





Bromato

Un Contaminante Silencioso en Sistemas Agroalimentarios



En los últimos años, Chile se ha posicionado a nivel global como una potencia alimentaria por ser uno de los principales proveedores de productos agroalimentarios, siendo el único país sudamericano entre los 5 principales exportadores de frutas en el mundo. Sin embargo, en la actualidad, los sistemas productivos globales enfrentan un panorama complejo asociado con asegurar la producción de alimentos en un escenario de cambio climático. Producir en una menor superficie de suelos cultivables genera un escenario propicio para el uso excesivo de agroquímicos en la agricultura con la finalidad de asegurar la producción. Según estimaciones de la Asociación Internacional de Fertilizantes, la demanda mundial por nutrientes para la temporada 2024/2025 supera las 195.4 millones de toneladas (N, P₂O₅, K₂O), representando un incremento del 2% con

respecto al 2023. En Chile se consumen anualmente más de 1.000.000 de toneladas de fertilizantes, siendo mayoritariamente exportados (84%). Chile es el único país del mundo que produce nitratos naturales para consumo nacional y exportación, concentrado en un grupo de 5 empresas localizadas en la zona norte de Chile.

Los fertilizantes son fuentes nutricionales esenciales para el normal crecimiento de los cultivos, sin embargo, en el último tiempo la comunidad científica internacional ha evidenciado niveles de sustancias químicas no esenciales presentes en fertilizantes de diferente composición y origen. En investigaciones previas realizadas por nuestro grupo de investigación con el Proyecto Fondecyt de Inicio 11160581, reportamos la presencia de perclorato y tiocianato (disruptores endocrinos) en fertilizantes, suelos, fuentes de aguas, frutas y vegetales en Chile. Paralelamente, logramos evidenciar que, por efecto



del uso de fertilizantes, se produce una mayor tasa de acumulación de estas especies químicas en especies vegetales de hoja como acelga, espinaca y lechuga. Desde una mirada en salud pública, se estimó una mayor exposición en grupos vulnerables como infantes que consumen diariamente vegetales de hoja en alimentos para bebe (*baby foods*) o en preparaciones caseras.

Actualmente, con nuestro grupo de investigación continuamos trabajando en descubrir nuevos tipos de contaminantes en fertilizantes considerando que son un insumo necesario para la agricultura a nivel global. Es así que nuestro grupo de investigación está liderando una investigación a través de un Proyecto Fondecyt Regular (1230849) tendiente a comprender la dinámica y destino final de una nueva sustancia presente a nivel de trazas en fertilizantes de uso masivo en Chile, el bromato. Nuestra investigación es pionera al proponer estudiar el comportamiento de bromato en diferentes sistemas de producción de alimentos como en campo, invernadero (sustrato) e hidropónicos.

Bromato es un compuesto químico que se encuentra de manera natural en la zona norte de Chile, lugar en donde se emplazan las plantas productoras de fertilizantes. Bromato ha sido catalogado por la Agencia Internacional de Investigación en Cáncer en el grupo como 2B como un posiblemente cancerígeno para la salud humana. Actualmente, bromato es regulado a nivel internacional sólo en aguas de consumo humano,

pero no en matrices alimentarias como frutas y vegetales. Los resultados de nuestra investigación evidencian que bromato es un contaminante común en suelos y fuentes de agua en niveles ambientalmente relevantes principalmente en la zona norte de Chile.

Sin embargo, la arista más importante de nuestra investigación se centra en evidenciar que bromato se encuentra presente en concentraciones variables en diferentes tipos de fertilizantes de amplio uso en Chile. Los fertilizantes con los mayores niveles de concentración cuantificados en orden creciente son: urea > sulfato de potasio > superfosfato > nitrato de sodio > sulfato de magnesio > nitrato de calcio > ácido bórico. El rango de concentraciones reportadas está entre 300 y 3.500 ngg-1, respectivamente. Aun cuando urea es el fertilizante de mayor uso en Chile y con menor concentración de bromato, su solubilidad es considerada alta (364 gL-1) y puede potencialmente ser considerado una amenaza para los sistemas productivos en el actual escenario de cambio climático y escasez hídrica.

Actualmente, los sistemas de irrigación han migrado hacia la irrigación por goteo que permiten maximizar el recurso hídrico concentrando la humedad en la zona radicular de las especies vegetales. Es así, que nuestra investigación ha evidenciado una mayor tasa de acumulación de bromato en vegetales de hoja y frutas comercializados en la zona norte de Chile, comparados con la zona central. Niveles del orden de los 25

ngg-1 han sido cuantificados en acelgas y lechugas. Aun cuando los niveles cuantificados son relevantes, el número de muestras analizadas es reducida, es posible establecer que como sociedad nos encontramos expuestos a la ingesta de bromato por el consumo de vegetales, frutas y aguas de consumo.

A nivel nacional, la zona centro y centro sur concentra el mayor volumen de producción de vegetales y frutas. Nuestros estudios han evidenciado que fuentes de aguas (consumo y superficial) de la zona central contienen bromato en niveles cercanos a la normativa internacional de 10 ngmL-1. El uso de estas fuentes de agua en los sistemas productivos sumado a la aplicación excesiva de fertilizantes con trazas de bromato y considerando su alta solubilidad, generan un sistema propicio para que bromato sea capturado y acumulado en vegetales y frutas.


Bromato, al ser una especie química soluble, teóricamente puede ser rápidamente capturado por las raíces de las plantas, transportado hacia órganos superiores y acumulado en niveles que dependen de la tasa de evapotranspiración de la especie. La evidencia científica muestra que una mayor evaporación, permite una mayor tasa de acumulación de especies solubles como sería potencialmente en el caso de bromato, considerando la evidencia previa asociada con perclorato. Al comparar los sistemas de producción, es probable que los sistemas de cultivo en campo tiendan a acumular menos bromato por existir



la barrera natural del suelo que puede permitir que bromato quede retenido/ocluido en el suelo o bien, que lixivie en el perfil del suelo recargando fuentes de aguas subterráneas. Sin embargo, el uso de riego por goteo puede hipotéticamente generar una mayor biodisponibilidad para que bromato sea absorbido por especies vegetales.

En tanto, en sistema de cultivo en invernadero el escenario es diferente considerado que se emplean sustratos para el crecimiento e irrigación por goteo. Este escenario permite que bromato pueda ser bioacumulado con mayor facilidad que en sistemas de campo. En tanto, sis-

temas hidropónicos pueden ser considerados los más complejos al no existir la barrera natural del suelo para reducir su absorción. Ante este escenario, es de vital importancia comprender la dinámica de bromato en diferentes sistemas productivos con la finalidad de reducir la exposición a las personas por la ingesta de alimentos como vegetales y frutas. Considerando que los vegetales de hojas son potencialmente las especies más propensas a acumular bromato en sus tejidos, comparados con frutas que poseen un mayor número de barreras para que bromato sea acumulado en el fruto, y al ser los vegetales de hoja de amplio consumo en Chile por di-

ferentes grupos etarios, es vital poder establecer cuáles sistemas de producción están más propensos a acumular mayores niveles de bromato. Esto, con el objetivo de establecer medidas que permitan mitigar su presencia en productos agroalimentarios y como país, ser pioneros en este ámbito. Sin embargo, el enfoque principal se debe centrar en reducir la exposición a un compuesto posiblemente cancerígeno ya que el cáncer se ha convertido en la primera causa de muerte en Chile. 

*Dr., MPH. Raúl Calderón Araya
Núcleo de Investigación en
Sustentabilidad Agroambiental
Facultad de Medicina Veterinaria y Agronomía
Universidad de Las Américas*