

### Un método de referencia en composición corporal

Elkin Martínez López

MD MSc MPH  
Facultad Nacional de Salud Pública  
Universidad de Antioquia

#### Resumen

La Densitometría ha sido considerada por largo tiempo como método de referencia para validar otros métodos de composición corporal, gracias a su alta precisión y a la racionalidad de su ejecución.

El procedimiento se centra en medir el peso hidrostático y el volumen residual pulmonar en los individuos.

Se describe el soporte conceptual de este procedimiento en una secuencia deductiva y se explican los detalles técnicos del método.

En vista de su importancia como método estandar, se justifica una mejor comprensión de su lógica operativa y tal vez su adecuada implementación en centros académicos y de investigación.

**PALABRAS CLAVE:**  
Densitometría,  
composición corporal

#### Densitometria

#### A reference method in corporal composition

#### Summary

Densitometria has been long consider a reference method to validate other methods of corporal composition, given its high precision and the rationality of its execution.

The procedure is centered in measuring the hydrostatic weight and the lung residual volume in the individuals. The conceptual support

of this procedure is described in a deductive sequence and the technical details of the method.

Considering its importance as a standard method, is more than justified to have a better understanding of its operative logic and perhaps its appropriate implementation in academic and research centers.

**KEYWORDS:**  
Densitometria, corporal  
composition.

## INTRODUCCIÓN

El estudio de la composición corporal en el ser humano, ha tomado considerable importancia en los últimos años y seguirá ocupando una posición destacada entre los intereses de los investigadores, en razón a sus útiles aplicaciones en los campos de la biología humana, medicina, fisiología, ciencias del ejercicio y nutrición(1).

Hoy en día se hace necesario explorar nuevos métodos y perfeccionar los ya existentes para desarrollar y validar: enfoques de múltiples componentes, modelos apropiados para poblaciones específicas, y mejores diseños de aplicación estadística(2,3).

*Los investigadores han usado la densitometría a través del peso hidrostático como el método de referencia para estudiar nuevas metodologías*

La medición de la densidad, del agua y del potasio corporales han llegado a ser los métodos estándar de laboratorio para estudios de composición corporal(4,5). Garrow afirma que entre los métodos más comunes actualmente disponibles, la densitometría es el más preciso(6) En estudios de validación hechos en salas metabólicas con facilidades para calorimetría y balance nitrogenado, se confirmó que la densitometría es un método razonablemente correcto y más preciso que la determinación del agua y el potasio corporales(7).

El método densitométrico ha merecido especial consideración por parte de los estudiosos en el área de la composición corporal. Buskirk plantea que un análisis de las ventajas y desventajas del peso hi-

drostático indica que es suficientemente confiable para programas experimentales, en especial aquellos aplicados a sujetos normales (8). Katch admite que el peso hidrostático ha sido aceptado como un método preciso y confiable para determinar densidad corporal con propósitos investigativos (9). Los investigadores han usado la densitometría a través del peso hidrostático como el método de referencia para estudiar nuevas metodologías. Wilmore está de acuerdo en que la técnica más ampliamente usada en composición corporal y probablemente la más precisa es la densitometría por determinación del peso bajo el agua(10). Lohman, considera que la densidad corporal puede ser medida con satisfactoria precisión siempre que se hagan estimaciones cuidadosas de los volúmenes gaseosos remanentes (residual pulmonar y gastrointestinal) y calibración esmerada del sistema de medición(4).

El método ideal para composición corporal sería aquel que además de ser preciso, barato y práctico, sea también fácil de aplicar por un examinador poco entrenado y genere el mínimo de inconvenientes para el examinado(6,11,12).

La densitometría requiere de una buena colaboración por parte del sujeto, pero no es costosa, ni excesivamente complicada y su precisión y aplicabilidad le han ganado una posición de privilegio entre los investigadores desde los trabajos

*Si supiéramos la densidad corporal de una persona, podríamos calcular las proporciones de grasa y de masa magra que conforman su cuerpo*

pioneros de Benhke, Goldman y Buskirk, realizados a mediados del siglo pasado (13,14,15).

Las imprecisiones en la determinación de la composición corporal no provienen del método densitométrico en sí, puesto que puede medirse la densidad en forma bastante precisa para un sujeto determinado (+/- .0025 g/cm<sup>3</sup>). La más grande fuente de variación radica en la utilización de esta densidad corporal como insumo para estimar la grasa y la masa libre de grasa (2,16).

La polémica gira en torno a las dificultades técnicas del procedimiento y a la precisión fisiológica de las medidas (17). Pero en tanto se avanza en la aplicación de estudios para evaluar múltiples componentes y se perfeccionan los supuestos teóricos que respaldan los modelos de estimación para composición corporal, es necesario continuar trabajando sobre las técnicas que han demostrado su utilidad a través del tiempo para mejorar su aplicabilidad y precisión (18,19).

### **BASES CONCEPTUALES**

Se sabe que los tejidos corporales tienen densidades o pesos específicos que los caracterizan y los diferencian. La grasa tiene una densidad de 0.9 gr / cm<sup>3</sup>, valor que es inferior a la densidad del agua a 37 oC (1 gr / cm<sup>3</sup>), por tal razón la grasa flota en el agua. La masa magra en cambio tiene una densidad de 1.1 gr / cm<sup>3</sup>, es decir mayor que 1 y por lo tanto se hunde en el agua.

Si supiéramos la densidad corporal de una persona, podríamos calcular las proporciones de grasa y de masa magra que conforman su cuerpo. Personas con mucha grasa tienen densidades menores y consecuentemente tienden a flotar en el agua, en tanto que las personas musculosas tienen densidad corporal mayor y tienden a hundirse en el agua. El sentido de la densitometría es justamente medir la densidad corporal.

Sabemos que peso (P) es igual a volumen (V) por densidad (D)

$$P = V \times D$$

Al trasladar el volumen al lado opuesto de la ecuación, se despeja la densidad, de la siguiente forma:

$$D = P / V$$

Para conocer la densidad de una persona se requiere conocer su peso y su volumen. El peso es muy fácil de medir, lo que es un poco más difícil de averiguar es la magnitud del volumen corporal.

### **EL PESO HIDROSTÁTICO**

El volumen corporal se evalúa por medio del pesaje hidrostático, método que consiste en introducir en el agua a la persona que se desea evaluar, para medir su peso mientras se encuentra sumergida. Según el principio de Arquímedes cuando un cuerpo se sumerge en un líquido, experimenta una fuerza de flotación, en sentido contrario a la gravedad que es igual al peso del volumen del líquido que desaloja.

*La diferencia entre el peso corporal tomado en el aire y el peso tomado dentro del agua, corresponde a la dimensión del volumen corporal, expresada en litros*

En otras palabras, cuando un cuerpo se sumerge en el agua, experimenta una pérdida de peso igual al peso del agua desalojada. Una persona de 70 kg podría pesar solamente 3 kg en el agua, lo que quiere decir que cuando está sumergida pierde 67 kg de peso, cantidad que es igual al peso de los 67 litros de agua que desaloja y por lo tanto su volumen corporal es justamente de 67 litros (figura 1). En este procedimiento se asume que la densidad del agua es exactamente igual a 1, es decir, que un litro de agua pesa un kilogramo.

La medición del volumen corporal se hace entonces sobre la base de medir el peso hidrostático, es decir se pesa la persona debajo del agua, para calcular cuánto peso se perdió al cambiar de ambiente desde el aire hacia el agua. La diferencia entre el peso corporal tomado en el aire y el peso tomado dentro del agua, corresponde a la dimensión del volumen corporal, expresada en litros.

Queda otro asunto por resolver. Cuando medimos el volumen del cuerpo sumergido, incluimos en esta medición un volumen menor que está dentro del cuerpo pero que no contiene tejidos sino solamente aire, se trata del espacio o volumen pulmonar (figura 2). Por lo tanto la técnica adquiere una cierta complejidad adicional, porque se requiere medir lo más exactamente posible el aire que se quedó en los pulmones al momento de hacer el pesaje hidrostático, con el fin de corregir el volumen corporal anteriormente calculado.

## **Medición del volumen pulmonar**

La técnica de dilución es un método conceptualmente sencillo y apto para determinar el volumen de un espacio aéreo desconocido. Se requiere de una cámara cerrada con un volumen de aire predefinido; se usa generalmente una campana de espirómetro cuyo volumen se conoce de antemano. A este volumen se le agrega una cantidad determinada de un gas inerte, para el caso se usa el helio que es un gas que no se produce, ni se difunde en la barrera alveolar. Para iniciar se mide la concentración de helio en el volumen de la campana espirométrica.

El siguiente paso implica conectar a la persona para que respire la mezcla de aire y de helio que hay en la campana espirométrica. Al hacer esto, el sistema aéreo inicial queda conectado a los pulmones del individuo, es decir, el volumen inicial se amplía aumentándose en un volumen adicional que es igual al volumen pulmonar (figura 3). Tras algunas respiraciones, el helio que estaba contenido en la campana se riega por todo el sistema incluido el espacio pulmonar y su concentración cambia, pues ahora ha quedado diluido en un volumen aéreo mayor (20).

Según las leyes descritas para el comportamiento de los gases, cuando una cantidad conocida de gas se diluye en un volumen pequeño, su concentración es mayor y cuando se diluye en un volumen grande su concentración es menor, es decir:

$$C1 V1 = C2 V2$$

Para el caso:

C1: concentración inicial de helio

C2: concentración final de helio

V1: volumen de la campana

V2: V1 + volumen pulmonar

Como se puede ver, C1, C2 y V1 son valores ya conocidos, por lo tanto la ecuación nos permite calcular V2, que es el único valor desconocido del cual puede fácilmente por sustracción calcularse el volumen pulmonar.

Queda la pregunta sobre cuál es el volumen pulmonar que realmente se está midiendo en este procedimiento. Dado que la respiración es dinámica y continua, debe medirse el mínimo volumen residual para reducir los posibles errores, pues a una inspiración le sigue inmediatamente una espiración y así sucesivamente, es preferible por lo tanto, medir el volumen de aire que queda en los pulmones después de una espiración máxima, completa y sostenida. Esta precaución es necesaria cuando se miden por separado el volumen pulmonar y el peso hidrostático, pero cuando se miden simultáneamente con la ayuda de un sistema espirométrico de doble vía, no importa la magnitud del aire atrapado en los pulmones dado que su influencia se detecta inmediatamente en el peso hidrostático, por lo cual este sistema resulta más exacto aunque quizá un tanto más complicado para el montaje y para la sincronización del procedimiento.

Wilmore ha propuesto otro método para medir el volumen residual, utilizando un circuito respiratorio abierto que requiere un analizador de nitrógeno y provisión fluida de oxígeno, el cual ha demostrado ser también una prueba confiable y precisa, cuyos resultados correlacionan muy bien con los generados por el método de dilución con helio (21).

Se ha propuesto también la posibilidad de simplificar el procedimiento mediante la estimación del volumen residual a partir de otro volumen mucho más sencillo de medir, cual es la capacidad vital. El volumen residual sería una fracción constante de la capacidad vital que dependería del sexo, 25% en el hombre, 28% en las mujeres. Este sencillo cálculo disminuye apreciablemente las dificultades técnicas y aunque no es totalmente preciso permite aproximaciones útiles en la práctica profesional (21).

Cuando las condiciones ambientales son muy diferentes a las referenciales se reclama que los volúmenes aéreos deban ajustarse a las condiciones estándares de temperatura y presión barométrica de la localidad, lo cual precisa un pequeño ajuste adicional en los valores especialmente cuando se desea hacer comparaciones con datos obtenidos en otras latitudes. La densidad del agua varía con la temperatura, por lo cual, cuando el calor del agua en el tanque densitométrico se eleva, este hecho debe registrarse dado que la densidad del agua desciende algunas

*además del volumen pulmonar, debe considerarse la presencia de gases contenidos en el estómago y en los intestinos*

diezmilésimas de unidad y esto modifica ligeramente los cálculos del volumen corporal.

También se aduce que además del volumen pulmonar, debe considerarse la presencia de gases contenidos en el estómago y en los intestinos. Bedell, investigando sobre la presencia de gases en el intestino, describió en una muestra de 70 personas que la cantidad contenida en el tubo digestivo es variable generalmente entre 0-260 ml, con un promedio de 115 ml (22). Buskirk propone que se utilice una corrección generalizada de 100 ml por concepto de volumen gaseoso contenido en el área digestiva, en sujetos que están en condiciones de ayuno (8).

Tanto el volumen residual pulmonar como el volumen estimado de gases intestinales calculado antes, deben restarse del volumen corporal "crudo" obtenido en el pesaje hidrostático a fin de obtener un valor neto de volumen corporal; hecho esto puede procederse al cálculo de la densidad corporal:

$D = \text{peso} / \text{volumen corporal neto}$ .

### **De la densidad a la grasa corporal**

Una vez que se ha calculado correctamente en una persona la densidad corporal, se hace necesario realizar unos pequeños cálculos adicionales para llegar a la proporción de grasa que el individuo contiene.

Se asume que el volumen corporal (VC) es igual al volumen de la gra-

sa (VG), más el volumen de la masa magra (VM).

$$VC = VG + VM$$

Dado que volumen es igual al peso dividido por la densidad dicha expresión puede convertirse en:

$$\frac{P}{D} = \frac{G + M}{.9 \ 1.1}$$

donde G es la proporción de grasa corporal, y M la proporción de masa magra.

Si suponemos que el peso corporal es 1, entonces la proporción de grasa sería el valor desconocido y la proporción de masa magra sería igual a 1-G, reemplazando este valor en la ecuación quedaría así:

$$\frac{1}{D} = \frac{G + (1-G)}{.9 \ 1.1}$$

Cuando se despeja de la ecuación el valor de la proporción de grasa, el resultado conduce a la siguiente expresión.

$$G = \frac{4.95 - 4.50}{D}$$

Siri acreditó el cálculo de esta expresión matemática que permite a partir de la densidad corporal, el cálculo de la proporción de grasa en el cuerpo (como fracción de 1). Si desea conocer el porcentaje de grasa, basta solamente multiplicar por 100(23).

Brozek por su parte calcula otra expresión: (24)

$$G = \frac{4.57 - 4.14}{D}$$

que aunque luce un tanto diferente, conduce a resultados muy similares. La variación en las fórmulas se explica por pequeñas divergencias en cuanto al valor de la densidad de la masa magra, la cual según algunos postulados, podría variar con el estado de maduración y con la edad(25,26).

No obstante, estas dos ecuaciones son ampliamente aceptadas y su uso es generalizado.

Una vez que se tiene la proporción de grasa (G) que hay en el cuerpo, es posible calcular la cantidad de grasa en kilogramos (PG), basta con multiplicar el peso corporal (P) por la proporción de grasa.

$$PG = ( P \times G )$$

Por diferencia se puede luego calcular el peso de la masa magra (PM)

$$PM = P - PG$$

Se tienen ahora los dos componentes básicos del organismo que el método densitométrico logra identificar: grasa y masa magra.

La valoración cualitativa de la grasa y de la masa magra que hasta ahora se ha calculado, depende de comparar los resultados obtenidos en la persona evaluada, con los resultados que debería tener según las referencias de lo que es deseable. Los valores generalmente aceptados como referencias deseables según la densitometría son: hombres 10-20% y mujeres 15-25%.

## Equipo necesario

Para la realización de una densitometría con pesaje hidrostático se requiere una cierta implementación. Es necesario un tanque de inmersión capaz de contener completamente a una persona adulta en posición semisentada. Aunque no es imprescindible se requiere de un calentador para elevar la temperatura del agua hasta los 37°C. El pesaje hidrostático se hace con una balanza con capacidad hasta 3-10 kg y con precisión deseable de 10-20 gr. Se precisa de una campana o sistema espirométrico para medir el volumen pulmonar residual y un medidor o catarómetro de helio en caso de utilizar el método de dilución de gases que describimos aquí ( figura 4).

Tanques de helio y de oxígeno, éste último es opcional si se desea enriquecer el aire de la campana para hacer más confortable la prueba respiratoria. Termómetro de agua y barómetro, se requieren para ajustar el valor de la densidad del agua cuando las condiciones ambientales no son estandarizadas.

Otros aditamentos más refinados, tales como transductores de fuerza con registro electrónico digital podrían agregarse según el nivel de precisión y comodidad que cada laboratorio pueda permitirse en razón a los recursos a los cuales tenga acceso. Aunque, de otro lado, queda la esperanza de que los esfuerzos que se hagan

por simplificar el método, puedan, por el contrario reducir el equipo necesario a su mínima expresión, aunque con cierto sacrificio de exactitud en la determinación de la composición corporal.

## Conclusión

Esta es la densitometría, método que ha sido largamente usado como estándar de oro para validación de otros métodos en composición corporal. Su ejecución cuidadosa aporta resultados con buen nivel de validez y precisión lo cual hace de éste un procedimiento de interés para los estudiosos en el área y tal vez pueda ser considerado como técnica obligada para centros académicos y de investigación (27,28).

No obstante hay que admitir que cierto grado de dificultad y de implementación en equipos, no permiten que la densitometría se extienda cómodamente a la práctica clínica, aunque tal vez los esfuerzos que se hacen por simplificar el método, conservando la validez y la precisión, puedan conducir gradualmente a una mayor utilización en asesoría y consulta médica y nutricional.

De cualquier forma, la racionalidad de la técnica, la factibilidad de su aplicación en personas y su aproximación tan cercana a los verdaderos valores de grasa y masa magra, le han merecido su destacada posición como método de referencia en el análisis de la composición corporal.

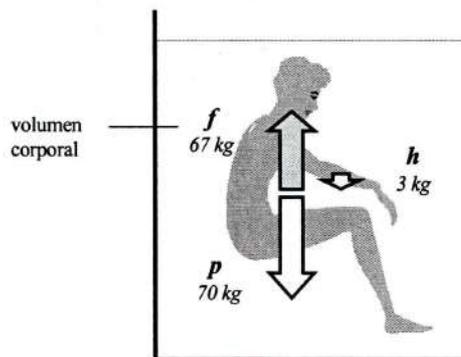
## Anexos

### Figura 1

#### Principio de Arquímedes

Diagrama que ilustra la relación de las fuerzas que participan en el Principio de Arquímedes

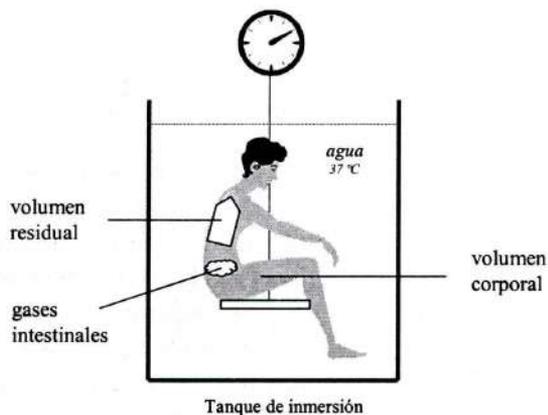
*p*: peso en el aire *h*: peso en el agua *f*=*p*-*h* fuerza de flotación (volumen corporal)



## Figura 2

### Pesaje hidrostático

Diagrama que ilustra la disposición de los elementos necesarios para hacer la densitometría a través del pesaje bajo el agua



## Figura 3

### Método de dilución de gases

Esquema que ilustra la técnica de dilución de gases para medir el volumen pulmonar residual de una persona

- $V_1$ : volumen de campana espirométrica
- $Q_1$ : concentración inicial de helio
- $V_2$ :  $V_1$  + volumen pulmonar residual
- $Q_2$ : Concentración final de helio

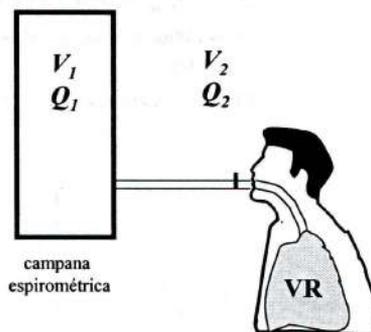
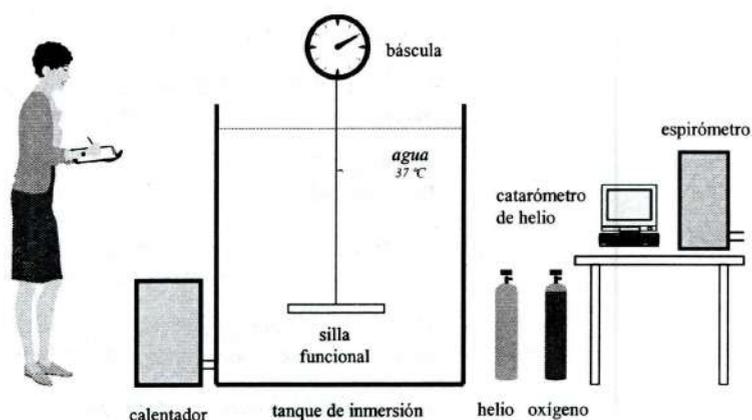


Figura 4

**Equipo básico para la realización de una evaluación densitométrica por pesaje hidrostático y dilución con helio**



## Referencias

1. Davis P, Cole T. *Body Composition Techniques in Health and Disease*. Cambridge University Press. Cambridge UK 1995.
2. Lohman T. A reevaluation of our past I look toward the future. *Med Sci Sport Exerc.* 1984; 16: 578-583.
3. Heimsfield S, Wari M. *Body Composition in Humans*. Advances in the development of multicomponent models. *Nut Rev.* 1991; 49: 97-108.
4. Lohman T. Research progress in validation of laboratory methods of assessing body composition. *Med Sci Sport Exerc.* 1982; 16: 596-599.
5. Daza Ch. La Obesidad. Un desorden metabólico de alto riesgo para la salud. *Acta de la Asoc col de Ciencia y Tecn de alimentos.* 2000; 1: 1-6.
6. Garrow J. New approaches to body composition. *Am. J. Clinical. Nutrition.* 1982; 35: 152-157.
7. Garrow J, Stalley S, Diethelm R, Pittet P, Halliday D. A new method of measuring body density of obese adults. *Br. J. Nutr.* 1979; 42: 180-183.
8. Buskirk E. *Underwater weighing and body density: Techniques for measuring body composition*. Brozek and Henchel de, Washington. 1961. p. 90-107.
9. Katch F, Michael E, Horvath S. Estimation of body volumen by underwater weighing: description of a simple method. *J. Appl. Physiol.* 1967; 23: 811-813.

10. Wilmore J. Body composition. In The Wilmore fitness program. Simon and Schuster Co. New York. 1981.
11. Lukasky H. Methods for the assessment of human body composition: traditional and new. Am. J. Clin. Nutr. 1987; 46: 537-556.
12. OPS/OMS. El estado Físico. Uso e interpretación de la antropometría. Serie de informes Técnicos 854. Ginebra 1995.
13. Behnke A. Comment on the determination of whole body density in Techniques for measuring body composition Brozek and Henchel ed. Washington 1961. p 118.
14. Goldman R, Buskirk E. Body volume measurement by underwater weighing. Techniques for measuring body composition Brozek and Henchel ed. Washington 1961. p 76.
15. Bray G. Obesidad. Conocimientos actuales de Nutrición. Publicación científica 565 (Ziegler, Filer eds) OPS. International Life Sciences Institute. Washington. 1997.
16. Weltham A, Janey C, Huber R, Katch F. Comparison of hydrostatic weighing at residual volume and total lung capacity in pre-pubertal males. Hum Biol. 1987; 59: 51-57.
17. Ostrove S, Vacaro P. Effect of immersion of RV in young women: Implications for measurement of body density. Int J Sports Med. 1982; 3: 220-223.
18. Lohman T. advances in body composition assessment. Champagne. IL Human Kinetics. 1992.
19. Katch F, Hortobagyi T, Denaham T. Reliability and validity of new method for the measurement of total body volume. Res Quart for Exer and Sports. 1989; 60: 286-291.
20. Collins, Warren E. Clinical Spirometry. Instruction for use of the Collins respirometer. Boston. P 12 E Collins Inc. 1963.
21. Wilmore J, Vodack P, Parr R. Further simplification of a method for determination of residual lung volume. Med Sc in Sports and Ex. 1980; 12: 216-218.
22. Bedell G, Marshall R, Dubois A, Harris J. Measurements of gas in the gastrointestinal tract. J Clin Invest. 1956; 35: 336-345.
23. Siri W. Body volume measurement by gas dilution. Techniques for measuring body composition Brozek and Henchel ed. Washington 1961. p 108.
24. Brozek J. Densitometric analysis of body composition. Ann of the NY Acad of Sciences. 1963; 60: 176-179.
25. Lohman T. Applicability of body composition techniques and constants for children an youth. Exercise and Sports Sciences Reviews. 1986; 14: 325-357.
26. Going S, Williams D, Lohman T, Hewitt M. Aging, body composition and physical activity. J of Aging and Physical activity. 1994; 2: 38-66.
27. Forbes G. Composición del organismo. Conocimientos actuales de Nutrición. Pub Cient 565 Ziegler, Filer eds OPS. International Life Sciences Inst. Washington. 1997.
28. Going S. Densitometry. In Human body composition: A Roche, S Heymsfield, T Lohman eds. Champaign: Human Kinetics 1996; p 1-23.