



LA ERA DEL ALUMINIO Y SU IMPACTO AMBIENTAL: ¿MITO O REALIDAD?

Dra. Teresa Hernández Sotomayor, Unidad de Bioquímica y Biología Molecular de Plantas,
Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY), ths@cicy.mx

El aluminio (Al) es el tercer elemento más abundante en nuestro planeta, después del oxígeno y el silicio. Constituye más del ocho por ciento de la corteza terrestre, sin embargo, es costoso de obtener en su forma pura, por la gran afinidad con otros elementos con los que puede formar complejos. La fuente más viable y abundante de este metal es un mineral conocido como bauxita, donde un átomo de aluminio forma complejos con el oxígeno y otros minerales. Para producir aluminio puro, el enlace entre el metal y el oxígeno debe romperse utilizando un proceso llamado electrólisis que requiere enormes cantidades de energía eléctrica. En condiciones normales, este metal se encuentra formando compuestos químicos estables en forma de fosfatos o silicatos, no obstante, cuando el pH del suelo se acidifica, el aluminio se convierte a la forma soluble como Al^{3+} y, en estas condiciones, se encuentra en una forma química que puede ser absorbida por las células vivas.

El Al fue aislado en 1825 por el químico danés Hans Christian Oested. Hace más de 150 años, Julio Verne lo describió como un metal blanco como la plata, pero ligero como el cristal. En aquel entonces, ya se veía al aluminio como una solución técnica del futuro. Una industria que sencillamente no podría vivir actualmente sin aluminio es la aeronáutica, ya que representa alrededor del noventa por ciento de los metales presentes en una aeronave, debido a su ligereza, a que no se corroe y a su maleabilidad. En nuestros tiempos, es difícil pensar en vivir en un mundo en el que día a día los seres vivos no estén expuestos a este metal. Las propiedades físicas y químicas del aluminio son excepcionales: es ligero, fuerte, impermeable maleable y resistente a la corrosión. No es magnético ni propenso a las chispas, es un extraordinario conductor de la electricidad y el calor, y refleja la radiación electromagnética. Posee otras propiedades relevantes, como un bajo punto de fusión, excelente comportamiento a bajas temperaturas y resistencia a la tracción (estiramiento). Tiene un atractivo adicional: se puede reciclar fácilmente sin perder sus cualidades. Además, puede tener variados usos: conservador en diferentes tipos de alimentos, en vacunas, en productos de aseo cotidiano, como pastas dentífricas, desodorantes, así como elemento en algunas preparaciones farmacéuticas.

Por todo lo anterior, el uso del aluminio se ha acelerado junto con el progreso tecnológico de los últimos años. Actualmente la producción anual se cifra en unos 33 millones de toneladas. Entre otras múltiples aplicaciones, destacan los envases y empaques para alimentos y medicamentos, ya que el aluminio funciona como una barrera perfecta contra el aire, la humedad y la luz. Sin embargo, el uso indiscriminado de este metal —que en condiciones normales estaría solamente involucrado en un ciclo no abiótico en la corteza terrestre— ha ocasionado que se cree un ciclo biótico con prácticamente todos los seres vivos.

Desde la década de 1960, se han realizado estudios en donde se sugiere que el Al puede ser la causa de algunas enfermedades neurodegenerativas, como el mal de Parkinson y el Alzheimer. Asimismo, se ha encontrado depositado en la glía de los peces y en otros seres vivos, como las plantas.

Los suelos ácidos representan el cuarenta por ciento de los suelos arables del mundo y, en estos, el aluminio en su forma química Al^{3+} es uno de los factores limitantes para la productividad de los cultivos, ya que disminuye el crecimiento de las raíces en las plantas y reduce el rendimiento de cultivos como maíz, sorgo y trigo, entre otros. El primer y más dramático síntoma de la toxicidad por Al^{3+} es la inhibición del crecimiento de las raíces con el consiguiente efecto deletéreo en la planta. Por lo tanto, es importante entender los mecanismos bioquímicos de la toxicidad por Al^{3+} en plantas, así como los procesos de tolerancia.

En nuestro grupo de trabajo, desde ya hace trece años hemos estado realizando investigaciones a nivel celular para entender los mecanismos bioquímicos por los cuales el aluminio puede ser tóxico para las plantas. Hemos encontrado que diversos elementos de la membrana celular (lo que rodea y le da privacidad a la células del ambiente externo) pueden ser modificados por el Al, generando especies oxidantes que conllevan a una muerte celular y/o a la reducción del crecimiento de la raíz de las plantas.

Es indiscutible que vivimos en la “era del aluminio” y que los beneficios que le ha dado al hombre la explotación de la industria del aluminio son muy importantes; sin embargo, no podemos dejar desapercibidos los efectos en la salud humana, así como en otros seres vivos, como las plantas, los peces, los invertebrados, entre otros, lo que podríamos llamar ecotoxicidad.

Mientras la era del aluminio está aquí para quedarse, es nuestra responsabilidad tomar las precauciones adecuadas para disminuir en la medida de lo posible los efectos biológicos del metal favorito de nuestra época, por lo que la investigación de los efectos tóxicos del Al en todos los seres vivos debe ser apoyada por las diferentes fuentes gubernamentales y académicas. Dichos estudios ayudarán a tener las bases que permitan alcanzar un balance entre los beneficios del uso de este metal y sus efectos tóxicos y nocivos en el ambiente natural de los seres vivos. Asimismo, tenemos que hacer un esfuerzo para concientizar a los usuarios de la industria del aluminio en legislar el contenido de aluminio en productos de consumo humano, para poder seguir viviendo en la era del metal favorito de nuestros tiempos.

Referencias

Ramírez-Benitez, J. E., Muñoz-Sánchez J. A., Becerril-Chi, K. M., Miranda-Ham M. L., Castro-Concha L. A. and S. M. T. Hernández-Sotomayor, Aluminum induces changes in oxidative burst scavenging enzyme in *Coffea arabica* L. suspension cells with differential Al tolerance, J. Inorganic Biochem. 105: 1523-1528, (2011).

Muñoz-Sánchez, J. Armando and S.M. Teresa Hernández-Sotomayor, Aluminum soil contamination: its effects in coffee and its role in human health, Molecular and Supramolecular Bioinorganic Chemistry: Applications in Medical and Environmental Sciences. (2012), Volume 3, edit. Ana Lucia Ramalho Mercê, Judith Felcman and María Ángeles Lobo Recio, Nova Publishers 197-216

J. Armando Muñoz-Sanchez, Abril Chan-May, Yahaira Cab-Guillén, S.M. Teresa Hernández-Sotomayor, Effect of salicylic acid on the attenuation of aluminum toxicity in *Coffea arabica* L. suspension cells: a possible protein phosphorylation signaling pathway, J. Inorganic Biochemistry, (2013), 128: 188-195

Muñoz-Sanchez J. A. Domínguez-Domínguez E. and S. M. T. Hernández-Sotomayor, Characterizing the relationship between aluminum content and pH in coffee (*Coffea arabica* L.) crop soils in Mexico, Inter. J. of Agriculture and Crop Sc., (2015), 8: 39-46.

Agradecimientos

Al apoyo técnico del MC Armando Muñoz-Sanchez y de la Ing. Yahaira Cab Guillen, así como a la revisión y corrección de estilo de la M.E. Gabriela Herrera Martínez. La investigación en el laboratorio de la Dra. Hernández es apoyado por el Conacyt (proyecto 219893).