

# Diversidad genética: la caja de herramientas ante las adversidades

## *Genetic diversity: toolbox in the face of adversity*

*Vanessa Izaguirre Toriz, Jonás A. Aguirre-Liguori y Antonio González Rodríguez*

---

### Resumen

La diversidad genética es clave para que las poblaciones naturales puedan enfrentar los cambios que los seres humanos hemos causado en nuestro planeta, como son la crisis climática y el cambio de uso de suelo. Hoy en día, es posible evaluar la susceptibilidad de dichas poblaciones ante los efectos de estos disturbios y, con esta información, proponer acciones para su preservación. En este trabajo contamos dos ejemplos de cómo utilizando un nuevo método (la métrica de compensación genómica), junto con el uso de datos climáticos, logramos evaluar el grado de vulnerabilidad de dos especies mexicanas muy importantes, un pino y el maíz (*Pinus leiophylla* y *Zea mays*), proponiendo estrategias de conservación que permitan su supervivencia.

**Palabras clave:** diversidad biológica, diversidad genética, conservación, cambio climático, cambio de uso de suelo.

### CÓMO CITAR ESTE TRABAJO

Izaguirre Toriz, V., Aguirre-Liguori, J. A., y González Rodríguez, A. (2026, mayo-julio). Diversidad genética: la caja de herramientas ante las adversidades. *Revista Digital Universitaria (RDU)*, 27(2). <http://doi.org/10.22201/ceide.16076079e.2026.27.2.1>

---

### Abstract

Genetic diversity is key for natural populations to cope with the changes that humans have caused on our planet, such as the climate crisis and land use change. Today, it is possible to assess the susceptibility of populations to the effects of these disturbances and, with this information, propose actions for their preservation. In this paper, we present two examples of how, using a new method (the genomic offset), along with climate data, we assessed the degree of vulnerability of two very important Mexican species, a pine and corn (*Pinus leiophylla* and *Zea mays*), proposing conservation strategies that will enable their survival.

**Keywords:** biological diversity, genetic diversity, conservation, climate change, land use change.

**Vanessa Izaguirre Toriz**

*Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Morelia, Michoacán, México*

Licenciada en Ecología por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y maestra en ciencias por el Posgrado en Ciencias Biológicas de la misma institución. Actualmente cursa sus estudios de doctorado en el citado programa, dentro del Laboratorio de Genética de la Conservación. Sus áreas de estudio abarcan la evolución; la genómica; la adaptación local, y la bioinformática. Su línea de investigación se centra en comprender los procesos de evolución y adaptación de los organismos frente a los efectos del cambio climático y otros disturbios de origen antropogénico. El objetivo de su trabajo es aprovechar tal conocimiento para diseñar estrategias que contribuyan a la conservación de los ecosistemas.

 [vizaguirre@cieco.unam.mx](mailto:vizaguirre@cieco.unam.mx)

 <https://orcid.org/0009-0007-9894-020X>

**Jonás A. Aguirre-Liguori**

*Universidad Autónoma de Yucatán, Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Departamento de Ecología Tropical, Mérida, Yucatán, México*

Biólogo por la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Obtuvo el grado de doctor en el Laboratorio de Evolución Molecular y Experimental del Instituto de Ecología; posteriormente, realizó una estancia posdoctoral en la Universidad de California, Irvine, en el laboratorio del doctor Brandon Gaut. Actualmente se desempeña como profesor de tiempo completo en el Departamento de Ecología Tropical de la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY) y pertenece al Sistema Nacional de Investigadores (SNI) nivel I. Ha estudiado la genómica evolutiva de plantas domesticadas y sus parientes silvestres, como el teosinte, la calabaza y las uvas. Desarrolla una aproximación que utiliza múltiples fuentes de información genómica, ecológica y datos climáticos para entender cómo las especies responderán al cambio climático; asimismo, busca identificar poblaciones prioritarias para su conservación y manejo.

 [jonas.aguirre@correo.uady.mx](mailto:jonas.aguirre@correo.uady.mx)

 <https://orcid.org/0000-0003-1763-044X>

**Antonio González Rodríguez**

*Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Laboratorio Nacional de Innovación Ecotecnológica para la Sustentabilidad, Morelia, Michoacán, México*

Ecólogo molecular egresado de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Recibió el grado de doctor en ciencias por el programa de Doctorado en Ciencias Biomédicas de la UNAM en 2004. En 2007 ingresó al Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad (IIES) de la UNAM, donde desde 2024 se desempeña como investigador titular C; asimismo, es miembro nivel III del Sistema Nacional de Investigadores (SNI). Su trabajo integra genética de poblaciones, filogeografía, genómica y ecología para entender los efectos de las perturbaciones humanas sobre diversas especies. El mayor énfasis de sus estudios radica en los árboles de los bosques templados mexicanos, dada su importancia ecológica y económica; no obstante, también analiza otros sistemas, entre los que se incluyen algunas especies de plantas tropicales e insectos.

 [agrodrig@iies.unam.mx](mailto:agrodrig@iies.unam.mx)

 <https://orcid.org/0000-0002-6196-7288>

 [www.iies.unam.mx/laboratorios/genetica-conservacion/](http://www.iies.unam.mx/laboratorios/genetica-conservacion/)

## La importancia de la diversidad biológica y la diversidad genética

La *diversidad biológica* o *biodiversidad* se refiere al conjunto total de seres vivos que habitan el planeta, desde las pequeñas bacterias hasta las enormes ballenas. Todos los seres vivos que te puedas imaginar son el resultado de miles de millones de años de evolución, lo cual ha dado forma a la biodiversidad que hoy conocemos.

Tan sólo basta con observar a nuestro alrededor, los insectos que polinizan las flores, las aves que cantan y los grandes árboles que brindan sombra. Toda esa variedad de formas de vida —y las pequeñas diferencias entre los individuos dentro de cada especie— sostiene el equilibrio del planeta.

La diversidad biológica puede dividirse en tres grandes categorías: la diversidad genética, la diversidad de especies y la diversidad de ecosistemas. En este artículo haremos un recorrido por el componente más básico de la diversidad biológica: la *diversidad genética*, que se refiere a toda aquella variación heredable de cada individuo dentro de una población. Pero ¿cómo se guarda esta variación dentro de los organismos? Se almacena en el *genoma*, el cual es el conjunto de material genético de los individuos. El genoma a su vez se compone por *genes*, que son los encargados de portar la información que determina nuestros rasgos. Por su parte, los genes pueden tener distintas variantes, conocidas como *alelos*.

Los *alelos* son las versiones alternativas que tiene un gen para un mismo rasgo o carácter. Pensemos en todas las características que tienen las personas que conoces. Algunas tienen ojos verdes y otras marrones, su cabello puede ser lacio o rizado, o incluso algunas son más o menos resistentes a alguna enfermedad. Todos estos rasgos son una expresión de la diversidad genética, es decir, de la variedad de formas (alelos) que existen para los genes en la población. Entre más variables sean las características heredables entre los individuos, —es decir, mayor cantidad de alelos exista para cada característica—, más diversa será una población.

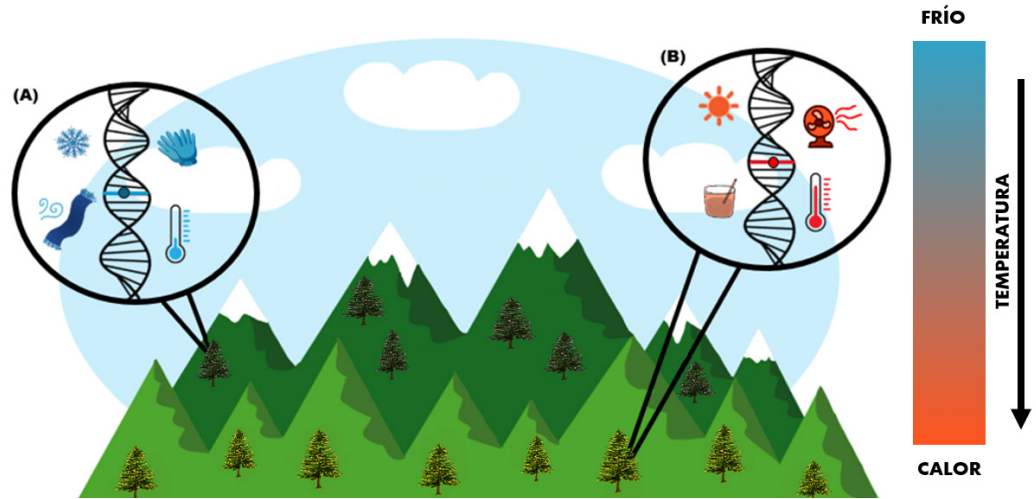
Por esto, la diversidad genética se vuelve fundamental para la supervivencia de las poblaciones, porque proporciona los atributos necesarios para enfrentarse a las siempre cambiantes condiciones del entorno. Imaginemos a la diversidad genética como una caja de herramientas: entre más herramientas tenga una población, más fácil será encontrar la forma de afrontar un nuevo desafío en el ambiente. Ahí es donde radica uno de los aspectos que la hacen tan importante en la adaptación y la supervivencia de las poblaciones y las especies ante los cambios ambientales (ver figura 1).



Desafortunadamente, en la actualidad, conservar la diversidad genética y la biodiversidad en general se ha convertido en un enorme desafío, debido a diversos factores que como seres humanos estamos induciendo.

**Figura 1.** En esta imagen se muestra un ejemplo de cómo la diversidad genética de una especie de pino permite la adaptación a distintas condiciones de temperatura. Aunque se trata de la misma especie, en la población de mayores altitudes (A), se observa cómo, debido a diferencias genéticas, los individuos tienen las características necesarias para vivir en condiciones con temperaturas más bajas mientras que en (B), a menores altitudes, los individuos presentan características que les permiten vivir en condiciones con temperaturas más altas.

**Créditos:** ilustración original realizada por Paulette Quintana y Vanessa Izaguirre.

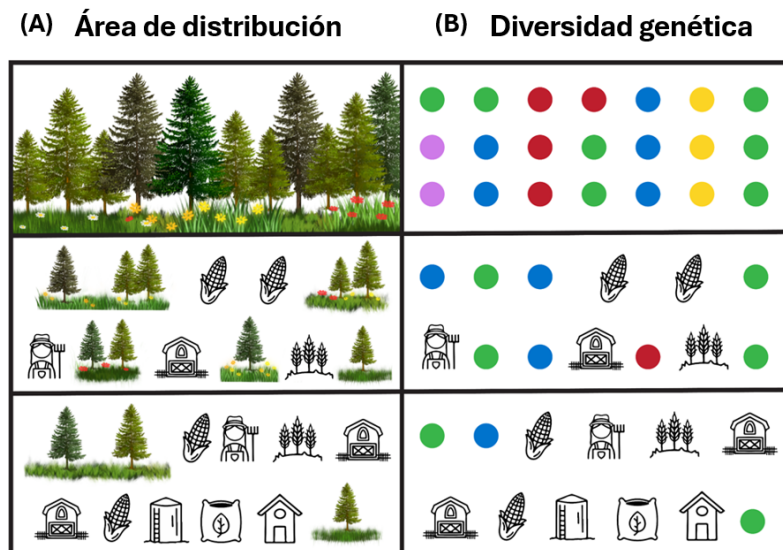


## Factores que amenazan la biodiversidad

Hoy en día muchas de las actividades que realizamos han causado un declive en la biodiversidad global. Fenómenos como el acelerado cambio climático y la transformación de las zonas naturales para actividades humanas, como la agricultura o vivienda (conocido esto como *cambio de uso de suelo*) amenazan la supervivencia de las especies reduciendo la cantidad de hábitat que pueden ocupar, así como los recursos disponibles. Esto resulta en un menor número de individuos, es decir, una disminución en el tamaño de las poblaciones y, por consecuencia, una menor cantidad de diversidad genética (ver figura 2).

**Figura 2.** (A) Ejemplo de cómo las actividades humanas cambian el uso de suelo y ocasionan una reducción en el hábitat de las especies silvestres, disminuyendo la cantidad de individuos y con ello la diversidad genética que contienen. (B) Cada círculo de colores representa las variantes genéticas de cada individuo; se observa que al perderse esas variantes hay una menor cantidad de riqueza genética.

**Créditos:** ilustración original realizada por Paulette Quintana y Vanessa Izaguirre.



Este decremento en la diversidad genética hace que sea aún más difícil para las poblaciones sobrevivir a los cambios que están ocurriendo en su entorno, ya que cuentan con menos herramientas disponibles para adaptarse a las diferentes condiciones en las que habitan. Por eso, entender si las poblaciones cuentan con suficiente diversidad genética para sobrevivir ante las amenazas es crucial para conservarlas. Pero ¿cómo hacemos esto?

## La era de las bases de datos, la bioinformática y la genómica de la conservación

Afortunadamente, en los últimos años se han desarrollado metodologías increíbles para el estudio de la biodiversidad. Con el uso de métodos de análisis bioinformáticos<sup>1</sup> podemos identificar cuáles son las poblaciones que albergan una mayor diversidad genética y que, por ende, tienen más herramientas para sobrevivir.

De manera similar ha avanzado nuestro entendimiento del clima. Actualmente contamos con bases de datos que nos permiten conocer las condiciones climáticas en cualquier sitio del planeta y crear modelos para predecir como será el clima en el futuro<sup>2</sup> (puedes visitar <https://www.worldclim.org> para conocer cómo ha cambiado el clima en distintas épocas).

De esta forma, si juntamos la información que tenemos disponible sobre la variación genética de las especies, así como del clima actual y las predicciones del clima futuro, podemos identificar las poblaciones que albergan la diversidad genética necesaria para enfrentarse al cambio climático. Esto se puede obtener con una nueva métrica, la cual conoceremos en la siguiente sección.

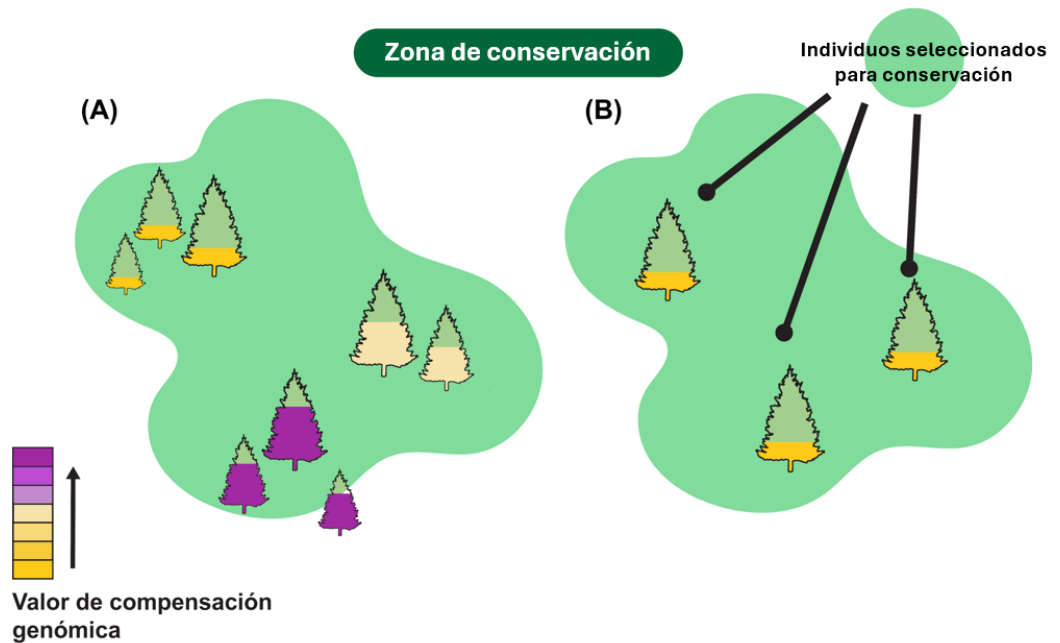
## El cambio climático y el futuro de las especies

Recientemente, se han desarrollado una serie de métodos que permiten obtener una medida llamada *compensación genómica* de las poblaciones (*genomic offset* en inglés). Esta métrica es una manera de medir cuánto tendría que cambiar una población para adaptarse al clima futuro según su riqueza genética: entre menor sea la diversidad genética de las poblaciones, menos herramientas tendrán para adaptarse y por lo tanto menos posibilidades para sobrevivir a las condiciones climáticas del futuro (ver figura 3; Fitzpatrick y Keller, 2015). Por esta razón, el mantener la diversidad genética adaptativa se vuelve clave para el futuro de las poblaciones.

<sup>1</sup> Estos son análisis que hacen uso de herramientas computacionales para entender procesos biológicos.

<sup>2</sup> Estos análisis hacen uso de los datos tanto del pasado como del presente de las emisiones de gases de efecto invernadero arrojados en la atmósfera, para predecir como será su trayectoria futura.

**Figura 3.** Ejemplo de compensación genómica para estrategias de conservación. En el panel (A) se muestran poblaciones con diferentes valores de compensación genómica, un valor alto (morado), intermedio (beige) y bajo (amarillo). La cantidad de cambio necesario para adaptarse a las condiciones climáticas futuras será mucho mayor en la población con un alto valor de compensación genómica (morada). En (B) se observa que aquellos individuos seleccionados para estrategias de conservación fueron los provenientes de una población que tendrá bajos niveles de compensación genómica y por lo tanto tendrán una mayor probabilidad para adaptarse al cambio ambiental.



Sin embargo, para aquellas poblaciones donde existe un alto valor de compensación genómica, el adaptarse a las nuevas condiciones no será sencillo. Para que las poblaciones logren adaptarse es necesario que se incorporen nuevas variantes genéticas que les permitan sobrevivir. Estas fuentes de variabilidad están dadas principalmente por mutaciones (al surgir cambios al azar en el ADN de los organismos creando nuevos alelos, es decir, nuevas variantes de cada gen), eventos de migración, en los que la llegada de individuos desde otros lugares trae nuevos alelos a la población, o por recombinación genética (imaginemos esto como cuando mezclamos dos colores para obtener uno nuevo, supongamos el azul y amarillo dando como resultado el color verde. Lo mismo sucede aquí, el material genético de los progenitores se mezcla entre sí, dando como resultado una nueva combinación de genes a los descendientes). Desafortunadamente, estos procesos, en su mayoría, requieren de cientos, sino es que miles o millones de años para que sucedan, lo que ocasiona que las poblaciones no puedan adaptarse a la misma velocidad con la que el clima está cambiando actualmente.

Si consideramos que será muy complicado que muchas especies y poblaciones se adapten por sí solas en el futuro, será necesario proponer estrategias de conservación que aseguren su supervivencia. Estas estrategias se han propuesto como acciones de *migración asistida*, es decir, realizadas con intervención humana, moviendo a los individuos más susceptibles al cambio climático a sitios más adecuados para su persistencia o, alternativamente, seleccionando individuos que posean las variantes genéticas que les permitan adaptarse a las condiciones climáticas futuras. Estos individuos pueden

**Créditos:** ilustración original realizada por Paulette Quintana y Vanessa Izaguirre.

introducirse y cruzarse con individuos que se encuentran en las poblaciones más vulnerables, lo que puede lograrse ya sea moviendo a los individuos completos o utilizando propágulos,<sup>3</sup> como polen o semillas, para imitar la dispersión natural, aumentando de esta forma las posibilidades de persistencia de las especies.

En México se han realizado distintos estudios que utilizan la compensación genómica para la conservación de las especies. A continuación, nos adentraremos en dos casos en los que se han estudiado plantas con las que seguramente te encuentras muy familiarizado: el pino y el maíz.

## La compensación genética en acción: dos estudios para la preservación de la biodiversidad

### *Conservando los bosques templados del estado de Michoacán, México*

Muchos hemos ido a una caminata por los bosques templados, rodeados por majestuosas montañas, en medio de enormes pinos, encinos y oyameles, disfrutando de un clima fresco. Si lo has hecho y has puesto atención, seguramente te habrás encontrado con una multitud de plantas y animales, como ardillas y aves posadas sobre las ramas. Asimismo, estos bosques proporcionan innumerables beneficios para el bienestar humano, como la regulación del ciclo del agua y de los ciclos globales de elementos importantísimos para la vida, como el carbono, el nitrógeno y el fósforo, la purificación del aire, entre otros, por lo que conservarlos es de vital importancia.

Aquí es donde empieza nuestra primera historia, en un bosque templado del estado de Michoacán, México, donde un grupo de científicas y científicos, preocupados por la conservación de este increíble ecosistema, se dio a la tarea de recolectar muestras de hojas. Lo que buscan no se ve a simple vista: quieren conocer la diversidad genética escondida en el ADN de los árboles, para saber si resistirán el cambio climático en el futuro. Además, este bosque presenta otra gran amenaza: la deforestación para instalar cultivos como el aguacate y otros productos.

Michoacán es el principal productor de aguacate en el mundo, con aproximadamente 1.9 millones de toneladas al año para el 2022, según el Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2023). Desafortunadamente, la expansión de este cultivo ocasiona deforestación, convirtiendo al bosque en pequeños parches intercalados entre los huertos (si te interesa explorar cómo se ha expandido el cultivo de aguacate en la región, estas plataformas te lo muestra en mapas interactivos <https://www.dynamicworld.app> y [ciga, Atlas del Proyecto persea](#)). Aparte de eso, este bosque es también muy susceptible a los cambios

<sup>3</sup>Son partes de las plantas que pueden transformarse en nuevos individuos.

de temperatura y precipitación ocasionados por el cambio climático. En otras palabras, enfrenta una doble amenaza: el cambio climático y el cambio de uso de suelo, que ocasionan una disminución en sus poblaciones y, como ya hemos visto, en la diversidad genética.

Para poder llevar a cabo su estudio, las científicas y científicos utilizaron al pino tlacote u ocote chino (*Pinus leiophylla*), con el objetivo de saber cuáles serán las poblaciones menos vulnerables ante ambas amenazas, y proponer áreas de conservación que permitan que este bosque continúe con vida.

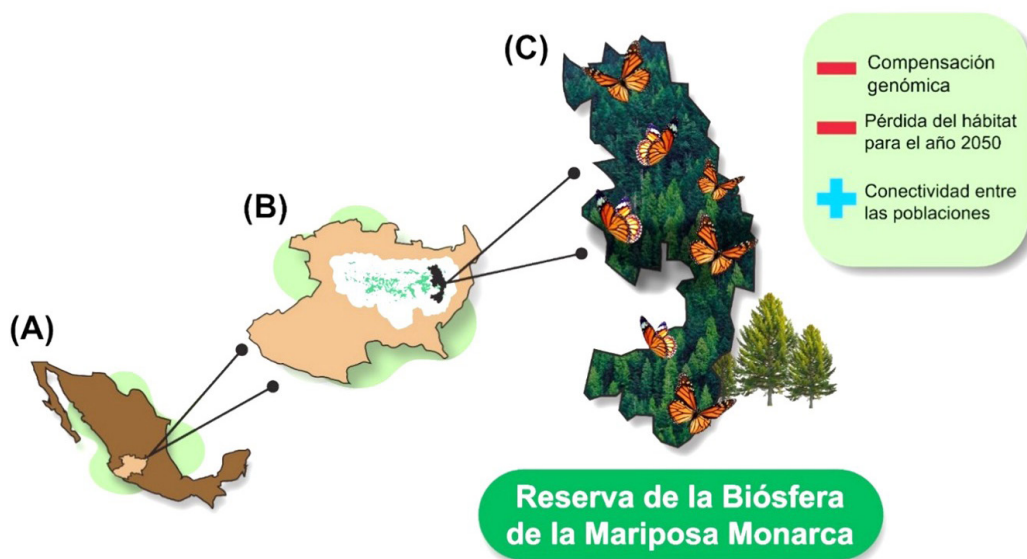
¡Y así comenzaron su trabajo! Primero colectaron muestras del pino tlacote por toda la franja aguacatera del estado de Michoacán (ver figura 4). Gracias al análisis de estas muestras obtuvieron los valores de compensación genómica de las poblaciones y, por otra parte, predijeron cuáles serían las áreas en donde seguirá ocurriendo la expansión de los huertos de aguacate para el año 2050. Además, también quisieron saber cómo sería afectada la conectividad entre los parches de bosque, (es decir, qué tan fácil o difícil resulta para los individuos moverse de una población a otra, dependiendo de las condiciones del hábitat). Una alta conectividad evita que las poblaciones queden aisladas y pierdan diversidad genética al no llegar nuevos alelos por migración.

Finalmente, integrando estos tres componentes (métrica de compensación genómica, pronóstico de la expansión futura de los huertos de aguacate y conectividad entre los parches de bosque), las científicas y los científicos encontraron que las poblaciones menos vulnerables serían aquellas ubicadas al este de la franja aguacatera (ver figura 4). Esta área incluye poblaciones que podrían adaptarse bien a los cambios ambientales futuros y que serán menos susceptibles a la extinción por el cambio de uso de suelo, manteniendo la conectividad entre parches. Además, esta zona abarca la Reserva de la Biosfera de la Mariposa Monarca, un sitio que proporciona refugio durante el invierno a las mariposas que migran desde Canadá y Estados Unidos, así como una gran cantidad de servicios ecosistémicos y culturales, por lo que su mantenimiento es clave para la conservación de la biodiversidad y el bienestar humano (Izaguirre-Toriz et al., 2024).

De esta forma las y los investigadores encontraron una manera de proponer estrategias para combatir el daño causado por el cambio climático y el cambio de uso de suelo en los bosques templados de Michoacán, al definir zonas donde será de vital importancia establecer propuestas que frenen la deforestación de estos bosques, dado que albergan poblaciones resistentes a dichos disturbios, ¿te imaginas un día de muertos sin el simbolismo de las mariposas monarcas en nuestro país?

**Figura 4.** Áreas para la conservación en la franja aguacatera en el estado de Michoacán. **(A)** Localización del estado de Michoacán, México. **(B)** Localización de la franja aguacatera dentro del estado de Michoacán. En color verde vemos los fragmentos de bosque en la franja aguacatera, mientras que en negro el área de la Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca (RBMM). **(C)** RBMM como área prioritaria para la conservación de *Pinus leiophylla*. Estas poblaciones tienen menos valores de compensación genómica, menor pérdida de hábitat y una mayor conectividad entre las poblaciones.

**Crédito:** ilustración original realizada por Paulette Quintana y Vanessa Izaguirre.



### *Los teosintes al rescate del maíz*

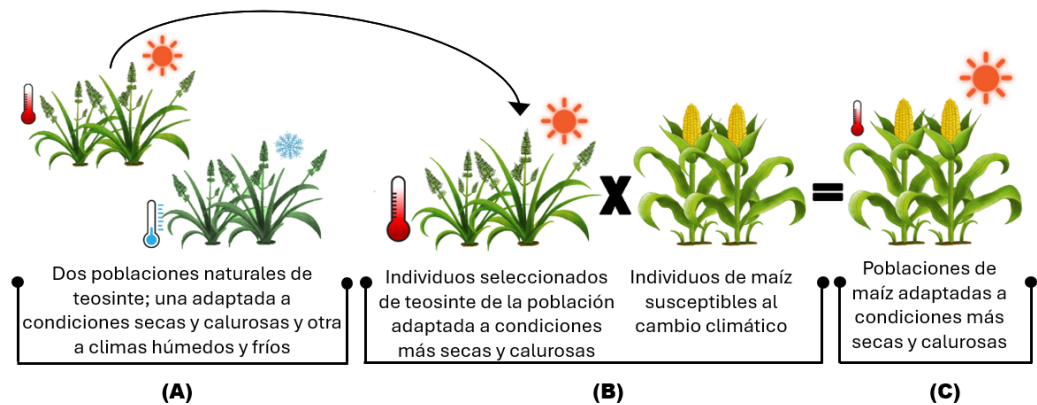
El maíz es la base de nuestra alimentación y un gran número de deliciosos platillos no serían posibles si no existiera. ¿Te imaginas una vida sin pozole, tortillas, chalupas, tamales, o unos sabrosos tacos? Bueno, pues todo esto podría suceder debido a los efectos del cambio climático. Desafortunadamente, en los últimos años, los cultivos de maíz se han enfrentado a temperaturas cada vez mayores a las que nuestros maíces no están acostumbrados, poniendo en gran peligro su supervivencia.

Para prevenir esto, un grupo de investigadoras e investigadores en el trabajo realizado por Aguirre-Liguori et al. (2019) decidió buscar soluciones utilizando la métrica de compensación genómica. Para ello, estudiaron a los parientes más cercanos del maíz, los teosintes *Zea mays* subespecie mexicana que habita en tierras altas y *Zea mays* subespecie *parviglumis*, perteneciente a las tierras bajas. Los teosintes, al estar estrechamente emparentados con el maíz, son genéticamente parecidos, y pueden cruzarse e introducir nuevas variantes genéticas adaptativas a los cultivos más susceptibles al cambio climático, favoreciendo su persistencia.

Las y los investigadores encontraron algo fascinante: de acuerdo con sus datos, algunas poblaciones de los teosintes de tierras altas portan variantes genéticas que las hacen más resistentes al aumento de las temperaturas. Estas variantes podrían usarse como una fuente de diversidad genética, al introducirlas en las poblaciones de maíz, rescatándolas ante los efectos del cambio climático, contribuyendo así a su supervivencia y a nuestra seguridad alimentaria.

Fue de este modo que mostraron que este tipo de experimentos entre parientes silvestres y especies domesticadas puede ser un mecanismo muy útil para introducir variabilidad genética a las poblaciones más vulnerables (ver figura 5), evitando la pérdida de tan importante alimento y asegurando nuestras placenteras comidas mexicanas.

**Figura 5.** (A) Ejemplo de una introducción de diversidad genética adaptativa a partir de especies de teosintes con características específicas. (B) Hay cruzamiento entre poblaciones de teosintes adaptadas y poblaciones susceptibles de maíz. (C) Con ello se obtienen individuos más resistentes a los efectos del cambio climático.



**Créditos:** ilustración original realizada por Paulette Quintana y Vanessa Izaguirre.

## Un manejo responsable hace un mundo más diverso

El uso de los métodos que miden la compensación genómica y la vulnerabilidad al cambio climático es innovador, ya que nos abre la posibilidad de conocer cómo será la respuesta de las poblaciones en el futuro. Esto es importante dado que, con la crisis ambiental que los seres humanos estamos provocando, se ha ocasionado un declive de la biodiversidad a niveles alarmantes, poniendo en peligro la vida de muchas de las especies que conocemos. No olvidemos que como sociedad tenemos una responsabilidad colectiva con el planeta y con todos los seres con los que lo compartimos, por lo que estudiar y conocer la biodiversidad que nos rodea es clave para proponer soluciones y estrategias de conservación.

Si te interesa conocer más sobre el tema, te invitamos a que conozcas nuestro laboratorio **Genética de la conservación, IIES, UNAM, Campus Morelia**, en el que podrás conocer más sobre estos y otros proyectos de conservación que actualmente estamos llevando a cabo, y donde por supuesto podrás involucrarte si así lo deseas.

### Agradecimientos

Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT), Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA), Universidad Nacional Autónoma de México, proyecto IN219223.

## Referencias

- ❖ Aguirre-Liguori, J. A., Ramírez-Barahona, S., Tiffin, P., y Eguiarte, L. E. (2019). Climate change is predicted to disrupt patterns of local adaptation in wild and cultivated maize. *Proceedings of the Royal Society B*, 286(1906), 20190486. <https://doi.org/10.1098/rspb.2019.0486>
- ❖ Laboratorio Universitario de Drones. (2022). *Atlas del Proyecto PERSEA*. CIGA, UNAM. Recuperado el 8 de septiembre de 2025, de <https://tinyurl.com/3twpy9h7>
- ❖ Dynamic World - 10m global land cover dataset in Google Earth Engine. (s.f.). Recuperado el 24 de noviembre de 2025 de <https://www.dynamicworld.app/>
- ❖ Fitzpatrick, M. C., y Keller, S. R. (2015). Ecological genomics meets community-level modelling of biodiversity: Mapping the genomic landscape of current and future environmental adaptation. *Ecology Letters*, 18(1), 1-16. <https://doi.org/10.1111/ele.12376>
- ❖ Izaguirre-Toriz, V., Aguirre-Liguori, J. A., Latorre-Cárdenas, M. C., Arima, E. Y., y González-Rodríguez, A. (2024). Local adaptation of *Pinus leiophylla* under climate and land use change models in the Avocado Belt of Michoacán. *Molecular Ecology*, 33(13), e17424. <https://doi.org/10.1111/mec.17424>
- ❖ Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2023). *Panorama Agroalimentario 2023*. Recuperado el 12 de julio de 2024 de [https://nube.agricultura.gob.mx/panorama\\_siap/](https://nube.agricultura.gob.mx/panorama_siap/)
- ❖ WorldClim. (s.f.). Recuperado el 24 de noviembre de 2025 de <https://www.worldclim.org>

