

# La tabla periódica en mi jardín

MARGARITA I. BERNAL-URUCHURTU

Ilustraciones por el Biól. Gerardo Quintos Andrade

La Dra. Margarita I. Bernal Uruchurtu es Investigadora del Centro de Investigaciones Químicas de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEMor) y es integrante de la Academia de Ciencias de Morelos.

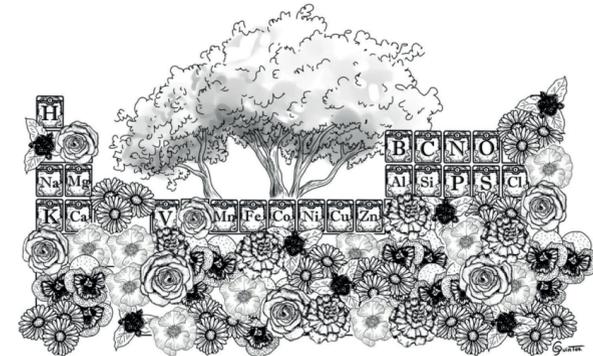
Una versión abreviada de este artículo se publicó previamente (Bernal-Uruchurtu, M. I. La Tabla Periódica en mi Jardín. Revista ¿Cómo ves? 306:16-19. Mayo de 2024)

Esta publicación fue revisada por el comité editorial de la Academia de Ciencias de Morelos.

Siempre me han gustado las plantas, desde las hierbas silvestres hasta las delicadas flores de ornato. El placer por las plantas es quizá de familia, las cuidadas y disciplinadas macetas que mi madre cuidaba en un corredor de la casa familiar, las plantas que crecían abandonadas en algún rincón de la finca en Veracruz, las flores que no faltaban en la casa de mis abuelas ya sea arregladas en un jarrón o en un jardín del que no podíamos cortarlas. Aquí en Cuernavaca, la relación con mis plantas fue inicialmente empírica. Muchas murieron bajo cuidados genéricos e ignorancia. Mi suerte ha cambiado (y la de mis plantas también) a raíz de un artículo que sirvió para sumar mis pasiones, *La química y el jardín*. La autora del artículo recuerda jardines y cultivos tropicales en su nativa Filipinas donde, de manera natural, su madre la introdujo a la tabla periódica de los elementos, al menos los 21 elementos necesarios para que las plantas se desarrollen sanas (1). En la Tabla Periódica, podemos encontrar 118 elementos, 92 de ellos naturales y el resto obtenidos en reacciones atómicas. Aquí, nos referiremos a los que por su abundancia en la corteza terrestre fueron incorporados al metabolismo vegetal; por supuesto, los proyectos de biosferas artificiales dependerán de estos mismos 21. Además, quiero enfatizar la intrincada conexión que determina los ciclos y el reciclaje de los elementos que son necesarios para el bienestar del jardín

## El jardín elemental

Las plantas son seres vivos, multicelulares, fotosintéticos. Al decir que son seres vivos podemos concluir que las moléculas que los forman están hechas principalmente de átomos de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo y azufre, tal como las que forman a los animales. Las moléculas formadas por estos átomos son, además del agua, las proteínas, carbohidratos y ácidos nucleicos. También, muchos otros compuestos químicos que son responsables de la comunicación entre las células, el desarrollo de características propias de su especie como por ejemplo el color y el olor, y también otras que, ahora se sabe son para comunicarse entre ellas o para evitar ser atacadas por depredadores. Todos los



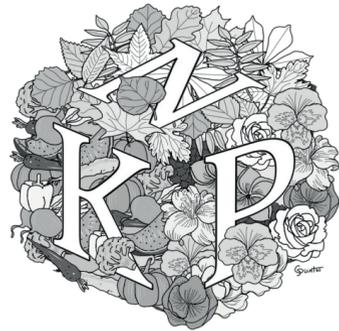
elementos necesarios para construir estas moléculas provienen de su ambiente: suelo, aire y agua.

Como organismos fotosintéticos tienen la capacidad de aprovechar la energía solar para realizar transformaciones químicas, usar el bióxido de carbono y el agua como materias primas que, a través de un complejo ciclo de reacciones que ocurren en sus células, resultan en la síntesis de carbohidratos como la celulosa o el almidón. Estas son moléculas fundamentales para las plantas. La celulosa es de hecho el polímero natural más abundante en el planeta, da forma y estructura a las plantas y todas las paredes celulares la contienen. El almidón, es el compuesto fuente de energía contenido en las semillas y cuyo propósito es asegurar el alimento de la futura planta desde que es semilla.

Los compuestos mencionados utilizan, principalmente, tres elementos de la Tabla Periódica, el **hidrógeno**, el **carbono** y el **oxígeno**. Este último es el más abundante en la Tierra, lo encontramos en su forma elemental como el 20% de la composición de la atmósfera, O<sub>2</sub> y formando compuestos como el agua, H<sub>2</sub>O, y el dióxido de silicio, la arena, SiO<sub>2</sub> que están presentes en la biósfera y la corteza terrestre de forma muy abundante. El hidrógeno (H) el décimo elemento más abundante, no existe en la Tierra en su forma elemental, su molécula es tan ligera que la gravedad terrestre no es lo suficientemente fuerte como para mantenerlo en la atmósfera. Sin embargo, además de estar en el agua, todos los compuestos orgánicos lo tienen en sus moléculas. En el lugar 17 en abundancia está el carbono (C), puede encontrarse en la corteza terrestre en su forma elemental, es algo así como la columna vertebral de todos los compuestos orgánicos que constituyen la vida en la Tierra y está también en la atmósfera como CO<sub>2</sub>. Este último compuesto es uno de los gases de invernadero asociados a la crisis ambiental del calentamiento global. Si bien es el producto de la respiración celular de todos los seres vivos, es también el resultado de todas las reacciones de combustión. Estas últimas son procesos que han aumentado de forma exorbitante en los últimos 150 años y han incrementado la concentración de este gas en la atmósfera.

La reacción química súper simplificada

de la fotosíntesis puede escribirse como:  $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$ . Para que ella ocurra es indispensable la energía luminosa. La fórmula después de la flecha es la glucosa, un azúcar que es pieza fundamental para formar otros carbohidratos o glúcidos. Esta reacción, en la que participan sólo tres tipos de elementos químicos, requiere de la intervención de otros 18 elementos que son indispensables para que funcione la maquinaria fotosintética y con ello, las plantas crezcan, maduren y se reproduzcan. De los 21 fantásticos héroes del mundo vegetal les contamos a continuación.



## Los tres pilares de la salud vegetal

Las plantas, como cualquier otro ser vivo, necesita nutrientes de buena calidad y en una cantidad suficiente, es decir, sin falta, pero sin exceso. El plato fuerte de las plantas contiene la tríada: **nitrógeno**, **potasio** y **fósforo**. El papel que estos tres macronutrientes juegan en la salud de las plantas es equivalente al que las proteínas, los carbohidratos y las grasas tienen en la nutrición humana. Estos son los aliados de todo jardinero y las plantas los absorben a través de sus raíces. El suelo contiene de manera natural algunos nutrientes, pero estos pueden acabarse a medida que las plantas los consumen. Los fertilizantes, ya sea de fuentes orgánicas como la composta o el abono de animales o bien, los comerciales en forma de sales contribuyen a la salud general de las plantas.

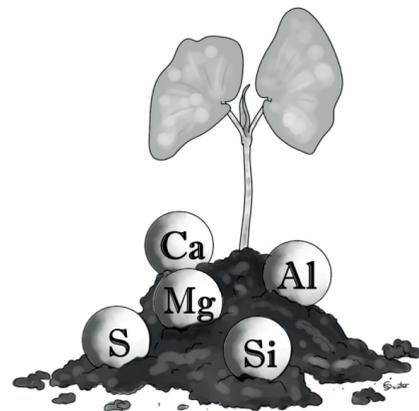
El único de estos elementos que podemos encontrar en forma elemental es el nitrógeno que forma casi el 80% de la atmósfe-

ra terrestre. A pesar de ser tan abundante allí, ocupa el lugar 30° en abundancia en nuestro planeta. El potasio y el fósforo son elementos muy reactivos, por ello no es posible encontrarlos como elementos puros. Sin embargo, son muy abundantes los compuestos que los contienen ocupan el 8° y 11° lugar en abundancia, respectivamente.

El nitrógeno (N) juega un papel vital en la salud y crecimiento de las plantas, promueve su desarrollo y madurez. Está involucrado en numerosos procesos fisiológicos entre los que se encuentra la formación de las proteínas, las enzimas y la clorofila. En esta última, el magnesio está unido a la compleja estructura de la clorofila a través de átomos de nitrógeno. Además, se sabe que el nitrógeno influye en la absorción de otros nutrientes de las plantas. Existen algunas afortunadas especies de plantas que han logrado establecer, a través de la evolución, una exitosa colaboración con bacterias que son capaces de atrapar el nitrógeno que se encuentra en forma elemental en el aire, N<sub>2</sub>. Las bacterias fijadoras de nitrógeno viven en las raíces de las plantas y transforman el N<sub>2</sub> en compuestos que contienen nitrógeno, como el amoníaco NH<sub>3</sub>, y que al expulsarlo de sus células lo aprovechan las plantas. Las bacterias que hacen simbiosis con algunas plantas son las Rhizobacterias y se ha encontrado que las leguminosas, como el frijol, son excelentes anfitriones para ellas.

El potasio (K), además de ayudar al desarrollo de las plantas en procesos de síntesis de proteínas, de metabolismo de carbohidratos y también de activación de algunas enzimas. Por sí fuera poco, juega un papel muy importante en la protección contra las enfermedades de las plantas. La investigación ha mostrado que de su papel es necesario para que las hojas puedan abrir y cerrar sus estomas. Estas estructuras son como una ventana, la superficie de las hojas es impermeable al paso del agua y de los gases y, a través de la apertura y cierre de las estomas, las plantas pueden intercambiar estos dos componentes con el medio exterior. Para abrir o cerrar los estomas es necesario un cambio de tamaño de las células que los forman. Este cambio está regulado por el potasio. Por ello, el estado de las hojas es responsabilidad de este, las hojas firmes y turgentes hablan de suficiente potasio, las hojas flácidas de su deficiencia. También el control del flujo de nutrientes a través de los vasos, el transporte de metabolitos, la respuesta al estrés y la formación de material leñoso depende de contar con una sana cantidad de este elemento.

El fósforo (P) es importante para: la división celular, el almacenamiento de energía, el desarrollo de las raíces. También juega un papel importante en procesos metabólicos como la síntesis de ácidos nucleicos, fundamental para la conservación y transmisión de los rasgos genéticos o la producción de los fosfolípidos que son necesarios para las membranas celulares. La cantidad de fósforo en el suelo es bastante limitada por la poca solubilidad en agua de los compuestos que lo contienen. No obstante, existen bacterias que producen sustancias que ayudan a solubilizar y mineralizar las fuentes de fósforo inorgánico (de los minerales) y orgánico (de otros organismos que los produjeron).



## El Magnesio y sus aliados

El elemento número 12 de la Tabla Periódica, el **magnesio** (Mg) es el séptimo elemento en abundancia en la Tierra. No es posible encontrarlo puro, es decir, en su forma elemental, ya que reacciona fácilmente para formar minerales en la corteza terrestre. Frecuentemente se encuentra asociado a compuestos mixtos con el dióxido de silicio y el óxido de calcio y también como carbonato de magnesio, MgCO<sub>3</sub>, unido al carbono y al oxígeno. El magnesio juega un papel estelar en la fotosíntesis: la clorofila, el pigmento responsable de capturar la energía luminosa necesaria para las reacciones de síntesis de carbohidratos, lo contiene en su estructura. Las plantas son de color verde porque la clorofila absorbe la luz de color rojo y refleja el resto de la luz visible. Además, en los vegetales hay varias enzimas en las que el magnesio juega el papel de un cofactor, es decir, el funcionamiento de las enzimas requiere la presencia del magnesio para iniciar su funcionamiento. Hay tantos procesos que dependen del magnesio que se ha observado que su presencia en los vegetales impacta favorablemente desde la germinación de la semilla hasta el crecimiento de la planta. Las plantas toman el magnesio a través de sus raíces, directamente del suelo. Sin embargo, hay varios factores que influyen la cantidad de magnesio que la planta puede aprovechar. Al investigar el mecanismo por el cual las plantas lo absorben, se encontraron dos: uno de ellos solo es para el Mg y el otro depende de la presencia de su aliado, el potasio. En algunas ocasiones hay otro par de elementos que se absorben simultáneamente con el magnesio, el calcio y el aluminio. La presencia de estos tres elementos en las plantas es análogo al rol que algunas vitaminas juegan en la salud humana. Son indispensables pero la cantidad requerida de ellos es mucho menor que la de la tríada N-P-K.

El **calcio**, Ca, es el quinto elemento más abundante en la Tierra, por ello es posible que las plantas hayan evolucionado aprovechando su presencia. Tampoco lo encontramos en su forma elemental pero existen minerales que lo contienen y son muy abundantes, por ejemplo: los carbonatos como los que forman rocas como el mármol hasta las conchas de algunos animales marinos. En los vertebrados es fundamental para la salud de la estructura ósea. En la planta también juegan un papel importante en la formación de estructuras que dan forma a las plantas, se necesita en las paredes celulares, en el crecimiento de raíces y retoños vigorosos. También ayuda a que las plantas puedan asimilar el nitrógeno y así crezcan fuertes. Además de lo anterior, el papel que desempeña en la resistencia contra enfermedades y disminución del estrés que pueden sufrir las plantas es muy importante. No todas las plantas requieren la misma cantidad de este nutriente, algunas plantas como las hortensias no les gusta y si el suelo contiene mucho de este elemento, las hojas se

tornarán amarillas. Otras, por lo contrario, sin calcio tendrán hojas que tienden a enroscarse sobre sí mismas si les hace falta, es el caso de las peperomias.

El **azufre**, S, es un elemento que se necesita principalmente para construir dos aminoácidos importantes, la cisteína y la metionina que son bloques necesarios para construir proteínas. El azufre si es un elemento que podemos encontrar en su forma elemental, en las zonas con actividad volcánica, en los manantiales de aguas sulfurosas y en algunas minas se aprecia como polvo o cristales pequeños de color amarillo. Es el elemento que ocupa el lugar 16 en abundancia ya que forma parte de muchos compuestos químicos como los sulfuros, los sulfatos y los sulfitos. En los organismos vivos, además de encontrarse en dos de los veinte aminoácidos esenciales, forma compuestos con olor muy especial. Por ejemplo, el olor del ajo, la cebolla o la mostaza se debe a un compuesto que lo contiene.

El **aluminio**, Al es el elemento número 13 en la Tabla Periódica y es el tercer lugar en abundancia en el planeta. Los compuestos que lo contienen equivalen al 8% de la corteza terrestre pero, no se encuentra como un metal puro. De hecho, su descubrimiento fue bastante más tarde que el de otros metales y como es mucho más ligero que otros metales y no se nota la oxidación de la superficie fue muy apreciado en el Siglo XIX, casi a la altura de los metales nobles, el oro y la plata. Actualmente lo encontramos en muchos de los objetos cotidianos que nos rodean, desde el marco de algunas ventanas hasta la envoltura de algunos alimentos. En el jardín también es muy apreciado en cantidades mucho menores que los elementos ya mencionados. Influye sobre la acidez de los suelos y así puede favorecer el desarrollo de unas plantas sobre otras, para algunas es benéfico y para otras, un veneno.



## Indispensables pero, de a poco

Existen al menos once elementos que son micronutrientes vegetales: **boro**, **sodio**, **silicio**, **cobalto**, **cobre**, **hierro**, **magnesio**, **molibdeno**, **níquel** y **zinc** y algunas investigaciones han sugerido que también el **vanadio** forma parte de este grupo. De todos estos podríamos decir: "De lo bueno, poco" ya que son fundamentales para la salud vegetal pero en cantidades mucho menores que los elementos que describimos en las secciones anteriores. A pesar de tratarse de elementos muy abundantes en la Tierra (el silicio es el segundo más abundante, el hierro el cuarto, el sodio el sexto, el manganeso el doceavo) de estos las plantas necesitan súper poquito, se les conoce también como elementos o nutrientes traza. La concentración típica de los micronutrientes en el suelo va de algunas unidades de partes por millón (ppm) a pocos cientos de ppm. Los ppm son una forma de medir la concentración y corresponden a la cantidad de sustancia que hay por cada millón de unidades del conjunto. Por ejemplo, en un millón de flo-

res amarillas encontrar solamente una roja sería igual a una concentración de 1 flor roja ppm. La concentración de hierro en la mayoría de los suelos se encuentre entre 20 – 100 ppm, mientras que la de zinc va de 1 a 60 ppm. Estas cantidades son variables dependiendo del suelo y los requerimientos de los micronutrientes depende del tipo de planta y algunas otras cuestiones ambientales. Por lo general, los micronutrientes se administran después de haber hecho pruebas químicas para determinar si la cantidad existente en el suelo es suficiente o si se necesitan hacer algunos ajustes para garantizar el crecimiento óptimo y la salud de las plantas.

Los metales como el cobalto, el hierro y el zinc son indispensables para que algunos procesos enzimáticos funcionen; por otra parte, el manganeso es importante en el proceso que rompe la molécula de agua empleando la energía luminosa mientras que el cobre está presente en los cloroplastos, el lugar en donde se encuentra la clorofila en la célula, otros son importantes para que las plantas produzcan sus propias hormonas. Muchos estudios científicos han encontrado que la ausencia de estos elementos afecta el crecimiento y conduce a rendimientos bajos en las cosechas. En algunos casos se ha encontrado que hasta el sabor de los frutos puede cambiar si no hay suficiente sodio en el suelo, ¡igual que si le faltase sal (cloruro de sodio) a la comida!

## Fertilizantes, cuestión del cuál, cuánto y cuándo

Como mencionamos antes, las raíces son fundamentales para la absorción de los nutrientes. Sin embargo, también a través de las hojas o, mejor dicho, de los estomas en las hojas, las plantas pueden absorber los fertilizantes foliares. Para que cualquier proceso de absorción ocurra es necesario que los nutrientes estén disueltos en agua. Esto hace más sencillo el controlar de la cantidad que se administra a un cultivo. Los fertilizantes se utilizan en los jardines para proveer a las plantas los nutrientes esenciales para su crecimiento y desarrollo. Los más comunes contienen una mezcla de nutrientes como el nitrógeno, el fósforo y el potasio. En ocasiones en cantidades iguales de cada uno de ellos, por ejemplo, 17-17-17 indica que tiene, en cada 100 g de fertilizante, 17 g de cada uno de los nutrientes. Si existe interés en un mayor desarrollo de las hojas que de las flores,

como en el caso del pasto, se administra un fertilizante que contiene más nitrógeno que de otros nutrientes. El fósforo y el potasio son muy importantes para los árboles frutales, ayudan al crecimiento de las raíces y el desarrollo de flores y frutos sanos. Las plantas, al igual que los animales, requieren mantener una dieta balanceada y aprender a reconocer los signos de una nutrición deficiente es importante. Entre las señales más claras de que un jardín requiere fertilizante se encuentran: Un pobre crecimiento de las plantas puede ser signo de falta de alimento. A veces basta un fertilizante balanceado N-K-P o enriquecer la tierra de siembra con tierra fresca. Hojas que se vuelven amarillas puede apuntar a una falta de nitrógeno pero, si la hoja es amarilla y sus nervaduras son verdes es probable que la deficiencia sea de hierro. Si no se están produciendo suficientes flores o frutos, es probable que haya una deficiencia de fósforo. Si la talla y la calidad de las frutas y verduras

es muy baja, es probable que la deficiencia sea de potasio. Aún cuando estos síntomas son claramente observados, el origen también podría ser señal de otros problemas como una plaga u otro tipo de enfermedad por lo cual, hay que revisar muy bien la planta completa, incluidas sus raíces antes de aplicar cualquier fertilizante.

Es conveniente pensar que no todos los fertilizantes se deben aplicar en la misma época del año. En lugares como México en donde la mayor parte de los suelos nunca están congelados o muy fríos conviene aplicar fertilizantes que se liberan lentamente antes de la siembra a fin de garantizar que habrá nutrientes disponibles cuando la planta se desarrolle. A medida que la planta acelera su desarrollo, digamos su adolescencia, es conveniente aumentar un poco la cantidad de nutrientes en el suelo para que pueda alcanzar una buena floración y frutos abundantes. Y, al igual que con la dieta humana, los excesos son tan dañinos como las deficiencias. Aplicar fertilizantes en exceso puede dar síntomas en las plantas muy similares a los que aparecen con la deficiencia (2).

La sobrefertilización puede tener impactos muy dañinos en el ambiente y en la producción de la cosecha. Uno de los riesgos más comunes es la acumulación de compuestos ricos en nitrógeno, una causa importante de contaminación. Recordemos que el suelo es un material poroso y lo que se disuelva en agua, tarde o temprano acabará en los mantos acuíferos subterráneos o superficiales. Por ello, el exceso de fertilizante promueve el crecimiento de algas nocivas y un daño a la flora acuática. Además, la sobrefertilización o la acumulación de nutrientes en el suelo puede cambiar la química del suelo, modificar su acidez o afectar la absorción de los nutrientes. Otra consecuencia común es el aumento de la susceptibilidad de los cultivos a las enfermedades y la plaga de algunos insectos.

Muchos jardineros enfrentamos la decisión entre composta o fertilizante. La composta puede ser una fuente muy valiosa de nutrientes pero, puede que no siempre proporcione todos los elementos necesarios en cantidades suficientes. En el proceso de preparar composta la materia orgánica se descompone en un material rico en N-K-P y algunos micronutrientes más otros materiales que mejoran la textura del suelo y su capacidad de retener la humedad. Sin embargo, el contenido de nutrientes en la composta puede variar dependiendo del proceso de preparación de la misma y el tiempo que ha transcurrido en descomposición. Además, algunos nutrientes como el nitrógeno se pueden perder durante el proceso de preparación si no se cuidan las condiciones de temperatura y humedad. Por ello, resulta conveniente observar con cuidado el estado de salud del jardín y decidir si conviene usar composta o bien, complementar su uso con una pequeña cantidad de fertilizante que garantice que las plantas tienen acceso a todos los nutrientes necesarios para crecer saludables.

## Referencias

1. **Asunción, Lisa**. Chemistry World. [En línea] 18 de marzo de 2022. <https://www.chemistryworld.com/>.
2. **Workshop on Fertilizer Management in Horticultural Crops: Implications for Water Pollution**. Swietlik, Dariusz. 1, s.l. : HortTechnology, 1992, Vol. 2.

Esta columna se prepara y edita semana con semana, en conjunto con investigadores morelenses convencidos del valor del conocimiento científico para el desarrollo social y económico de Morelos. Desde la Academia de Ciencias de Morelos externamos nuestra preocupación por el vacío que genera la extinción de la Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología dentro del ecosistema de innovación estatal que se debilita sin la participación del Gobierno del Estado.



ESTA PUBLICACIÓN FUE REVISADA POR EL COMITÉ EDITORIAL DE LA ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS

Para actividades recientes de la academia y artículos anteriores puede consultar: <https://acmor.org/>  
¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTACTANOS: [coord.comite.editorial.acmor@gmail.com](mailto:coord.comite.editorial.acmor@gmail.com)