahi, K (eds). *Textbook of work physiology*. McGraw Hill Inc, New York, 1977.
- Viteri, FE, Torún, B, Immink, MDC & Flores, R. Marginal malnutrition and working capacity. Pp 277-283. In *Nutrition in health and disease and international development*. Harper AE & Davis, GK (eds). AR Liss Inc, New York, 1981.
- Davies, CTM. Relationship of maximum aerobic power output to productivity and absenteeism of East African sugar cane workers. *Br J Ind Med*, 1973, 30: 146-154.
- Satyanarayana, K, Nadamuni, A & Narasinga-Rao, BS. Nutrition, physical work capacity and work output. *Indian J Med Res*, 1978, 68S: 88-93.
- Consolazio, CF. Energy expenditure studies in military populations using Kofranyi-Michaelis respirometers. *Am J Clin Nutr*, 1971, 24: 1431-1437.
- Spurr, GB, Barac-Nieto, N & Maksud, MG. Energy expenditure cutting sugar cane. *J Appl Physiol*, 1975, 39: 990-996.
- Tanner, JM. *Growth at adolescence*. Blackwell, Oxford, 1961.
- Balke, B & Ware, W. An experimental study of physical fitness of Air Force personnel. *US Armed Forces Med J*, 1959, 10: 675-688.
- Spurr, GB, Reina, JC, Dahners, H & Barac-Nieto, M. Marginal malnutrition in school-aged Colombian boys. Functional consequences in maximum exercise. *Am J Clin Nutr*, 1983, 37: 834-847.
- Araújo, J, Sánchez, G, Gutiérrez, J & Pérez, F. Cardiomyopathies of obscure origin in Cali, Colombia. Clinical, etiologic and laboratory aspects. *Am Heart J*, 1970, 80: 162-170.
- Correa, P, Restrepo, C, García, C & Quiróz, A. Pathology of heart diseases of undetermined etiology which occur in Cali, Colombia. *Am Heart J*, 1963: 66: 534-593.
- López, J, Russeell, DM, Whitwell, J & Jeejeebhoy, KN. Skeletal muscle function in malnutrition. *Am J Clin Nutr*, 1982, 36: 602-610.
- Barac-Nieto, M, Spurr, GB, Dahners, HW & Maksud, MG. Aerobic work capacity and endurance during nutritional repletion of severely undernourished men. *Am J Clin Nutr*, 1980, 33: 2268-2275.
- Hansson, JE. The relationship between individual characteristic of the worker and output of logging operations. Pp. 68-77. *Studia Forestalia Suecia 29*, Skogshogskolan, Stockholm, 1965.
- Michael, ED, Hutton, KE & Horvath, SM. Cardiorespiratory responses during prolonged exercise. *J Appl Physiol*, 1961, 16: 997-1000.
- Astrand, I. Degree of strain during building work as related to individual aerobic capacity. *Ergonomics*, 1967, 10: 293-303.
- Spurr, GB, Barac-Nieto, M & Maksud, MG. Productivity and maximal oxygen consumption in sugar cane cutters. *Am J Clin Nutr*, 1977, 30: 316-321.
- Barac-Nieto, M, Spurr, GB, Maksud, MG & Lotero, H. Aerobic work capacity in chronically undernourished adult males. *J Appl Physiol*, 1978, 44: 209-215.
- Viteri, PE. Considerations on the effect of nutrition on the body composition and physical working capacity of young Guatemalan adults. Pp. 289-299. In *Amino acid fortification of protein deficiencies*. Little Brown, Boston, 1968.
- Thomson, AM. The later results in man of malnutrition early in life. Pp. 289-299. In *Calorie deficiencies and protein deficiencies*. McCance, RA & Widdowson, EM (eds). Little Brown, Boston, 1968.
- Brooks, BM, Latham, MC & Brompton, DWT. The relationship of nutrition and health to worker productivity in Kenya. *East Afr Med J*, 1979, 56: 413-421.
- Areskog, NH, Selinus, R & Vahiquist, B. Physical work capacity and nutritional status in Ethiopian male children and young adults. *Am J Clin Nutr*, 1969, 22: 471-479.
- Davies, CTM. Physiological responses to exercise in East African children II. The effects of schistosomiasis, anemia and malnutrition. *J Trop Pediatr*, 1973, 19: 115-119.
- Satyanarayana, K, Nadamuni-Naidu, A & Narasinga-Rao, BS. Nutritional deprivation in childhood and the body size, activity and physical work capacity of young boys. *Am J Clin Nutr*, 1979, 32: 1769-1775.
- Rueda-Williamson, R, Luna-Jaspe, H, Ariza, J, Pardo, F & Mora, JO. Estudio seccional de crecimiento, desarrollo y nutrición en 12,138 niños de Bogotá, Colombia. *Pediatría*, 1969, 10: 337-349.
- Malina, RM. Ethnic and cultural factors in the development of motor abilities and strength in American children. Pp. 333-364. In *Physical activity, human growth and development*. Raric, GL (ed). Academic Press, New York, 1973.
- Tanner, JM. Growth as a monitor of nutritional status. *Proc Nutr Soc*, 1976, 35: 315-322, 1976.
- Spurr, GB, Reina, JC & Barac-Nieto, M. Marginal malnutrition in school-aged Colombian boys. Anthropometry and maturation. *Am J Clin Nutr*, 1983, 37: 119-132.
- United Nations. *Demographic Year Book*, 1979. Dept. Internat. Econ. and Social Affairs. United Nations, New York, 1980.
- Arteaga, LA. The nutritional status of Latin American adults. *Basic Life Sci*, 1976, 7: 67-76.
- Berg, A. *The nutrition factor: its role in national development*. Brookings Institution, Washington, 1973.