

Milagros inesperados en el mundo de las plantas

DAVID ROMERO CAMARENA

El Dr. Romero es investigador del Centro de Ciencias Genómicas de la Universidad Nacional Autónoma de México, en Cuernavaca, Morelos. Su área de especialidad es la genómica bacteriana, con énfasis en mecanismos de cambio en genomas. Es miembro y expresidente de la Academia de Ciencias de Morelos.

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

Una de las razones por la que soy científico es porque las placenteras sorpresas del nuevo conocimiento aparecen a cada paso. Frecuentemente escuchamos o decimos entre nosotros frases como “esto es nuevo, nadie lo sabía”, “no me imaginaba que pudiera ser así” o aún “¡qué increíble!”. Y nos quedamos con una sensación de humildad ante las cosas casi milagrosas que pueden ocurrir en la naturaleza. Pero a veces esos milagros los podemos encontrar inesperadamente en nuestra experiencia cotidiana. Basta una visita al mercado y un poco de curiosidad. ¿No han notado el gran tamaño de muchas de las frutas y verduras? ¿La gran diversidad de vegetales que podemos encontrar? Uvas enormes, fresas de gran tamaño y atractivas al paladar, por ejemplo. Pensamos, y con razón, que son el producto de un largo conocimiento agrícola tradicional y del trabajo de los científicos. Pero pocas veces nos detenemos a pensar cómo se producen esos milagros que nos alimentan.

Ustedes pueden experimentar esa sorpresa al comparar el tamaño de las uvas y fresas (Figura 1). Las uvas que nos han acompañado a lo largo de la historia tienen un material genético (su *genoma*) compuesto de 19 pares de cromosomas, por lo que tienen 38 cromosomas en total. Dado que hay dos cromosomas de cada par, decimos que son *diploides*. Algo similar pasa con las fresas, donde las variantes silvestres son diploides, con siete pares de cromosomas, por lo que tienen un total de 14 cromosomas. La sorpresa con las uvas, las fresas y otras plantas accesibles para nuestro consumo es doble: hay uvas y fresas de gran tamaño y buen sabor, pero logran eso a través de la *multiplicación de su genoma*, un proceso llamado *poliploidía*. Las uvas de gran tamaño (Figura 1) poseen los 19 tipos de cromosomas característicos de la especie, pero tienen *cuatro* copias de cada tipo de cromosoma, no dos como es lo habitual, por lo que ahora poseen 76 cromosomas. Para hacer obvio que ahora poseen cuatro copias de cada tipo de cromosoma, decimos que son *tetraploides*. Algo similar, pero aún más radical pasa con las fresas, donde existen variantes con *ocho* copias de cada tipo de cromosoma (56 cromosomas en total) por lo que se conocen como *octoploides*.

¿Multiplicación del genoma en plantas? ¿Mayor tamaño de la planta y el fruto? ¿Cómo ocurre eso? ¿Qué tan extendido están sus efectos entre las plantas? Va-



FIGURA 1. INCREMENTO en tamaño del fruto por poliploidía en uvas y fresas. Fuente: elaboración propia con figuras de <https://sciencephotogallery.com/featured/diploid-and-tetraploid-table-grapes-martyn-f-chillmaids-science-photo-library.html> y www.jamesandthegiantcorn.com/wp-content/uploads/2009/11/strawberries2.jpg

yamos a descubrirlo. **Multiplicando el genoma** Para entender cómo ocurre la poliploidía, necesitamos explicar cómo ocurre la formación de un nuevo organismo. El número de cromosomas que hemos mencionado en uvas diploides (38) es el encontrado en casi todas las células, salvo en las células reproductivas de las plantas (polen y óvulos). Estas células se generan por un proceso de *división reductiva*, llamado *meiosis*, por lo que contienen solo la mitad de los cromosomas. Así, al encontrarse un grano de polen de uva (19 cromosomas) con un óvulo de uva (19 cromosomas) se genera un nuevo organismo con 38 cromosomas, una uva diploide. La meiosis es un proceso muy efectivo, pero no está exento de errores. En una de cada mil divisiones, el proceso de meiosis falla, produciendo células reproductivas con el doble de cromosomas (38) de lo que deberían de tener (Figura 2). Si se encuentra un grano de polen con el doble de cromosomas (38) con un óvulo con 38 cromosomas, la planta de uva resultante tendrá 76 cromosomas, una

uva tetraploide. Una cadena de accidentes biológicos explica también la aparición de las fresas octoploides. En este caso, fallas en la meiosis en una fresa diploide, producen fresas tetraploides. Si la falla vuelve a ocurrir en una fresa tetraploide, el resultado será una fresa octoploide. Son el resultado de afortunados accidentes naturales que producen plantas de mayor talla y, como veremos más adelante, a veces mayor tolerancia a estreses ambientales y enfermedades, lo que puede explicar su persistencia sin necesidad de intervención humana. Y si el humano interviene, lo hará por una causa muy razonable: desde luego cooperará para multiplicar una planta más grande y con mayores frutos. **Sandías sin semillas** Pero una vez que conocemos cómo pueden generarse plantas poliploides de manera natural, podemos empezar a aprovechar ese conocimiento. Debido a que el doble de cromosomas (38) con un óvulo con 38 cromosomas, la planta de uva resultante tendrá 76 cromosomas, una

producción de células reproductivas no reducidas. Aunque hay varias sustancias útiles para ese fin, la *colchicina*, una sustancia extraída de la planta *Colchicum autumnale*, resultó particularmente buena. En 1939, el científico japonés Hitoshi Kihara empleó colchicina para generar una sandía tetraploide, la cual tenía un mayor tamaño. No contento con eso, encontró la manera de generar una sandía sin semillas. Para eso, cruzó una sandía tetraploide (óvulos con 22 cromosomas) con una sandía diploide (polen con 11 cromosomas) generando una sandía *triploide* con 33 cromosomas (Figura 3).

¿Por qué carece de semillas una sandía triploide? La razón es que la meiosis requiere el encuentro de pares de cromosomas. Esto ocurre muy bien en un diploide y razonablemente bien en variantes que tienen números pares de cromosomas (tetraploides, hexaploides, octoploides, etc.) pero muy mal cuando las variantes tienen números impares de cromosomas (triploides, pentaploides, heptaploides, etc.). La meiosis en estos organismos

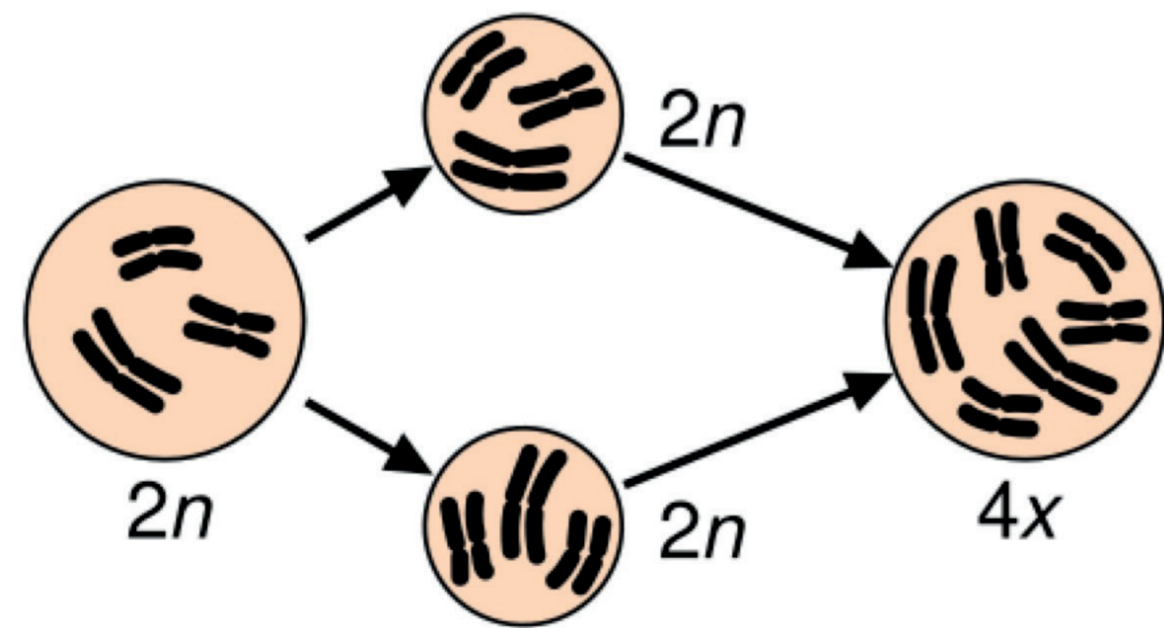


FIGURA 2. EL encuentro de células reproductivas no reducidas en su número de cromosomas explica la poliploidía. Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Poliploid%C3%ADa>

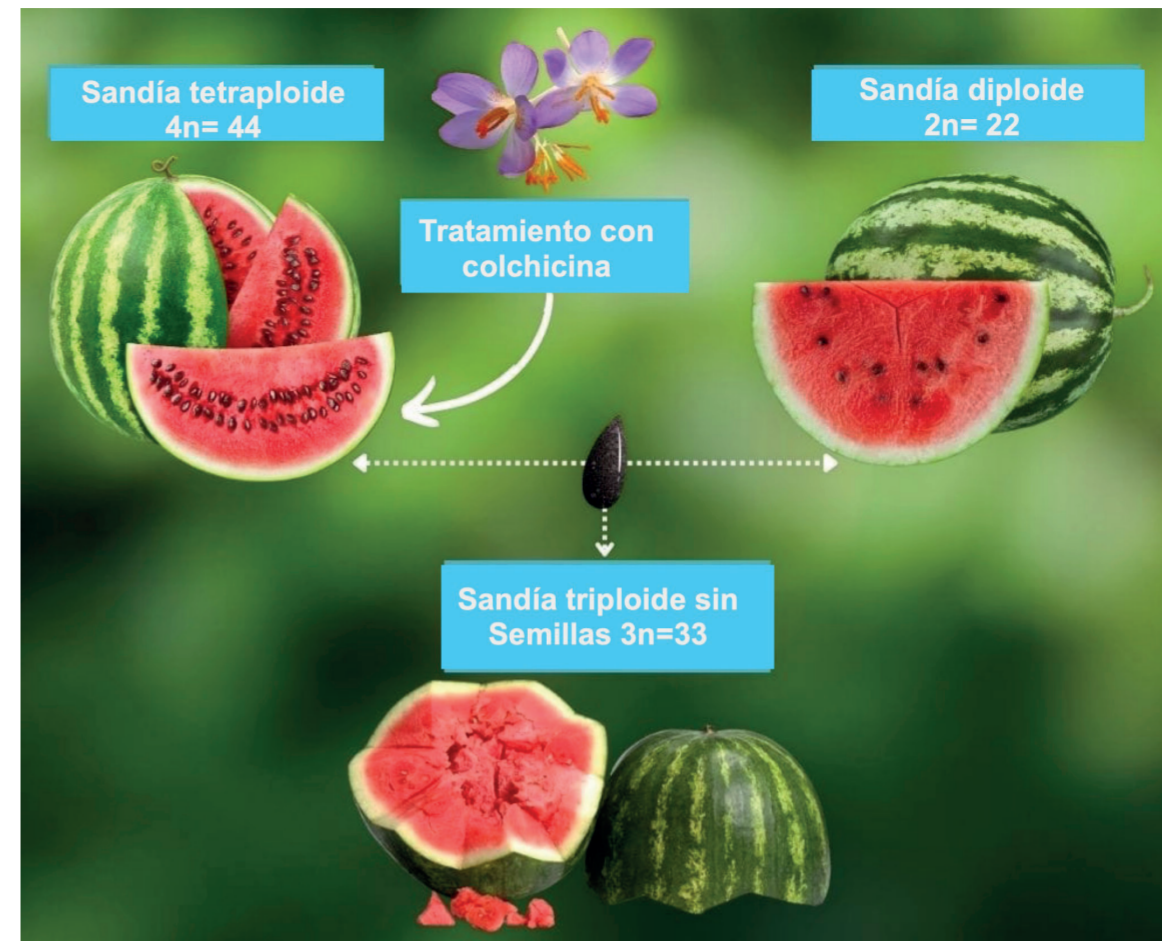


FIGURA 3. GENERACIÓN de una sandía triploide sin semillas. Fuente: adaptada y traducida de una figura de M. Fothergill (<https://www.facebook.com/rescuemyplant/posts/seedless-watermelons-are-a-summer-favorite-but-how-do-they-achieve-their-seedles/456520037244412/>).

procede tan mal que lleva a la falta de semillas en el fruto. Esto podría ser una tragedia para una planta que dependiera solamente de reproducción sexual, pero las sandías, como los plátanos y las papas, pueden reproducirse por *esquejes*, la producción de nuevas plantas a través de fragmentos de tallos, hojas o raíces. Para nosotros, la producción de plantas sin semillas nos permite comer sandías sin la incomodidad de las semillas. Y esta no es una ventaja menor, como ejemplifican los plátanos. El ancestro de los plátanos actuales era una planta diploide, que producía semillas grandes... Todos los plátanos en la actualidad son triploides. ¡Qué alivio! Imagine lo que sería comer un plátano escuchando semillas.

Cruzando diferentes especies de plantas y produciendo poliploides Hasta ahora me he referido a plantas en donde el aumento en número de copias es de su propio genoma, a las que se les llama *autopoliploides*. ¿Pero qué pasa cuando se cruzan plantas de diferentes especies? ¿Es siquiera posible? Desde luego es posible, aunque tienen que ser plantas de especies relacionadas y el resultado frecuentemente son plantas infértiles. Pero aún en esas circunstancias, la poliploidía puede entrar al rescate.

Un ejemplo muy ilustrativo lo proveen las plantas del género de las Brassicas. Este es un género muy extendido que incluye plantas de apariencia muy diversa y que pueden variar también en número de cromosomas. El nabo, una especie diploide de Brassica con 20 cromosomas, puede cruzarse con la col (18 cromosomas). Las células re-

productoras contienen 10 y nueve cromosomas, respectivamente, por lo que el híbrido resultante tiene 19 cromosomas. El híbrido es infértil, debido a que al poseer cromosomas de dos especies diferentes no puede realizar meiosis correctamente (Figura 4). Pero hay una salida a este problema y consiste en la poliploidización. Si en el híbrido infértil ocurriera en meiosis una división no reductiva (Figura 2) cada cromosoma tendría una pareja, con lo que recuperaría la fertilidad. Y esa es precisamente la serie de eventos que ocurrió naturalmente para la generación del colinabo (también conocido como rutabaga), una planta tetraploide (con 38 cromosomas). Situaciones similares llevaron a la generación de otras plantas, como la mostaza abisinia (*B. carinata*) o la mostaza de hoja (*B. juncea*). A las plantas generadas por cruza entre diferentes especies seguidas

laramente abundantes en plantas de interés agrícola. La gran mayoría de ellas se generaron por procesos naturales, sin intervención humana, y las hemos aprovechado por sus características favorables, facilitando su reproducción y expansión a nivel mundial. Además del café, el algodón, el trigo y el centeno (Figura 5), podría mencionar a las papas, la caña de azúcar, el tabaco, etc. El único alopoliploide producido por intervención humana es el *triticale*, producido por cruza entre el trigo durum (tetraploide) y el centeno (diploide) seguida por poliploidización, dando lugar a una planta hexaploide. No es exagerado decir que una buena parte de la alimentación humana se debe al milagro accidente inesperado de la poliploidización. Y es un proceso que puede alcanzar límites pasmosos. Incluyo en esto al helecho *Ophioglossum reticulatum*, conocido popularmente

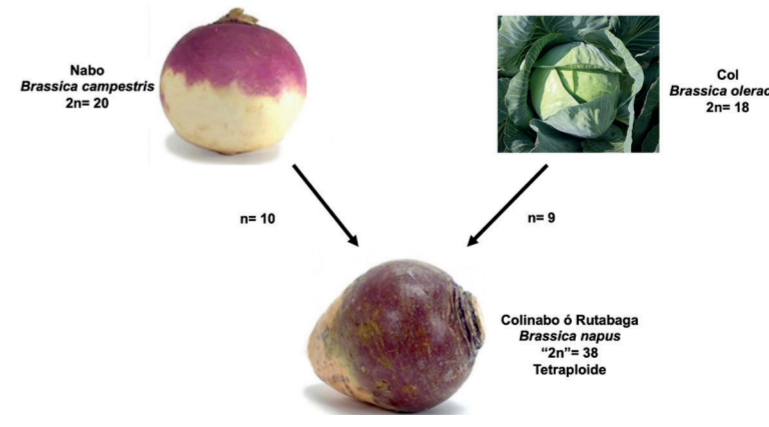


FIGURA 4. GENERACIÓN del colinabo por cruza entre diferentes especies seguida de poliploidización. Fuente: elaboración propia con figuras de dominio público.

de poliploidización se les conoce como *alopoliploides* y son particu-

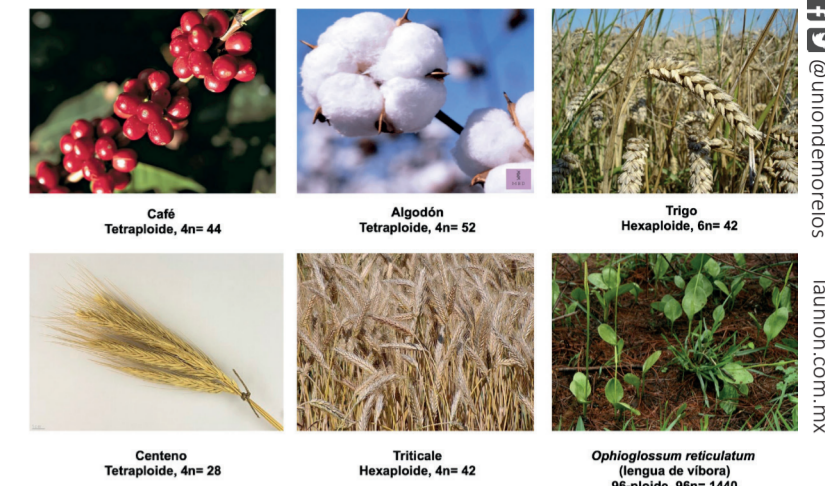


FIGURA 5. EJEMPLOS de plantas de interés agrícola producidas por alopoliploidización. Fuente: composición propia, con imágenes de dominio público.

de ser el organismo con el mayor nivel de ploidía conocido (96 veces) y el mayor número de cromosomas (1440) de todos los seres vivos.

¿Hacia dónde vamos?

Es claro que la poliploidización ha sido muy importante en la evolución de las plantas de interés agrícola. Sus efectos positivos en productividad se deben sin duda al aumento en el número de copias de genes que afectan la productividad. Sin embargo, aún es muy difícil predecir cuáles genes son éstos y en qué circunstancias se presentará una mejora. Una parte del problema es el desconocimiento de los factores genéticos relevantes, pero también se debe a las respuestas de la planta al hecho mismo de poliploidización. Con el aumento del número de copias de los cromosomas también surgen nuevas posibilidades de modificación de su estructura, así como respuestas de la planta que modifican y aún atenúan los posibles beneficios por *factores epigenéticos*. El interés en realizar estas investigaciones existe y ahora contamos con las poderosas herramientas de las ciencias genómicas para cubrir esos huecos del conocimiento.

Para saber más

1. Akagi, T., Jung, K., Masuda, K., and Shimizu, K. K. (2022). Polyploidy before and after domestication of crop species. *Curr. Opin. Plant Biol.* 69, 102255. doi: 10.1016/j.pbi.2022.102255
2. Bomblies, K. (2020). When everything changes at once: finding a new normal after genome duplication. *Proc. R. Soc. B* 287, 20202154. doi: 10.1098/rspb.2020.2154
3. Chen, H., Almeida-Silva, F., Logghe, G., Maere, S., Bonte, D., and Peer, Y. V. de (2026). The rise of polyploids during environmental upheaval. *Cell*. doi: 10.1016/j.cell.2026.04.008
4. Healey, A. L., Garsmeur, O., Lovell, J. T., Shengquiang, S., Sreedasyam, A., Jenkins, J., et al. (2024). The complex polyploid genome architecture of sugarcane. *Nature* 628, 804–810. doi: 10.1038/s41586-024-07231-4
5. Sankar, C., Rajangam, J., Kavino, M., Auxilia, J., Premalakshmi, V., Rajamanickam, C., et al. (2025). Impacts of polyploidy on phenotypic expression in *Musa* ssp. Progenies. *Discov. Appl. Sci.* 7, 948. doi: 10.1007/s42452-025-07417-z
6. Trojak-Goluch, A., Kawka-Lipińska, M., Wielgus, K., and Praczyk, M. (2021). Polyploidy in Industrial Crops: Applications and Perspectives in Plant Breeding. *Agronomy* 11, 2574. doi: 10.3390/agronomy11122574
7. Wikipedia. Poliploidía. <https://es.wikipedia.org/wiki/Poliploid%C3%ADa>

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.