

# Utilidad de la fórmula de Adrogué-Madias en la estimación del sodio alcanzado post fluidoterapia en pacientes quemados

## Utility of the formula of Adrogué-Madias in the estimation of sodium achieved after fluid therapy in burned patients

Edgar Jhasler Llanos-Tenorio<sup>1,a</sup>, Sergio Daniel Guerrero-Jaramillo<sup>1,a</sup>, Oscar Alberto Díaz-Cabrejos<sup>1,b</sup>

### RESUMEN

**Introducción:** La fórmula de Adrogué - Madias es ampliamente usada en la hiponatremia para estimar el sodio alcanzado por fluidoterapia, pero no se han hecho estudios para ver su utilidad en pacientes quemados. **Objetivo:** determinar la utilidad de la fórmula de Adrogué - Madias en la estimación del sodio alcanzado post fluidoterapia en pacientes quemados. **Material y método:** estudio de cohorte descriptivo. Población: pacientes con edad < 14 años con quemaduras >10% de SCQ, y pacientes > 14 años con SCQ >15%, que lleguen en las primeras 24 horas de la quemadura. El volumen de infusión se calculó a partir la SCQ. Se tomaron análisis de gases arteriales al ingreso y terminadas las primeras 24 horas para comparar la natremia. Finalmente se compara el sodio calculado con la fórmula de Adrogué - Madias y el sodio real a las 24 horas. **Resultados:** población: 24 pacientes. El 79.2% de la población tuvo hiponatremia. La prueba t de student para muestras relacionadas comparó el sodio obtenido por la fórmula de Adrogué - Madias y el sodio real a las 24 horas, obteniéndose un valor de  $t = 7.893$  (IC 95%,  $p = 0.000189$ ). El coeficiente de correlación de Pearson no mostró significancia estadística al relacionar las características clínicas con la diferencia entre el sodio obtenido por la fórmula de Adrogué - Madias y el sodio real a las 24 horas. **Conclusión:** la fórmula de Adrogué - Madias no es útil en la determinación del sodio post fluidoterapia en pacientes quemados.

**Palabras clave:** Niño; Hiponatremia; Fluidoterapia (Fuente: DeCS-BIREME).

### ABSTRACT

**Introduction:** Adrogué - Madias' formula is widely used in hyponatremia to estimate the sodium achieved by fluid therapy, but no studies have been done to see its usefulness in burned patients. **Objective:** Determine the utility of the Adrogué - Madias' formula in the estimation of sodium achieved after fluid therapy in burned patients. **Material and method:** Descriptive cohort study. Population: patients aged <14 years with burns > 10% of BSA, and patients > 14 years with BSA > 15%, who arrive in the first 24 hours of the burn. The infusion volume was calculated according to SCQ. Arterial blood gas analysis was taken on admission and completed the first 24 hours to compare the sodium. Finally, the calculated sodium with the Adrogué - Madias' formula and the real sodium at 24 hours were compared. **Results:** population: 24 patients. 79.2% of

the population had hyponatremia. Student's t-test for related samples compared the sodium obtained by Adrogué-Madias' formula and the sodium at 24 hours, obtaining a value of  $t = 7.893$  (95% IC,  $p = 0.000189$ ). The Pearson correlation coefficient did not show statistical significance when relating the clinical characteristics with the difference between the sodium obtained by the Adrogué - Madias' formula and the sodium at 24 hours. **Conclusion:** the Adrogué - Madias' formula is not useful in the determination of sodium after fluid therapy in burned patients.

**Keywords:** Child; Hyponatremia; Fluid Therapy (Source: DeCS-BIREME).

### INTRODUCCIÓN

La hiponatremia per se, así como su manejo inadecuado en el paciente quemado conlleva consecuencias muy graves a nivel neurológico, ya que puede causar edema cerebral e incremento en la mortalidad por medio del

1. Facultad de Medicina Humana, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú.  
a. Médico Cirujano.  
b. Médico Especialista en Cirugía Plástica y Reparadora.

cambio en la osmolaridad y las características electroquímicas del líquido cefalorraquídeo y las neuronas. Los primeros casos descritos de encefalopatía en quemados fueron reportados por Warlow & Hinton, todos ellos tenían hiponatremia, aunque el nivel de la misma en la mayoría de ellos no justificaba el cuadro clínico<sup>(1,2)</sup>. En el estudio publicado por Mukhdomi y cols. señalan que la hiponatremia fue la primera causa de convulsiones en pacientes quemados pediátricos<sup>(3)</sup>; en cambio, en el estudio publicado por Abedipour y cols. la primera causa de convulsiones en niños quemados fue la convulsión febril, seguida por la hiponatremia<sup>(4)</sup>.

La corrección demasiado rápida de la hiponatremia puede terminar en daño neurológico permanente causado por la mielinólisis pontina central (CPM). Cohen B y cols. reportan hasta el año 1991 un total de 16 casos de CPM en pacientes con quemaduras severas, sin mencionar frecuencias relativas<sup>(5)</sup>.

Horacio Adrogúe y Nicolaos Madias presentaron en el año 1996 en la Convención Anual de la Sociedad Americana de Nefrología una nueva fórmula para la corrección de las disnatremias. El nuevo enfoque se basa en que el cambio en la concentración del sodio sérico del paciente ( $\Delta [Na^+]_s$ ) como resultado de la retención de 1 litro de cualquiera de las soluciones usualmente administradas en la fluidoterapia puede ser estimado mediante la siguiente ecuación: ( $\Delta [Na^+]_s = [Na^+]_{inf} - [Na^+]_s / ACT + 1$ ) donde  $[Na^+]_{inf}$  y  $[Na^+]_s$  representan la concentración de sodio de la infusión y del paciente respectivamente, expresado en mEq/L, ACT representa el agua corporal total del paciente, expresado en litros<sup>(6)</sup>.

Las ventajas de la fórmula de Adrogúe-Madias sobre las fórmulas convencionales son: es aplicable tanto para la hiponatremia como para la hipernatremia, relaciona directamente la cantidad de infusión administrada con el cambio en la concentración plasmática de sodio del paciente (en mEq/L), anticipa el impacto de las soluciones con diferentes cantidades de sodio en la natremia del paciente<sup>(7-9)</sup>.

No hay antecedentes de estudios que hayan evaluado la exactitud de la fórmula de Adrogúe - Madias en la corrección de la hiponatremia en pacientes quemados, de ahí la importancia de este trabajo. Además, este estudio nos permitirá obtener información sobre el ritmo de corrección del sodio en quemados, por lo que el objetivo de este estudio es determinar la utilidad de la fórmula de Adrogúe - Madias en la estimación del sodio alcanzado post fluidoterapia en pacientes quemados del Hospital Regional Docente Las Mercedes.

## MATERIAL Y MÉTODOS

La población elegible fueron los pacientes con

quemaduras por líquidos calientes o fuego directo con  $SCQ > 10\%$  en caso de  $< 14$  años y  $SCQ > 15\%$  en caso de edad  $> 14$  años que acudan al Servicio de Emergencia del Hospital Regional Docente Las Mercedes - Chiclayo (HRDLMCH) en las primeras 24 de producida la quemadura sin haber recibido tratamiento previo durante el periodo enero a diciembre del 2017. No se calcula muestra por ser un estudio censal.

El registro de datos se realizó en una ficha protocolo que tiene la siguiente estructura: 1) Filiación: Nombre, Edad, Sexo, Fecha y Hora de Ingreso, agente de la quemadura, Peso, SCT(m2), SCQ(m2), 2) Evaluación Clínica - Laboratorial (al ingreso y al finalizar las 24 horas): signos vitales, datos de hemograma completo, bioquímica sanguínea, gases arteriales, proteínas totales y fraccionadas, volumen de rehidratación, sodio estimado con la fórmula de Adrogúe-Madias 3) Balance Hídrico.

En el Servicio de Emergencia del Hospital Regional Docente Las Mercedes - Chiclayo (HRDLMCH) se procedió a recibir al paciente quemado, e inmediatamente se tomó muestras de sangre para los análisis pertinentes, así mismo se instaló una vía venosa periférica o un catéter venoso central en caso que no haya acceso venoso periférico.

Se procedió a calcular la Superficie Corporal Total mediante la siguiente relación:  $(\text{peso}(\text{Kg}) \times 4 + 7) / (\text{peso}(\text{Kg}) + 90)$ , y Para el porcentaje de superficie corporal quemada usamos el Normograma de Lund y Browder<sup>(7)</sup>.

El cálculo de los requerimientos hídricos de los pacientes pediátricos fue evaluado mediante el protocolo de Shriners Burn Institute Galveston ( $5000\text{ml} \times \text{m}^2\text{SCQ} + 2000\text{ml} \times \text{m}^2 \text{SCT}/24\text{h}$ ). El requerimiento hídrico de pacientes quemados adultos se calculó con la fórmula de Parkland ( $4 \text{ ml/kg}/\%SCQ$ )<sup>(8)</sup>. Tanto a los adultos como a los niños se les administró la solución dextrosa al 5% 940 cc + 2 ampollas de cloruro de sodio al 20% (20 ml/amp) + 1 ampolla de bicarbonato de sodio 8,4% (20 ml/amp). El 50% del volumen total se pasó en las primeras 8 horas, y el 50% restante en las siguientes 16 h.

La fórmula de Adrogúe-Madias ( $\Delta [Na^+]_s = [Na^+]_{inf} - [Na^+]_s / ACT + 1$ ) se utilizó para estimar el sodio sérico que se debería alcanzar al infundir el volumen ya calculado<sup>(6)</sup>.

Al finalizar las primeras 24 horas, se tomaron nuevas muestras de sangre y gases arteriales para el análisis laboratorial correspondiente cuyos datos fueron recogidos en la ficha protocolo para luego ser sometidos a análisis estadístico.

Se comparó la media del sodio real a las 24 horas de

iniciada la fluidoterapia y el sodio estimado mediante la fórmula de Adrogué - Madias. Para verificar la normalidad de los datos se usó la prueba de Shapiro-Wilk, al ver que los datos se ajustaban a la normalidad decidimos emplear la prueba t de student para muestras apareadas. El programa estadístico utilizado fue el IBM SPSS STATISTICS 24, con un intervalo de confianza del 95% y  $p < 0,05$ .

En los aspectos éticos, se guardó la confidencialidad de los pacientes asegurando que sus nombres no sean publicados y los datos de su historia clínica no hayan sido divulgados, tampoco se ha modificado el protocolo de tratamiento utilizado en el Servicio de Quemado del Hospital Regional Docente Las Mercedes.

## RESULTADOS

Se atendieron 114 pacientes en el servicio de Quemados del HRDLMCH, y 24 pacientes cumplieron los criterios de selección.

**Tabla N°1. Resultados laboratoriales al ingreso en pacientes quemados**

Variable	$x \pm ds$	Rango
Hematocrito (%)	39,57±8,04	(27-66)
Sodio (mEq/L)	130,73±9,49	(114,4-153,8)
pH	7,29±0,085	(7,09-7,52)
$(HCO_3)^-$ (mEq/L)	18,25±4,68	6,6-25,4

En nuestro estudio el 79,2 % de la población (n=19) cursó con algún grado de hiponatremia, el 58,3% de las quemaduras fueron producidas por el contacto con agua hirviendo, mientras que el resto se debió a fuego directo.

La tabla 2 muestra la comparación del sodio estimado por Adrogué-Madias y el sodio alcanzado post fluidoterapia en los pacientes que presentaron hiponatremia al ingreso (n=19), donde son estadísticamente diferentes ( $p < 0.001$ ).

**Tabla N°2. Comparación entre las medias de sodio en pacientes quemados**

Sodio (mEq/L)	Diferencia Media	Desv. Estándar	p
Fórmula-Post Fluidoterapia	1,267,947	7,01	$p < 0,001$
Inicial-24 horas	15,711	7,09	$p < 0,001$

**Tabla N°3. Correlación entre las características clínicas y la diferencia entre el sodio estimado con Adrogué-Madias y el sodio a las 24 horas en pacientes quemados.**

Características clínicas	Coefficiente de correlación	p
Edad	0,082	0,702
SQC (%)	0,292	0,167
Hematocrito al ingreso	-0,061	0,777
Leucocitos al ingreso	0,133	0,536
Abastados (%) al ingreso	-0,236	0,266
Linfocitos al ingreso	0,033	0,878
Urea al ingreso	-0,152	0,480
Creatinina al ingreso	-0,053	0,806
PH al ingreso	-0,179	0,401
Bicarbonato al ingreso	-0,316	0,132
Diuresis al ingreso	0,100	0,642
Albúmina al ingreso	-0,036	0,875

## DISCUSIÓN

Nuestro estudio muestra que existe evidencias suficientes ( $p < 0,01$ ) para afirmar que los valores de sodio a las 24 horas post fluidoterapia en pacientes quemados difieren de los hallados con la fórmula de Adrogué-Madias. Estos resultados contrastan con los obtenidos por Liamis G. et al donde concluyen que la fórmula de Adrogué-Madias predice con exactitud los cambios en la concentración de sodio en la mayoría de pacientes<sup>(10)</sup> y la recomienda como una herramienta útil en el manejo de las disnatremias, dicho estudio se llevó a cabo en pacientes con depleción de volumen, síndrome de secreción inadecuada de hormona antidiurética y polidipsia primaria, sin considerar a pacientes quemados. En el estudio hecho por Lindner G. et al se concluye que el volumen de infusión se puede calcular de manera adecuada usando la fórmula de Adrogué-Madias, pero que en algunos casos puede haber variaciones mayores de 4 mEq/L<sup>(11)</sup>, en dicho estudio se incluyeron pacientes eu e hipervolémicos, sin considerar pacientes quemados.

Una de las prioridades en la resucitación de pacientes quemados es mantener constante el volumen sanguíneo circulante efectivo por lo cual se transfunde plasma y paquetes globulares. Estas pueden ser una de las causas del porque la fórmula de Adrogué-Madias infraestima el sodio real a las 24 horas en pacientes quemados, ya que

en los estudios para evaluar la eficacia de dicha fórmula no hay transfusión de hemoderivados.

Tal como lo presentó Donnan y Gibs<sup>(12)</sup>, cuando se administra un anión no difusible a un compartimiento separado de otro por una membrana con permeabilidad selectiva para ciertos iones, se produce lo que se conoce como el “equilibrio Donnan”, en el cual hay una distribución de cargas entre esos dos compartimientos hasta alcanzar un equilibrio. Por lo tanto, teniendo en cuenta que los pacientes quemados reciben infusiones de plasma que tienen un alto contenido proteico, se produce un influjo de iones hacia el intravascular haciendo que el sodio se eleve mucho más de lo esperado, esta sería una de las razones por lo que la fórmula de Adrogué - Madias no predice con exactitud el sodio alcanzado post fluidoterapia.

En el paciente quemado existen unos niveles extremadamente elevados de hormona antidiurética (hasta 50 veces el valor normal), pero también se desarrolla una resistencia por parte del riñón hacia dicha hormona, conllevando a la llamada disociación de la osmorregulación del paciente quemado<sup>(13,14)</sup>, lo cual sería otro factor contribuyente a la falta de utilidad de la fórmula de Adrogué-Madias en este tipo de pacientes.

Se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson para relacionar las características clínicas del paciente quemado con la diferencia obtenida entre el sodio obtenido con la fórmula de Adrogué-Madias y el sodio real a las 24 horas post infusión, tratando de ver si esta diferencia tiene significancia estadística con alguna característica clínica específica del paciente del quemado. En los resultados no encontramos evidencia suficiente ( $p > 0,01$ ) para afirmar que exista relación entre dichas variables. No existen estudios similares a este que nos permitan contrastar nuestros resultados.

Este trabajo nos permite visualizar el ritmo de corrección de la hiponatremia en el servicio de quemados del Hospital Regional Docente Las Mercedes usando la solución de dextrosa al 5% 940 cc + 2 ampollas de cloruro de sodio al 20% (20 ml/amp) + 1 ampolla de bicarbonato de sodio 8,4% (20 ml/amp), la cual según el estudio de Rojas G. et al<sup>(9)</sup> tiene la misma eficacia que la solución de Ringer Lactato usada por Parkland. Los resultados que obtenemos se expresan en la diferencia entre el sodio a las 24 horas y el sodio al ingreso, el valor mínimo es 7 mEq/L y el máximo es 35,5 mEq/L, una media de 15,7 + 7,09 mEq/L, cabe resaltar que el 62,5% de los pacientes tratados elevó el sodio en más de 10 mEq/L durante las primeras 24 horas. Esto contrasta con las recomendaciones publicadas en el estudio de Nagler E. et al donde se hace una revisión sistemática de las guías de práctica clínica sobre el tratamiento de la hiponatremia en países de Europa, Estados Unidos de Norteamérica y Australia, y recomiendan una elevación

del sodio en las primeras 24 horas no mayor a 8-12 mEq/L<sup>(15)</sup> debido al riesgo de producción del síndrome de mielinólisis pontina. En el artículo sobre hiponatremia publicado por Adrogué - Madias<sup>(16)</sup> refieren que la mayoría de casos de mielinólisis pontina ocurren cuando el ritmo de corrección de sodio excede a 12 mEq/L por día, así que ellos recomiendan un ritmo de corrección no mayor a 8 mEq/L/d. Cohen J. et al<sup>(5)</sup> al reportaron un caso de mielinólisis pontina en una paciente quemada, con sodio al ingreso de 106 mEq/L, y sodio a las 24 horas de 141 mEq/L, cuya elevación (35 mEq/L) es similar al máximo valor de elevación de sodio en nuestro estudio (35,5 mEq/L).

Se concluye que la fórmula Adrogué-Madias no es útil para predecir el sodio alcanzado post fluidoterapia en pacientes quemado debido a que no tiene en cuenta la administración de proteínas y hemoderivados.

Durante la realización del estudio se presentaron algunas limitaciones tales como el reducido número de pacientes que cumplieron los criterios de inclusión, lo cual no permite hacer una conclusión categórica sobre nuestros hallazgos.

**Conflictos de interés:** Los autores niegan conflictos de interés.

**Financiamiento:** Autofinanciado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bohórquez M. Encefalopatía en pacientes quemados. *Rev Arg de Quem.* 2000;15(2).
2. Snodgrass S. Neurologic Manifestations of Systemic Illness | Neupsy Key [Internet]. [citado 2016]. Disponible en: <http://neupsykey.com/neurologic-manifestations-of-systemic-illness/>
3. Mukhdomi GJ, Desai MH, Herndon DN. Seizure disorders in burned children: a retrospective review. *Burns.* 1996;22(4):316-9.
4. Abedipour M, Tavasouli A, Sobouti B, Mansourimanesh M, Eslami NS, Alny MB. Frequency and causes of seizure among hospitalized burned children. *Burns.* 2014;40(4):737-43.
5. Cohen BJ, Jordan MH, Chapin SD, Cape B, Lauren R. Pontine myelinolysis after correction of hyponatremia during burn resuscitation. *J Burn Care Rehabil.* 1991;12(2):153-6.
6. Adrogué HJ, Madias NE. Aiding fluid prescription for the dysnatremias. *Intensive Care Med.* 1997;23(3):309-16.
7. Herndon DN. *Total burn care.* 4° Ed. Elsevier Saunders; 2012.
8. Pham TN, Cancio LC, Gibran NS, American Burn Association. American Burn Association practice guidelines burn shock resuscitation. *J Burn Care Res Off Publ Am Burn Assoc.* 2008;29(1):257-66.
9. Rojas G, Mestanza L, Díaz O. Eficacia de la solución

- de dextrosa al 5% con cloruro de sodio al 20% y bicarbonato de sodio en la reanimación hidroelectrolítica de niños quemados de 0 a 14 años en las primeras 24 horas de atención. *Rev Cuerpo Méd HNAAA*. 2014;7(4):31-8.
10. Liamis G, Kalogirou M, Saugos V, Elisaf M. Therapeutic approach in patients with dysnatraemias. *Nephrol Dial Transplant Off Publ Eur Dial Transpl Assoc - Eur Ren Assoc*. 2006;21(6):1564-9.
  11. Lindner G, Schwarz C, Kneidinger N, Kramer L, Oberbauer R, Druml W. Can we really predict the change in serum sodium levels? An analysis of currently proposed formulae in hypernatraemic patients. *Nephrol Dial Transplant Off Publ Eur Dial Transpl Assoc - Eur Ren Assoc*. 2008;23(11):3501-8.
  12. Barret K, Barman S. *Ganong Fisiología médica*. 23.a ed. México: Mc Graw Hill; 2010.
  13. McIntosh N, Michaelis L, Barclay C, Muir M, Stephen R, Sedowofia K. Dissociation of osmoregulation from plasma arginine vasopressin levels following thermal injury in childhood. *Burns J Int Soc Burn Inj*. 2000;26(6):543-7.
  14. Crum RL, Dominic W, Hansbrough JF, Shackford SR, Brown MR. Cardiovascular and neurohumoral responses following burn injury. *Arch Surg Chic Ill* 1960. 1990;125(8):1065-9.
  15. Nagler EV, Vanmassenhove J, Veer SN van der, Nistor I, Biesen WV, Webster AC, et al. Diagnosis and treatment of hyponatremia: a systematic review of clinical practice guidelines and consensus statements. *BMC Med [Internet]*. 2014 [citado 2018];(12). Disponible en: <http://paperity.org/p/57000790/diagnosis-and-treatment-of-hyponatremia-a-systematic-review-of-clinical-practice>
  16. Adrogé HJ, Madias NE. Hyponatremia. *N Engl J Med*. 2000;342(21):1581-9.

#### Correspondencia

Edgar Jhasler Llanos Tenorio  
Teléfono: 982987505  
Correo: [edgar\\_pk@hotmail.com](mailto:edgar_pk@hotmail.com)

#### Revisión de pares

Recibido: 02/03/2018  
Aceptado: 20/05/2018