

Los nanomateriales al rescate del maíz (*Zea mays*) por las altas temperaturas causadas por el cambio climático

Magdalena González Alejandre, Vivechana Agarwal y Nabanita Dasgupta Schubert

La Dra. Magdalena González Alejandre realizó sus estudios en Ingeniería en Biotecnología en la Universidad Tecnológica de Morelia (UTM), la Maestría en Ciencias Aplicadas en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), el Doctorado en el Centro de Investigaciones en Ingeniería y Ciencias Aplicadas (CIICAP) perteneciente a la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEMor). Actualmente se desempeña como Investigadora Posdoctorante en la Facultad de Ingeniería Química de la UMSNH y miembro del comité ejecutivo de Sociedad Multidisciplinaria en Ciencias Agronómicas Aplicadas y Biotecnología A.C. La Dra. Vivechana Agarwal es investigadora del Centro de Investigaciones en Ingeniería y Ciencias Aplicadas (CIICAP) de la UAEMor. Su principal línea de investigación es el desarrollo de nanomateriales base silicio, carbono y metales nobles para su aplicación como estructuras fotónicas. La Dra. Nabanita Dasgupta Schubert es investigadora de la Facultad de las Ciencias Físico Matemáticas de la UMSNH, Morelia. Sus áreas de investigación pueden ser generalmente clasificadas como interacción de radiación con materiales nano y blanda, la biofísicoquímica con un interés especial en cuestiones ambientales, y la ciencia nuclear.

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

La importancia del maíz en México

Hola qué tal, ¿cómo va tu día?, espero que muy bien y que al menos en este día ya hayas consumido algún alimento. Aquí en México nos encantan los tacos de cualquier guisado, hasta una tortilla sólo con sal y alguna salsa, ¿Quién no ha disfrutado de un sabroso elote o esquite? En México, nuestra alimentación se basa en el consumo del maíz, es súper importante para nuestra alimentación. Se ha considerado que el maíz (*Zea mays*) se originó en México y que nuestros antepasados lo fueron domesticando poco a poco, observando las características que para ellos eran importantes; a prueba y error lo fueron modificando hasta que llegó a ser como ahora lo conocemos. El maíz se convirtió en el alimento de mayor importancia, de identidad para las culturas que se desarrollaron en nuestro país, teniendo una importancia relevante en sus ceremonias religiosas, ya que lo consideraban un regalo de los dioses. Hoy en día sigue siendo muy importante en nuestra cultura y religión, aquí en México es un elemento principal en los altares del día de muertos, en San Francisco Pichátaro Michoacán, cada grano de una mazorca de maíz representa una oración para el descanso eterno de sus seres queridos (1). Las cocineras tradicionales de México nos demuestran la importancia del maíz en nuestra gastronomía, que además es considerada como Patrimonio Cultural Inmaterial de la Humanidad desde el año 2010 por

la UNESCO (2). Existen muchos platillos en donde el maíz es el ingrediente principal, además de la tortilla (primordial para nosotros los mexicanos), al maíz también lo encontramos desde platos fuertes como el pozole, tamales, corundas, chilaquiles, gorditas, sopa de tortilla, tacos y quesadillas en sus diferentes versiones, sopas, huachucas; hasta en bebidas como atole, champurrado, tejava, chilate, pozol, tejuino, atole de grano, e incluso en bebidas alcohólicas como licor de maíz y whisky. También forma parte de postres como por ejemplo el pinole, pasteles, los totopos y diferentes botanas.

Depende mucho de cómo esté el clima, cuando hace frío o llueve se nos antojan las comidas que estén calientes o cuando hace calor, se antoja algo fresco para comer, de cualquier forma, para ambas opciones, siempre el maíz es el protagonista de nuestra comida.

El cambio climático.

Ahora que tocamos el tema del clima, ¿has notado que ha hecho más calor y también más frío? Hemos podido notar que las estaciones del año han cambiado de algunos años a la fecha. Yo recuerdo que cuando éramos pequeñas, en mayo eran las primeras lluvias del año, nuestros abuelos les llamaba "las cabañuelas", con estas se guiaban los campesinos para hacer la siembra de la temporada. En agosto llovía muchísimo y en septiembre eran las últimas lluvias, pero ahora que somos mayores, han ido cambiando las fechas de las primeras lluvias, la intensidad de ellas y de las temperaturas asociadas a cada estación del año. Algunos científicos han estudiado estos cambios del clima a lo cual le han dado el nombre de cambio climático (CC). En la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático en 1992, explicaron al CC como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observable durante períodos de tiempo comparables. El mes de Julio del 2023 fue confirmado como el mes más caluroso registrado, según información publicada el 14 de agosto del 2023 por El Servicio de Cambio Climático de Copernicus (C3S). Estos cambios en el clima influyen fuertemente en el desarrollo de animales y plantas, ¿Sabías que la temperatura del suelo es determinante para que una semilla germine?, si la temperatura ha aumentado demasiado ¿ya está afectando a las semillas de maíz?, ¿Te has preguntado qué pasaría si jamás volveríamos a tener maíz en nuestra mesa?, ¿En nuestra vida?

Esas mismas preguntas nos hemos hecho en nuestro equipo de investigación y hemos puesto nuestros cerebros y manos a la obra. Logramos tener información valiosa para restablecer el daño ocasionado por las altas temperaturas en el proceso de germinación de semillas de maíz usando las propiedades de los nanomateriales, ya que es importante valorar todas las posibilidades para contrarrestar los efectos adversos del CC en las semillas de maíz. La investigación por el equipo y colaboradores comen-

zó en 2018, que aborda aspectos sobre el rejuvenecimiento, mediante el uso de nanomateriales, de la semilla de maíz envejecida por altas temperaturas, simulando el efecto provocado por el cambio climático.

El efecto de las altas temperaturas en las semillas de maíz.

El maíz (una especie de monocotiledónea) es un organismo modelo en la investigación básica para generar información sobre la biología de los cereales. El ciclo de vida del maíz se puede dividir en dos grandes etapas: la primera es un estadio vegetativo y la segunda es la fase reproductiva. Nuestro estudio se basó en la primera etapa, específicamente en la germinación. La germinación es una serie de acontecimientos metabólicos y morfogenéticos que tienen como resultado la transformación de un embrión en una plántula que sea capaz de valerse por sí misma y desarrollarse en una planta adulta. La germinación (Fig. 1) inicia con la toma de agua por la semilla seca (a lo que técnicamente conocemos como imbibición) y termina cuando el eje embrionario (plúmula) o primera raíz (radícula) rompe las capas de la semilla y emerge. ¿Alguna vez en tu escuela te pusieron a germinar un frijol? Justo a ese proceso nos referimos.

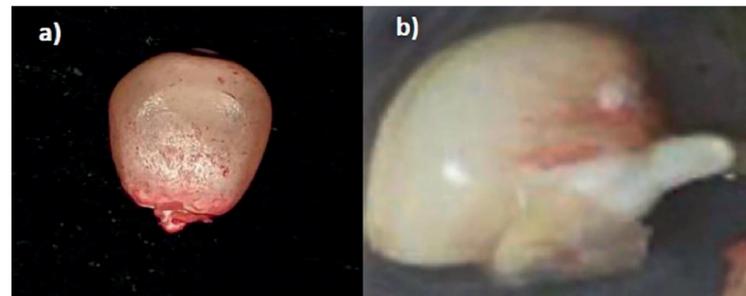


FIGURA 1. MUESTRA semilla de maíz híbrido "Albatros" a) sin germinar; b) germinada.

La germinación de la semilla se puede ver afectada por temperaturas arriba de los 35°C. El estrés por alta temperatura afecta el establecimiento de los cultivos desde la germinación de las semillas, y tiene efectos inmediatos sobre el vigor de las plántulas. Las altas temperaturas pueden disminuir o inhibir totalmente la germinación de las semillas dependiendo de las especies y de la intensidad del estrés.

Los investigadores Fu y Ehleringer en 1989 publicaron que las plantas poseen diferentes mecanismos para sobrevivir a altas temperaturas, como adaptaciones a corto o largo plazo, adaptaciones relacionadas con los factores climáticos y los ciclos de la planta o morfológicas y mecanismos de ajuste como cambios en la orientación de las hojas. Por su parte Schwacke y colaboradores, Iba, Mittler, Wang y colaboradores, Almesenmani y colaboradores, Taiz y Zeiger, Whaid y colaboradores, Nagesh y Deveraj siguieron investigando este proceso desde el año 1999 encontrando otros mecanismos de tolerancia al calor, que incluyen alteraciones en la composición lipídica de las membranas, la producción de antioxidantes, la acumulación de osmo-

litos compatibles y pigmentos, y la síntesis de proteínas que se inducen en esta condición. La termotolerancia es otro de los mecanismos de tolerancia al estrés por altas temperaturas y se refiere a la habilidad de adquirir tolerancia rápidamente, en horas incluso, y sobrevivir a temperaturas que de otro modo serían letales.

El nanomaterial rejuvenecedor de semillas.

La nanotecnología es una ciencia que manipula la materia a una escala atómica y molecular, permitiendo crear tecnología emergente para la resolución de problemas. Es una ciencia aplicable en diferentes campos como la medicina, la ingeniería, la informática, óptica electrónica y más recientemente la agricultura y alimentos. La nanobiotecnología, se refiere a la aplicación de nanotecnología en los biosistemas con el fin de estudiar los procesos biológicos a una escala nanométrica y molecular, mejorando los nanomateriales para su uso en sistemas biológicos. Sin embargo, se debe tener en cuenta que el uso de nanomateriales en general puede generar algunos riesgos en la salud ya que podrían resultar tóxicos en la triada importante suelo-planta-organismo, y en la cadena trófica, por tal motivo es recomendable la utilización de nanomateriales de precursores orgáni-

cos (llamados también biomateriales).

Nanotubos de carbono de pared múltiple (MWCNT).

Esta forma 1-D de carbono fue observada accidentalmente en 1991 por S. Iijima bajo un microscopio electrónico de transmisión. Los nanotubos de carbono se pueden considerar como cilindros hechos de láminas de grafito, en su mayoría cerrados en los extremos, con átomos de carbono en los vértices de los hexágonos, como en una

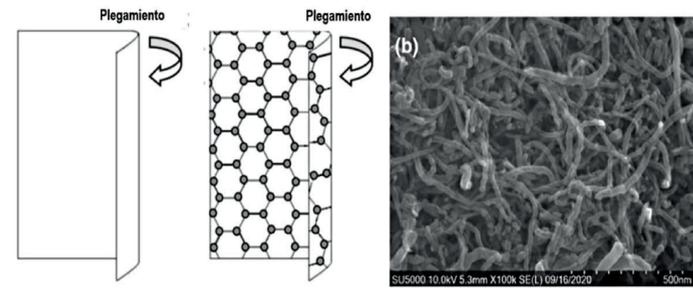


lámina de grafito (figura 2).

Es posible que muchos cilindros concéntricos puedan formarse como un nanotubo, dichos nanotubos concéntricos se denominan nanotubos de carbono de paredes múltiples, y son los más comunes y fáciles de formar. Los nanotubos de carbono tienen propiedades mecánicas, eléctricas y químicas únicas debido a su nanoestructura de dimensión baja y su relación de aspecto extrema. Desde el descubrimiento de los nanotubos se han realizado amplias investigaciones sobre sus propiedades fundamentales de estructura, comportamiento eléctrico, óptico, mecánico y fisicoquímico, así como sobre la investigación y el desarrollo orientados a las aplicaciones para resolver problemas cotidianos.

Una de las aplicaciones innovadoras más recientes de los nanomateriales es en la agricultura y en el estudio de la biología y fisiología vegetal. En nuestra investigación, como se indicó antes, el objeto de estudio fue el maíz. Trabajos anteriores realizados por Noy en 2007, Tiwari et al. 2014, Villagarcía et al. 2012, Husen y Siddiqui 2014, Dasgupta-Schubert et al, han demostrado que la absorción de agua es facilitada por los nanotubos de carbono hacia el interior de la semilla, mejorando su germinación. Además, Galano en el año 2008 demostró que existe una notable actividad eliminadora de radicales libres. Teniendo este conocimiento, el objetivo de nuestro trabajo fue estudiar si los nanotubos de carbono podrían ayudar al rejuvenecimiento de las semillas de maíz afectadas por altas temperaturas, cercanas las que hemos observado en las zonas subtropicales y tropicales, facilitando el transporte de agua y la eliminación de radicales libres como las especies reactivas de oxígeno (técnicamente conocidas como ROS) que están implicadas en el envejecimiento por estrés térmico y el daño celular oxidativo (4).

El experimento y sus resultados

La metodología general del experimento consistió en realizar la selección de las semillas de maíz híbrido denominado "Albatros" (se debe utilizar un maíz híbrido debido a que tiene menor o nula variabilidad ge-

nética, lo cual nos permite estudiar el efecto de los nanotubos de carbono y no confundirlos con las capacidades genéticas propias del maíz); posteriormente, se realizó un tratamiento de envejecimiento acelerado por calor seco en un horno de secado calibrado con una dosis constante de calor pero con diferentes temperaturas elevadas (40, 50 y 60°C) a excepción del control negativo (- se entiende que no fue sometido a envejecimiento), mientras que el control positivo (+ a 60°C durante 14 horas) y finalmente se germinaron en presencia de los nanotubos de carbono a una concentración de 20 mg/L en agar para plantas Murashige Skoog (MS) a excepción de los controles; todos los tratamientos fueron colocados en una cámara de crecimiento vegetal (AR95L) que se operó a una temperatura constante de 24 °C, un fotoperíodo de 16 horas de luz y 8 horas de oscuridad y un promedio de humedad relativa de 43% (ver figura 3). Los datos de germinación se tomaron a los 15 días a partir de la siembra (5).



Los resultados de las pruebas desarrolladas entre los laboratorios participantes arrojaron la siguiente información: Los nanotubos de carbono tienen un efecto positivo en el proceso de germinación, en las semillas que no fueron sometidas a un envejecimiento el porcentaje de germinación aumentó en un 25% con respecto a las semillas que no fueron tratadas con nanotubos de carbono, en las semillas sometidas a 40°C el envejecimiento solo afectó un 5% en la germinación, en el envejecimiento a 50°C los nanotubos de carbono mantuvieron el porcentaje de germinación, algo que destacar en el tratamiento de envejecimiento a 60°C es el aumento en un 20% en la germinación en las semillas que estuvieron expuestas a los nanotubos de carbono (figura 4).

FIGURA 2. NANOTUBOS de carbono. a) enrollamiento de la lámina de carbono para obtener un nanotubo de carbono (tomada de ref 3), b) micrografía tomada en el microscopio de barrido SEM Hitachi SU5000 de p-MWCNT.

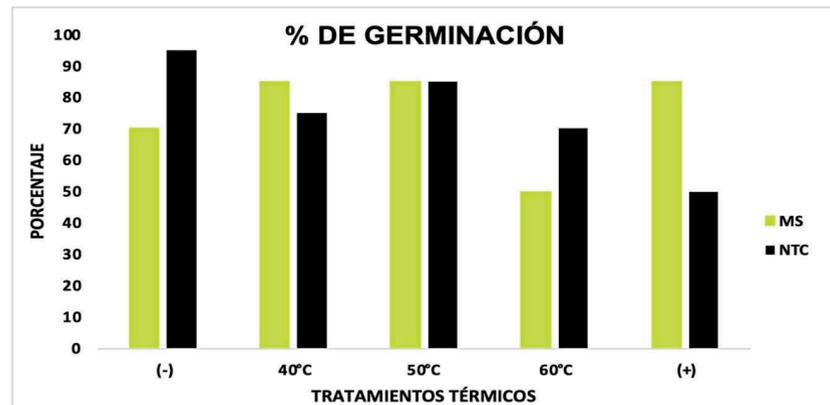


FIGURA 4. PORCENTAJE de germinación de semillas de maíz expuestas a diferentes tratamientos térmicos y germinadas en agar MS y MS+ nanotubos de carbono.

El envejecimiento de las semillas causa un daño mecánico en la cubierta de las mismas, creando grietas y cuando comienza el proceso de imbibición puede causar fuga de nutrien-

canales y grietas y aún así permiten las propiedades beneficiosas para el transporte de agua y nutrientes, lo que resulta en un mejor resultado de la germinación. Para todos los casos,

los nanotubos de carbono ayudan sustancialmente a las capacidades de tolerancia y recuperación al calor de esta planta de cultivo desde la etapa más temprana (germinación de la semilla). Debido a que las temperaturas utilizadas en este trabajo son semejantes a los pronósticos de algunos escenarios de calentamiento global, esta variedad de maíz, actualmente muy conocida principalmente en el centro de México, puede encontrar interés más allá de sus límites locales actuales y finalmente la regeneración asistida por nanotubos de carbono en semillas envejecidas por calor parece ser prometedora y merece una mayor investigación.

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.

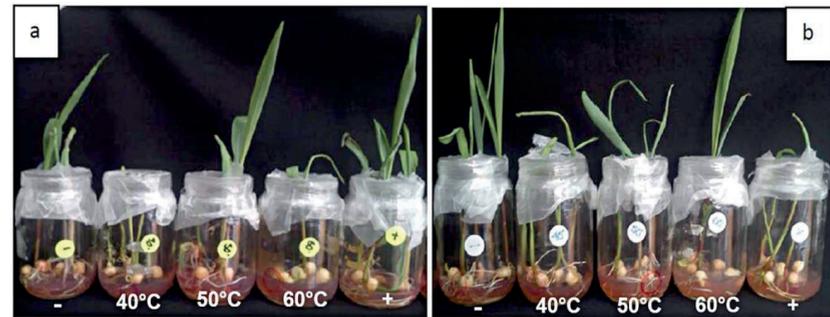


FIGURA 5. FOTOGRAFÍA tomada a los 15 días después de la siembra. Se muestra las plantas de maíz sembradas (a) en presencia de nanotubos de carbono (b) sin nanotubos de carbono; (b). Las letras blancas indican el tratamiento térmico al cual las semillas fueron envejecidas artificialmente.



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: www.acmor.org
 ¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos?
 CONTACTANOS: coord.comite.editorial.acmor@gmail.com

Referencias

1. El Universal (16 de noviembre de 2010). «Cocina, fiesta y cantos mexicanos reconocidos por UNESCO». <https://web.archive.org/web/20111203021615/http://www.eluniversal.mx/notas/723787.html> Archivado desde el original el 3 de diciembre de 2011. Consultado el 30 de junio de 2011.

2. La Jornada (17 de noviembre de 2010). «Comida mexicana, patrimonio inmaterial de la humanidad». <https://www.jornada.com.mx/2010/11/17/index.php?section=politica&article=002n1pol> Consultado el 30 de junio de 2011.
3. Sulabha K. Kulkarni. 2015. Nanotechnology: Principles and Practices. Tercera edición. Ed Springer Pp. 276.
4. González Alejandre Magdalena. 2022. Síntesis, caracterización y aplicaciones biofísicas de nanomateriales en la nanoagrobiotecnología. Tesis para obtener el grado de doctorado en ingeniería y ciencias aplicadas. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. <http://riaa.uaem.mx/xmlui/handle/20.500.12055?show=full>
5. González Alejandre, M., Agarwal, V., Martínez Trujillo, M., González Cortes, J.C., Dasgupta-Schubert N. 2021. Nanomaterial-aided seed regeneration in the global warming scenario: multiwalled carbon nanotubes, gold nanoparticles and heat-aged maize seeds. Applied Nanoscience. <https://doi.org/10.1007/s13204-021-01804-9>