

Capítulo 3

PARTE 1/3

3.1 MODIFICACIONES Y ALTERACIONES DEL BALANCE DE AGUA Y SOLUTOS EN EL HOMBRE.

En base a los conocimientos adquiridos en los capítulos anteriores, podemos ahora encarar el estudio de **algunas** de las situaciones en las que el balance entre las entradas y salidas de agua y solutos al compartimiento corporal no es, en un momento dado, igual a cero. El solo hecho de beber una cierta cantidad de agua introduce una MODIFICACION en el volumen y la composición de los fluidos corporales. Serán los **mecanismos homeostáticos** los encargados de que las cosas vuelvan a sus valores originales, sin que el individuo siquiera llegue a percibir esos cambios. Un caso diferente sería, por ejemplo, el de una persona perdida en el desierto, sin agua y al rayo del sol. Los mecanismos homeostáticos tratarán de restablecer las condiciones habituales de los compartimientos corporales, pero, debido a las condiciones extremas en que está el sujeto, puede que esto no se logre y que aparezcan ALTERACIONES del balance. Estas alteraciones pueden ser tan graves que pongan, incluso, en peligro la vida del individuo.

Para comprender cómo se puede llegar a estas modificaciones y alteraciones del balance, lo primero que hay que conocer cuáles son las **vías de entrada y de salida** del agua y de soluto al compartimiento corporal. Luego se verá cómo los cambios en las entradas o de salidas pueden llegar a modificar o alterar el balance. Se tomará, como un ejemplo, el BALANCE DE AGUA Y SODIO, en la creencia de que posible usar el mismo razonamiento para otras sustancias.

3.2. BALANCE DE AGUA: INGRESOS DE AGUA AL COMPARTIMIENTO CORPORAL.

Si se mide, durante un día, el balance de agua de un adulto, se ve que hay un INGRESO diario de unos 2500 mL. Esta cifra no es, por supuesto, fija, ya que depende, en gran parte, de los HABITOS del individuo. Un bebedor de cerveza puede duplicar o triplicar ese

INDICE -- Parte 1	Pág
3.1 MODIFICACIONES Y ALTERACIONES DEL BALANCE AGUA Y SOLUTOS EN EL HOMBRE	1
3.2 BALANCE DE AGUA: INGRESOS DE AGUA AL COMPARTIMIENTO CORPORAL	1
3.3 EGRESOS DE AGUA	3
1) Orina	3
- Orinas hipertónicas e hipotónicas	5
- Filtración y reabsorción	6
- Concentración de orina y evolución	7
2) Pérdidas insensibles	8
- Pérdida de agua por respiración	8
- Pérdida de insensible por la piel	9
3) Sudoración	10
- Volumen y composición del sudor	11
- Aclimatación y sudoración	12
4) Heces	14

volumen de agua sin que su balance se altere, siempre que elimine la misma cantidad de agua que bebió.

Aparte del hábito, el ingreso de agua al organismo está muy influenciado, sobre todo en los países cálidos, por el volumen del SUDOR. Una sudoración profusa determinará la aparición de SED y una aumento de la ingesta de agua. De este modo, la cifra de 2500 mL por día es sólo tentativa y representa un valor promedio del volumen de agua que ingresa por día al compartimiento corporal, en un adulto sano que no esté sudando.

Estos 2500 mL/ día pueden ser divididos en:

1) AGUA DE BEBIDA	1200 mL/ día
2) AGUA DE LOS ALIMENTOS	1000 mL/ día
3) AGUA METABOLICA	300 mL/ día
	<hr/>
	2500 mL/ día

Por AGUA DE BEBIDA debe entenderse todo lo que el individuo BEBE, durante el día. Las bebidas gaseosas, los refrescos, la cerveza, el vino, etc., tienen un porcentaje pequeño de sólidos, de modo que no hay inconveniente en considerar, para este análisis, que 1 litro de cualquiera de estas bebidas corresponde a 1 litro de agua.

Por AGUA DE LOS ALIMENTOS debe considerarse el agua que está contenida en los alimentos que el individuo COME. Así, por ejemplo, el arroz cocido tiene, aproximadamente, 70 mL de agua por cada 100 g de arroz. Por lo tanto, si COME 200 g de arroz, es como si hubiera bebido 140 mL de agua. Aquí también la cifra de 1000 mL es sólo un valor promedio.

Por AGUA METABOLICA debe entenderse el volumen de agua que se produce, por día, al metabolizarse los lípidos, las proteínas y carbohidratos aportados por los alimentos. Este volumen de agua se produce a nivel celular y de allí se distribuye por toda el agua corporal. Aunque no proviene, como tal, del exterior, es agua que ingresa al compartimiento corporal y debe ser sumada a la de bebida y de los alimentos.

- Distribución del agua en el compartimiento corporal

Como ya se ha señalado en los Capítulos 1 y 2, las paredes capilares y las membranas celulares tiene una muy alta permeabilidad

VOLUMEN DE AGUA METABOLICA

El volumen del agua producida por vía metabólica depende del tipo de suatancia que se esté "quemando". Así

- Carbohidratos: 0,556 mL agua/g
- Proteínas: 0,396 mL agua/g
- Lípidos: 1,07 mL agua/g

De ese modo, el agua metabólica total producida en un día dependerá de la cantidad y cxomposición xdel alimento ingerido. La cifra de 300 mL/día que se da aquí es simplemente un valor aproximado para una dieta mixta.

al agua. Por eso es que el agua se distribuye homogéneamente entre los compartimientos y, cuando aparecen, las diferencias de concentración osmolar se disipan rápidamente por efecto de los flujos de agua.

- Agua de los jugos digestivos

Para la digestión de los alimentos el aparato digestivo SEGREGA unos 8 litros de diarios de saliva, jugo gástrico, bilis, jugo pancreático, jugo intestinal, etc. En condiciones normales, este volumen es reabsorbido, en su casi totalidad, lo largo del mismo tracto gastrointestinal. De ese modo, no tendrían por qué ser tenidas en cuenta para el balance de agua corporal. Sin embargo, en el caso de las diarreas y las fístulas, en que hay pérdida al exterior de parte de estas secreciones, o en las obstrucciones intestinales, en que hay acumulación de líquido en un asa intestinal, estos volúmenes son muy importantes y hay que tenerlos en cuenta a la hora del balance. La Tabla 3.I muestra el volumen, en mL/día, y la composición de estas secreciones

3.3 EGRESOS DE AGUA

Para mantener el balance hídrico, estos 2500 mL de agua que ingresan por día al organismo, deben ser, en ese mismo lapso, eliminados (Fig. 3.1). Las vías habituales, para estas pérdidas, son:

1) ORINA	1400 mL/ día
2) PERDIDA INSENSIBLE	800 mL/ día
3) HECES	200 mL/ día
	2500 mL/ día

A estos volúmenes debe agregarse:

4) SUDOR. Lo que se pierde por esa vía está en relación con el balance CALORICO: se pierde agua por sudor porque ese es uno de los mecanismos de pérdida de calor. Su volumen es muy variable, desde 0 hasta 2 ó 3 litros POR HORA

1) La **ORINA** es una solución acuosa que contiene solutos como el Na⁺, el K⁺, el Cl⁻, la urea, el ácido úrico, que le otorgan una cierta osmolaridad. No contiene cantidades significativas de proteínas ni de

TABLA 3.i COMPOSICION DE LOS DRENAJES GASTROINTESTINALES Y LAS SOLUCIONES DE REEMPLAZO

ORIGEN	Na+	K+	Cl-	HCO3-	pH	Vol	Sol
	mEq/L	mEq/L	mEq/L	mEq/L		mL/día	
Saliva	25	20	30	15	7,0	1500	(1)
Estómago	40-80	5-10	60-130	0	7,4-7,6	2500	(2)
Bilis	120-140	5-15	60-90	15-30	7,4-7,6	500	(3)
Páncreas o yeyuno	120-140	5-15	60-90	15-30	7,4-7,6	1000	(3)
ileon bajo	120-140	5-15	90-100	15-30	7,4-7,6	1250	(3)

Sol: solución recomendada para el reemplazo:

(1) polielectrolítica + glucosada el 5%

(2) NaCl al 0,9%

(3) Ringer Lactato (Hartmann)

Datos tomados de Berk JL y col. Handbook of Medical Care. Little, Brown & Co. Boston, 1976

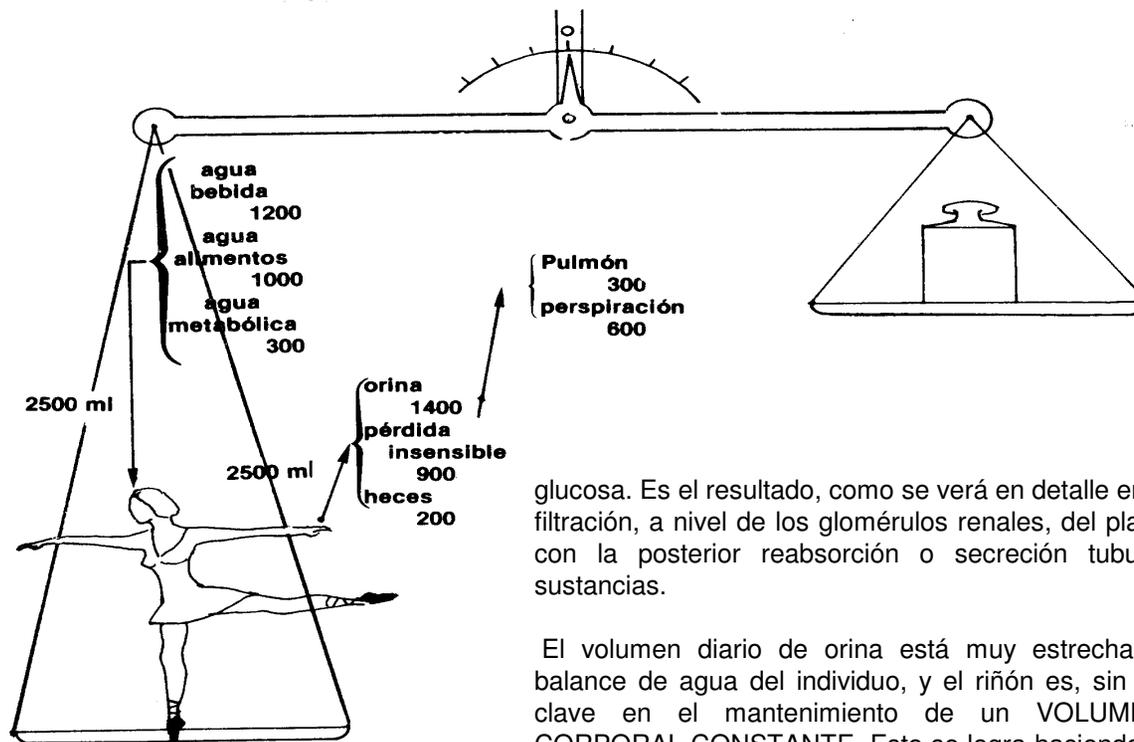


FIG 3.1 BALANCE DE AGUA EN UN HOMBRE. EL VOLUMEN TOTAL DE AGUA QUE INGRESA AL ORGANISMO ES IGUAL AL VOLUMEN QUE EGRESA Y LA PERSONA MANTIENE UN PESO CORPORAL COSNTANTE

glucosa. Es el resultado, como se verá en detalle en el Cap. 6, de la filtración, a nivel de los glomérulos renales, del plasma sanguíneo, con la posterior reabsorción o secreción tubular de algunas sustancias.

El volumen diario de orina está muy estrechamente ligado al balance de agua del individuo, y el riñón es, sin duda, el órgano clave en el mantenimiento de un VOLUMEN DE AGUA CORPORAL CONSTANTE. Esto se logra haciendo que el volumen de orina sea reducido en condiciones en que es necesario un AHORRO de agua y que aumente enormemente en los casos en que sea necesario eliminar, por ejemplo, una gran ingesta de agua. Un hombre sano está en condiciones de poner en juego mecanismos homeostáticos que lleven el volumen de orina a un VALOR MINIMO de unos 300-350 mL/día. Este es un volumen "OBLIGATORIO" que no puede ser disminuido. Así, un hombre desprovisto de agua, sudando y muerto de sed, seguirá perdiendo agua por orina y no habrá modo en que pueda evitarlo.

Su CAPACIDAD MAXIMA de eliminar grandes volúmenes es muy, amplia y, en los bebedores de cerveza, por ejemplo, se han medido volúmenes de orina de hasta 15 litros por día, sin que se produzcan alteraciones significativas de su medio interno (Ver la Nota Aparte: Hipo-osmolaridad plasmática en los grandes bebedores de cerveza).

- Orinas hipertónicas e hipotónicas

Cualquier persona, aun sin el más mínimo conocimiento médico, se puede dar cuenta de que, cuando toma mucha agua, produce un gran volumen urinario y que la orina, en ese caso, es una orina DILUIDA, su color es un amarillo muy pálido, es casi incolora, y su olor es muy débil. Por el contrario, si no ha tomado agua por un período largo y está, por ejemplo, sudando, su orina es de poco volumen, tiene un color y un olor muy intenso: es una orina CONCENTRADA. Para aproximarnos a esta idea de **diluido** y **concentrado**, podemos imaginarnos un recipiente (Fig. 3.2) que contenga una solución de 300 mOsm/L. Si ahora tomamos, de allí, por evaporación, por ejemplo, un cierto volumen de AGUA PURA, lo que quede en el recipiente tendrá una osmolaridad MAYOR que 300 mOsm/L, será hipertónica con respecto al valor inicial y diremos que el líquido se ha concentrado.

Si, por el contrario, por algún procedimiento sacamos de la solución de 300 mOsm/L una masa de SOLUTO PURO, la solución que queda en el recipiente tendrá una osmolaridad MENOR a los 300 mOsm/L, será hipotónica con respecto al valor inicial y diremos que el líquido se ha DILUIDO.

El riñón funciona de una manera similar, pero, en vez de ser un recipiente con un volumen determinado, es un sistema donde hay un FLUJO DE SANGRE. Del plasma que contiene esa sangre, a nivel de los GLOMERULOS se filtra agua, sustancias electrolíticas y no electrolíticas, pero no proteínas. Este líquido filtrado entra en el sistema tubular, donde una parte de su volumen es reabsorbido por el epitelio tubular, pasando a la sangre de los capilares que rodean los túbulos (Fig. 3.3). Si el fluido que se reabsorbe tiene una osmolaridad IGUAL a la del líquido que hay en el interior de los túbulos, obviamente lo que sale por el extremo distal de los túbulos estará reducido en volumen, pero será isotónico con respecto al líquido filtrado, formándose ORINAS ISOTONICAS (Fig. 3.4a). Si el líquido que se reabsorbe a través de la pared tubular, es hipotónico, lo que queda en la luz es hipertónico y aparecerán ORINAS HIPERTONICAS (Fig. 3.4b). Por último, si el líquido reabsorbido es de alta osmolaridad, lo que queda será hipotónico y habrá ORINAS HIPOTONICAS (Fig. 3.4c).

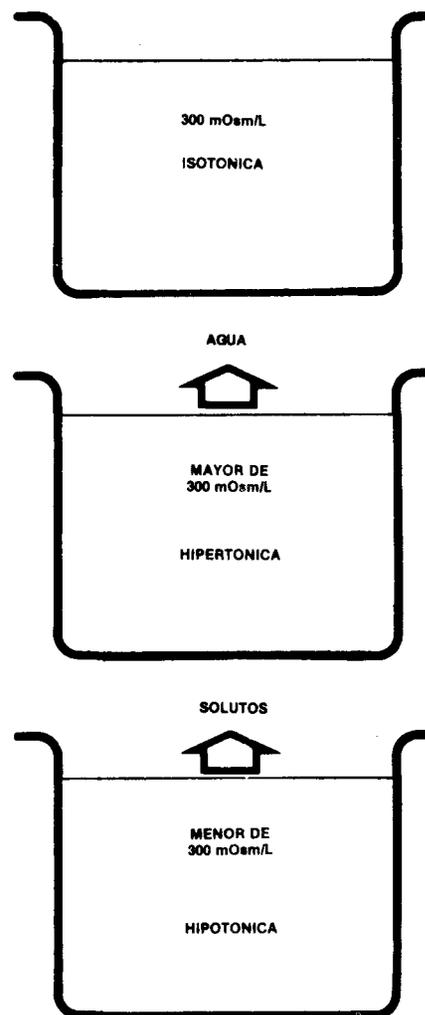


FIG 3.2 CONCENTRACION Y DILUCION DE UNA SOLUCION CUANDO, A PARTIR DE UNA SOLUCION ISOTONICA (PANEL SUPERIOR) SE SACA, PROPORCIONALMENTE, MAS AGUA QUE SOLUTO (PANEL MEDIO) LA SOLUCION SE HACE HIPERTONICA CON RESPECTO A LA SOLUCION INICIAL. CUANDO SE SACA, PROPORCIONALMENTE, MAS SOLUTOS QUE AGUA, (PANEL INFERIOR) LA SOLUCION REMANENTE SERA HIPOTONICA

- Filtración y reabsorción

En los riñones de un hombre adulto se producen unos 120 mL de filtrado glomerular POR MINUTO (FG = 120 mL/min). Esta es una cifra bastante CONSTANTE e independiente de, por ejemplo, la ingesta de agua. Este volumen filtrado significa la salida a los túbulos renales de 172800 mL POR DIA.

Si ahora colocamos los extremos del volumen urinario que mencionamos en el párrafo 3.3, podremos comprender que el riñón del hombre funciona SIEMPRE REABSORBIENDO AGUA.

En el bebedor de cerveza se filtran por día 172800 mL y, salen los túbulos, como orina, 15000 al. Por lo tanto:

$$\text{volumen urinario} = \text{volumen filtrado} - \text{volumen reabsorbido}$$

$$\text{y volumen reabsorbido} = \text{volumen filtrado} - \text{volumen urinario}$$

$$= 172800 \text{ mL/día} - 15000 \text{ mL/día}$$

$$= 157800 \text{ mL/día} = 157,8 \text{ L /día}$$

En este hombre se ha reabsorbido el 90,87% del volumen filtrado y se ha excretado el 0,2%.

En el caso del hombre desprovisto de agua y sudando, que orina apenas 350 mL por día, la situación sería:

$$\text{volumen reabsorbido} = 172800 \text{ mL/ día} - 350 \text{ mL/ día} = 172450 \text{ mL/día}$$

$$= 172,45 \text{ L/día}$$

En este hombre, se ha reabsorbido el 99,8% de lo filtrado y se excreta el 0,2%.

Sin llegar a esos extremos, en la vida habitual, con un volumen urinario de 1500 mL/día, se reabsorbe el 99,13% de lo filtrado y se excreta el 0,87%.

En todos los casos ha habido REABSORCION de agua. ¿Cómo entonces, el riñón REGULA la cantidad de agua que se excreta? Reabsorbiendo más o menos agua, pero SIEMPRE reabsorbiendo.

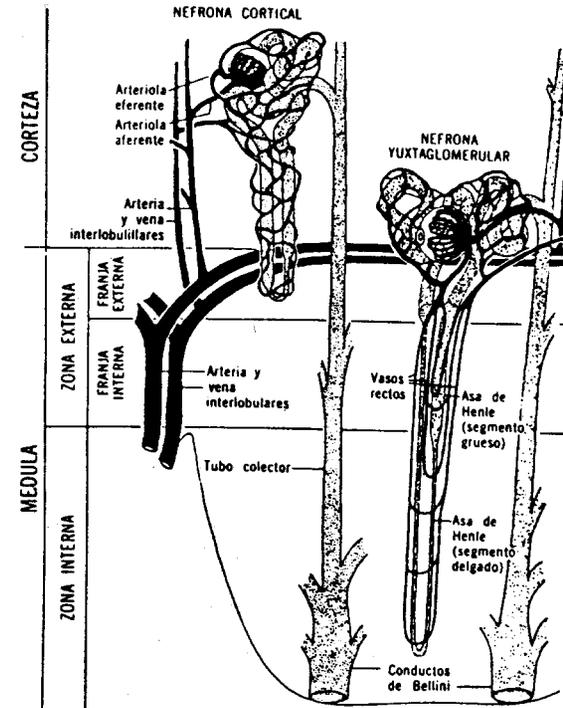


FIG 3.3 DISPOSICION DE LOS VASOS SANGUINEOS Y LOS TUBULOS EN EL RIÑON DE MAMIFERO. DURANTE LA REABSORCION PARTE DEL FLUIDO FILTRADO PASA A LOS TUBULOS Y DE ALLI A LOS CAPILARES PERITUBULARES

- Concentración de la orina y evolución

La aparición, en la evolución, de animales con capacidad de producir orinas que sean hipertónicas con respecto a su plasma, ha sido un gran paso adelante en la independencia del animal con respecto al hábitat. Un sapo, por ejemplo, no puede fabricar, por las características de su riñón, orinas hipertónicas. De ese modo, su capacidad de ahorrar agua es escasa y sus posibilidades de alejarse de la charca donde vive, muy pocas. Hay animales, por el contrario, que tienen una muy elevada capacidad de concentrar la orina. El *Psammomys*, una rata que vive en el desierto, por ejemplo, produce orinas de más de 3000 mOsm/L. Esta rata puede vivir sin beber agua, con tan sólo el agua que le aportan los alimentos y la que produce metabólicamente y así podrá vagar por el desierto. En el hombre, por su parte, aun cuando se encuentre en condiciones extremas, la orina sólo puede llegar a tener una osmolaridad de 1200-1400 mOsm/L.

- Osmolaridad máxima y volumen mínimo de orina en el hombre

Esta OSMOLARIDAD URINARIA MAXIMA determina que exista, al mismo tiempo, un volumen urinario mínimo que no puede ser inferior a los 300 mL por día.

Veamos por qué. La orina es la vía obligada de excreción de algunos solutos, principalmente urea, sodio, potasio y amoníaco. Si el hombre está, como es habitual, comiendo una dieta mixta, estos solutos representan unos 900 mOsm por día, que DEBEN ser excretados por la orina. Aun cuando no beba agua, debe "poner" esos 900 mOsm de solutos en un cierto volumen de orina. Como la osmolaridad máxima de la orina es de 1200-1400 mOsm/L, se puede comprender que los 900 mOsm de solutos deban ser eliminados en, aproximadamente, 700 mL de agua.

Supongamos, ahora, que el hombre no BEBE y tampoco COME nada. De todas maneras sigue produciendo solutos, provenientes, principalmente, del desdoblamiento de las proteínas de su propio cuerpo, que TIENEN que ser eliminados por orina. Estos solutos del ayuno son unos 250 a 350 mOsm/día. Si lo máximo que puede concentrar es hasta 1200 mOsm/L, el volumen urinario que contenga 250 mOsm, será:

$$\begin{aligned} 1200 \text{ mOsm} & \dots\dots\dots 1 \text{ litro} \\ 250 \text{ mOsm} & \dots\dots\dots x = 0,208 \text{ L} \sim \bullet 200 \text{ mL} \end{aligned}$$

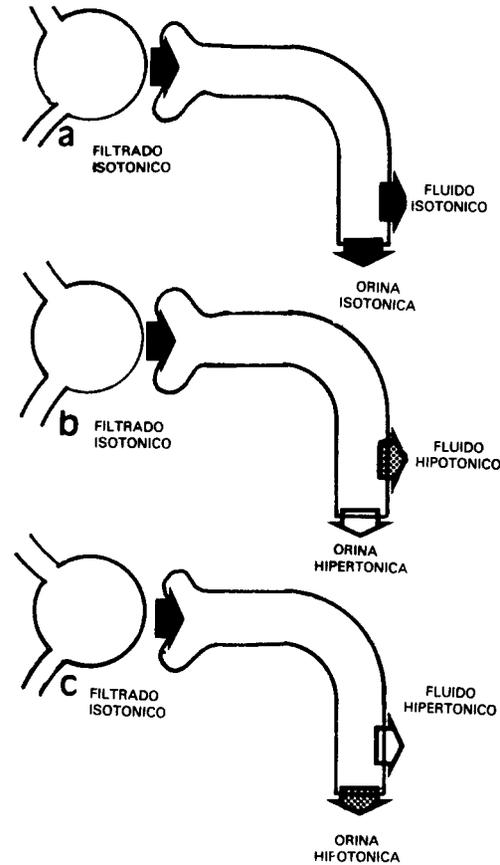


FIG 3.4 MECANISMO RENAL POR EL CUAL SE FORMAN ORINAS DE DIFERENTE CONCENTRACION. a) EN EL CASO DE QUE SE REABSORBA EN LOS TUBULOS UN FLUIDO ISOTONICO, LA ORINA SERA ISOTONICA. b) SI SE REABSORBE UN FLUIDO HIPOTONICO LA ORINA SERA HIPERTONICA. c) SI SE REABSORBE UN FLUIDO HIPERTONICO, APARECE UNA ORINA HIPOTONICA

y ese será el volumen que está obligado a excretar por día

El *Psammomys*, con una osmolaridad urinaria máxima mayor a los 3000 mOsm/L, puede eliminar sus solutos en un volumen muy pequeño. En realidad, de orina de este animal es más una pasta sólida que una solución.

2) PERDIDAS INSENSIBLES. Los egresos de agua del compartimiento corporal llamados **pérdidas insensibles** están determinados por el volumen de agua que se pierde, en cada respiración, por vía pulmonar, y el volumen que se evapora continuamente a través de la piel. En ambos casos hay pérdida de AGUA PURA, sin solutos que la acompañen, y están relacionados con la TEMPERATURA corporal y la humedad ambiente. No pueden considerarse volúmenes que **regulen** el balance de agua: se pierde agua por la piel y la respiración, pero sin relación directa, por ejemplo, con la ingesta de agua. Son PERDIDAS, claro está, y deberán ser tenidas en cuenta a la hora de sumar el agua que ingresa y el agua que egresa del cuerpo.

- **Pérdida de agua por respiración.** Un hombre adulto inspira y expira unas 12 veces por minuto un volumen de aire atmosférico de alrededor de 500 al. El aire inspirado tiene un porcentaje de agua que es variable, de acuerdo a las condiciones del lugar donde se encuentre. Sin embargo, el aire espirado está siempre saturado de vapor de agua (100% de humedad). Esto es debido a que el aire, a nivel alveolar (ver Cap. 7), equilibra su presión de vapor con la presión de vapor del agua plasmática (47 mm Hg). Si uno viviera en una atmósfera con 100% de saturación de vapor de agua, inspiraría un aire húmedo y espiraría un aire igualmente húmedo: no ganaría ni perdería, por esta vía, agua. Como, por lo general, el aire atmosférico tiene menos de 100% de saturación, al pasar por los pulmones se agrega agua y esa agua SE PIERDE en cada respiración.

Un hombre adulto, en un clima moderado, pierde entre 250 y 800 mL de agua por día por la respiración. Los factores que más claramente influyen en esta pérdida de agua son:

a) Frecuencia respiratoria: a mayor frecuencia respiratoria, mayor pérdida de agua. Tiene mucha importancia en los pacientes con TAQUIPNEA, por trastornos del sistema nervioso central, por ejemplo.

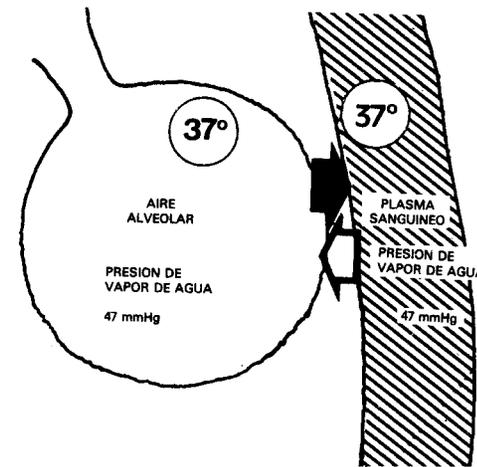


fig 3.5 EQUILIBRIO ENTRE LA PRESION DE VAPOR ALVEOLAR Y SANGUINEA A 37 C. LA PRESION DEL PLASMA, COMO LA DE CUALQUIER SOLUCION ACUOSA DILUIDA ES, APROXIMADAMENTE, DE 47 mm Hg Y SE EQUILIBRA CON LA PRESION DE VAPOR DEL AIRE ALVEOLAR Y TENDRA EL MISMO VALOR EN EL AIRE ESPIRADO

b) Fiebre: el aumento de la temperatura corporal determina un aumento de la pérdida de agua por la respiración, debido, principalmente, a la mayor frecuencia respiratoria.

c) Temperatura ambiente: su efecto es algo complicado, pero en ambientes muy cálidos y secos el pulmón puede ser una vía importante de pérdida de agua. Recuérdese, para tener una idea de esto, el caso del perro. Este animal tiene muy pocas glándulas sudoríparas, el sudor no le ayuda, como al hombre, a perder calor. Por el jadeo, el perro elimina calor y, obviamente, agua.

d) Humedad ambiente: un aumento de la humedad en el aire atmosférico hará que las pérdidas de agua, por vía respiratoria, sean menores.

- Pérdida insensible por la piel

Esta pérdida de agua es llamada también PERSPIRACION y es simplemente la evaporación de agua a través de TOOA la superficie la piel. No debe confundirse con la SUDORACION, que es la secreción de las glándulas sudoríparas de la piel y que ocupan un porcentaje relativamente pequeño de la superficie corporal. Mientras que la sudoración ocurre aun en reposo cuando la temperatura ambiente se acerca a los 37 °C, la perspiración ocurre a cualquier temperatura ambiente.

Para usar una cifra manejable, digamos que un hombre adulto sano , en un ambiente a 20 °C, pierde por perspiración unos 600 mL de agua al día.

En la medida en que se trata de una difusión de agua a través de la piel, estará influenciada por la humedad ambiente y el movimiento del aire. Si el aire alrededor del sujeto está quieto se forma una capa agua no evaporada adyacente a la superficie cutánea, disminuyendo la evaporación.

La pérdida de agua por la respiración, la pérdida insensible de agua por la piel y la sudoración son mecanismos relacionados con la pérdida de CALOR. Esto es debido a que en los tres hay un cierto volumen de agua corporal que pasa del estado líquido, como se encuentra en el interior del cuerpo, al estado gaseoso (vapor de agua), en el exterior. Este cambio de estado del agua implica la LIBERACION de una cantidad de energía,

¿QUE ES PRESION DE VAPOR? En la superficie de un líquido se establece una INTERFASE que puede ser, es una interfase agua-aire. Siempre que la temperatura del agua sea superior a los 0 grados Kelvin, habrá moléculas de agua que del líquido pasan al aire. Cuando estas moléculas de agua están en la fase gaseosa se las llama VAPOR DE AGUA. Cuanto mayor sea la temperatura del agua, mayor será la cantidad de moléculas de agua que, en la unidad de tiempo, pasen a ser vapor. Estas moléculas de agua en forma de vapor ejercen una PRESION de la fase gaseosa a la fase acuosa. En esas condiciones y para esa temperatura, existirá un valor de presión del vapor de agua que haga que el flujo de moléculas del aire al agua sea igual al flujo de moléculas de agua al aire: el flujo neto es cero y el sistema está en equilibrio. La PRESION DE VAPOR a 100 °C (ó 373 K) es de 760 mm Hg, el agua HIERVE, ya que, si estamos a nivel del mar, con una presión atmosférica de 760 mm Hg, NO puede existir ninguna molécula en estado líquido. A 37 °C, la presión de vapor del agua es de 47 mm Hg. En síntesis, la PRESION DE VAPOR mide la tendencia de las moléculas de agua a escapar hacia la fase gaseosa. **HUMEDAD RELATIVA** El término no es más que una manera de medir la PRESION DE VAPOR que hay en un ambiente dado. Supongamos que estamos en un cierto ambiente y decimos que hay HUMEDAD en el aire que nos rodea. Esto es una sensación vinculada con la concentración de moléculas de agua (PRESION DE VAPOR DE AGUA) que haya "flotando" en el aire. Por cada temperatura hay un MAXIMO de humedad posible, ya que si se trata de meter más moléculas de vapor éstas se condensan y aparece agua en su forma líquida. Ese máximo de humedad se llama SATURACION y se dirá que el medio tiene "100% de humedad". ¿Cuándo hay 100% de humedad? Cuando la presión de vapor de agua EN LA ATMOSFERA (Presión parcial del vapor de agua) es IGUAL a la presión de vapor de agua que corresponde a esa temperatura.

Humedad relativa (%) = $P_{\text{parcial}} / P_{\text{vapor}} \times 100$

Si en un ambiente a 37 °C hay 20 mm Hg de Presión parcial de vapor de agua, como la presión de vapor, a esa temperatura es de 47 mm. Hg., la humedad relativa será del 42%. Es por todo esto que se dice que el aire que sale del alvéolo sale "SATURADO DE VAPOR DE AGUA".

llamada CALOR DE VAPORIZACION. También se lo puede encontrar en los libros de Física como CALOR LATENTE DE CAMBIO DE ESTADO. La pérdida, por parte de una cierta masa, de una cantidad de calor, determina que la temperatura de esa masa disminuya. **POR CADA KILOGRAMO O LITRO DE AGUA EVAPORADA HAY UNA PERDIDA DE 539 kcal.**

3) SUDORACION. La sudoración puede llegar a ser una muy importante vía de pérdida de agua del compartimiento corporal. Como en los casos de pérdida insensible por pulmón y por piel, no debe considerarse un mecanismo de regulación del balance de agua ya que no está en relación con las entradas y salidas de agua, sino con la producción y pérdida de CALOR. Para los habitantes de los climas fríos o templados, el sudor relacionado con la pérdida de calor sólo aparece en condiciones de esfuerzo físico. Para los que viven en climas cálidos, es un componente habitual de su balance de agua y deber sumarse siempre a los egresos enumerados en 3.3. Esta pérdida de agua determinará, como se comprende, que para mantener el balance se deba aumentar el agua de bebida. El volumen del sudor varía con la temperatura ambiente y con la actividad que desarrolle el individuo. Por eso no es posible dar cifras fijas el volumen que se pierde por sudor un hombre que vive en el trópico, por ejemplo, o del volumen de agua que debe beber para compensar la pérdida. A modo de ejemplo, y adelantándonos a lo que veremos luego, diremos que un hombre caminando al sol en un clima seco, como el del desierto, puede llegar a perder hasta 4 litros de sudor en 1 hora

- **Origen del sudor.** Mientras la perspiración, como dijimos, se realiza a través de **toda** la piel, la sudoración aparece en el exterior del cuerpo por **poros** de la piel que corresponden a los extremos distales de las glándulas sudoríparas.

Las glándulas sudoríparas son de dos tipos:

- GLANDULAS ECRINAS
- GLANDULAS APOCRINAS

Las glándulas ecrinas están distribuidas, aunque en grado variable, por todo el cuerpo y son las que nos interesan, ya que, por el volumen de su secreción de agua y sales pueden alterar el balance hidrosalino del individuo.

HIPO-OSMOLALIDAD PLASMÁTICA EN LOS GRANDES BEBEDORES DE CERVEZA

Cualquier persona sana puede tomar la cantidad de agua que quiera y se mantendrá sana y en balance, ya que excreta la misma cantidad de agua Y de solutos que ingiere. Hay, incluso, un cuadro psiquiátrico llamado "Polidipsia psicogénica" en el que la persona se alimenta normalmente pero bebe, sin haber un motivo aparente, 10 ó 15 litros de agua por día. Aun así, su osmolaridad plasmática se mantiene dentro de rangos normales. Por el contrario, si esta persona SOLO bebe agua y NO COME nada durante el día, puede desarrollar una hipo-osmolaridad plasmática, Este cuadro se lo ha visto también en grandes bebedores de cerveza que toman varios litros el día y no comen: se la conoce en la literatura inglesa como "Beer potomania". La causa de esta hipo-osmolaridad es bastante sencilla: del mismo modo que hay una capacidad máxima para CONCENTRAR la orina (1200-1400 mOsm/L en el hombre), hay también una capacidad máxima de DILUIR la orina y ésta se encuentra alrededor de los 60 mOsm/L. La persona que bebe y COME puede tomar 15 litros y excretar 900 mOsm/día, con lo que su orina tendría 900 mOsm/ 15 L = 60 mOsm/ L. El que no come TIENE que excretar 300 mOsm/ día: el producto diario de su catabolismo proteico. Si orina 8 litros, como cada litro no puede tener menos de 60 mOsm/L, estará excretando 8 L . 60 mOsm/ L = 480 mOsm: tiene un BALANCE NEGATIVO de 100 mOsm/L. Esto lo ha de llevar a un cuadro de hipo-osmolaridad plasmática. La moraleja que extrae, frente a este cuadro, D. Fenestil en el libro "Disturbance in Body Fluid Osmolality" (American Physiological Society, 1977) es muy interesante: "Salt your beer!" (Sale su cerveza, lo que hacen en México con la "Tecate" .

Las glándulas apocrinas están localizadas preferentemente en las axilas y el pubis y su conducto desemboca siempre en el folículo pilosebáceo (Fig. 3.6). Su secreción comienza recién en la pubertad y es de un olor característico. Las glándulas apocrinas no participan de manera significativa en la regulación de la temperatura corporal, ya que el volumen de su secreción es pequeño. De ese modo, impedir su secreción por el uso de antisudorales no parece tener influencia sobre el balance de agua o de calor, pero cumple, sin duda, una muy importante y beneficiosa función en la convivencia social.

- Funcionamiento de las glándulas ecrinas

Las glándulas ecrinas (también llamadas meracrinas) tienen una distribución que va desde unas 60 glándulas por cm², en el muslo, hasta unas 350 por cm² en la frente, con un total de 2 a 4 millones en todo el cuerpo. Están constituidas, como muestra la Fig. 3.6, por un tubo único con el extremo distal abocado a la superficie de la epidermis. Por el otro extremo, que es cerrado, el tubo se arrolla sobre sí mismo, formando una ovilla ubicada en la dermis. Funcionalmente pueden distinguirse 2 partes en este tubo: la porción secretoria y la porción reabsortiva. En la primera, el agua y los solutos pasan de la sangre que irriga la glándula a la luz tubular. En segunda, parte del líquido secretado es transferido desde la luz a la sangre. Ambas porciones están ubicadas en la parte de la glándula en forma de espiral.

La secreción del sudor es un PROCESO ACTIVO, con participación una ATPasa Na⁺/ K⁺ dependiente, sensible a la ouabaina, que está localizada en la membrana basolateral del epitelio tubular. El sistema de acople entre el bombeo de agua y solutos propuesto para estas glándulas es el mismo que, en general, se aplica a los epitelios que mueven grandes cantidades de agua (ver Capítulo 4).

- Volumen y composición del sudor

El sudor está constituido SIEMPRE por una solución HIPOTONICA con respecto al plasma. Lo que puede variar es el grado de hipotonicidad, pero nunca supera los 100-150 mOsm/L y puede llegar, en algunos casos, a tener menos de 30 mOsm/L.

El VOLUMEN del sudor está directamente relacionado con el balance calórico del individuo. Cuando la temperatura ambiente supera

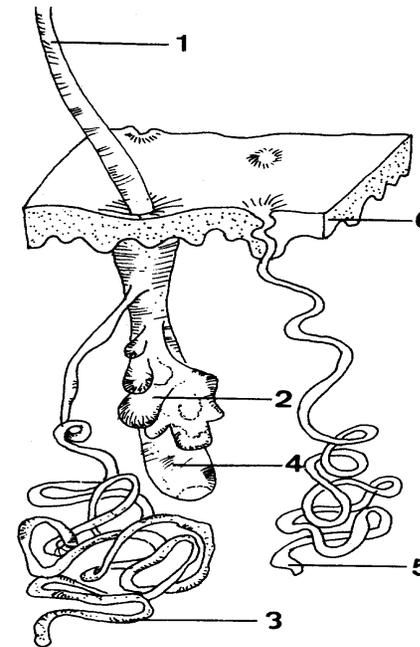


FIG 3.6 LAS GLANDULAS SUDORIPARAS DE LA PIEL. 1) PELO; 2) GLANDULA SEBACEA; 3) GLANDULAS SUDORIPARAS APOCRINAS: ESTAN LOCALIZADAS EN PUBIS Y AXILAS, SU CONDUCTO DESEMBOCA EN EL FOLICULO PILOSEBACEO, SU SECRECION COMIENZA EN LA PUBERTAD, ES DE OLOR CARACTERISTICO Y POR SU ESCASO NUMERO NO CONTRIBUYEN SIGNIFICATIVAMENTE EN LA REGULACION DE LA TEMPERATURA CORPORAL . 4) FOLICULO PILOSO. 5) GLANDULA SUDORIPARA ACRINA: DESEMBOCA DIRECTAMENTE EN LA SUPERFICIE DE LA PIEL Y PARTICIPA EN LA REGULACION DE LA TEMPERATURA CORPORAL A TRAVES DEL SUDOR. 6) EPIDERMIS

los 37 °C, la sudoración es el UNICO mecanismo que le permite, al hombre, perder calor (Ver la Nota Aparte: Mecanismos para la pérdida de calor). La EVAPORACION de 1 litro de sudor, como el de 1 litro de agua, significa, como sabemos, la pérdida de 539 kcal.

La sudoración responde a un sistema de termorregulación constituido, por una parte, por receptores a la temperatura ubicados en piel y en el interior del cuerpo. Estos receptores están conectados por vías aferentes nerviosas a un núcleo ubicado en el hipotálamo anterior. De allí, los impulsos eferentes son llevados a las glándulas sudoríparas a través del sistema nervioso autónomo principalmente por vías parasimpáticas y un mediador colinérgico. Sin embargo, las glándulas pueden también aumentar su secreción por acción de la adrenalina, que es un agonista simpático. (Ver Nota aparte: El sudor frío)

Hay, también. una regulación local del sudor, determinada por temperatura de la piel que rodea la glándula.

- **Aclimatación al calor y sudoración.** Sería sencillo decir que, cuanto mayor sea la temperatura ambiente mayor será el volumen de sudor, pero hay que tener en cuenta el tiempo que lleva el individuo viviendo en un ambiente de alta temperatura. Supongamos que un habitante de Londres es trasladado en avión a Maracaibo. Esta persona deberá, rápidamente, comenzar a sudar para mantener el balance térmico. No ser raro verlo perder unos de 500 mL de sudor en 1 hora. Luego, vendrá un período de ACLIMATACION de unos 15 a 30 días, en el que las glándulas desarrollan mecanismos que le permiten la secreción de un volumen MAYOR de sudor.

Colocado en condiciones bastantes severas, un sujeto no aclimatado puede perder 1,5 litros en 1 hora y en las mismas condiciones, perder 2,5 litros, en el mismo lapso, cuando se ha aclimatado.

Como se comprenderá, la persona aclimatada está, de ese modo, más protegida frente un posible aumento de la temperatura corporal. Así, los no-aclimatados desarrollan, con más frecuencia, cuadros hipertérmicos conocidos como INSOLACION y GOLPE DE CALOR.

Este concepto de ACLIMATACION como la posibilidad de **sudar más** está, aparentemente, en contradicción con la afirmación popular de que los que nacieron y vivieron siempre en una zona cálida sudan menos que los llegados de fuera. Esta afirmación es cierta y parece estar relacionada con una mayor eficiencia del mecanismo de producción del calor, así como una modificación de los métodos y ritmos de trabajo.

MECANISMOS PARA LA PERDIDA DE CALOR

Los animales HOMEOTERMOS, como el hombre, mantienen una temperatura corporal constante, pese a que en el exterior la temperatura sea tan baja como 12 °C o tan alta como 60 °C. Este constancia es el resultado, como para tantas otras cosas, del balance entre entradas y salidas. El hombre PRODUCE calor como un resultado secundario de sus procesos metabólicos y lo debe PERDER en la misma cantidad. Para estas pérdidas dispone de 4 mecanismos básicos.

- RADIACION
- CONDUCCION
- CONVECCION
- EVAPORACION

La RADIACION es el calor que es emitido por el cuerpo en forma de radiación INFRARROJA. Si la temperatura ambiente es mayor que la temperatura corporal, el cuerpo no perderá calor por radiación sino que lo ganará, ya que los cuerpos que lo rodean también la emiten. La CONDUCCION del calor ocurre entre dos cuerpos en contacto directo y, para el caso del hombre, la mayor parte del calor se conduce por el AIRE que rodea su cuerpo. Sin embargo, si éste no se mueve, rápidamente adquiere la temperatura del cuerpo y no se pierde más calor por esta vía. Si hay una corriente de aire, esta renovación del aire, que se llama CONVECCION, aporta aire "nuevo", con capacidad de conducir y el mecanismo de conducción vuelve a ser eficiente. Si la temperatura del aire es mayor de 37 °C, obviamente se conduce de la atmósfera el hombre y no al revés. La EVAPORACION es la transformación del agua en vapor y es el único que funciona a temperaturas ambientes superiores a los 37 °C, siempre que el aire no esté SATURADO de vapor de agua. Un VENTILADOR no baja la temperatura ambiente, pero aumenta la convección y ayuda a la evaporación, permitiendo una mayor pérdida de calor por el cuerpo del sujeto.

. En un grupo de soldados británicos, estudiados en el desierto de Adén, la producción de sudor aumentó durante las dos primeras semanas de llegados al lugar, para declinar luego. Habría, entonces, dos fases en la aclimatación al calor. Una primera, rápida, de aumento del volumen de sudor que posibilitaría una mayor pérdida de calor, y una segunda de adaptación de los mecanismos producción de calor.

Sudor y ejercicio. El sudor está regulado por la temperatura en los receptores de la piel y el interior del cuerpo. Por eso, si bien la temperatura externa es un factor importante para la producción del sudor, una mayor producción endógena de calor también determina un mayor volumen de sudor. En una carrera de 5000 metros, por ejemplo, un atleta tendrá una producción EXTRA de calor del orden de las 350 kcal. Este exceso se eliminará por medio del sudor.

En la **COMPOSICION del sudor** intervienen la mayoría de los componentes del plasma, pero en una concentración MENOR. Una excepción a esta regla la constituye el K^+ , que puede llegar a tener, en el sudor, una concentración de 50 mEq/L, mientras que la concentración en plasma es de 4,5 mEq/L. Sin embargo, esta alta concentración de K^+ en el sudor sólo se llega a observar cuando el volumen de sudor es bajo. Por lo tanto, difícilmente puede ocurrir una pérdida importante de K^+ corporal por esta vía.

El Na^+ , por su parte, está presente, con sus aniones acompañantes, en el sudor y su salida del extracelular sí puede determinar alteraciones en el volumen y composición del medio interno. La aclimatación determina que la concentración de Na^+ en el sudor disminuya progresivamente. Así, una persona no aclimatada puede llegar a tener 50 o más mEq/L de Na^+ en su sudor, mientras que una persona aclimatada, en las mismas circunstancias, puede producir un sudor con 10-15 mEq/L. Esta capacidad de ahorrar Na^+ del sudor por la aclimatación, se ve disminuida cuando los volúmenes de sudor son altos. Si bien las personas aclimatadas siguen teniendo CONCENTRACIONES de Na^+ bajas, como su flujo de sudor es mayor, la MASA de Na^+ perdida puede ser alta. (Fig. 3.7). De los otros componentes del plasma, la glucosa, por ejemplo tiene en el sudor una concentración variable entre 0 y 6 mg/ 100 mL, cuando la concentración plasmática es de 100 mg/ 100 mL. En el sudor hay una cierta cantidad de proteínas, pero que difícilmente sobrepasa los 100 mg/ 100 mL, contra 7 g/ 100 mL, en plasma.

SUDOR FRIO

Todos sabemos, porque lo hemos experimentado, lo que es sudar cuando hace calor o se hace un ejercicio. La piel está enrojecida y caliente, indicando que hay una vaso dilatación cutánea, uno de los mecanismos que han de favorecer la pérdida de calor: sería como abrir la válvula del radiador de un auto. En esas condiciones, el sudor es un líquido, también caliente, con baja osmolaridad. Una situación diferente es el sudor que se asocia, en las personas sanas a los llamados cuadros "vaso-vagales": un estudiante de medicina que ve por primera vez un cadáver, una extracción de sangre o ante cualquier otra situación emocional, se pone pálido, se siente confuso, la visión se hace borrosa, bostezo repetidamente y comienza a sudar, pero con la piel fría (SUDOR FRIO) El líquido del sudor es más viscoso y se adhiere a la piel. Estos cuadros son bastante frecuentes y corresponden a descargas del parasimpático, con intensa vasodilatación periférica, bradicardia e hipotensión. Los cuadros más severos aparecen cuando el sujeto está de pie, condición en la que se agrega una disminución del retorno venoso y de la irrigación cerebral. Esto puede llevar a lo que se conoce como síncope o lipotimia. El sujeto por lo general se recupera cuando se acuesta o cae al suelo. Una buena maniobra, frente a estos casos es, estando el sujeto acostado, elevar sus piernas. Esto movilizará un buen volumen de sangre hacia los territorios centrales. Una mala maniobra es tratar de ponerlo de pie, con la excusa de que el suelo está frío o sucio o que ... "Pobre, como lo vamos a dejar en el suelo..." Como todas las cosas en que interviene el sistema autónomo, la voluntad tiene poco que ver. Es una situación médica en la que hay que ayudar al paciente

4) HECES

Las materias fecales, en el hombre, tienen un contenido de agua relativamente bajo, por lo que se eliminan, por esta vía, unos 200 a 300 mL de agua por día. En una persona sana que no reciba agua, el contenido de agua de las heces baja aún más. Así, si tuviéramos que evaluar las pérdidas de agua de un sujeto que está sin beber desde hace varios días en el desierto, podríamos decir, sin equivocarnos, que la pérdida de agua por esta vía es nula. El intestino se convierte en la VIA PRINCIPAL de pérdida de agua en las DIARREAS. En Latinoamérica y en todos los países en que un porcentaje elevado de la población vive en condiciones extremas de pobreza, las diarreas son la principal causa de muerte en niños menores de 3 años. La causa más frecuente de estas diarreas es la contaminación del agua de bebida por *Vibrio cholerae*, originalmente sólo en Asia y ahora en toda Latinoamérica y por *Escherichia coli*, Salmonellas y rotavirus. Otro elemento importante es transmisión por la manos de los portadores.

La pérdida de agua de electrólitos por diarreas puede determinar graves alteraciones al medio interno, muchas veces agravada por la aparición simultánea de vómitos. Las diarreas, su origen y consecuencias, serán discutidas en el Capítulo 5, cuando sea tratada la absorción intestinal.

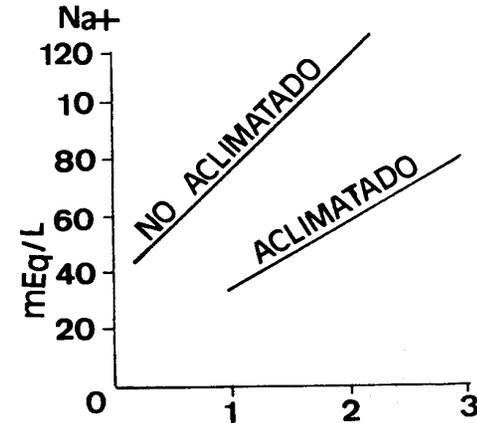


FIG 3.7 RELACION ENTRE LA CONCENTRACION DE Na^+ EN EL SUDOR Y SU PRODUCCION EN PERSONAS ACLIMATADAS Y NO ACLIMATADAS. (Tomado de Maxwell MH y Kleeman CR: *Clinical disorders of fluid and electrolyte metabolism*. McGraw Hill Book Co., 1980) Nótese que los sujetos Aclimatados pueden producir un volumen mayor de sudor y, para la misma producción, la concentración de Na^+ es menor. Sin embargo, para los efectos del balance debe calcularse la masa de Na^+ perdida en la unidad de tiempo ($\text{mEq/L} \times \text{L/hora}$)

EN ESTE MOMENTO USTED DEBE RESOLVER EL PROBLEMA 1 DEL FINAL DEL CAPITULO

FIN DE LA PARTE 1 DEL CAPITULO 3, CONTINUA PARTE 2