

# Ciencia & Tecnología

ITESCAM - Calkiní



**EDITORES EN JEFE:**

Dr. Rolffy Rubén Ortiz Andrade  
Dr. Emanuel Hernández Núñez

**CIENCIA & TECNOLOGÍA  
ITESCAM-CALKINÍ**

Vol. 1, Núm. 1, diciembre 2022  
ISSN: En trámite



**Director General**

Mtro. Rodolfo E. Cardozo Rivero  
Instituto Tecnológico Superior de Calkiní

**Subdirector Académico de  
Investigación e Innovación**

Dr. Dany Alejandro Dzib Cauch  
Instituto Tecnológico Superior de Calkiní

**Editor en Jefe**

Dr. Rolffy Rubén Ortiz Andrade  
Facultad de Química, Universidad  
Autónoma de Yucatán

Dr. Emanuel Hernández Núñez  
Centro de Investigación y Estudios  
Avanzados, Unidad Mérida

**Editor Científico**

Dr. Francisco Javier Aguirre Crespo  
Facultad de Ciencias Químico-Biológicas,  
Universidad Autónoma de Campeche

**Instituto Tecnológico Superior de Calkiní**

Av. Ah Canul S/N por Carretera Federal,  
Calkiní, Campeche, México, C.P. 24900  
Tel. 996-8134870

<https://www.itescam.edu.mx/citeca/>

**Editores de Sección**

Dr. Raciél Javier Estrada León  
Instituto Tecnológico Superior de Calkiní  
Área de Ciencias Agrícolas

Dr. José Rubén Bacab Sánchez  
Instituto Tecnológico Superior de Calkiní  
Área de Ciencias de la Administración e Informática

Dr. Yasser Alejandro Chim Chí  
Instituto Tecnológico Superior de Calkiní  
Área de Tecnología Alimentaria

Dr. Luis Alfonso Can Herrera  
Instituto Tecnológico Superior de Calkiní  
Área de Ingeniería de Materiales y Procesos

Dra. Nubia Noemí Cob Calán  
Instituto Tecnológico Superior de Calkiní  
Área de Bioquímica

**Asistente Editorial**

Dr. Hugo Pilotzi Xahuentitla  
Centro de Investigación y Estudios Avanzados, Unidad Mérida

Dr. Luis Alfredo Herbert Doctor  
Facultad de Química, Universidad Autónoma de Yucatán

**Servicios Editoriales**

Dr. Juan Carlos Sánchez Salgado  
Hypermedic MX

Editorial

## Revista Ciencia & Tecnología ITESCAM-Calkiní



**Mtro. Rodolfo E.  
Cardozo Rivero**  
Director General  
ITESCAM-Calkiní

**H**oy se ha iniciado un nuevo camino en el Instituto Tecnológico Superior de Calkiní, que es el resultado del trabajo de colaboración de profesores investigadores que forman parte de esta gran institución y que en su quehacer diario han encontrado en el camino de la investigación y de la ciencia una vocación.

Para mí es un honor ser el portavoz para iniciar formalmente con las labores de divulgación de la Ciencia y la Tecnología en nuestra región, reconociendo la importancia que representa el avance de estos temas para nuestra sociedad.

Es con orgullo y satisfacción que se presenta esta primera edición de nuestra revista digital Ciencia & Tecnología ITESCAM en donde se abordan tres temas de diversa índole como son el “*Efecto de la etapa de adición del 3-aminopril trietoxisilano (APTES) sobre la modificación química de nanopartículas mesoporosas de silicio (MSNs) con poli( $\beta$ -amino ester)*” que muestra como resultado una ruta de síntesis que favorece la unión covalente de éstas moléculas de 3-aminopril trietoxisilano con las nanopartículas mesoporosas de silicio que la convierte en una estrategia adecuada para la unión covalente de ambas.

Asimismo, se presenta el resultado del estudio “*La eficacia del modelo de creencias en salud en el desarrollo de intervenciones comunitarias para la prevención y control de enfermedades crónico-degenerativas*” que demuestran que la educación basada en el Modelo de Creencias en Salud influye de manera positiva en las conductas de prevención y de autocuidado para un control de las enfermedades crónico-degenerativas al permitir al investigador identificar las necesidades de la comunidad para el diseño de la intervención educativa.

De igual forma se presenta el resultado del estudio de la “*Caracterización molecular de dos genotipos de zapote negro (Diospyros digyna Jacq.) cultivados en Yucatán, México*” que tuvo como objetivo, caracterizar la diversidad y estructura genética de dos genotipos criollos de zapote negro cultivados en Yucatán, con la

finalidad de usar la información para una mejor y mayor explotación comercial de esta especie.

Las posibles aplicaciones de estos resultados de investigación tienen implicaciones sociales profundas, que van desde mejorar la eficiencia de la forma de liberación de sustancias activas en un medicamento; al aumento del cuidado y prevención de enfermedades crónicas y degenerativas en la población; también al mejoramiento de la economía por la comercialización y el combate al hambre por el aumento a la producción de alimentos. Temas que indudablemente son sensibles y vitales en el desarrollo de cualquier sociedad.

Decía Isaac Newton que *“veía mas lejos que los demás, porque se paraba en hombros de gigantes”*, así cada investigación, ensancha los hombros del gigante del conocimiento y de la ciencia que permitirán vislumbrar un horizonte promisorio para las nuevas generaciones que hagan una mejor humanidad y que conviertan éste, en un mejor mundo.

Artículo

# Efecto de la etapa de adición del 3-aminopril trietoxisilano sobre la modificación química de nanopartículas mesoporosas de silicio con poli( $\beta$ -amino éster)

Vivian Adamary Rodríguez-Magaña<sup>1</sup>, Idefonso Esteban Pech-Pech<sup>2</sup>, Luis Humberto May-Hernández<sup>1</sup>, William Alejandro Talavera-Pech<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Instituto Tecnológico Superior de Calkiní en el Estado de Campeche, Av. Ah Canul S/N por Carretera Federal, 24900, Calkiní, Campeche, México.

<sup>2</sup> Centro de Investigación en Corrosión, Universidad Autónoma de Campeche, Av. Héroe de Nacozari 480, 24079 San Francisco de Campeche, Campeche, México.

\* Autor de correspondencia: WA Talavera-Pech. Centro de Investigación en Corrosión, Universidad Autónoma de Campeche, Av. Héroe de Nacozari 480, 24079 San Francisco de Campeche, Campeche, México. E-mail: [watalave@uacam.mx](mailto:watalave@uacam.mx)

## Resumen

Las nanopartículas mesoporosas de silicio (MSNs) modificadas con poli( $\beta$ -amino ésteres) (PBAE) se han utilizado para la liberación controlada de diversos agentes o sustancias activas. Se requiere la modificación química del PBAE o de las MSNs para lograr enlazar ambas partes. En este trabajo, se comparan dos rutas para unir covalentemente el PBAE y las nanopartículas MSNs a partir de 3-aminopril trietoxisilano (APTES). La ruta 1 consistió incorporar el PBAE-APTES previamente sintetizado sobre las MSNs; mientras que la ruta 2 consistió en incorporar PBAE sobre las MSNs previamente funcionalizadas con APTES (APTES-MSNs). La correcta adición de la molécula de APTES en el PBAE (ruta 1) o sobre las MSNs (ruta 2) fue corroborado mediante FTIR a partir de la aparición de bandas asociadas a los grupos aminos y silanoles del APTES. Sin embargo, la señal de FTIR del PBAE sobre las MSNs solo se encontró en los productos finales de reacción obtenidos mediante la ruta 2. Por otra parte, los productos finales de reacción analizados mediante TGA revelaron una pérdida de masa, asociada a la fase orgánica (PBAE-APTES), 2 veces mayor por la ruta 2 que por la ruta 1. Estos resultados demuestran que el mecanismo de incorporación de APTES tiene un papel clave para lograr la funcionalización de las MSNs con PBAE; en ese sentido, los resultados han revelado que la incorporación de PBAE sobre las MSNs es más eficaz cuando las MSNs son previamente funcionalizadas con APTES.

## Abstract

Mesoporous silica nanoparticles (MSNs) modified with poly( $\beta$ -amino esters) (PBAE) have been used for the controlled release of various active substances. Chemical modification of the PBAE or MSNs is required to bond both parts. In this work, two synthesis routes to covalently bind PBAE and MSNs nanoparticles from 3-aminopril triethoxysilane (APTES) are compared. The route 1 consisted of incorporating the previously synthesized PBAE-APTES onto the MSNs; while

**Cita:** Rodríguez-Magaña et al. Efecto de la etapa de adición del 3-aminopril trietoxisilano (APTES) sobre la modificación química de nanopartículas mesoporosas de silicio (MSNs) con poli( $\beta$ -amino éster). *Ciencia y Tecnología ITESCAM Calkiní* 2022; 1(1):3-14.

**Recibido:** 16 de noviembre de 2022

**Aceptado:** 8 de diciembre de 2022

**Publicado:** 23 de diciembre de 2022

**Copyright:** Los datos proporcionados son propiedad de la revista *Ciencia y Tecnología ITESCAM Calkiní*.

route 2 consisted of incorporating PBAE on the MSNs previously functionalized with APTES (APTES-MSNs). The correct addition of the APTES molecule in the PBAE (synthesis route 1) or on the MSNs (synthesis route 2) was confirmed by FTIR from the presence of bands associated with the amino and silanol groups of the APTES. However, the FTIR signal of the PBAE on the MSNs was only found in the final reaction products obtained by route 2. On the other hand, the final reaction products analyzed by TGA revealed a mass loss, associated with the organic phase (PBAE-APTES), 2 times higher for route 2 than for route 1. These results demonstrate that the APTES incorporation mechanism plays a key role to achieve the functionalization of MSNs with PBAE; In this sense, these results have revealed that the incorporation of PBAE on the MSNs is more efficient when the MSNs are previously functionalized with APTES.

**Palabras clave:** nanopartículas mesoporosas de silicio; poli( $\beta$ -amino éster); modificación de MSNs; rutas sintéticas.

---

## 1. Introducción

Las nanopartículas mesoporosas de silicio (MSNs, *por sus siglas en inglés*) se han utilizado para la encapsulación de diversos agentes o sustancias activas, como fármacos para el tratamiento de problemas urinarios (1), agentes antiinfecciosos (2), anticancerígenos (3,4), antiinflamatorios (5,6), entre otros. La encapsulación de sustancias activas en la estructura porosa de las MSNs permite el control de su liberación para que éstas sean administradas a demanda, constituyendo lo que se conoce como sistema de liberación controlada (CRS, *por sus siglas en inglés*), los cuales deben ser capaces de reaccionar ante algún estímulo para liberar las moléculas encapsuladas en su interior (7). Recientemente, también se han utilizado los CRS basados en MSNs para la encapsulación y liberación controlada de inhibidores de corrosión (8–10).

Por si solas, las MSNs no son capaces de ofrecer un control en la liberación de la sustancia activa; sin embargo, debido a que son de fácil funcionalización con diversos grupos químicos, sus poros pueden ser sellados con moléculas o polímeros que ofrezcan sensibilidad ante cambios en el microambiente al cual están expuestas (11–13); consecuentemente, a partir de lo anterior, es posible lograr el control en la liberación de las sustancias activas encapsuladas en este tipo de nanopartículas. En ese sentido, los cambios de pH en un microambiente es una alternativa que puede ser utilizada como estímulo para la liberación controlada de sustancias activas en este tipo de materiales (14,15); por ejemplo, el microambiente alrededor de los tumores cancerígenos presenta un pH más ácido (<6.5) respecto al pH del cuerpo humano (7.4) (16). Estas variaciones de pH, también se encuentran en el microambiente que se genera en los procesos de corrosión de los metales (17,18). En ese sentido, las zonas catódicas generadas en el proceso de corrosión metálica presentan un aumento en el pH, produciendo una alcalinización localizada; mientras que en las zonas anódicas se generan un decrecimiento de pH, lo que conlleva a una acidificación localizada (19).

Por lo tanto, la modificación de las MSNs con grupos químicos sensibles a variaciones locales de pH, para la liberación controlada de diferentes sustancias activas, ha llamado la atención en investigaciones recientes. En investigaciones recientes, se han abordado diversos tipos de estrategias con el objetivo de sellar los poros de las MSNs, entre las que destacan la utilización de polímeros orgánicos con diferentes características y sensibilidad a estímulos. Por ejemplo recientemente se ha utilizado poli(amido imina), poli(dopamina), conjugados de ácido hialurónico, diferentes tipos de poli(metil metacrilato) entre otros (7).

Uno de los polímeros que puede brindar esta sensibilidad de pH a las MSNs son los del tipo PBAE, los cuales son polímeros catiónicos degradables que a pH neutro se encuentran sólidos y estables, mientras que en medios ácidos se disuelven; además, se degradan por hidrólisis tanto en medios ácidos como alcalinos, con una degradación más rápida a valores elevados de pH (20,21).

En investigaciones recientes de nuestro grupo de trabajo se han explorado diferentes rutas de síntesis para la modificación de MSNs con PBAE, por lo que en este trabajo de investigación se comparan dos rutas variando el sitio inicial de la unión covalente de la molécula 3-aminopropil trietoxisilano (APTES), es decir, el APTES es adicionado primero a los finales acrilatos del PBAE o a la superficie de las MSNs, dado que esta molécula funciona como un puente de unión covalente entre los PBAE y las MSNs, y se evalúa cuál de ellas resulta mejor para la modificación de MSNs.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1 Síntesis del poli( $\beta$ -amino éster)

El pre polímero de PBAE se obtuvo mediante el mecanismo de reacción de adición de Michael entre una amina secundaria y un diacrilato. Para ello, se utilizaron como monómeros el 1-6 hexanodiol diacrilato y 4-4´trimetilen dipiperidina. El primer paso de la síntesis consistió en mezclar en un matraz balón el monómero diol diacrilato con el monómero amino, en una relación estequiométrica 1.2:1 de diacrilato:amino, utilizando tetrahidrofurano (THF) como solvente. Dicha relación estequiométrica se utilizó con el fin de obtener el PBAE con grupos acrilato terminales, esta solución se dejó en agitación magnética durante 48 h a 50 °C en una atmósfera inerte de argón. El material obtenido en esta etapa fue nombrado Pre-PBAE.

### 2.2 Síntesis de MSNs tipo MCM-41

Esta síntesis se llevó a cabo según lo descrito previamente (22). En un matraz balón, se mezcló una solución de 0.2 g de bromuro de cetiltrimetilamonio (CTAB) disueltos en 96 mL de agua destilada y 0.7 mL de NaOH 2M; la solución resultante se calentó a 80 °C con agitación magnética, para después añadir 1.4 mL de TEOS. El calentamiento y la agitación se mantuvieron durante 2 h; posteriormente, se filtró y se dejó secar en la estufa a 80 °C por una noche. Para finalizar, el producto de la síntesis se lavó con 50 mL de agua destilada y se dejó en agitación durante 3 h para luego ser filtrado y secado en una estufa durante 1 h a una temperatura de 80 °C. Finalmente, el producto se sometió a un tratamiento

térmico a una temperatura de 550 °C durante 5 h en una mufla, con la finalidad de eliminar el CTAB utilizado como templete. Estos materiales se denominaron MSNs.

### *2.3 Modificación de MSNs con poli( $\beta$ -amino éster)*

#### *2.3.1 Ruta 1: finalización de PBAE con APTES*

En un matraz balón de 50 mL, se agregaron 10 mL de THF y 0.5 g del Pre-PBAE, esta solución se calentó a 50 °C en agitación magnética; al alcanzar los 50 °C se le agregaron 170  $\mu$ L de APTES y se dejó reaccionar durante 24 h, a este material se le llamo PBAE-APTES. Posteriormente en un matraz balón, se agregaron 40 mL de tolueno y 0.6 g PBAE-APTES, el cual se calentó a una temperatura de 110 °C. Una vez disuelto el polímero se le agregaron 0.5 g de MSNs y se dejó reaccionar durante 6 h. Por último, se procedió a recuperar las nanopartículas modificadas con PBAE mediante un proceso de filtrado con una bomba de vacío. El producto final fue secado en una estufa a 50 °C durante una noche. Este material fue llamado MSNs-PBAE-R1.

#### *2.3.2 Ruta 2: funcionalización de MSNs con APTES*

El primer paso de esta ruta consistió en agregar las MSNs a 60 mL de tolueno. Esta mezcla se mantuvo en agitación y se calentó a 110 °C; al llegar a esta temperatura se le añadió por goteo 170  $\mu$ L de APTES, y se dejó reaccionar durante 6 h a reflujo. Una vez pasadas las 6 horas, la solución fue filtrada y el producto obtenido en el papel filtro fue recuperado y secado a 80 °C en una estufa (los materiales obtenidos en esta etapa fueron llamados MSNs-APTES). Para la incorporación del Pre-PBAE, las MSNs-APTES obtenidas se resuspendieron en 10 mL de THF y se agregaron a la solución de síntesis del Pre-PBAE; la mezcla se dejó reaccionar durante 24 h. Finalmente, se procedió a recuperar las MSNs modificadas mediante filtrado. Las MSNs modificadas que fueron recuperadas se secaron en una estufa a 50 °C. Los materiales obtenidos se denominaron MSNs-PBAE-R2.

La síntesis del PBAE y de las MSNs, así como la funcionalización de las MSNs por ambas rutas se presentan en la Figura S1 del material suplementario.

### *2.4 Caracterización de los materiales obtenidos*

#### *2.4.1 Espectroscopía de infrarrojo con transformada de Fourier*

Se analizaron mediante espectroscopía de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR), todos los materiales obtenidos, con el fin de obtener las bandas características de los grupos funcionales. Para esto se empleó un espectrofotómetro con transformada de Fourier de la marca ALPHA Bruker por el método de reflectancia total atenuada (ATR). Las muestras fueron analizadas con una resolución de 4  $\text{cm}^{-1}$ , en el intervalo espectral de 4500 a 500  $\text{cm}^{-1}$ , y 32 barridos.

#### *2.4.2 Análisis termogravimétrico*

Se analizaron todas las nanopartículas sintetizadas y modificadas con PBAE a través de ambos métodos de síntesis mediante termogravimetría (TGA), con el fin de conocer el porcentaje de masa orgánico presente en las muestras en cada

etapa de síntesis. Para las pruebas termogravimétricas se utilizó el equipo TGA7 de la marca Perkin Elmer. Las muestras se analizaron en un rango de temperaturas de 50 a 700 °C, con una rampa de calentamiento de 10 °C/min.

#### 2.4.3 Potencial zeta

Este análisis se llevó a cabo para conocer la carga superficial en las partículas en cada una de las etapas de síntesis. Se realizó en un equipo Zetasizer de la marca MALVERN modelo NANO ZEN3600 a una longitud de onda de 633 nm con ángulo de detección de 173°.

### 3. Resultados

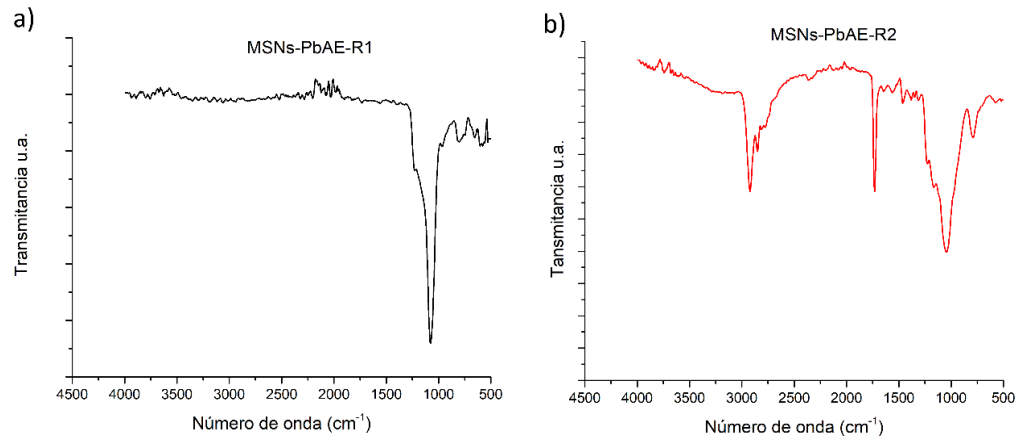
#### 3.1 FTIR

La caracterización morfológica, estructural y superficial de las MSNs fue realizada en un trabajo previo (22) de las nanopartículas. En la Figura S2 podemos observar los espectros del PBAE antes y después de ser finalizados con APTES, es decir Pre-PBAE y PBAE-APTES respectivamente. En el espectro del Pre-PBAE se pueden observar las bandas a 2930  $\text{cm}^{-1}$  y 2850  $\text{cm}^{-1}$ , las cuales son características de los grupos metilenos del PBAE (23). También se observa una banda a 2780  $\text{cm}^{-1}$  que es característica de aminas terciarias, lo cual confirma la adición de las aminas secundarias de la 4-4'-trimetilendipiperidina a los grupos acrilato o C=C, pasando de ser aminas secundarias a ser aminas terciarias. Además, se puede observar una banda cercana a 1737  $\text{cm}^{-1}$ , la cual es característica del carbonilo del grupo éster (C=O) (24).

Por otra parte, el espectro de PBAE-APTES revela la aparición de una banda cercana a 1570  $\text{cm}^{-1}$ , la cual está asociada a grupos amino específicos del APTES, así como una pequeña banda a 1636  $\text{cm}^{-1}$  que es típica de grupos amino protonados además de la aparición de una banda amplia cercana a los 3500  $\text{cm}^{-1}$  que podría estar asociada a grupos silanol de la posible hidrólisis de los grupos etoxi unidos al silicio característico de la molécula de APTES (22).

En la Figura S3 se pueden observar las bandas características de las nanopartículas sin APTES (MSNs) y funcionalizadas con APTES (MSNs-APTES). En los espectros de las MSNs podemos observar la banda característica de los enlaces de la red de SiO<sub>2</sub> a 1081  $\text{cm}^{-1}$ , esta banda también se encuentra en la muestra MSNs-APTES; sin embargo, ésta última también presenta la banda característica de grupos amino del APTES cercano a 1580  $\text{cm}^{-1}$  (25).

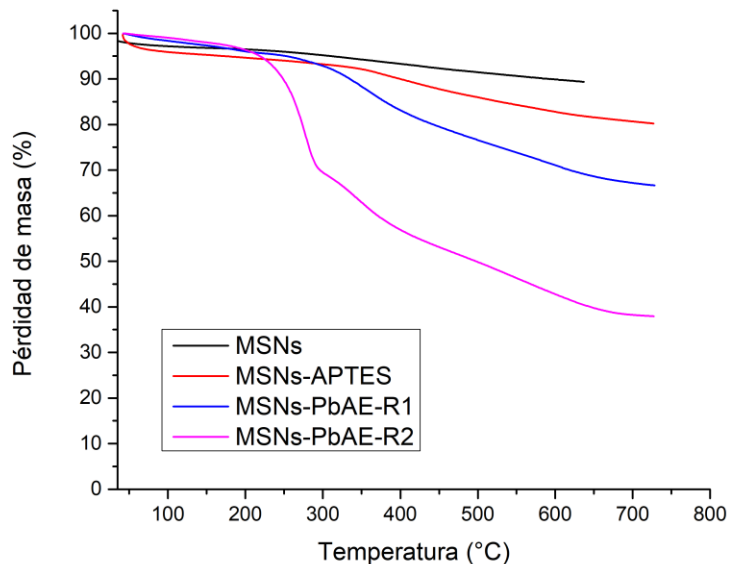
En las Figuras 1a y 1b podemos observar los espectros correspondientes a las MSNs modificadas con PBAE por la ruta 1 (MSNs-PBAE-R1) y por la ruta 2 (MSNs-PBAE-R2) respectivamente. Como se puede observar las MSNs modificadas por la ruta 1 solo presentan las bandas características de las MSNs, mientras que por la ruta 2 predominan las bandas características del PBAE-APTES descritas previamente.



**Figura 1.** Espectros IR de las MSNs modificadas con PBAE por a) ruta 1 y b) ruta 2

### 3.2 TGA

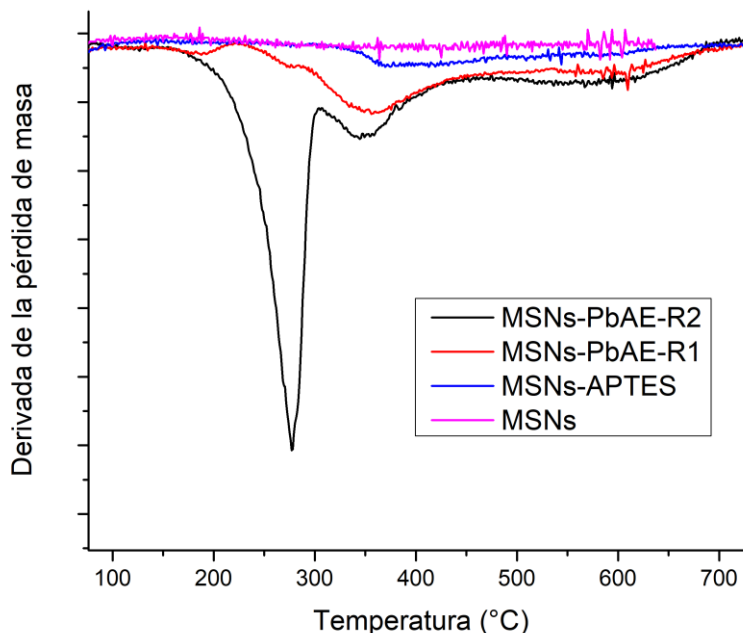
En la Figura 2 se pueden observar las gráficas de pérdida de masa en un intervalo de temperaturas de 30 a 700 °C para las muestras MSNs, MSNs-APTES, MSNs-PBAE-R1 y MSNs-PBAE-R2. Las nanopartículas mesoporosas de silicio perdieron 11 % y 20 % antes y después de ser funcionalizadas con APTES respectivamente. Las muestras MSNs modificadas con PBAE perdieron 33 % y 63 % cuando se su modificación se realizó mediante la ruta de síntesis 1 y 2, respectivamente.



**Figura 2.** Termogramas de las muestras de MSNs en sus diferentes etapas de síntesis

En la Figura 3 se presenta la derivada de la pérdida de masa de cada una de las muestras analizadas mediante TGA. Puede observarse que la muestra MSNs no presenta picos, mientras que la MSNs-APTES presenta una pequeña caída a aproximadamente 350 °C. Por su parte las muestras modificadas con PBAE por

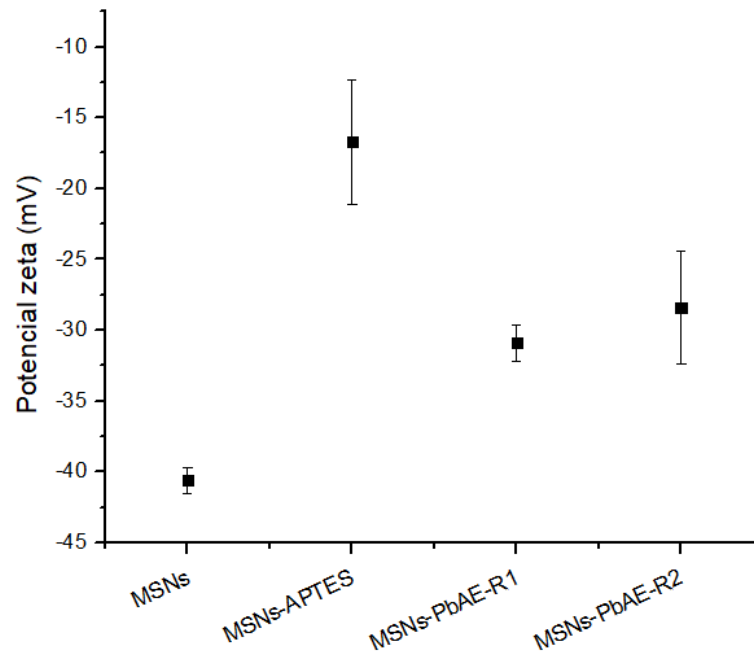
ambas rutas presentan dos picos cercanos a 280 °C y a 350 °C, siendo más pronunciados los picos para la muestra modificada por la ruta 2.



**Figura 3.** Derivada de la pérdida de masa de los materiales tanto funcionalizados con APTES como modificados con PBAE.

### 3.3 Potencial Z

El potencial zeta asociado a la carga superficial de las partículas fue medido para las muestras obtenidas y se puede observar en la Figura 4. Como se muestra en dicha figura las MSNs presentan el menor potencial zeta (cerca a -40 mV), mientras que cuando se funcionalizan con APTES (MSNs-APTES) el valor del potencial zeta aumenta hasta cerca de -15 mV. Para las MSNs modificadas con polímero por la ruta 1 y ruta 2 se obtuvieron valores promedio aproximadamente de -31 y -27 mV, respectivamente.



**Figura 4.** Valores de potencial Z obtenido para las MSNs sintetizadas

#### 4. Discusión

La diferencia entre las rutas de síntesis es la etapa en la que se adiciona el APTES, la cual es la molécula utilizada para unir el PBAE a las MSNs dado que contiene grupos amino que pueden unirse a los grupos acrilato del PBAE y grupos etoxi hidrolizables que pueden unirse a la superficie de las MSNs. En la ruta 1 se favorece primero la reacción para la unión covalente de los grupos amino del APTES con los grupos acrilatos en los finales de cadena del Pre-PBAE y posteriormente se presentan los enlaces entre los grupos silanol del APTES y de las MSNs. Por otro lado, por la ruta 2 se hace de manera inversa, primero se promueve la reacción de condensación entre los grupos silanol del APTES y las MSNs y por último se hace reaccionar los grupos amino del APTES con los finales acrilatos. Por lo tanto, fue necesario caracterizar ambos materiales después de haberse dejado reaccionar con APTES, es decir, se caracterizaron, mediante FTIR, los PBAE antes y después de ser finalizados con APTES, y las MSNs antes y después de ser funcionalizadas con APTES. Como se puede observar en la Figura S2, los polímeros antes de ser finalizados con APTES (Pre-PBAE) presentan las bandas características de los grupos funcionales presentes en el PBAE, mientras que la muestra finalizada con APTES (PBAE-APTES) presenta las mismas bandas pero presenta tres adicionales a  $1570\text{ cm}^{-1}$  y  $1636\text{ cm}^{-1}$  asociadas a los grupos amino del APTES y a  $3500\text{ cm}^{-1}$  asociada a grupos silanol del APTES (22,24), lo cual corrobora la correcta adición del APTES a el prepolímero de PBAE. En el caso de las MSNs antes y después de funcionalizar con APTES (Figura S3) se presenta el mismo comportamiento, la muestra MSNs presenta las bandas características de nanopartículas de silicio mientras que cuando son funcionalizadas con APTES aparece la banda característica del APTES a  $1570\text{ cm}^{-1}$  indicando la correcta funcionalización de las partículas (25).

También se realizó FTIR a las muestras modificadas con PBAE por la ruta 1 (MSNs-PBAE-R1) y por la ruta 2 (MSNs-PBAE-R2) para determinar la presencia de grupos funcionales característicos del PBAE en las MSNs modificadas. Se encontró que por la ruta 1 solo se pueden encontrar las bandas correspondientes a los enlaces de los grupos funcionales presentes en las MSNs, es decir la banda a  $1081\text{ cm}^{-1}$  correspondiente a los enlaces Si-O-Si (23); mientras que por la ruta 2 predominan las bandas características del PBAE presentando bandas características de enlaces N-H,  $\text{CH}_2$  y carbonilo C=O del grupo éster (24,26). Estos resultados indican que la ruta 1 no es adecuada para modificar las MSNs, mientras que por la ruta 2 es posible unir covalentemente el PBAE a la superficie de las MSNs funcionalizadas con APTES.

Los análisis TGA corroboraron lo observado mediante FTIR, es decir, que la ruta 2 es más adecuada para la modificación de MSNs con PBAE. Según estos resultados las MSNs pierden una baja cantidad de masa al final del análisis lo que puede ser debido a moléculas de agua adsorbidas en su superficie o a agua generada por reacciones de condensación de silanoles en su superficie (27,28). Las muestras MSNs-APTES tienen mayor pérdida de masa que las muestras no funcionalizadas, lo cual se atribuye a la pérdida de los grupos aminopropil ( $\text{C}_3\text{H}_8\text{N}$ ) del APTES (22), lo que se puede observar en la Figura 3 como una caída en la derivada de la pérdida de masa a aproximadamente  $350\text{ }^\circ\text{C}$ . En el caso de los materiales modificados con PBAE, la muestra MSNs-PBAE-R2 pierde 2 veces más masa que la muestra MSNs-PBAE-R1. En estas muestras, la pérdida de masa entre  $100$  y  $500\text{ }^\circ\text{C}$  se encuentra asociada a la descomposición de la fase orgánica que está directamente asociada a las cadenas poliméricas (PBAE) y la cadena de unión (APTES) que recubren la superficie de las MSNs (29). Adicionalmente, se puede ver en la Figura 3 que ambos materiales, muestran dos picos en el intervalo de temperatura de  $250$  a  $500\text{ }^\circ\text{C}$  y que estos son más pronunciados para la muestra MSNs-PBAE-R2, lo que confirma que esta ruta de síntesis favorece la unión covalente del PBAE a las MSNs (30). La aparición de un pico a  $346\text{ }^\circ\text{C}$  en la gráfica DTGA tanto para la muestra MSNs-APTES como para las muestras modificadas con polímero corrobora la correcta adición del polímero a la superficie de las nanopartículas.

Los análisis de potencial zeta permitieron conocer la carga superficial de los materiales obtenidos. La muestra de nanopartículas MSNs presenta el valor de potencial zeta más negativo asociado con los grupos Si-OH en su superficie (31), mientras que la muestra MSNs-APTES presenta el valor más positivo debido a que las aminas del APTES se protonan fácilmente causando un aumento en los valores de potencial zeta (32). Las nanopartículas modificadas MSNs-PBAE-R1 y MSNs-PBAE-R2 ambas presentan valores mayores a la muestra MSNs pero menores a la MSNs-APTES, ya que al ser el PBAE un polímero catiónico aumenta los valores de potencial zeta (33), pero al contener una sección no polar se espera que no aumente tanto los valores como las MSNs-APTES; además se encontró que por la ruta 2 se presenta un valor ligeramente mayor de potencial zeta que las modificadas mediante la ruta 1, sin embargo la desviación estándar para ambas muestras MSNs-APTES y MSNs-PBAE-R2 es mayor que las de las muestras MSNs y MSNs-PBAE-R1, esta tendencia podría indicar que por la ruta

2 se añade una mayor cantidad de polímero a las MSNs que por la ruta 1, lo cual confirmaría los resultados obtenidos mediante FTIR y TGA.

Estos resultados demuestran que la etapa de adición del APTES tiene un efecto importante sobre la modificación química de MSNs con PBAE. En ese sentido, la funcionalización de los MSNs con APTES previo a la incorporación de las cadenas poliméricas de PBAE ha demostrado ser una estrategia eficaz que permite la síntesis de MSNs recubiertas con PBAE.

## 5. Conclusiones

En este trabajo, el uso de los monómeros 1-6 hexanodiol diacrilato y 4-4´trimetilen dipiperidina ha permitido la obtención del pre-polímero poli( $\beta$ -amino ésteres) a partir del mecanismo de reacción de adición de Michael. Además, las rutas de síntesis desarrolladas en este trabajo han demostrado ser estrategias adecuadas para lograr la unión covalente de la molécula de APTES tanto a los acrilatos terminales del PBAE (ruta 1) como a los grupos silanoles de las nanopartículas MSNs (ruta 2). Por otra parte, los resultados han demostrado que la etapa de adición del APTES tiene un efecto importante sobre la modificación química de MSNs con PBAE. En ese sentido, la ruta 2; es decir, la funcionalización de los MSNs con APTES previo a la incorporación de las cadenas poliméricas de PBAE ha demostrado ser una estrategia eficaz para lograr la síntesis de nanopartículas MSNs recubiertas con PBAE.

**Materiales suplementarios:** La información suplementaria siguiente puede ser descargada en: <https://www.itescam.edu.mx/citeca/>

**Contribución de los autores:** WATP: conceptualización, escritura, revisión y edición del manuscrito, adquisición de fondos y supervisión. VARM: metodología. LHMH: investigación, análisis de información. IEPP: investigación, escritura, revisión y edición del manuscrito.

**Financiamiento:** Esta investigación no recibió fondos para la investigación.

**Agradecimientos:** Gracias al Laboratorio Nacional de Nano y Biomateriales, Cinvestav-IPN; financiado por los proyectos FOMIX-Yucatán 2008-108160 CONACYT LAB 2009-01-123913, 292692, 294643, 188345 and 204822 por los análisis de potencial Z.

**Conflicto de intereses:** Los autores declaramos que no existe conflicto de intereses para la divulgación de los resultados, discusión, análisis de datos y conclusiones presentados en el presente trabajo.

## Referencias

1. Zhang Q, Ge Z, Li B, Zhao Y. Fabrication of a silica nanocarrier with large-pore core and mesoporous shell for pH-responsive drug delivery. *J Solgel Sci Technol* 2019;92:146–53. <https://doi.org/10.1007/s10971-019-05086-0>.
2. Peretti E, Miletto I, Stella B, Rocco F, Berlier G, Arpicco S. Strategies to obtain encapsulation and controlled release of pentamidine in mesoporous silica nanoparticles. *Pharmaceutics* 2018;10:11–4. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics10040195>.
3. Liu J, Hu X, Jin S, Liang XJ, Ma X. Enhanced anti-tumor activity of a drug through pH-triggered release and dual targeting by calcium phosphate-covered mesoporous silica vehicles. *J Mater Chem B* 2022;10:384–95. <https://doi.org/10.1039/D1TB02540F>.

4. Mirfakhraee S, Bafkary R, Ardakani YH, Dinarvand R. Synthesis of hyaluronic acid-grafted hollow mesoporous silica nanoparticles as nano-carriers for anticancer drug delivery. *Journal of Nanoparticle Research* 2022 24:5 2022;24:1–14. <https://doi.org/10.1007/S11051-022-05478-4>.
5. Rameli N, Jumbri K, Ramli A, Wahab RA, Ahmad H, Rahman MBA. Mesoporous Silica Nanoparticle-Templated Ionic Liquid as a Drug Carrier for Ibuprofen and Quercetin. *Sains Malays* 2022;51:2473–93. <https://doi.org/10.17576/jsm-2022-5108-11>.
6. Ahmad S, Javaid J, Fatima W. Controlled Release of Ibuprofen by Using Morphologically Modified Mesoporous Silica. *Advances in Materials Science and Engineering* 2022;2022. <https://doi.org/10.1155/2022/6376915>.
7. Abdo GG, Zagho MM, Khalil A. Recent advances in stimuli-responsive drug release and targeting concepts using mesoporous silica nanoparticles. *Emergent Materials* 2020 3:3 2020;3:407–25. <https://doi.org/10.1007/S42247-020-00109-X>.
8. Yeganeh M, Omid M, Mortazavi SHH, Etemad A, Nazari MH, Marashi SM. Application of mesoporous silica as the nanocontainer of corrosion inhibitor. *Corrosion Protection at the Nanoscale* 2020:275–94. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819359-4.00015-5>.
9. Zea C, Barranco-García R, Alcántara J, Simancas J, Morcillo M, de la Fuente D. pH-dependent release of environmentally friendly corrosion inhibitor from mesoporous silica nanoreservoirs. *Microporous and Mesoporous Materials* 2018;255:166–73. <https://doi.org/10.1016/J.MICROMESO.2017.07.035>.
10. Castaldo R, de Luna MS, Siviello C, Gentile G, Lavorgna M, Amendola E, et al. On the acid-responsive release of benzotriazole from engineered mesoporous silica nanoparticles for corrosion protection of metal surfaces. *J Cult Herit* 2020;44:317–24. <https://doi.org/10.1016/J.CULHER.2020.01.016>.
11. Liu HJ, Xu P. Smart Mesoporous Silica Nanoparticles for Protein Delivery. *Nanomaterials* 2019, Vol 9, Page 511 2019;9:511. <https://doi.org/10.3390/NANO9040511>.
12. Manzano M, Vallet-Regí M. Mesoporous Silica Nanoparticles for Drug Delivery. *Adv Funct Mater* 2020;30:1902634. <https://doi.org/10.1002/ADFM.201902634>.
13. Huang R, Shen YW, Guan YY, Jiang YX, Wu Y, Rahman K, et al. Mesoporous silica nanoparticles: facile surface functionalization and versatile biomedical applications in oncology. *Acta Biomater* 2020;116:1–15. <https://doi.org/10.1016/J.ACTBIO.2020.09.009>.
14. Peng S, Yuan X, Lin W, Cai C, Zhang L. pH-responsive controlled release of mesoporous silica nanoparticles capped with Schiff base copolymer gatekeepers: Experiment and molecular dynamics simulation. *Colloids Surf B Biointerfaces* 2019;176:394–403. <https://doi.org/10.1016/J.COLSURFB.2019.01.024>.
15. Yan T, Cheng J, Liu Z, Cheng F, Wei X, He J. pH-Sensitive mesoporous silica nanoparticles for chemo-photodynamic combination therapy. *Colloids Surf B Biointerfaces* 2018;161:442–8. <https://doi.org/10.1016/J.COLSURFB.2017.11.006>.
16. Chaudhary Z, Subramaniam S, Khan GM, Abeer MM, Qu Z, Janjua T, et al. Encapsulation and Controlled Release of Resveratrol Within Functionalized Mesoporous Silica Nanoparticles for Prostate Cancer Therapy. *Front Bioeng Biotechnol* 2019;7:225. <https://doi.org/10.3389/FBIOE.2019.00225/BIBTEX>.
17. Raja PB, Assad MA, Ismail M. Inhibitor-encapsulated smart nanocontainers for the controlled release of corrosion inhibitors. *Corrosion Protection at the Nanoscale.*; 2020, 413-429. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819359-4.00006-4>.
18. Ding C, Fu J. Smart anticorrosion coatings based on nanocontainers. *Smart nanocontainers.*; 2019. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816770-0.00024-1>.
19. Chen T, Fu J. An intelligent anticorrosion coating based on pH-responsive supramolecular nanocontainers. *Nanotechnology* 2012;23. <https://doi.org/10.1088/0957-4484/23/50/505705>.
20. Gao H, Cheng T, Liu J, Liu J, Yang C, Chu L, et al. Self-regulated multifunctional collaboration of targeted nanocarriers for enhanced tumor therapy. *Biomacromolecules* 2014;15:3634–42. <https://doi.org/10.1021/BM5009348>.
21. Zhang M, Yan X, Huang F, Niu Z, Gibson HW. Stimuli-responsive host-guest systems based on the recognition of cryptands by organic guests. *Acc Chem Res* 2014;47:1995–2005. [https://doi.org/10.1021/AR500046R/ASSET/IMAGES/LARGE/AR-2014-00046R\\_0012.JPEG](https://doi.org/10.1021/AR500046R/ASSET/IMAGES/LARGE/AR-2014-00046R_0012.JPEG).
22. Talavera-Pech WA, Esparza-Ruiz A, Quintana-Owen P, Vilchis-Nestor AR, Carrera-Figueiras C, Ávila-Ortega A. Effects of different amounts of APTES on physicochemical and structural properties of amino-functionalized MCM-41-MSNs. *J Solgel Sci Technol* 2016;80. <https://doi.org/10.1007/s10971-016-4163-4>.
23. Stuart BH. *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications*. 2005. <https://doi.org/10.1002/0470011149>.

24. Zhao J, Yang L, Huang P, Wang ZY, Tan Y, Liu H, et al. Synthesis and characterization of low molecular weight polyethyleneimine-terminated Poly( $\beta$ -amino ester) for highly efficient gene delivery of minicircle DNA. *J Colloid Interface Sci* 2016;463:93–8. <https://doi.org/10.1016/J.JCIS.2015.10.025>.
25. Kim J. Investigation of the Formation and Structure of APTES Films on Silicon Substrates Pike Technologies, 2010, 4(1), 47-49.
26. Liu Y, Li Y, Keskin D, Shi L. Poly( $\beta$ -Amino Esters): Synthesis, Formulations, and Their Biomedical Applications. *Adv Healthc Mater* 2019;8:1–24. <https://doi.org/10.1002/adhm.201801359>.
27. Kecht J, Schlossbauer A, Bein T. Selective Functionalization of the Outer and Inner Surfaces in Mesoporous Silica Nanoparticles. *Chemistry of Materials* 2008;20:7207–14. <https://doi.org/10.1021/CM801484R>.
28. Kecht J, Bein T. Oxidative removal of template molecules and organic functionalities in mesoporous silica nanoparticles by H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> treatment. *Microporous and Mesoporous Materials* 2008;116:123–30. <https://doi.org/10.1016/J.MICROMESO.2008.03.027>.
29. Tang H, Guo J, Sun Y, Chang B, Ren Q, Yang W. Facile synthesis of pH sensitive polymer-coated mesoporous silica nanoparticles and their application in drug delivery. *Int J Pharm* 2011;421:388–96. <https://doi.org/10.1016/J.IJPHARM.2011.10.013>.
30. Talavera-Pech WA, Esparza-Ruiz A, Quintana-Owen P, Vilchis-Nestor AR, Barrón-Zambrano JA, Ávila-Ortega A. Synthesis of pH-sensitive poly( $\beta$ -amino ester)-coated mesoporous silica nanoparticles for the controlled release of drugs. *Applied Nanoscience (Switzerland)* 2018;8:853–66. <https://doi.org/10.1007/s13204-018-0716-x>.
31. Rim HP, Min KH, Lee HJ, Jeong SY, Lee SC. pH-Tunable Calcium Phosphate Covered Mesoporous Silica Nanocontainers for Intracellular Controlled Release of Guest Drugs. *Angewandte Chemie International Edition* 2011;50:8853–7. <https://doi.org/10.1002/ANIE.201101536>.
32. Kecht J, Schlossbauer A, Bein T. Selective functionalization of the outer and inner surfaces in mesoporous silica nanoparticles. *Chemistry of Materials* 2008;20:7207–14. [https://doi.org/10.1021/CM801484R/SUPPL\\_FILE/CM801484R\\_SI\\_001.PDF](https://doi.org/10.1021/CM801484R/SUPPL_FILE/CM801484R_SI_001.PDF).
33. Liu Z, Zhang N. pH-Sensitive polymeric micelles for programmable drug and gene delivery. *Curr Pharm Des* 2012;18:3442–51. <https://doi.org/10.2174/138161212801227122>.

Revisión

# La eficacia del modelo de creencias en salud en el desarrollo de intervenciones comunitarias para la prevención y control de enfermedades crónico degenerativas

Gregoreo Centeno Hoil, José del Carmen Chin Vera<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Química, Universidad Autónoma de Yucatán, 97069 Mérida, México.

\* Autor de correspondencia: JC Chin Vera, Facultad de Química, Universidad Autónoma de Yucatán, 97069 Mérida, México. Tel.: +52 (999) 247 4721. E-mail: [josechin@correo.uady.mx](mailto:josechin@correo.uady.mx)

## Resumen

El modelo de creencias en salud (MCS) es uno de los modelos educativos más utilizados en la investigación para la prevención de enfermedades crónico-degenerativas y a su vez, también puede ser utilizado para explicar el cambio y el mantenimiento de comportamientos relacionados con la salud y como guía para las intervenciones en esta misma área. El objetivo es evidenciar la eficacia del MCS en el desarrollo de intervenciones comunitarias para la prevención y control de enfermedades crónico-degenerativas. Se realizó una búsqueda bibliográfica en la base de datos PubMed con el siguiente algoritmo: (health belief model[title]) AND (educatio\* intervention) AND (chronic) y posteriormente se seleccionaron los estudios de acuerdo al objetivo. Los estudios reportados demuestran que la educación basada en el MCS influye positivamente en las conductas preventivas y de autocuidado para un control de las enfermedades crónico-degenerativas pues permite al investigador identificar las necesidades de la comunidad para el diseño de la intervención educativa.

## Abstract

The health belief model (HBM) is one of the most widely used educational models in research for the prevention of chronic-degenerative diseases and, in turn, can also be used to explain the change and maintenance of behaviors related to health and as a guide for interventions in this same area. The objective is demonstrate the effectiveness of the HBM in the development of community interventions for the prevention and control of chronic-degenerative diseases. A bibliographic search was carried out in the PubMed database with the following algorithm: "(health belief model[title]) AND (educatio\* intervention) AND (chronic)" and subsequently the studies that match the objective of the study were selected. The reported studies show that education based on the HBM positively influences preventive and self-care behaviors for the control of chronic-degenerative diseases, since it allows the researcher to identify the needs of the community for the design of the educational intervention.

**Cita:** Centeno y Chin. La eficacia del modelo de creencias en salud en el desarrollo de intervenciones comunitarias para la prevención y control de enfermedades crónico degenerativas. *Ciencia y Tecnología ITESCAM Calkini* 2022; 1(1):15-25.

**Recibido:** 17 de noviembre de 2022

**Aceptado:** 19 de diciembre de 2022

**Publicado:** 23 de diciembre de 2022

**Copyright:** Los datos proporcionados son propiedad de la revista *Ciencia y Tecnología ITESCAM Calkini*.

**Palabras clave:** modelo de creencias en salud; intervenciones comunitarias; salud pública.

## 1. Introducción

Las enfermedades crónicas afectan a millones de personas en el mundo y esto ha motivado la búsqueda de diversos ámbitos de atención de salud, enfoques y metodologías que favorezcan un acercamiento real al problema, enfocados principalmente en conocimientos, percepciones, actitudes, temores y prácticas de los pacientes en el contexto familiar y comunitario. Por ello, para responder a las necesidades educativas y a los problemas de las comunidades, se han incorporado teorías y modelos de las ciencias sociales a los programas de salud del primer nivel de atención, con la intención de hacerlos más flexibles para controlar y prevenir las enfermedades crónicas (1).

El modelo de creencias en salud (MCS) ha permitido implementar medidas preventivas de manera económica, este modelo es fácil de entender y se ha utilizado en casos de enfermedades tanto transmisibles como no transmisibles, además de ser el más utilizado y el que ha generado un mayor número de investigaciones. Según esta modelo, el individuo realiza acciones de intervención positivas frente a la enfermedad, dependiendo de la percepción de susceptibilidad y gravedad que tiene de la misma y de otros factores externos demográficos y psicosociales que lo afectan (2,3).

El modelo fue desarrollado inicialmente en la década de 1950 por los psicólogos sociales Hochbaum, Leventhal, Kegeles y Rosenstock del Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos para explicar el fracaso de la participación de las personas en los programas de salud preventiva durante aquella época (4).

Uno de los cimientos del grupo de investigación fueron los hallazgos de Hochbaum (5) quien a comienzos del año 1952 estudió a más de 1,200 adultos norteamericanos, valorando su disposición para someterse a exámenes de rayos X, como parte de los programas de lucha contra la tuberculosis. Esta disposición fue el resultado de las creencias de cada individuo de la susceptibilidad a la enfermedad y los beneficios de su detección a tiempo.

Para los investigadores dos circunstancias resultaron determinantes. La primera fue el contexto de salud en el que se llevaron a cabo las investigaciones preliminares para validar el modelo en desarrollo. En ese entonces, el servicio de salud pública de Norteamérica estaba mayormente orientado a la prevención de enfermedades y existía un fracaso en las pruebas preventivas o de tamizaje por parte de la población, incluso si estas eran ofrecidas de modo gratuito o a bajos costos, con unidades móviles en cada colonia, para enfrentar enfermedades detectables de manera temprana, como tuberculosis, cáncer de cuello uterino, entre otras más. Así, que, se requería urgentemente una teoría que explicase la conducta preventiva en salud (6).

La segunda circunstancia la conformó el perfil de los investigadores, debido a sus experiencias de investigación, estaban orientados filosóficamente a la construcción de teoría y no sólo a la solución de problemas prácticos. Además, por su

formación como psicólogos sociales, los autores del modelo estaban muy influenciados por las teorías de Kurt Lewin (7).

Irwin Rosenstock (8) afirma que el modelo se deriva de la teoría sociopsicológica de Lewin que plantea la hipótesis de que el comportamiento depende principalmente de dos variables: el valor que un individuo le da a un resultado particular y la estimación del individuo de la probabilidad de que una acción dada resulte en ese resultado. Rosenstock (6) también establece que para llevar a cabo la validación de cada uno de los constructos es necesario llevar a cabo un diseño multirrasgo-multimétodo. Los constructos del MCS se pueden medir con una cantidad sustancial de validez convergente mediante el uso de cuestionarios con escalas de medición de tipo Likert o de opción múltiple.

## **2. Materiales y métodos**

### *2.1 Modelo de creencias en salud*

El MCS teóricamente enfatiza los elementos cognitivos, debido a que el comportamiento de las personas a menudo depende de sus expectativas racionales (4). El MCS tiene una función importante en la prevención de enfermedades, se conforma de seis constructos que en conjunto explican las conductas de cuidado de la salud tales como la susceptibilidad y la gravedad percibida de las consecuencias de alguna enfermedad en específico que engloban las creencias sobre la amenaza que representa la enfermedad, también se consideran las creencias sobre los beneficios y las barreras para llevar a cabo el comportamiento de salud que se requiere; los estímulos para la acción que pueden ser tanto internos como presentar algún síntoma o externos como asistir a algún programa de educación sanitaria, y la motivación para el autocuidado que es la predisposición de las personas a prestar atención y responder a este tipo de estímulos por el valor que le dan a su estado de salud (9,10) El concepto de autoeficacia fue el último constructo en ser agregado dentro del modelo y fue para explicar la realización y el mantenimiento de conductas relacionadas con el cuidado de la salud y aporta que, para realizar un comportamiento, el individuo debe sentirse capaz de poder realizarlo con éxito (11).

### *2.2 Constructos del MCS*

#### *2.2.1 Susceptibilidad percibida*

Se refiere a la creencia de una persona sobre sus posibilidades de adquirir una determinada enfermedad o dolencia (9). Por un lado, podría presentarse el individuo que niega toda posibilidad de contraer una determinada enfermedad o dolencia, en una posición más moderada está la persona que puede admitir la posibilidad “estadística” de que adquiera una enfermedad, pero una posibilidad que no es muy probable que suceda (6).

Para que una persona tome medidas, debe creer que está en riesgo de padecer una enfermedad o tener resultados perjudiciales para la salud. Cuando las personas creen que están en riesgo de contraer una enfermedad, es más probable que hagan algo para evitar que esto suceda, tal es el caso del COVID-19, donde las personas que se consideraban susceptibles de contagiarse evitaban que esto

ocurriera lavándose las manos, aplicando gel antibacterial y usando un cubrebocas. Lo contrario también es cierto: cuando la persona cree que no están en riesgo o que tiene un riesgo bajo, tiende a tener comportamientos que son menos saludables (12).

### *2.2.2 Gravedad percibida*

Es la creencia de una persona sobre la gravedad de contraer una enfermedad o que se presentasen complicaciones, la gravedad puede basarse en las consecuencias médicas, como la muerte o la discapacidad, o en las creencias personales acerca de cómo la afección o la enfermedad afectaría su vida, (11) pero las convicciones sobre la gravedad de un determinado problema de salud también pueden variar de una persona a otra. El nivel de gravedad puede juzgarse tanto por el incremento de la excitación emocional creada por el pensamiento de una enfermedad como por el tipo de dificultades que el individuo cree que le creará una determinada condición de salud (6).

Por supuesto, una persona puede ver un problema de salud en términos de sus consecuencias clínicas y, por lo tanto, le preocuparían cuestiones como si una enfermedad podría provocar su muerte, o reducir su funcionamiento físico o mental durante largos períodos de tiempo, o incapacitarlo de manera permanente. Sin embargo, la gravedad percibida de una condición puede, para otro individuo, incluir implicaciones tan amplias y complejas como las consecuencias de la enfermedad en su trabajo, en su vida familiar y en sus relaciones sociales. Entonces, una persona puede no creer que la hipertensión es médicamente grave, pero puede creer que su aparición sería grave al crear importantes tensiones psicológicas y económicas dentro de su familia (8).

### *2.2.3 Beneficios percibidos*

Están relacionados a la percepción que tiene una persona de la efectividad de varias acciones disponibles para reducir la amenaza de una enfermedad o dolencia (o para curar una enfermedad o dolencia). El curso de acción que toma una persona para prevenir (o curar) una enfermedad se basa en la consideración y evaluación tanto de la susceptibilidad percibida como del beneficio percibido, de modo que la persona aceptaría la acción de salud recomendada si se percibiera como beneficiosa (6).

### *2.2.4 Barreras percibidas*

Son los factores más importantes para determinar el cambio de comportamiento dado que, son la visión de los obstáculos que se interponen en el camino del cambio para la persona. Las barreras pueden ser tangibles o intangibles. Las tangibles pueden ser la falta de recursos financieros, la falta de transporte, etc. Las intangibles están relacionadas con los aspectos psicológicos, como el miedo al dolor o al personal médico, la vergüenza o las molestias (12).

### *2.2.5 Señales para la acción*

Pueden ser eventos, personas o cosas que provocan que la persona cambie su comportamiento. Los consejos de otros, la enfermedad de un familiar o las redes sociales pueden proporcionar pistas (12).

Algunos ejemplos de señales están en los alimentos que brindan información nutricional en su etiquetado ofrecen una pista para considerar el contenido calórico en las elecciones de alimentos, los carteles en los baños públicos ofrecen indicaciones para lavarse las manos y las señales en la carretera para "abrocharse el cinturón" proporcionan señales para la acción (14).

### 2.2.6 Autoeficacia

Se refiere a la confianza y la creencia de una persona en su capacidad para tomar medidas o realizar un comportamiento determinado en beneficio de su salud. Una persona generalmente no intenta adoptar nuevos comportamientos a menos que crea que puede lograrlo con éxito (12).

## 3. Resultados

### 3.1 Aplicación del MCS en China

#### 3.1.1 Hipertensión

Desde septiembre de 2016 hasta septiembre de 2017, Shen Ying (13) y colaboradores reclutaron 400 pacientes con diagnóstico de hipertensión de 6 centros de salud comunitarios con un tamaño de población y servicios de salud comparables en el distrito de Shunyi de Beijing con el propósito de evaluar la efectividad de una intervención educativa basada en el MCS sobre el control de la presión arterial de los pacientes.

Todos los centros de salud comunitarios fueron asignados aleatoriamente al grupo de intervención (206 pacientes) y al grupo control (194 pacientes). Los pacientes en el grupo de intervención recibieron 3 pláticas (20-30 minutos cada una) de educación para la salud basadas en los resultados del instrumento diseñado de acuerdo con el MCS; adicionalmente se solicitaron datos sociodemográficos, igualmente se midió la alfabetización en salud y se midió la presión arterial antes y después de cada intervención. Los pacientes del grupo de control recibieron la atención habitual. Un total de 134 pacientes en el grupo de intervención y 129 pacientes en el grupo de control completaron el estudio. Después de organizar por edad, género, ingresos familiares, seguro médico, enfermedades crónicas y antecedentes familiares, la puntuación de barreras percibidas aumentó en 1.65 ( $p=0.016$ ) y la gravedad percibida disminuyó en 0.73 ( $p=0.018$ ). La presión arterial sistólica de los pacientes disminuyó 7.37mmHg (1mmHg=0.133 kPa,  $p=0.001$ ) y la presión arterial diastólica disminuyó 4.07mmHg ( $p=0.014$ ), respectivamente. La susceptibilidad percibida y la autoeficacia tuvieron una influencia significativa en la presión arterial de los pacientes ( $p<0.05$ ).

Este estudio demostró que la intervención de educación sanitaria basada en el MCS podría mejorar significativamente el control de la presión arterial de los pacientes con hipertensión en entornos comunitarios.

### 3.2 Aplicación del MCS en Irán

#### 3.2.1 Diabetes mellitus

Shabibi y colaboradores (11) llevaron a cabo una investigación cuasi-experimental utilizando el MCS en la que 70 pacientes con diabetes tipo 2, en el oeste de Irán, en 2014 fueron seleccionados mediante un muestreo aleatorio en varias etapas. Se utilizó un cuestionario de diseño propio considerando el MCS y se aplicó un pre-test. De acuerdo los resultados del pre-test, se realizó el análisis de necesidades educativas y se desarrolló el contenido educativo en tres áreas de conocimiento, actitud y comportamiento. Se determinaron los métodos e instrumentos educativos y el número de sesiones necesarias y luego se realizó la intervención basada en MCS en el grupo experimental, incluyendo cuatro sesiones de 60 minutos en un mes, es decir, cada sesión se realizó una vez por semana. La primera sesión contenía una introducción sobre la diabetes, los síntomas, las complicaciones y las formas de prevenirla. La segunda sesión estuvo compuesta por conocimientos sobre aspectos del autocuidado. La tercera sesión incluyó la familiarización de los pacientes con una dieta saludable y una nutrición adecuada. En la cuarta sesión, los pacientes se familiarizaron con la prueba de glucosa en la sangre a través de demostraciones prácticas y se les pidió que practicaran esta actividad en la sesión. En esta sesión, los pacientes informaron y discutieron su propio desempeño en términos de cuidar los pies, tomar medicamentos para controlar la glucosa en la sangre y visitar regularmente a los médicos para que les examinen la vista, el corazón y los riñones. Al final de cada sesión, el contenido educativo se entregó a los pacientes en forma de folletos educativos y posteriormente, se aplicó un post-test. Los métodos educativos incluyeron presentaciones, preguntas y respuestas, discusión grupal y demostraciones prácticas para ayudar a los pacientes a comprender adecuadamente los contenidos y evitar malentendidos. Para involucrar la vista de los pacientes y brindar variedad, se utilizaron otros materiales y ayudas didácticas, como videos instructivos, carteles y folletos.

Los datos recopilados fueron analizados con IBM® SPSS® Statistics, utilizando estadísticos descriptivos que incluyen distribución de frecuencia absoluta y la prueba *t* de muestras independientes, con la finalidad de comparar la media de las puntuaciones de los constructos del MCS antes y después, se utilizó la prueba *t* de muestras pareadas y el análisis de regresión de una sola variable y de múltiples variables para medir las variables. Estas variables están asociadas a conductas de autocuidado, se consideró significativo el valor de *p* inferior a 0.05. Las puntuaciones medias de susceptibilidad, gravedad, beneficios y barreras percibidas, autoeficacia y comportamientos de autocuidado se encontraban en niveles medios e inferiores antes de la intervención; sin embargo, después de la intervención educativa, la puntuación media de cada constructo MCS y las conductas de autocuidado aumentaron significativamente ( $p < 0.001$ ).

### 3.2.2 Hipertensión

En el 2017, Khorsandi y colaboradores (14) realizaron un estudio con el objetivo de investigar el efecto de la educación basada en el MCS en la adopción de conductas de control de la hipertensión en la población anciana de Qom, Irán. Este estudio de intervención y cuasiempírico con un pre y post-test se realizó en personas mayores de 60 a 65 años que padecían hipertensión.

El cuestionario constaba de cuatro secciones. La primera sección estaba relacionada con las características demográficas; la segunda sección incluía algunas preguntas sobre conocimientos generales (¿Puede un peso corporal normal ayudar a controlar la hipertensión?); la tercera sección comprendía algunas preguntas sobre los constructos del MCS, incluida la susceptibilidad percibida (sufriré hipertensión si no se controla la presión arterial), la gravedad percibida (la hipertensión puede causar enfermedades cardíacas), los beneficios percibidos (el control de la hipertensión es eficaz en la prevención del accidente cerebrovascular), barreras percibidas (no tengo suficiente tiempo para hacer ejercicio), señales para la acción (veo programas de televisión sobre la importancia del control de la hipertensión) y autoeficacia (puedo controlar mi presión arterial con regularidad). La cuarta sección del cuestionario incluía algunos ítems sobre el desempeño de los participantes (He consumido una gran cantidad de sal en los últimos 10 días). La sección de conocimiento tenía seis preguntas, cada una con tres ítems; corrige los ítems puntuados con 1 y los ítems incorrectos o "No sé" puntuados con cero. Los constructos del MCS con 16 preguntas se respondieron utilizando una escala de Likert de cinco puntos: 1) totalmente en desacuerdo; 2) en desacuerdo; 3) ni de acuerdo ni en desacuerdo; 4) estar de acuerdo; 5) totalmente de acuerdo.

Luego, con base en el MCS, se planificó un programa educativo y los contenidos relacionados. Posteriormente, los sujetos fueron divididos aleatoriamente en dos grupos uno de prueba y otro de control. Los sujetos del grupo de prueba fueron invitados al Centro de Retiro de Qom para recibir la intervención educativa que se componía de dos sesiones educativas, que incluían una conferencia, una película educativa y una discusión grupal. El contenido educativo fue diseñado de acuerdo a los resultados del instrumento basado en el MCS. Se llevó a cabo una discusión grupal en forma de preguntas y respuestas para incrementar la participación de los participantes. El grupo de control no recibió ninguna intervención sino solamente los folletos educativos. Los cuestionarios se distribuyeron entre los participantes inmediatamente y 3 meses después de la intervención. Los grupos de prueba y control incluyeron 45 y 46 participantes, respectivamente. En el grupo de intervención, la correlación intraclase mostró una confiabilidad aceptable de todos los constructos, excepto para los de autoeficacia y acción. Todos los constructos tuvieron una confiabilidad aceptable en el grupo control. Los resultados del análisis de varianza de medidas repetidas mostraron una diferencia significativa en las puntuaciones de los constructos en los grupos de intervención y no intervención, inmediatamente después y 3 meses después de la intervención. Los constructos del MCS se encuentran entre los factores más cruciales y efectivos en los comportamientos de autocuidado. Los comportamientos de salud, incluidas las prácticas de autocuidado, están arraigados en las creencias de salud de las personas, cuya precisión ha sido confirmada a través de muchos estudios. La investigación demostró que ninguno de los constructos de MCS tenía un estado favorable antes de la intervención en los grupos de control y de prueba. La susceptibilidad percibida fue el único constructo en el nivel moderado porque con el envejecimiento, los ancianos naturalmente se consideran más susceptibles a las enfermedades. Como resultado, la puntuación de susceptibilidad percibida fue mayor que la de otros constructos. La susceptibilidad percibida es uno de los factores importantes que afectan los comporta-

mientos de salud pues se considera como un factor eficaz en los cambios de comportamiento entre los pacientes diabéticos.

El estudio concluyó afirmando que existe una relación entre las creencias de salud de los individuos y sus comportamientos para el cuidado de su salud; por lo tanto, se deben hacer intentos para promover sus creencias en cuanto a la hipertensión. Los resultados de este estudio revelaron que la intervención educativa basada en el MCS incrementó la puntuación media de las creencias en salud en los ancianos, así como su conciencia y práctica. No hubo cambios significativos en el grupo de control. Por lo tanto, es muy recomendable considerar intervenciones basadas en el MCS para la promoción de comportamientos y creencias de salud de las personas mayores con hipertensión.

### *3.3 Aplicación del MCS en Costa Rica*

#### *3.3.1 Diabetes*

Aráuz y colaboradores (15) realizaron un estudio en el área de salud de el Guardo, Costa Rica cuyo objetivo fue ofrecer una alternativa de educación sobre diabetes con la participación de pacientes, familiares y personal sanitario, adaptada a las condiciones locales y a las necesidades sentidas por estas personas. En la primera etapa, se realizó un estudio cualitativo para identificar los conocimientos y prácticas de los pacientes y del personal sanitario acerca de la prevención y tratamiento de la diabetes en el hogar, de la percepción que tiene el paciente de la gravedad y del riesgo familiar de padecer la enfermedad, así como las motivaciones y barreras para tratar adecuadamente su padecimiento utilizando el MCS para el diseño del cuestionario. Para la recolección de datos se utilizó una entrevista no estructurada dirigida a los pacientes y un grupo focal de discusión con el personal sanitario, y estos datos fueron analizados en el programa Ethnograph V4.0. Los constructos analizados estuvieron alineadas al MCS: El conocimiento de la enfermedad, la percepción de la susceptibilidad, de la gravedad, barreras y motivaciones de los pacientes para tratar la diabetes mellitus tipo 2.

A partir de los resultados obtenidos en el estudio anterior, se diseñó un manual educativo dirigido al personal sanitario de primer nivel de atención, como herramienta didáctica para que el grupo coordinador del proyecto capacitara a dicho personal y este, a su vez, capacitara a los pacientes viviendo con diabetes. El resultado de esta capacitación se evaluó mediante una prueba escrita que abarcó aspectos tales como conocimiento de la enfermedad, la alimentación, las técnicas de enseñanza y las características de la comunidad. Posteriormente, se llevó a cabo un programa educativo con los 37 pacientes del estudio y se evaluó antes y después de 4 meses que fue la duración de dicho programa. La evaluación se realizó considerando los siguientes indicadores: antropométricos, bioquímicos, dietéticos, de conocimiento y percepciones sobre la diabetes.

El 77% de los participantes del programa educativo eran mujeres sedentarias y la cifra se redujo en 25% posterior a la intervención. También, se observó una reducción estadísticamente significativa de la glucemia en ayunas ( $p=0.03$ ), de la hemoglobina glucosilada ( $p=0.05$ ) y de los triglicéridos ( $p=0.04$ ) al finalizar la in-

tervención. El estudio demostró la eficacia del modelo observando cambios positivos en los participantes del programa.

#### **4. Discusión**

El MCS se ha utilizado por más de medio siglo para predecir, exponer y explicar comportamientos relacionados con la salud y para la realización de intervenciones educativas para cambiar comportamientos negativos a comportamientos positivos; sin embargo, a pesar de que se han demostrado su eficacia en países como China, Costa Rica y sobre todo en Irán, dónde se han realizado el mayor número de estudios, en el resto de los países aún carecen de estudios que evidencien su aplicación, utilidad y beneficio. En esta revisión narrativa, se encontró que las intervenciones comunitarias de educación sanitaria basadas en el MCS en países como China, Irán y Costa Rica mejoraron significativamente los resultados de análisis clínicos, el factor predisponente y los comportamientos en beneficio a una mejor calidad de vida y manejo en pacientes viviendo con diabetes e hipertensión arterial. Los estudios incluidos en esta revisión mostraron que las intervenciones comunitarias que se construyen con los resultados de instrumentos que utilizan este modelo permiten a los pacientes obtener un beneficio para su salud. Por lo tanto, al mejorar el nivel de conocimiento, la susceptibilidad percibida, la severidad percibida, los beneficios percibidos y la autoeficacia del personal, es posible afectar su comportamiento de manera positiva. Lo que demuestra la urgencia de llevar a cabo intervenciones diseñadas especialmente para cada comunidad atendiendo sus necesidades y reforzar sus conocimientos correctos, pues es bien sabido que, las creencias, percepciones y conocimientos sobre alguna enfermedad en cuestión puede variar dependiendo de la región.

Desafortunadamente, a pesar de ser un modelo con amplio beneficio para el desarrollo de estrategias educativas, su utilidad para el diseño de intervenciones comunitarias no ha sido explorada en beneficio de la promoción de la salud y el autocuidado en países como México, dónde las cifras de personas viviendo con enfermedades crónico-degenerativas va en aumento y esto podría deberse a la ausencia de tropicalización en los programas destinados a informar y educar a la población. Sin embargo, se requerirían más estudios para demostrar lo antes propuesto.

#### **5. Conclusiones**

Así como lo indican los estudios revisados, los constructos que conforman el MCS han sido útiles para modificar las conductas de prevención y control sobre la diabetes e hipertensión arterial. La simplicidad del modelo y su bajo costo ha permitido a los investigadores identificar constructos que son de importancia, aumentando así la probabilidad de que se utilice con flexibilidad sobre una base teórica para el diseño de intervenciones de educación sanitaria en comunidades, que promueven efectivamente las conductas preventivas y de autocuidado para un control, por lo tanto, al mejorar el nivel de conocimiento de la enfermedad en cuestión, la susceptibilidad percibida, la gravedad percibida, los beneficios percibidos y la autoeficacia permiten modificar el comportamiento de las personas en beneficio de su salud. Al realizar la revisión, se pretende hacer del conocimiento

de los educadores en salud tales como médicos, enfermeros, farmacéuticos, rehabilitadores y cualquiera que tenga un acceso directo con los pacientes, que una intervención de educación sanitaria en comunidades puede o no funcionar dependiendo de las creencias en salud que tengan los pacientes. Es decir, es primordial conocer lo que creen, perciben y conocen para diseñar la intervención acorde a sus necesidades y no de manera general.

En futuros estudios, sería conveniente analizar este fenómeno en México con las enfermedades crónico-degenerativas con más reportes dentro del boletín epidemiológico como lo son la diabetes mellitus tipo 2 y la hipertensión arterial (16).

**Contribución de los autores:** GCH: investigación, metodología, análisis de información, escritura y edición del manuscrito. JCCV: revisión, supervisión, escritura y edición del manuscrito.

**Financiamiento:** Esta investigación no requirió fondos para su realización.

**Agradecimientos:** Agradecemos al proyecto “Análisis etnoepidemiológico sobre el uso de remedios herbolarios y medicamentos en el tratamiento de enfermedades” con registro SISTPROY FQUI-2022-0007. Finalmente, agradecemos a la comunidad de Tixmehuac, Yucatán por participar en este proyecto y al Dr. Rolffy Rubén Ortiz Andrade por sus comentarios.

**Conflicto de intereses:** Los autores declaramos que no existe conflicto de intereses para la divulgación de los resultados, discusión, análisis de datos y conclusiones presentados en el presente trabajo.

## Referencias

1. Carrillo Ramírez V, Cruz González T, Jiménez Herrera LG, León Salas A, Quesada Morúa MS. Desarrollo de intervenciones comunitarias de salud pública por estudiantes de Farmacia de la Universidad de Costa Rica durante la pandemia por SARS-COV2. *Rev Educ* [Internet]. 2022; [citado el 04 de diciembre de 2022] Disponible en: <http://dx.doi.org/10.15517/revedu.v46i2.47580>
2. Anuar H, Shah1 SA, Gafor1 H, Mahmood1 I, Ghazi HF. Usage of Health Belief Model (HBM) in health behavior: A systematic review [Internet]. *Edu.my*. [citado el 19 de octubre de 2022]. Disponible en: [https://medic.upm.edu.my/upload/dokumen/2021010809001826\\_2020\\_0366\\_.pdf](https://medic.upm.edu.my/upload/dokumen/2021010809001826_2020_0366_.pdf)
3. Fortich Mesa N. Revisión sistemática o revisión narrativa. *Cienc. Salud Virtual* [Internet]. 30 de diciembre de 2013 [citado 18 de octubre de 2022];5(1):1-4. Disponible en: <https://revistas.curn.edu.co/index.php/cienciaysalud/article/view/372>
4. Maiman LA, Becker MH. The health belief model: Origins and correlates in psychological theory. *Health Educ Monogr* [Internet]. 1974 [citado 27 de octubre de 2022];2(4):336–53. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1177/109019817400200404>
5. Hochbaum G. Public participation in medical screening programs: a socio-psychological study. *Public Health Service Publication N°. 572*. Washington, D.C.: US Government printing office, 1958.
6. Rosenstock I. Historical origins of the health belief model. *Health Education Monographs* 1974;2(4):328-35.
7. Becker M. The health belief model and personal health behavior. *Health Education Monographs* 1974;2(4):326-7.
8. Cabrera AG, Tascón GJ, Lucumí CD. Creencias en salud: historia, constructos y aportes al modelo. *Rev Fac Nac Salud Pública* [Internet]. 2001;19(1). Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=12019107>
9. Azadi NA, Ziapour A, Lebni JY, Irandoost SF, Abbas J, Chaboksavar F. The effect of education based on health belief model on promoting preventive behaviors of hypertensive disease in staff of the Iran University of Medical Sciences. *Arch Public Health* [Internet]. 2021 [citado 18 de octubre de 2022];79(1):69. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1186/s13690-021-00594-4>.

10. Kim S Analysis of the impact of health beliefs and resource factors on preventive behaviors against the COVID-19 pandemic. *Int J Environ Res Public Health* [Internet]. 2020 [citado 18 de octubre de 2022];17(22):8666. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph17228666>
11. Shabibi P, Zavareh MSA, Sayehmiri K, Qorbani M, Safari O, Rastegarimehr B, et al. Effect of educational intervention based on the Health Belief Model on promoting self-care behaviors of type-2 diabetes patients. *Electron Physician* [Internet]. 2017 [citado el 8 de septiembre de 2022];9(12):5960–8. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29560148/>
12. Washburn L. Understanding the health belief model [Internet]. Tennessee.edu. [citado el 18 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://extension.tennessee.edu/publications/Documents/W931-C.pdf>
13. Shen Y, Wang TT, Gao M, Hu K, Zhu XR, Zhang X, et al. Effectiveness evaluation of health belief model-based health education intervention for patients with hypertension in community settings. *Zhonghua Yu Fang Yi Xue Za Zhi* [Internet]. 2020 [citado el 18 de diciembre de 2022];54(2):155–9. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32074702/>
14. Khorsandi M, Fekrizadeh Z, Roozbahani N. Investigation of the effect of education based on the health belief model on the adoption of hypertension-controlling behaviors in the elderly. *Clin Interv Aging* [Internet]. 2017[citado 05 de diciembre de 2022];12:233–40. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.2147/cia.s117142>
15. Aráuz AG, Sánchez G, Padilla G, Fernández M, Roselló M, Guzmán S. Intervención educativa comunitaria sobre la diabetes en el ámbito de la atención primaria. *Rev Panam Salud Publica* [Internet]. 2001 [citado el 18 de octubre de 2022];9(3):145–53. Disponible en: <https://www.scielosp.org/pdf/rpsp/2001.v9n3/145-153/es>
16. Gobierno de México. Secretaria de Salud. Boletín Epidemiológico Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica Sistema Único de Información [Internet] [citado el 27 de octubre de 2022]. Disponible en: <https://www.gob.mx/salud/documentos/boletinepidemiologico-sistema-nacional-de-vigilancia-epidemiologica-sistema-unico-de-informacion-261547>.

Artículo

# Caracterización molecular de dos genotipos de zapote negro (*Diospyros nigra*) cultivados en Yucatán, México

Rubén-Humberto Andueza-Noh<sup>1,\*</sup>, René Garruña-Hernández<sup>1</sup>, Laura-Nataly Matos-Díaz<sup>2</sup>, Daniel Cituk-Chan<sup>2</sup>, Luis Pinzón-López<sup>2</sup>

<sup>1</sup> CONACYT-Instituto Tecnológico de Conkal, Av. Tecnológico S/N, 97345, Conkal, Yucatán, México.

<sup>2</sup> Tecnológico Nacional de México/I.T. Conkal, Av. Tecnológico S/N, 97345, Conkal, Yucatán, México

\* Autor de correspondencia: R.H.-A.N., CONACYT-Instituto Tecnológico de Conkal, Av. Tecnológico S/N, 97345 Conkal, Yucatán, México. Tel.: +52 (999) 912 41 30, Ext. 122. E-mail: [r\\_andueza81@hotmail.com](mailto:r_andueza81@hotmail.com); [ruben.andueza@itconkal.tecnm.mx](mailto:ruben.andueza@itconkal.tecnm.mx)

## Resumen

En las áreas rurales de la Península de Yucatán, existe una amplia diversidad de frutales tropicales nativos con potencial económico que son cultivados y consumidos. Sin embargo, la falta de atención hacia estos recursos fitogenéticos no ha permitido que puedan ser explotados a nivel comercial y aún menos existe información básica que permita tener un mejor aprovechamiento de los mismos. Dentro de toda esta gran diversidad de recursos nativos se encuentra el zapote negro (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.), especie que posee un enorme potencial económico gracias a sus características nutricionales. Sin embargo, en la actualidad existen muy pocos estudios sobre la especie y la mayoría han sido dirigidos sobre sus propiedades nutricionales. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue caracterizar la diversidad y estructura genética de dos genotipos criollos de zapote negro cultivados en Yucatán, utilizando marcadores moleculares ISSR. Los resultados del análisis de estructura y relaciones genéticas indican que los genotipos evaluados se encuentran diferenciados genéticamente y podrían ser considerados en un futuro como nuevas variedades de zapote negro si continúan bajo selección y manejo agronómico. A nivel de genotipos, el genotipo dos presentó mayor porcentaje de loci polimórficos (%P=36) y mayor diversidad genética (H<sub>bay</sub>=0.34 y I=0.19). A nivel total se observaron niveles de diversidad genética que pueden ser considerados altos para la especie estudiada (H<sub>bay</sub>=0.56).

## Abstract

In rural areas of the Yucatan Peninsula, a wide variety of native tropical fruit trees with economic potential are cultivated and consumed. However, a lack of knowledge about these plant genetic resources has prevented their commercial exploitation, and even less is known about the basic information that would enable them to be utilized more effectively. Within all this great diversity of native resources is the black sapote (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.), a species with enormous economic potential due to its nutritional qualities. However, there

**Cita:** Andueza-Noh et al.  
Caracterización molecular de dos genotipos de zapote negro (*Diospyros nigra*) cultivados en Yucatán, México. *Ciencia y Tecnología ITESCAM Calkini* **2022**; 1(1):26-36.

**Recibido:** 29 de noviembre de 2022

**Aceptado:** 21 de diciembre de 2022

**Publicado:** 23 de diciembre de 2022

**Copyright:** Los datos proporcionados son propiedad de la revista *Ciencia y Tecnología ITESCAM Calkini*.

are currently very few studies on the species, with the majority focusing on its nutritional properties. Therefore, the objective of this study was to characterize the structure and genetic diversity of two black sapote genotypes cultivated in Yucatan using ISSR molecular markers. The results of structure and genetic relationship analysis indicated that the genotypes evaluated are genetically differentiated and could be considered in the future as new varieties of black sapote if they continue to undergo clonal propagation and selection. At the genotype level, genotype II, presented a higher percentage of polymorphic loci (%P=36) and genetic diversity (Hbay=0.34 and I=0.19). At the total level, the results of genetic diversity observed can be considered high for the species studied (Hbay=0.56).

**Palabras clave:** diversidad genética; recursos fitogenéticos; biodiversidad; frutas tropicales.

---

## 1. Introducción

México posee una extraordinaria riqueza biológica, característica que lo posiciona entre los cinco países con mayor biodiversidad (1-3). Para el caso de los recursos genéticos que involucra a los frutales, se han identificado alrededor de 621 especies, entre estas se estima que solo 65 especies de frutales han sido explotadas comercialmente, de las cuales 32 son especies nativas y 33 introducidas (4, 5). Como se puede apreciar, la riqueza de especies frutales en el país está bien documentada, pero su base genética aún no lo está, lo que no ha permitido potencializar su aprovechamiento especialmente en las especies nativas, este es el caso del zapote negro o Ta'uch (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) en la Península de Yucatán, donde es muy apreciado por las comunidades rurales debido a su excelente sabor y a sus propiedades nutricionales, aunque su cultivo aún no es de forma comercial, esta especie puede llegar a ser de importancia económica para la Península de Yucatán, México. El zapote negro pertenece a la familia Ebenaceae, sus frutos son consumidos en el sur de México y América central. En México se distribuye de forma silvestre en regiones tropicales y subtropicales de Jalisco a Chiapas por la vertiente del océano pacífico y de Veracruz a Yucatán por la costa del golfo, específicamente en la Península de Yucatán se pueden encontrar plantas de zapote negro cultivadas a nivel de traspatio (6).

El zapote negro es un árbol de hoja perenne con una altura aproximada de 25 cm, su fruto es una baya de forma globosa con epidermis verde brillante cuando aún no madura y cambia su color a verde fangoso cuando madura; posee mesocarpio (pulpa) dulce y suave que se torna de color café a negro al madurar, presenta de 10 a 14 semillas (7). Debido a su sabor dulce los frutos se consumen en estado fresco, solo o en combinación con otras frutas, en jugos, mermeladas y helados, siendo una buena fuente de vitamina C, superando incluso a los cítricos, además contiene carbohidratos y minerales (8). Existen reportes que indican que tanto la corteza del árbol como las hojas pueden ser utilizadas para aliviar diversas enfermedades de la piel (7,8). El fruto del zapote negro es ampliamente consumido en los mercados regional y local, en el mercado internacional es apreciado como un fruto exótico por sus características nutricionales (9). A pesar de las bondades

nutricionales, su aceptación en los mercados regional y nacional, y su potencial de comercialización para el mercado internacional, actualmente no se cuenta con información ni se han realizado estudios sobre la diversidad genética de la especie, la existencia y desarrollo de variedades locales y su potencial uso agrícola. Con base en lo anterior, el objetivo de este trabajo consistió en caracterizar la diversidad y estructura genética de dos genotipos criollos de zapote negro (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.) cultivados en el estado de Yucatán.

## 2. Materiales y métodos

El material vegetal consistió de dos genotipos criollos de zapote negro (*Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr.), colectados en el estado de Yucatán (Tabla 1), pertenecientes a la colección base del Instituto Tecnológico de Conkal, Yucatán. La principal diferencia entre los dos genotipos evaluados es la presencia y ausencia de semillas en los frutos (genotipo 1 frutos sin semilla o partenocárpicos y genotipo dos frutos con semilla). Para la caracterización molecular, un total de nueve árboles por genotipo fueron muestreados.

**Tabla 1.** Sitios de colecta y ubicación geográfica de los genotipos de zapote negro evaluados mediante marcadores moleculares ISSR.

Genotipo de zapote negro	Lugar de colecta	Latitud	Longitud	Altura
Genotipo I: frutos sin semilla	Cholul, Yucatán	21° 02' 26" N	89° 33' 17" O	11 msnm
Genotipo II: frutos con semilla	Akil, Yucatán	20° 16' 05" N	89° 20' 47" O	36 msnm

msnm = Metros sobre el nivel del mar

### 2.2 Extracción de ADN y amplificación por PCR

El ADN genómico se extrajo de un total de nueve árboles por genotipo, a partir de hojas jóvenes, libres de plagas y enfermedades y sin daño mecánico. La extracción del ADN se realizó con el kit de extracción para plantas Mini Kit DNeasy® (QIAGEN) siguiendo las instrucciones del proveedor, se utilizó un gramo de hoja fresca. La calidad del ADN fue verificada mediante electroforesis en geles de agarosa al 1% en una solución amortiguadora de TBE al 0.5X.

Para la amplificación por PCR, se utilizaron nueve iniciadores ISSR universales (TACA (GCA) 3G, (GC) 2CGCCGCCGCC, CTC(GT)8, (GC) 6 GG, T(TTA)4TT, (GTG)4RC, CT8AC, CG(A)7, CT8GC) que han demostrado resultados eficientes con elevados niveles de amplificación y alto porcentaje de polimorfismo en diferentes especies estudiadas (10,11). Las amplificaciones por PCR se realizaron en un volumen final de 20 µL que contenía: 10µL de iTaq™ Universal SYBRGreen Supermix (Bio-Rad), 2µL de iniciador ISSR, 1µL de muestra de ADN, suspendido en 7µL de agua ultra pura. Los ciclos de amplificación fueron corridos en un termociclador BioRad (C1000 Touch) programado para 4 min. a 94 °C de desnaturalización inicial, seguido de 35 ciclos a 94 °C durante 2 min, 1.5 min., de alineamiento con el rango de temperaturas de 54 a 56 °C, dependiendo del iniciador utilizado, 1 min., a 72 °C y un periodo de extensión final de 7 min. a 12 °C. Los productos de las amplificaciones fueron analizados por electroforesis en geles de agarosa al 1.5%, teñidos con 1µL de buffer de reacción (Uview 6X loading dye de la marca BioRad), en una solución amortiguadora TBE al 1X. Se

utilizó una cámara de electroforesis horizontal a 110 volts constante durante 45 min., y un marcador de peso molecular de un 1 kb como referencia para las lecturas. La visualización de los fragmentos se realizó en un fotodocumentador Gel Doc EZ Imager, de la marca BioRad.

### 2.3 Análisis de datos

Los datos fueron analizados mediante la evaluación de la estructura genética, la evaluación de las relaciones genéticas y un análisis de diversidad genética. La estructura genética fue analizada mediante una prueba de asignación de individuos, un análisis de varianza molecular (AMOVA) y con el estimador de diferenciación genética FST. Primero se realizó la prueba de asignación de individuos con el programa STRUCTURE 2.3.4, para inferir el número de K poblaciones, utilizando el modelo de ancestría mezclado con frecuencias alélicas correlacionadas. Para cada valor de K (K=1 a 4) un total de 10 simulaciones independientes fueron corridas, cada simulación consistió de un período de calentamiento de 100,000 iteraciones y una longitud de corrida de 1,000,000 de iteraciones bajo el modelo de las Cadenas de Markov Monte Carlo (MCMC). El valor óptimo de K se obtuvo de acuerdo con Evanno et al. (12) usando el programa Structure Harvester versión 0.6.94 (13). Por último, se generaron las gráficas de ancestría para el valor óptimo de K con el programa STRUCTURE. El análisis de varianza molecular (AMOVA), se realizó considerando tres niveles jerárquicos: total (incluyendo a todas las muestras) entre genotipos y dentro de genotipos. El índice de diferenciación genética FST fue obtenido con el programa POPGENE ver 1.31 (14).

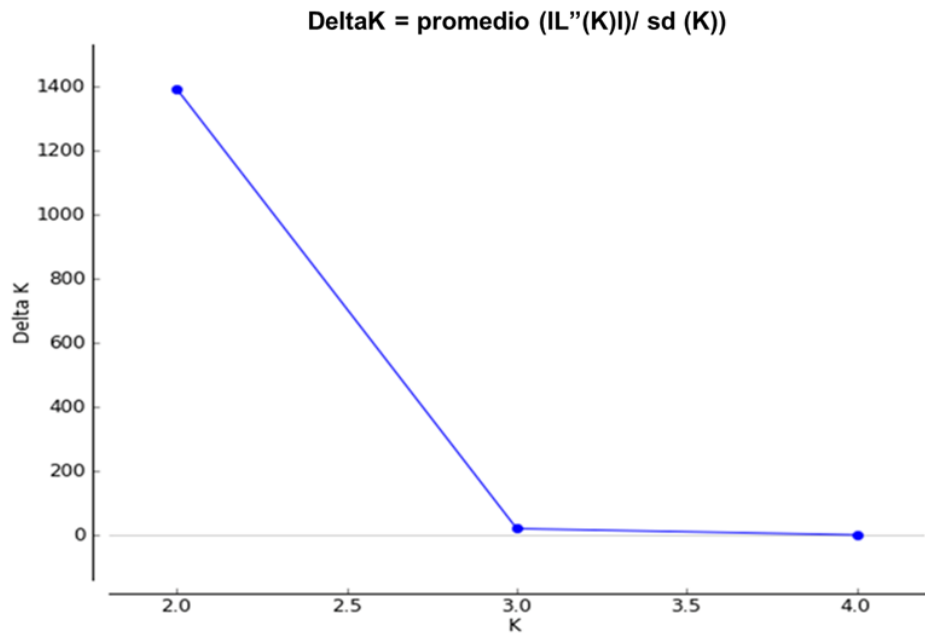
Las relaciones genéticas fueron analizadas mediante la construcción de un dendrograma usando el método UPGMA y la distancia euclidiana con 1,000 repeticiones *bootstrap*, con el programa PAST (15). Para dar soporte a los resultados observados con el UPGMA se realizó un análisis de coordenadas principales (PCoA) usando el método de covarianza no estandarizado con el programa GenAlEx 6.503 (16).

La diversidad genética fue evaluada a nivel de genotipos y a nivel total, con los índices de riqueza alélica: porcentaje de loci polimórficos (%P), número de alelos observados ( $n_a$ ), número de alelos efectivos ( $n_e$ ) e índices de diversidad genética: índice de Shannon (I) y la heterocigosidad promedio, mediante el cálculo de la H bayesiana (H<sub>bay</sub>), obtenidos con los programas POPGENE (versión 1.31) (14) y AFLP SURV ver. 1.0 (17).

## 3. Resultados

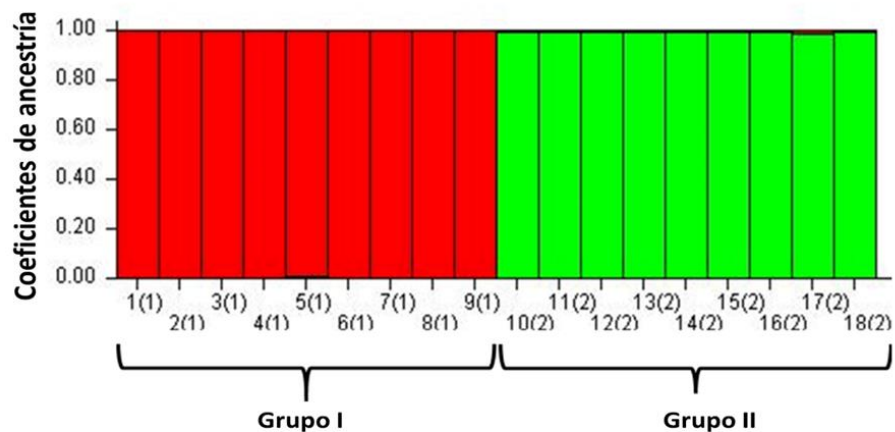
### 3.1 Estructura genética de dos genotipos de zapote negro

La prueba de asignación de individuos mostró que de las 10 simulaciones corridas para cada valor de K=1 a 4, el punto de inflexión mayor ocurrió en K=2, lo que indica la existencia de dos grupos genéticamente diferenciados (Figura 1).



**Figura 1.** Estimación del número ideal de grupos genéticos de zapote negro con base en los valores delta K (k=1 a 4) usando el método de Evanno con el programa Structure Harvester.

En la Figura 2, se observan los coeficientes de ancestría de las 18 muestras analizadas en los dos genotipos estudiados, se aprecia que los individuos del genotipo uno que poseen fruto sin semilla (parteno-cárpico) formaron el grupo uno y los individuos del genotipo dos que poseen frutos con semilla formaron el grupo dos. En ambos grupos se observa que los individuos que integraron cada grupo poseen coeficientes de ancestría de 100%.



**Figura 2.** Prueba de asignación de individuos de dos genotipos de zapote negro donde se observa la formación de dos grupos genéticos. Los individuos del grupo I, se muestran en color rojo y en color verde los individuos del grupo II.

Los resultados del análisis de varianza molecular (AMOVA) se muestran en la Tabla 2. Se observó que el 75% de la diversidad genética total se distribuye entre los genotipos y el 25% dentro de los genotipos (Tabla 1). El índice de diferenciación genética total obtenido con el programa POPGENE fue de  $F_{ST} = 0.435$ .

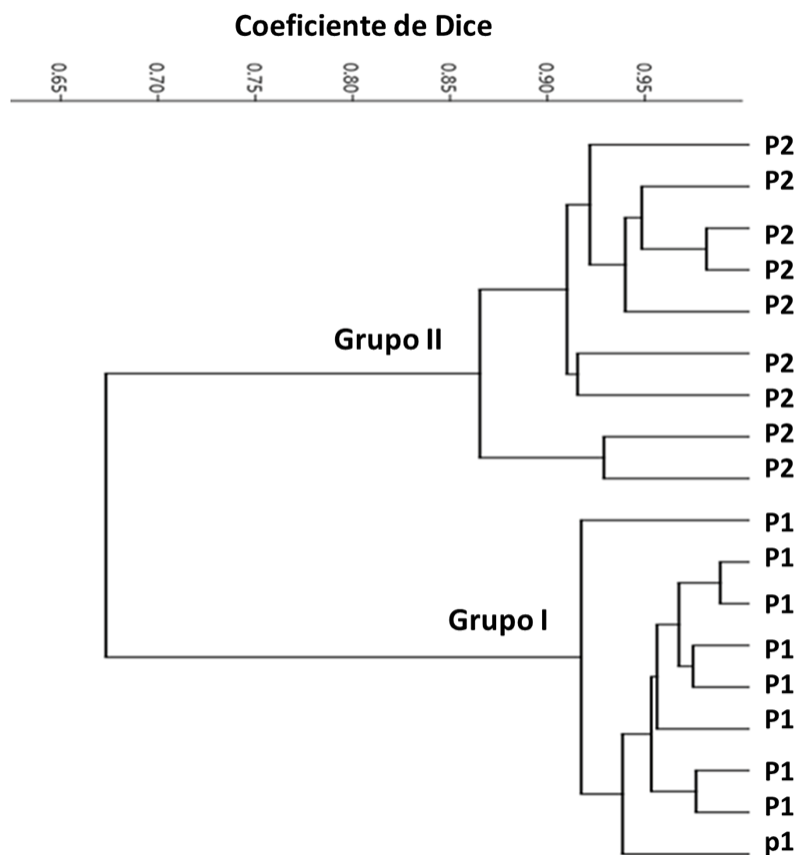
**Tabla 2.** Análisis de varianza molecular (AMOVA) de dos genotipos de zapote negro cultivados en Yucatán, México.

Fuente de variación	Df	SS	MS	%
Entre genotipos	1	90.22	90.22	75
Dentro de genotipos	16	50.44	3.15	25
Total	17	140.66		100

Df = grados de libertad; SS = suma de cuadrados; MS = cuadrados medios; % = porcentaje de variación.

### 3.2 Relaciones genéticas

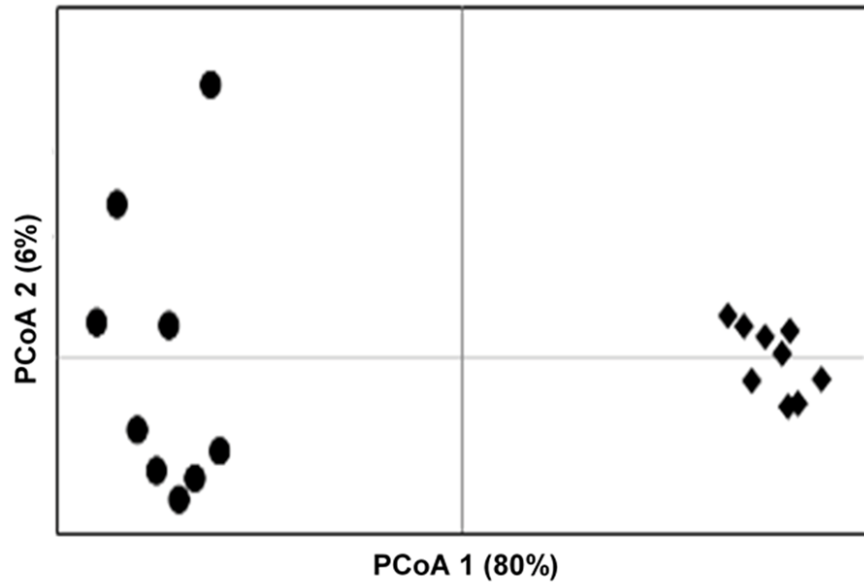
En la Figura 3, se muestra un patrón de agrupamiento general basado en la constitución genética de cada genotipo y no por su origen geográfico, se observó la conformación de dos principales grupos. El grupo 1 quedó integrado por los individuos del genotipo uno y el grupo 2, se integró con los individuos del genotipo dos.



**Figura 3.** Relaciones genéticas de dos genotipos de zapote negro cultivados en Yucatán, México.

El PCoA indicó que las dos primeras coordenadas principales explicaron el 88% de la variación total acumulada. La coordenada principal uno (PCoA 1), explicó 82% de la variación total acumulada, mientras que la segunda PCoA 2 explicó el 6% de la variación total acumulada (Figura 4). El resultado obtenido en el PCoA

da soporte al resultado del dendograma UPGMA al generar la formación de dos grupos principales con el 100% de similitud de correspondencia entre ambos análisis.



**Figura 4.** Análisis de coordenadas principales (PCoA) de dos genotipos de zapote negro cultivados en Yucatán, México. diamantes negros = grupo I; círculos negros = grupo II.

### 3.3 Diversidad genéticas

La diversidad genética fue analizada a nivel de genotipo y a nivel total (Tabla 3). Los 9 iniciadores ISSR evaluados generaron un total de 59 loci, de los cuales 26% fueron polimórficos. A nivel de genotipo, el genotipo dos presentó mayor porcentaje de loci polimórficos (%P=36) y mayor diversidad genética con los dos estimadores de diversidad evaluados ( $H_{bay}=0.34$  y  $I=0.19$ ). A nivel total se observaron niveles de diversidad genética que pueden ser considerados altos para la especie estudiada ( $H_{bay}=0.56$ ).

**Tabla 3.** Estimadores de riqueza alélica y diversidad genética de dos genotipos de zapote negro cultivados en Yucatán, México.

Genotipo	N	na	ne	#Loci	%P	Hbay	I
Genotipo I	9	0.81±0.09	1.10±0.03	59	17	0.29±0.03	0.09±0.02
Genotipo II	9	1.22±0.08	1.22±0.04	59	36	0.34±0.03	0.19±0.03
Total	18	1.07±0.06	1.16±0.02	59	26	0.56±0.02	0.14±0.01

N= Tamaño de muestra; na= número de alelos observados; ne=número de alelos efectivos; #Loci=número total de loci; %P=porcentaje de loci polimórfico; Hbay=Heterosigocidad promedio propuesto por Zhivotovsky; I=índice de diversidad genética de Shannon–Weaver.

## 4. Discusión

### 4.1 Estructura genética

Los resultados del análisis de estructura genética indican que los genotipos evaluados se encuentran en un proceso de diferenciación genética y que existe bajo o nulo flujo génico entre los individuos de cada genotipo estudiado, aspectos que pueden atribuirse al hecho de que los individuos pertenecientes al grupo uno poseen frutos sin semillas, característica que es deseable para los productores y por lo tanto, las plantas pertenecientes al genotipo uno están siendo seleccionados y propagados de forma clonal, lo cual podría estar generando cambios en la arquitectura de su genotipo o generar reducción de su diversidad genética lo que repercute de forma directa en la diferenciación genética con respecto a los individuos del grupo dos (18). Al ser la producción de semillas uno de los procesos evolutivos más exitosos en la evolución de las plantas (19).

La ausencia de semilla en frutos de los individuos del genotipo uno en comparación con los individuos del genotipo dos que presentan frutos con semilla, es una característica que puede estar influenciando la diferenciación genética de los dos genotipos como consecuencia de aislamiento reproductivo. Otro aspecto que puede estar involucrado en los altos niveles de estructura genética de los genotipos es su origen geográfico ya que los individuos del grupo uno fueron colectados en la región centro-norte del estado (Cholul, Yucatán), mientras que los individuos del grupo dos fueron colectados en la región sur del estado de Yucatán (Akil, Yucatán), lo cual limita el flujo genético que puede ocurrir entre los individuos de ambos grupos como una respuesta al aislamiento por distancia. Resultados similares son reportados por Yýldýz et al. (20) al observar dos grupos genéticos bien diferenciados en *Diospyros kaki*, una especie hermana del zapote negro. Turner et al. (21) al utilizar marcadores AFLPs, encontraron resultados similares en diferentes especies de *Diospyros* e indican que la divergencia observada no corresponde a ninguna hipótesis taxonómica, ecológica o patrón geográfico, por lo que sugieren realizar más estudios que involucren tanto datos morfológicos como ecológicos.

Por otro lado, Guan et al. (22), reportaron la formación de tres grupos genéticos al evaluar la diversidad y estructura genética de 228 poblaciones de *Diospyros kaki* Thunb., colectadas en diferentes regiones geográficas y resaltan la existencia de estructura geográfica al observar que las relaciones genéticas más estrechas se dieron entre las poblaciones más cercanas geográficamente, resultado similar al observado en este estudio. La mayor distribución de la diversidad genética entre genotipos observada en el AMOVA, concuerda con el alto valor de diferenciación genética obtenido ( $F_{ST} = 0.435$ ) e indica que la estructura genética es alta entre los genotipos evaluados y da soporte a los dos grupos observados en el análisis bayesiano (Figura 2). Resultados similares, fueron observados en poblaciones de *Diospyros rioje* Gómez Pompa (23) y *Diospyros kaki* (22), estos autores señalan que el alto valor de diferenciación genética está relacionado con la ubicación geográfica de los genotipos evaluados. Naval et al. (24) y Turner et al. (21) reportan resultados contrastantes a los obtenidos en este estudio, al observar que la mayor diversidad genética de los genotipos que evaluaron se distribuye al interior de los genotipos y la menor diversidad es distribuida entre los genotipos. La Mayor distribución de la diversidad genética entre los genotipos observada en este estudio, puede ser un indicativo de la existencia de un alto nivel de selección, efecto fundador o por efecto de la deriva genética a la que pueden estar

sujetas las poblaciones bajo manejo y cultivo (25). Debido a la importancia económica y nutricional que posee la especie estudiada y a la falta de variedades de zapote negro certificadas para ser utilizadas en plantaciones comerciales, los resultados de este estudio son de utilidad para avanzar en el desarrollo de variedades de zapote negro que puedan ser utilizadas en plantaciones comerciales y de esta manera generar mayores beneficios a los productores locales.

#### 4.2 Relaciones genéticas y diversidad genética

La formación de dos grupos en ambos análisis UPGMA y PCoA confirma que los genotipos se están diferenciando genéticamente; este resultado concuerda con lo reportado por Navarrete-Zapata et al. (26) quienes al hacer la caracterización morfológica de los dos genotipos de zapote negro que se evaluaron en este estudio, reportaron diferencias en las características morfológicas de hoja y fruto; además estos autores mencionan que los frutos del genotipo uno son más pesados, con forma oval y redonda, características que lo hacen más atractivo para el mercado. Por lo tanto, tomando en cuenta los resultados de este estudio y los resultados de Navarrete-Zapata et al. (26), los genotipos evaluados pueden ser considerados en un futuro como nuevas variedades de zapote negro si continúan bajo selección y propagación clonal. Sin embargo, es necesario establecer parcelas experimentales que permitan desarrollar más estudios sobre aspectos de morfología, productividad y evaluación del comportamiento en campo de estos dos genotipos, antes de ser considerados como variedades nuevas de zapote negro.

Los niveles de diversidad genética observados a nivel genotipo son similares a los reportados por Guan et al. (22) al estudiar la diversidad genética de *Diospyros kaki* Thunb, provenientes de diferentes regiones geográficas de China con marcadores SSR. Pero son superiores a lo reportado por Deng et al. (27) al estudiar los niveles de diversidad y relaciones genéticas en variedades locales y poblaciones naturales de cuatro especies de *Diospyros* con marcadores SCoT. A nivel total los resultados de diversidad genética observados superan lo reportado en estudios previos realizados en diferentes especies del género *Diospyros* (22,27) y resaltan la importancia de establecer estrategias de conservación y manejo para estos dos genotipos de zapote negro estudiados. A nivel de genotipos se observó mayor diversidad genética en el genotipo dos, esto puede ser atribuido a la presencia de semillas en el fruto ya que para que ocurra la formación de la semilla, primero ocurre la formación de los gametos lo que involucra recombinación y posteriormente durante la polinización se da el flujo de genes a través del intercambio de polen con otros individuos lo que puede originar mayor variabilidad.

### 5. Conclusiones

La diversidad genética del germoplasma de zapote negro evaluado está constituida de dos grupos diferenciados con base en su perfil genético que corresponden a cada uno de los genotipos evaluados. El análisis de varianza molecular indicó que la mayor diversidad está distribuida entre los genotipos y no dentro de los genotipos como se ha observado en otras especies de *Diospyros*. Se observaron niveles altos de diversidad genética en ambos genotipos, con la mayor

diversidad presente en el genotipo dos. A nivel total se observaron niveles de diversidad genética altos para la especie estudiada. Estos resultados podrían ayudar en la clasificación y determinación de nuevas variedades de zapote negro, así como para la conservación y utilización de los recursos de *Diospyros nigra* (J.F.Gmel.) Perr. & Perr. Se sugiere realizar más estudios que involucren datos morfológicos y fisicoquímicos de estos dos genotipos de tal manera que puedan ser clasificados como nuevas variedades de zapote negro, ya que permitiría el establecimiento de parcelas a nivel comercial.

**Materiales suplementarios:** La información suplementaria siguiente puede ser descargada en: <https://www.itescam.edu.mx/citeca/>

**Contribución de los autores:** RHAN: conceptualización, metodología, escritura, revisión y supervisión. RGH: conceptualización, revisión, edición del manuscrito y supervisión. LNMD: metodología, análisis de la información, escritura. DCC: adquisición de fondos, supervisión, revisión. LPL: conceptualización y revisión.

**Financiamiento:** Esta investigación recibió Fondos del Tecnológico Nacional de México con número de proyecto 6460.18-P, de la convocatoria apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica 2018.

**Agradecimientos:** Los autores agradecen al consejo nacional de ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada a la tercera autora con número de beca: 626891. Los autores agradecen al laboratorio de marcadores moleculares del Tecnológico de Conkal por las facilidades brindadas para el desarrollo del trabajo. Los autores agradecen a la M.C. Luciana Camacho Pérez por facilitar y editar las imágenes.

**Conflicto de intereses:** Los autores declaramos que no existe conflicto de intereses para la divulgación de los resultados, discusión, análisis de datos y conclusiones presentados en el presente trabajo.

## Referencias

1. CONABIO. Capital natural y bienestar social. Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. Redacta S.A. de C.V; 2006
2. Piñero, D., et al. La diversidad genética como instrumento para la conservación y el aprovechamiento de la biodiversidad: estudios en especies mexicanas. En CONABIO, México, Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad, p. 437-494.
3. Pimm SL, Russell GJ, Gittleman JL, Brooks TM. The Future of Biodiversity. Science. 1995; 269(5222):347–350. Available from: <http://science.sciencemag.org/content/269/5222/347>
4. Borys MW, Leszczyńska H. El potencial genético frutícola de la República Mexicana. México. Fundación Salvador Sánchez Colin. Cictamex S. C; 2001. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/23864>
5. Segura Ledesma S, Zavala Robles D, Equihua Cervantes C, Andrés Agustín J, Yopez Torres E. Los recursos genéticos de frutales en Michoacán. Revista Chapingo Serie horticultura. 2009;15(3):297–305. Available from: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1027-152X2009000500011&script=sci\\_abstract](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1027-152X2009000500011&script=sci_abstract)
6. Duarte, O. and Paull, R.E. Exotic fruits and nuts of the new world. Tracy head editors. 2015
7. Morton, J. F. Fruits of Warm Climates. Miami, Florida. U.S.A.1987
8. Miller WR, Sharp JL, Baldwin E. Quality of irradiated and nonirradiated black sapote (*Diospyros digyna* Jacq.) after storage and ripening. Proceedings of the annual meeting of the Florida State Horticultural Society. 1998; 110:215-218. Available from: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201302915955>
9. Yahia EM, Gutierrez-Orozco F, Leon CA. Phytochemical and antioxidant characterization of the fruit of black sapote (*Diospyros digyna* Jacq.). Food Research International. 2011;44(7):2210–6. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0963996910004588>

10. Yao H, Zhao Y, Chen DF, Chen JK, Zhou TS. ISSR primer screening and preliminary evaluation of genetic diversity in wild populations of *Gycyrrhiza uralensis*. *Biologia plantarum*. 2008;52(1):117–20. Available from: <https://bp.ueb.cas.cz/pdfs/bpl/2008/01/22.pdf>
11. Dias GB, Gomes VM, Moraes TMS, Zottich UP, Rabelo GR, Carvalho AO, et al. Characterization of Capsicum species using anatomical and molecular data. *Genetics and Molecular Research*. 2013;12(4):6488–6501. Available from: <https://www.geneticsmr.org/articles/characterization-of-capsicum-species-using-anatomical-and-molecular-data.pdf>
12. Evanno G, Regnaut S, Goudet J. Detecting the number of clusters of individuals using the software structure: a simulation study. *Molecular Ecology*. 2005;14(8):2611–2620.
13. Earl DA, vonHoldt BM. STRUCTURE HARVESTER: a website and program for visualizing STRUCTURE output and implementing the Evanno method. *Conservation Genetics Resources*. 2011;4(2):359–361. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12686-011-9548-7>
14. Yeh F, Yang R-C. POPGENE VERSION 1.31 Microsoft Window-based Freeware for Population Genetic Analysis Quick User Guide A joint Project Development. 1999. Available from: <https://sites.ualberta.ca/~fyeh/popgene.pdf>
15. Hammer D, Ryan P, Hammer Ø, Harper D, Museum Ø, Voldgade. Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*. 2001;4(1):1-9. Available from: [https://palaeo-electronica.org/2001\\_1/past/past.pdf](https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/past.pdf)
16. Peakall R, Smouse PE. GenAlEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research--an update. *Bioinformatics*. 2012; 28(19):2537–2539.
17. Vekemans X. AFLP-SURV Version 1.0 Distributed by the Author. Laboratoire de Génétique et Ecologie Végétale, Université Libre de Bruxelles, Belgium. 2002. Available from: <https://www.scienceopen.com/document?vid=38fdc617-700f-494a-8f26-d5be51a4f0a6>
18. Mckey D, Elias M, Pujol B, Duputié A. The evolutionary ecology of clonally propagated domesticated plants. *New Phytologist*. 2010;186(2):318–332.
19. Linkies A, Graeber K, Knight C, Leubner-Metzger G. The evolution of seeds. *New Phytologist*. 2010; 186(4):817–31.
20. Yýldýz M, Bayazýt S, Cebesoy S, Aras S. Molecular diversity in persimmon (*Diospyros kaki* L.) cultivars growing around Hatay province in Turkey. *African Journal of Biotechnology*. 2007;6(20). Available from: <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/58065>
21. Turner B, Paun O, Munzinger J, Duangjai S, Chase MW, Samuel R. Analyses of amplified fragment length polymorphisms (AFLP) indicate rapid radiation of *Diospyros* species (Ebenaceae) endemic to New Caledonia. *BMC Evolutionary Biology*. 2013;13(1):269; 1-15.
22. Guan C, Liu S, Wang M, Ji H, Ruan X, Wang R, et al. Comparative transcriptomic analysis reveals genetic divergence and domestication genes in *Diospyros*. *BMC Plant Biology*. 2019;19(227) 1-14. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6543618/>
23. Provance MC, García-Ruiz I, Thommes C, Ross-Ibarra J. Population genetics and ethnobotany of cultivated *Diospyros riojae* Gómez Pompa (Ebenaceae), an endangered fruit crop from Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2013;60(7):2171–2182. Available from: <https://ipn.elsevierpure.com/es/publications/population-genetics-and-ethnobotany-of-cultivated-diospyros-rioja-2>
24. Naval M del M, Zuriaga E, Pecchioli S, Llácer G, Giordani E, Badenes ML. Analysis of genetic diversity among persimmon cultivars using microsatellite markers. *Tree Genetics & Genomes*. 2010; 6(5):677–687.
25. Yonemori K, Honsho C, Kitajima A, Aradhya M, Giordani E, Bellini E, et al. Relationship of European persimmon (*Diospyros kaki* Thunb.) cultivars to Asian cultivars, characterized using AFLPs. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2008;55(1):81–9.
26. Navarrete-Zapata CN, Villanueva-Couoh E, Cituk-Chan DE, Pinzón-López LL. Caracterización morfológica y fases de maduración del zapote negro (*Diospyros digyna* Jacq.). *Agro Productividad*. 2020; 8:13(7).
27. Deng L, Liang Q, He X, Luo C, Chen H, Qin Z. Investigation and Analysis of Genetic Diversity of *Diospyros* Germplasms Using SCoT Molecular Markers in Guangxi, PLOS ONE. 2015;10(8): 1-13. e0136510.

