

Niveles de Concentración de Aluminio en Fórmulas Infantiles

*Navarro Blasco, Iñigo**, *Alvarez Galindo, José Ignacio** y *Villa Elízaga, Ignacio***

* Dpto. Química y Edafología. Universidad de Navarra. Pamplona.

** Dpto de Pediatría y Cirugía Pediátrica. Hospital General Universitario "Gregorio Marañón". Madrid.

Nº de páginas: 19

Nº de tablas: 3

Nº de figuras: 2

Agradecimientos: Los autores desean expresar su agradecimiento al Gobierno de Navarra por la financiación del presente trabajo de investigación

Enviar la correspondencia a:

Iñigo Navarro Blasco
Dpto de Química y Edafología
Fac. de Ciencias
Universidad de Navarra
Irunlarrea s/n
31.080 Pamplona (Navarra)

Tfno. 948 425600

Fax. 948 425649

Email: inavarro@unav.es

Niveles de Concentración de Aluminio en Fórmulas Infantiles

Navarro Blasco I*, Alvarez Galindo JI* y Villa Elízaga I.**

* Dpto. de Química y Edafología. Universidad de Navarra. Pamplona.

** Dpto de Pediatría. Hospital Gregorio Marañon. Madrid.

RESUMEN

Los altos contenidos de aluminio encontrados en las fórmulas infantiles con mayor grado de procesamiento han llevado a las organizaciones pediátricas a solicitar una evaluación de estos niveles, especialmente los preparados para lactantes pretérmino.

Los objetivos de este estudio son: valorar los contenidos de aluminio en los diferentes tipos de fórmula infantil comercializados en España; determinar los factores condicionantes de su preparación por parte de las diferentes casas comerciales; y, aportar un nivel máximo de aluminio recomendable para las fórmulas infantiles.

La metodología empleada ha seguido un escrupuloso protocolo para evitar cualquier contaminación metálica durante el proceso de toma y tratamiento de la muestra. La digestión de las muestras se ha llevado a cabo con ácido nítrico subboiling en un sistema cerrado de microondas y bombas de digestión de teflón de alta presión. Los valores de concentración de aluminio se han determinado por espectrofotometría de absorción atómica con atomización electrotérmica.

Los contenidos de aluminio obtenidos presentan una amplia variabilidad dependiendo del tipo de fórmula analizado. Globalmente, las fórmulas infantiles estudiadas proporcionan unos niveles de concentración muy superiores a los hallados en la leche materna, especialmente aquellas formulaciones de alta complejidad tecnológica (fórmulas especiales, de soja y para prematuros).

A la luz de los resultados obtenidos, es conveniente solicitar de las diferentes casas comerciales continuados esfuerzos para reducir el nivel de aluminio, introducir programas rutinarios de control y observar el valor guía máximo de 300 µg/L, principalmente en las fórmulas para lactantes pretérmino.

Palabras clave: Elementos traza, Nutrición infantil y Lactante pretérmino.

Keywords: Trace elements, Infant Nutrition and Preterm Infants.

INTRODUCCION

El aluminio es el metal más abundante de la corteza terrestre, constituye el 8 % y está presente bajo numerosas formas químicas inorgánicas y orgánicas.

Los primeros signos de toxicidad del aluminio se describieron como una encefalopatía asociada a enfermedad renal en pacientes pediátricos que no recibían tratamiento de diálisis, pero sí, en cambio grandes cantidades de aluminio contenido en fármacos complejantes de fosfato (1). Aunque fundamentalmente los desórdenes más significativos de su toxicidad se presentan en niños y lactantes asociados a fallo renal o a la nutrición parenteral.

Se han publicado algunos estudios que muestran un incremento en la concentración de aluminio cerebral (2) y otros tejidos (3, 4), relacionado con el régimen de alimentación parenteral de lactantes pretérmino (5). Además, se ha argumentado la posibilidad del desarrollo de neurotoxicidad asociada al aluminio contenido en las fórmulas infantiles empleadas para la alimentación de dos neonatos fallecidos con fallo renal (6), aunque estos mismos autores, en un estudio posterior, reconocen otros factores que pudieron contribuir a la sobrecarga de aluminio en estos lactantes (7).

Los altos contenidos encontrados en las fórmulas infantiles con mayor grado de procesamiento y las fórmulas de soja, han llevado a las organizaciones pediátricas a solicitar una evaluación de los valores encontrados, así como una reducción por parte de los fabricantes de los niveles de aluminio suministrados en los preparados dado el posible impacto potencial que pueden tener en los lactantes de riesgo alimentados con estas fórmulas, especialmente los neonatos pretérmino (8).

El objetivo del presente trabajo es valorar los contenidos de aluminio en la práctica totalidad de las fórmulas infantiles distribuidas en España, considerando los diferentes tipos de fórmula infantil comercializadas y los factores condicionantes de las diferentes casas comerciales, establecer su posible riesgo en la alimentación infantil y, por último, aportar un valor de concentración de aluminio máximo recomendable por las fórmulas infantiles a la luz de los resultados obtenidos.

MATERIAL Y METODOS

Obtención de la muestra de estudio: Fórmulas infantiles

La mayoría de las fórmulas infantiles incluidas en este estudio se consiguieron a través de los diferentes laboratorios comerciales, las restantes en almacenes de

distribución. Las muestras de las diferentes fórmulas infantiles investigadas corresponden a distintos lotes de fabricación.

Esta investigación presenta el análisis de 82 fórmulas infantiles correspondientes a 9 casas comerciales diferentes, se incluyen preparados en polvo o fórmulas listas para su uso (líquidas), tanto fórmulas lácteas (n = 75) como de aislado de soja (n = 7), para la alimentación en diferentes edades, regímenes alimenticios, situaciones patológicas o casos particulares. Entre las fórmulas lácteas contempladas en el estudio se encuentran: Fórmulas para toda la lactancia (n = 4), Fórmulas adaptadas de inicio (n = 16), Fórmulas de continuación (n = 19), Fórmulas para prematuros (n = 7) y Fórmulas especiales (Sin lactosa, n = 7, Hipoalérgicas, n = 12 y Dietas para ciertas patologías de nacimiento, n = 10).

Los recipientes se almacenaron en las condiciones especificadas por los fabricantes, conservándose en sus propios recipientes, en un lugar fresco y protegido de la humedad hasta su posterior apertura en el laboratorio limpio.

Toma y tratamiento de la muestra de análisis

La toma y preparación de la muestra para el análisis se realizó con especial meticulosidad empleando los materiales, tratamiento e instrumentos más adecuados para evitar toda contaminación metálica, estipulado en un protocolo exhaustivo diseñado para la ocasión de manera que se garantice los resultados finales de análisis.

Para llevar a cabo el ataque de las muestras de fórmula infantil, se utilizó una metodología de descomposición vía húmeda en vaso cerrado de teflon de alta presión en un sistema de digestión mediante microondas (Milestone MLS 1200), empleando ácido nítrico subboiling y aforándose posteriormente con agua desionizada ultrapura. La operación de toma y ataque de muestra ha sido descrita previamente en detalle (9-11).

Determinación analítica de aluminio

La determinación de aluminio en las muestras de fórmulas infantiles se realizó mediante espectrofotometría de absorción atómica con atomización electrotérmica (AAS-GF, GBC GF 2000), empleándose tubos de grafito pirolíticos y plataformas de L'vov. Las condiciones instrumentales y el programa de calentamiento optimizado se presenta en la tabla 1.

La determinación de aluminio se realizó mediante calibración directa, empleándose una solución que contiene triton X-100 (Sigma Chemical, St. Louis, USA) y nitrato magnésico hexahidratado suprapur (Merck, Darmstadt, Alemania) como modificador de matriz. El análisis del contenido de aluminio se llevó a cabo procesando cada muestra por triplicado.

Para establecer el control de calidad de las determinaciones realizadas con las técnicas de análisis, se ensayaron blancos analíticos, estándares internos y muestras de autocontrol, realizándose ejercicios de recuperación (97,4 - 102,1%) que garanticen la exactitud y precisión del método analítico empleado.

El límite de detección del método se ha calculado de acuerdo a la definición de tres veces la desviación estándar del blanco analítico sobre un total de 12 determinaciones, obteniéndose un valor de 3,3 µg/L.

Métodos estadísticos

La estadística de los resultados se ha llevado a cabo empleándose el programa informático SPSS v. 9.0 para Windows.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Contenido de aluminio en las fórmulas infantiles investigadas

La figura 1 presenta los niveles de concentración encontrados en las fórmulas infantiles estudiadas. Resulta significativo la amplia variabilidad en el contenido de aluminio existente en algunas de las formulaciones incluidas en este estudio; marcada, similar y del mismo orden de magnitud, como así lo expresa la tabla 2, a los valores recogidos por la bibliografía (12-29). Esta notoria variabilidad es consecuencia de la forma en la que el aluminio se incorpora a las fórmulas infantiles. Obviamente su contenido total proviene de (a) la fuente de materia prima, sea leche de vaca o aislado proteico de soja, (b) puede ser introducido durante su proceso de fabricación desde los equipos o utensilios empleados, (c) aportado por los aditivos o suplementos adicionados y por último, (d) transferido desde el propio envase durante su almacenamiento.

Todos estos factores pueden explicar por si mismos, la alta variabilidad del contenido de aluminio en las distintas fórmulas investigadas. La mayoría de los investigadores aportan amplios intervalos de concentración, en cuanto a los contenidos expresados para los diferentes tipos de formula infantil, incluso algunos señalan una gran alteración en los valores determinados para los diferentes lotes de una misma

formulación (13, 26), a diferencia de otros estudios que denotan una gran homogeneidad en los valores de aluminio lote a lote, puesto de manifiesto en el estudio de Wollard et al., donde no se hallaron diferencias estadísticas significativas en el contenido de aluminio de 307 fórmulas analizadas de 14 países diferentes (25). En definitiva, cabe señalar que el control de calidad de la materia prima y los procesos de fabricación de algunas casas comerciales podría quedar en entredicho. Globalmente, no se han encontrado diferencias entre los diferentes lotes analizados y así mismo se puede considerar que los intervalos de concentración son similares a los establecidos por diversos autores a todo nivel nacional e internacional (figura 1, tabla 2).

Inicialmente, en un primer vistazo, se puede observar el menor contenido de aluminio hallado en las fórmulas adaptadas de inicio, toda la lactancia y de continuación; a diferencia de las fórmulas especiales, para prematuros y de soja, encontrándose posteriormente un criterio de alta significación estadística ($p = 0,003$; test de Kruskal-Wallis) que corrobora esta primera impresión.

Los valores de concentración más bajos se han encontrado, al igual que otros investigadores (12-15, 17, 20, 23-25), en las fórmulas lácteas y en concreto en este estudio los presentan las fórmulas para toda la lactancia ($231 \pm 128 \mu\text{g/L}$), las adaptadas de inicio ($196 \pm 151 \mu\text{g/L}$) y las de continuación ($272 \pm 189 \mu\text{g/L}$). Estos contenidos coinciden con los aportados por otros autores en fórmulas europeas y americanas (15, 16, 19, 20-23).

Diversos investigadores (13, 20) manifiestan que no existe una clara implicación de los procesos de manufactura de las fórmulas infantiles adaptadas de inicio y continuación, en su contenido final de aluminio. Consideran que no se puede culpar al hipotético aluminio exógeno como fuente de contaminación de la fórmula infantil, dado que los niveles de concentración hallados en estas fórmulas y los determinados en la leche de vaca, son similares. A este nivel, es oportuno considerar el contenido proteínico de las diferentes fórmulas infantiles ya que es conocido y ampliamente documentado su asociación con el aluminio (20). En este sentido, rebatiendo la consideración anterior, es clara la implicación que tiene el contenido de aluminio intrínseco de la fuente proteínica en el nivel final de este elemento en las fórmulas estándar (inicio y continuación). Los valores más altos de aluminio son proporcionados por las fórmulas de continuación basadas fundamentalmente en leche entera y descremada, a diferencia de las fórmulas de inicio que incorporan seroproteínas o derivados caseínicos. La actual tendencia de reducir y reemplazar las

proteínas de tipo caseínico por la aportadas en el suero lácteo para conseguir un perfil nutricional de fórmula infantil, lo más similar a la leche humana, puede condicionar el contenido de este elemento metálico, incidiendo ventajosamente a este respecto en las nuevas formulaciones.

El mayor índice de procesamiento y manipulación industrial de las fórmulas especiales les confiere un mayor grado de enriquecimiento metálico. De entre ellas, las fórmulas especiales para diversas patologías confieren el nivel más alto ($443 \pm 112 \mu\text{g/L}$), seguido de las formulas sin lactosa ($399 \pm 451 \mu\text{g/L}$) y en último lugar, las fórmulas hipoalérgicas ($293 \pm 945 \mu\text{g/L}$). A pesar de ello, es significativo la mayor dispersión observada en las fórmulas HA y sin lactosa que indica un mayor grado de contaminación, fundamentalmente como consecuencia de los suplementos o aditivos añadidos (sales de calcio, fosfatos, vitaminas y sales minerales) y la mayor complejidad de los procesos de fabricación y los utensilios empleados. Al igual que las fórmulas adaptadas de inicio y continuación, los valores aportados por la bibliografía son coincidentes con los encontrados en esta investigación (14, 15, 19, 20).

Entre las fórmulas especiales sin lactosa, mayoritariamente de origen caseínico, destaca una formulación con un alto contenido en aluminio ($1439 \mu\text{g/L}$). Así como, dos fórmulas especiales hipoalérgicas con niveles de 2649 y $2720 \mu\text{g/L}$, ambas de la misma casa comercial y el mismo tipo de hidrolizado proteico (caseínico). El mayor contenido en los hidrolizados caseínicos se justifica por la necesidad de un tratamiento más agresivo sufrido que exponen en mayor medida el producto final. Además, estas complejas formulaciones requieren de la adición de nutrientes, tales como calcio, hierro, complejos como citratos, que pueden incrementar la absorción del aluminio desde el tracto digestivo por mecanismos hoy no del todo conocidos (22), incluso existen evidencias que confirman la mayor biodisponibilidad del aluminio desde las fórmulas de hidrolizados caseínicos (19).

Las fórmulas para prematuros estudiadas aportan un contenido de aluminio ($421 \pm 137 \mu\text{g/L}$) significativamente muy superior al determinado en las fórmulas para lactantes a término (inicio, $p = 0,010$; toda la lactancia, $p = 0,042$). Esta tendencia ha sido observada anteriormente por otros investigadores que proporcionan similares intervalos de concentración (15, 19-21) y explican estos niveles fruto de la mayor manipulación industrial de la fórmula infantil. Estos altos valores ponen de manifiesto la gran preocupación por la organizaciones pediátricas internacionales, ya que según parece la absorción intestinal durante el periodo neonatal temprano puede estar

incrementada e incluso, aunque todavía sin confirmar, los lactantes pretérmino, debido a su bajo grado de madurez orgánica, podrían englobar un importante grupo de riesgo (3). Este problema se puede incrementar si el lactante sufre de alguna disfunción renal, como así se pone de manifiesto en algunos estudios (3, 27) y se evidencia en lactantes prematuros y de bajo peso (5). La alta absorción del aluminio en la infancia ha quedado demostrada en un estudio de administración pediátrica de antiácidos, alcanzando incluso niveles tóxicos (28). Así mismo, se ha demostrado los efectos adversos en el grado de mineralización ósea en lactantes pretérmino asociados a altos niveles plasmáticos de este elemento (29). A pesar de todo ello, en vista de los conocimientos actuales y sopesando el gran beneficio nutricional aportado por las fórmulas para prematuros parece conveniente mantener las actuales formulaciones y solicitar de los fabricantes una nueva estrategia de elaboración que condicione la reducción en los niveles de aluminio.

Sin lugar a dudas, los niveles encontrados en las fórmulas de soja (573 ± 1132 $\mu\text{g/L}$) son muy superiores a los hallados en las fórmulas lácteas, como consecuencia de la contaminación con este metal durante el proceso del aislado proteico de soja en el que se requiere un fuerte tratamiento con hidróxido de calcio que contiene a menudo gran cantidad de aluminio como impureza. Dentro de este grupo aparece una fórmula con un contenido extraordinariamente alto (3479 $\mu\text{g/L}$) con respecto al intervalo encontrado, excluida ésta ($313 - 683$ $\mu\text{g/L}$). Estos niveles no son sorprendentes si se comparan con los valores hallados en otros estudios nacionales o internacionales donde se encuentran similares intervalos e incluso alguna formulación con un nivel de concentración superior de hasta 5076 $\mu\text{g/L}$ (25). El tratamiento anteriormente mencionado del material vegetal de la soja, la adición de determinados nutrientes (vitaminas y minerales), así como la manipulación industrial engloban los factores que permiten explicar tan alto grado de contaminación en las fórmulas basadas en el aislado proteico de soja.

Valores de aluminio y estado de agregación

Se ha valorado los contenidos de aluminio proporcionados por las fórmulas infantiles comercializadas bajo los dos estados de agregación: formulaciones en polvo o líquidas preparadas para su uso.

El proceso industrial de fabricación de las fórmulas lácteas en polvo implica diversas operaciones (calentamiento, centrifugación, deshidratación a vacío,

homogeneización, secado, mezclado, esterilizado, envasado, etc...) que ponen en contacto al producto en elaboración con los materiales, generalmente metálicos, de los que están diseñados los equipos industriales, con la posibilidad de transferencias metálicas. En el caso de las fórmulas líquidas, el procesamiento es totalmente diferente. Desde la perspectiva de este estudio, el proceso crítico es el tratamiento con columnas de intercambio catiónico, además de una serie de operaciones de adición de vitaminas y sales minerales.

La comparación estadística de los 14 pares de fórmulas analizados con ambos tipos de presentación no concluye un criterio de diferenciación significativo ($p = 0,060$; test de Wilcoxon), aunque si nos permite establecer la tendencia de un menor contenido de aluminio en las fórmulas líquidas. Esta afirmación está en consonancia con los niveles encontrados por Ikem et al. (23), en contraposición con otro estudio más antiguo (26).

La tabla 3 contiene los niveles de concentración de aluminio expresados para ambos tipos de formulaciones. A priori, puede ser llamativo la gran diferencia observada, pero se debe tener en mente que las formulaciones líquidas, comercializadas en España la pasada década, son elaboradas con un más novedoso y en principio, depurado proceso de manipulación y preparación del producto final, a diferencia de las antiguas formulaciones en polvo.

Niveles de aluminio y casa comerciales

Generalmente, se han descrito los procesos de manufacturación como una fuente importante de contaminación exógena de aluminio. Las diversas manipulaciones a las que es sometida la materia prima en contacto con las paredes metálicas de recipientes, conductos, mezcladores, etc..., así como el ambiente de fabricación pueden repercutir de manera sustancial en el contenido de aluminio final.

Las diferentes casas comerciales, salvaguardando los contenidos metálicos aportados intrínsecamente por la materia prima y los ingredientes adicionados, preparan sus formulaciones siguiendo sus propias pautas, normativas internas de calidad y una serie de parámetros establecidos específicamente para la obtención de un producto final con un criterio de calidad según las especificaciones deseadas inicialmente.

Es obvio que las casas comerciales no expresan los valores de aluminio en el etiquetado y que ninguno informa de los niveles encontrados, si bien, es de suponer que los cuantificaran según su programa de calidad.

Con finalidad puramente comparativa, la figura 2 expresa los valores de concentración de aluminio determinado en las diferentes fórmulas infantiles pertenecientes a las 9 casas comerciales evaluadas.

Es curioso el exquisito cuidado manifestado por las casas comerciales 7 y 2, ($150 \pm 90 \mu\text{g/L}$, $n = 5$ y $142 \pm 929 \mu\text{g/L}$, $n = 14$, respectivamente), a diferencia de la casas comerciales 3 y 6 ($436 \pm 67 \mu\text{g/L}$, $n = 7$ y $416 \pm 126 \mu\text{g/L}$, $n = 8$) con intervalos de concentración elevados ($338 - 541 \mu\text{g/L}$ y $261 - 573 \mu\text{g/L}$, respectivamente). Es necesario considerar también la casa comercial 8, con numerosas y complejas formulaciones, sin con ello aportar un nivel de aluminio desmesurado ($367 \pm 812 \mu\text{g/L}$, $n = 16$).

A la vista de estos resultados y considerando el notable éxito de programas llevados a cabo anteriormente en la reducción de los niveles de este metal en otros países europeos (13), es necesario solicitar a las casas comerciales: (a) un mayor control de los puntos críticos de contaminación, (b) la modificación de los procesos de manipulación industrial para conseguir formulaciones con valores de aluminio por debajo de $300 - 400 \mu\text{g/L}$ (14) y (c) la determinación frecuente o rutinaria del contenido de este elemento en las fórmulas infantiles, especialmente en aquellas que pueden considerarse de riesgo potencial como las fórmulas para lactantes prematuros o de soja.

CONCLUSIONES

A la vista de los resultados, las fórmulas infantiles estudiadas proporcionan unos niveles de concentración muy superiores a los hallados en la leche materna, especialmente aquellas formulaciones de alta complejidad tecnológica (fórmulas para prematuros, especiales y soja).

Los organismos pediátricos internacionales solicitan de los fabricantes, continuados esfuerzos para reducir el nivel de aluminio en las fórmulas infantiles, atendiendo fundamentalmente a las fórmulas para prematuros y soja. En este sentido, las fórmulas especiales preparadas a base de hidrolizados proteicos de naturaleza caseínica deberían sumarse al grupo de fórmulas de riesgo, dado el alto contenido de aluminio observado.

También parece conveniente solicitar a las diferentes casas comerciales un mayor rigor en sus programas de control de calidad con respecto a este elemento, evaluando y modificando en lo necesario los procesos de elaboración de las fórmulas más enriquecidas (fórmulas especiales y soja), así como, introduciendo su

determinación en los programas rutinarios de control de materia prima y producto final en aquellas formulaciones con especial riesgo para la salud de los lactantes a los que van dirigidos, de manera especial las fórmulas para pretérminos y lactantes de bajo peso.

Además es recomendable establecer un valor guía máximo, con cierto criterio de observación y cumplimiento por las fórmulas infantiles comercializadas, situado en 300 µg/L, ya que según parece es el contenido a partir del cual se alcanzan concentraciones plasmáticas de riesgo para el lactante (19).

BIBLIOGRAFIA

1. Sedman AB, Miller NL, Warady BA, Lum GM, Alfrey AC. Aluminum loading in children with chronic renal failure. *Kidney Int.* 1984;26: 201-204.
2. Sedman AB, Wilkening GN, Warady BA, Lum GM, Alfrey AC. Encephalopathy in childhood secondary to aluminum toxicity. *J Pediatr.* 1984;105: 836-838.
3. Moreno A, Domínguez C, Ballabriga A. Aluminium in neonate related to parenteral nutrition. *Acta Paediatr.* 1994;83: 25-29.
4. Puntis JW, Hall K, Booth IW. Plasma aluminium and prolonged parenteral nutrition in infancy. *Lancet.* 1986; 2: 1332-1333.
5. Bishop HJ, Moley R, Chir B, Day JP, Lucas A. Aluminium neurotoxicity in preterm infants receiving intravenous-feeding solutions. *N Engl J Med.* 1997; 336: 1557-1561.
6. Freundlich M, Zilleruelo G, Abitbol C, Strauss J, Faugere MC, Malluche HH. Infant formula as a cause of aluminum toxicity in neonatal uraemia. *Lancet.* 1985;2: 527-529.
7. Freundlich M, Zilleruelo G, Strauss J, Abitol C, Malluche HH. More on aluminum toxic effects in children with uremia. *J Pediatr.* 1990;117: 1007-1009.
8. AAP. American Academy of Pediatrics. Aluminum toxicity in infants and children. *Pediatrics.* 1996; 97 (3): 413-416.
9. Navarro I, Martín A, Villa I. Dietary intake of essential trace elements in infant nutrition. *Prenat Neonat Med.* 1996; 1 (suppl. 1): 365.
10. Navarro I, Alvarez JI, Villa I. Contenido de selenio en fórmulas infantiles y estimación de la ingesta dietética de lactantes. *Acta Pediatr Esp.* 2000; 58: 521-528.

11. Navarro I. Oligoelementos en la alimentación infantil. Fórmulas infantiles. Tesis Doctoral. 1995.
12. Koo WW, Kaplan LA, Krug-Wispe SK. Aluminum contamination of infant formulas. *J Parenter Enteral Nutr.* 1988;12: 170-173.
13. Baxter MJ, Burrell JA, Crews H, Massey RC. Aluminium levels in milk and infant formulae. *Food Addit Contam.* 1991; 8 (5): 653-660.
14. Simmer K, Fudge A, Teubner J, James SL. Aluminium concentrations in infant formulae. *J Paediatr Child Health.* 1990; 26: 9-11.
15. Ballabriga A, Domínguez C, Moreno A. Aluminium toxicity in children. Abstract Book Thematic Symposia. XIX International Congress of Pediatrics. Paris. 1989: 37.
16. Fernández-Lorenzo JR, Cocho JA, Rey-Goldar ML, Couce M, Fraga JM. Aluminum contents of human milk, cow's milk and infant formulas. *J Pediatr Gastroenterol Nutr.* 1999; 28(3): 270-275.
17. Bloodworth BC, Hock CT, Boon TO. Aluminium content in milk powders by inductively-coupled argon plasma-optical emission spectrometry. *Food Addit Contam.* 1991; 8 (6): 749-754.
18. Biego GH, Joyeux M, Hartemann P, Debry G. Determination of mineral contents in different kinds of milk and estimation of dietary intake in infants. *Food Addit Contam.* 1998; 15 (7): 775-781.
19. Hawkins NM, Coffey S, Lawson MS, Delves T. Potential aluminium toxicity in infant fed special infant formula. *J Pediatr Gastroenterol Nutr.* 1994; 19(4): 377-381.
20. Coni E, Bellomonte G, Caroli S. Aluminium content of infant formulas. *J Trace Elem Electrolytes Health Dis.* 1993; 7 (2): 83-86.
21. Plessi M, Bertelli D, Monzani A. Determination of aluminium and zinc in infant formulas and infant foods. *J Food Composition Anal.* 1997; 10: 36-42.
22. Sahin G, Aydin A, Isimer A, Özalp I, Duru S. Aluminium content of infant formulas used in Turkey. *Biol Trace Elem Res.* 1995; 50: 87-96.
23. Ikem A, Nwankwoala A, Oduyungbo S, Nyavor K, Egiebor N. Levels of 26 elements in infant formula from USA, UK, and Nigeria by microwave digestion and ICP-OES. *Food Chem.* En prensa.

24. Dabeka RW, Mckenzie AD. Aluminium levels in canadian infant formulae and estimation of aluminium intakes from formulae by infants 0-3 months old. *Food Addit Contam.* 1990; 7 (2): 275-282.
25. Woollard DC, Pybus J, Woollard GA. Aluminium concentrations in infant formulae. *Food Chem.* 1990; 37: 81-94.
26. Gruskin AB. Aluminium toxicity in infants and children. En: Chandra RJ, ed. *Trace Elements in Nutrition of Children II.* Raven Press, New York. 1991: 15-25.
27. Stockhausen HB, Scchrod L, Brätter P, Rösick U. Aluminium loading in premature infants during intensive care as related to clinical aspects. *J Trace Elem Electrolytes Health Dis.* 1990; 4: 209-213.
28. Chedid F, Fudge A, Teubner J, James SL; Simmer K. Aluminium absorption in infancy. *J Paediatr Child Health.* 1991; 27: 164-166.
29. Bougle D, Bureau F, Morello R, Guillois B, Sabatier JP. Aluminium in the premature infant. *Trace Elem Electrolytes.* 1997; 14 (1): 24-26.

Tabla 1. Parámetros instrumentales y programa de temperaturas y tiempos del horno de grafito para la determinación de aluminio.

| <i>Parámetros instrumentales</i> | | | | | |
|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------|----------------|
| <i>Longitud de onda (nm)</i> | | 309,3 | | | |
| <i>Anchura de rendija (nm)</i> | | 1,0 | | | |
| <i>Corriente de la lámpara (mA)</i> | | 10 | | | |
| <i>Volumen de inyección (μL)</i> | | 20 | | | |
| <i>Modo de lectura</i> | | Área de pico | | | |
| <i>Fuente</i> | | Lámpara de cátodo hueco | | | |
| <i>Corrector de fondo</i> | | Lámpara de deuterio | | | |
| <i>Programa de temperaturas</i> | | | | | |
| <i>Etapa</i> | <i>Temperatura (°C)</i> | <i>Rampa (s)</i> | <i>Mantenido (s)</i> | <i>Flujo de Argón</i> | <i>Lectura</i> |
| <i>Secado 1</i> | 110 | 5 | 15 | Sí | - |
| <i>Secado 2</i> | 250 | 10 | 15 | Sí | - |
| <i>Calcinación</i> | 1500 | 20 | 5 | Sí | - |
| <i>Atomización</i> | 2500 | 1 | 4 | - | Sí |
| <i>Limpieza</i> | 2600 | 1 | 5 | Sí | - |
| <i>Enfriamiento</i> | 20 | 5 | 3 | Sí | - |

Tabla 2. Contenido de aluminio en fórmulas infantiles de diferentes países

| <i>Referencia</i> | <i>País</i> | <i>Aluminio (µg/L)</i> | | | <i>Fórmula</i> |
|--------------------------------|----------------|------------------------|----------------|------------------|-------------------|
| | | <i>n</i> | <i>Mediana</i> | <i>Intervalo</i> | |
| Bloodworth et al., 1991. (17) | Singapur | 25 | | 40 - 370 | F. láctea |
| | | 4 | | 470 - 2500 | F. soja |
| Simmer et al., 1990 (14) | Australia | 17 | | 72 - 1463 | F. inicio y cont. |
| | | 4 | | 184 - 1106 | F. pretérmino |
| | | 7 | | 62 - 939 | F. especiales |
| | | 4 | | 1192 - 1711 | F. soja |
| Ballabriga et al., 1989 (15) | España | 79 | | 202 ± 111* | F. adaptada |
| | | 16 | | 322 ± 164* | F. prematuro |
| | | 26 | | 530 ± 412* | F. HA |
| | | 13 | | 542 ± 178* | F. sin lactosa |
| | | 10 | | 805 ± 217* | F. soja |
| Fdez-Lorenzo et al., 1999 (16) | España | 47 | 160 | 8 - 1149 | F. inicio |
| | | 17 | 130 | 18 - 1129 | F. continuación |
| Baxter et al., 1991 (13) | Reino Unido | 14 | | 40 - 200 | F. láctea |
| | | 7 | | 640 - 1340 | F. soja |
| Biego et al., 1991 (18) | Reino Unido | 6 | | 68 ± 19 | - |
| Hawkins et al., 1994 (19) | Reino Unido | 24 | | 151 - 180 | F. inicio |
| | | 7 | | 272 - 328 | F. prematuro |
| | | 14 | | 143 - 180 | F. fortificada |
| | | 7 | | 632 - 914 | F. HA |
| | | 7 | | 470 - 598 | F. soja |
| Coni et al., 1993 (20) | Italia | 12 | | 50 - 260 | F. inicio |
| | | 4 | | 80 - 410 | F. prematuros |
| | | 5 | | 110 - 600 | F. especiales |
| | | 5 | | 390 - 1010 | F. soja |
| | | 8 | | 30 - 850 | F. líquida |
| Plesi et al., 1997 (21) | Italia | 1 | | 450 ± 117* | F. inicio |
| | | 1 | | 479 ± 93* | F. continuación |
| | | 1 | | 463 ± 180* | F. prematuro |
| | | 1 | | 2285 ± 232* | F. HA |
| | | 1 | | 1791 ± 275* | F. HA |
| | | 1 | | 1057 ± 51* | F. soja |
| | | 1 | | 913 ± 171* | F soja |
| Sahin et al., 1995 (22) | Turquía | 10 | | 163 - 1475* | Diferentes tipos |
| Ikem et al., 2001 (23) | Nigeria | 6 | | 58 ± 22 | F. adapt. (polvo) |
| | Reino Unido | 12 | | 92 ± 85 | F. adapt. (polvo) |
| | | 18 | | 101 ± 37 | F. adapt. (liq.) |
| | Estados Unidos | 9 | | 150 ± 120 | F. adapt. (polvo) |
| | | 6 | | 460 ± 160 | F. soja (polvo) |
| Koo et al., 1988 (12) | Estados Unidos | - | | 0,014 - 0,453** | F. láctea (liq.) |
| | | | | 0,60 - 2,3** | F. soja (liq.) |
| | | | | 15 - 108* | F. láctea (polvo) |
| | | | | 342 - 1377* | F. soja (polvo) |
| Dabeka y Mckenzie, 1990 | Canadá | 6 | 0,091 | 0,010 - 0,36** | F. láctea (liq.) |

| | | | | | |
|---------------------------|-----------------|-----|-------|--------------|-------------------|
| (24) | | 4 | 0,84 | 0,40-6,4** | F. soja (liq.) |
| | | 9 | 68 | 26-336* | F. láctea (polvo) |
| | | 7 | 1126 | 425-2430* | F. soja (polvo) |
| | | 5 | 0,052 | 0,022-0,34** | F. evaporada |
| | | 9 | 0,18 | 0,017-0,56** | F. láctea (conc.) |
| | | 4 | 1,21 | 0,59-2,29** | F. soja (conc.) |
| Woolard et al., 1991 (25) | Diversos países | 307 | | 22-519* | F. lácteas |
| | | 55 | | 1404-5076* | F. soja |

* Expresado por los autores en peso, transformado considerando una dilución del 13,5 %

** Expresado en µg/g en función del producto lácteo

Tabla 3. Contenido de aluminio ($\mu\text{g/L}$) en los distintos tipos de fórmulas infantiles en función de su estado de agregación.

| <i>Fórmula</i> | <i>Aluminio</i> | | | |
|---|-----------------|--------------|------------------------------------|------------------|
| | <i>n</i> | <i>Media</i> | <i>Mediana \pm DS</i> | <i>Intervalo</i> |
| <i>F. para toda la Lactancia</i> | | | | |
| <i>Polvo</i> | 3 | 271 | 325 \pm 18 | 118 – 370 |
| <i>Líquida</i> | 1 | - | 140 | - |
| <i>F. de Inicio</i> | | | | |
| <i>Polvo</i> | 12 | 273 | 215 \pm 26 | 130 – 573 |
| <i>Líquida</i> | 4 | 187 | 172 \pm 14 | 68 – 573 |
| <i>F. de Continuación</i> | | | | |
| <i>Polvo</i> | 13 | 313 | 340 \pm 46 | 66 – 788 |
| <i>Líquida</i> | 6 | 245 | 223 \pm 14 | 150 – 460 |
| <i>F. Prematuros</i> | | | | |
| <i>Polvo</i> | 6 | 467 | 428 \pm 20 | 317 – 726 |
| <i>Líquida</i> | 1 | - | 340 | |
| <i>F. Especiales hipoalérgicas</i> | | | | |
| <i>Polvo</i> | 10 | 784 | 338 \pm 1014 | 120 – 2720 |
| <i>Líquida</i> | 2 | 201 | 201 \pm 19 | 105 – 300 |

Figura 1. Niveles de aluminio en los distintos tipos de fórmulas infantiles estudiadas.

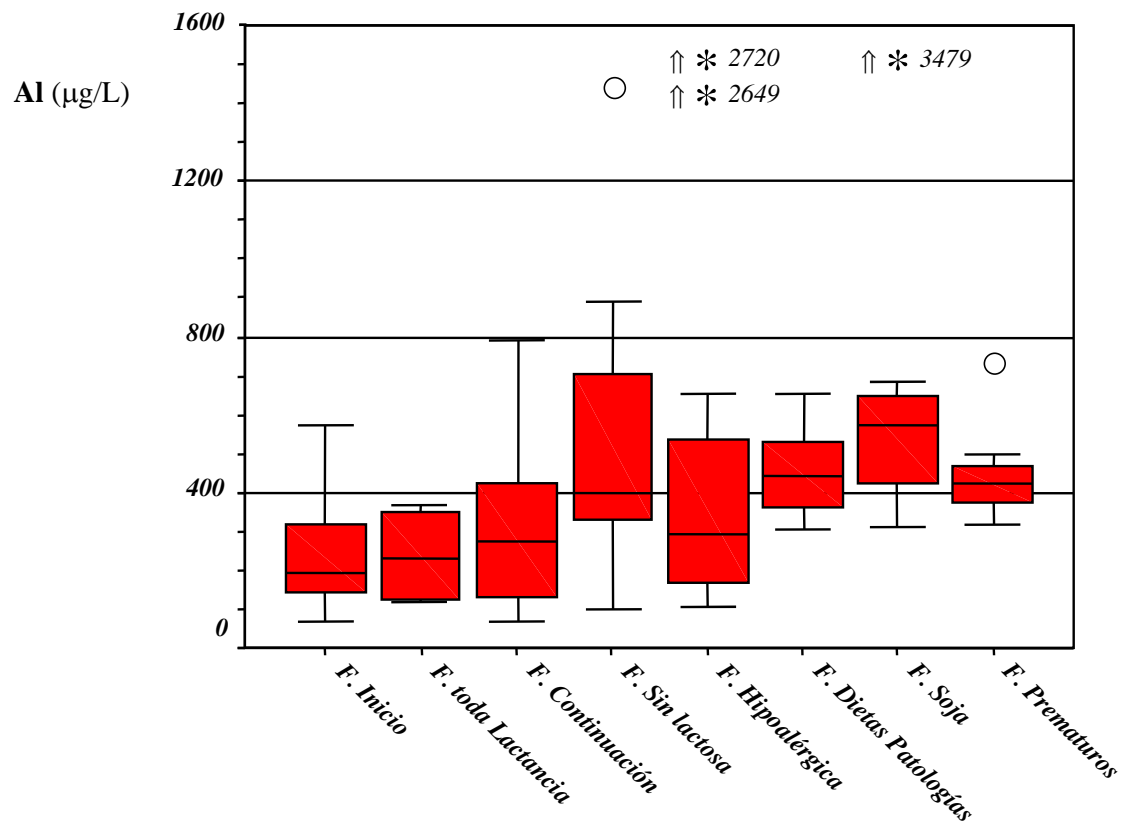


Figura 2. Valores de aluminio (mediana) encontrado en las fórmulas infantiles de diferentes casas comerciales.

