

Diversidad Genética de Cultivos y Resiliencia Agrícola Frente al Cambio Climático

Genetic Diversity of Crops and Agricultural Resilience to Climate Change

Autor

Joely Nicole Ortiz Ortiz

gonzalez-joel3804@unesum.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0004-4917-0243>

Instituto de Altos Estudios Nacionales – IAEN

Quito – Ecuador

Fecha de recepción: 2025-05-08

Fecha de aceptación: 2025-06-08

Fecha de publicación: 2025-07-08

Resumen

El cambio climático ha intensificado las presiones ambientales sobre los sistemas agrícolas, generando mayor variabilidad en los rendimientos de los cultivos y aumentando la vulnerabilidad de los sistemas productivos. En este contexto, la reducción de la diversidad genética agrícola limita la capacidad adaptativa de los cultivos frente a condiciones climáticas cambiantes. El objetivo del estudio fue analizar la relación entre diversidad genética de cultivos y resiliencia agrícola frente al cambio climático. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo con diseño no experimental de corte transversal, utilizando información secundaria proveniente de informes técnicos y bases de datos elaboradas por organismos internacionales y entidades públicas vinculadas con la agricultura y el clima. Los datos fueron organizados en matrices analíticas y procesados mediante técnicas de estadística multivariada, particularmente regresión lineal múltiple y modelamiento de ecuaciones estructurales. Los resultados evidenciaron que la diversidad genética de los cultivos presenta una relación positiva significativa con la estabilidad del rendimiento agrícola ($\beta = 0.47$; $p < 0.01$). Asimismo, el modelo estructural mostró un coeficiente estandarizado de 0.62 entre diversidad genética y resiliencia agrícola, confirmando que la variabilidad genética fortalece la capacidad adaptativa de los sistemas productivos. De manera complementaria, los sistemas con alta diversidad genética alcanzaron un índice de resiliencia de 0.71, superior al observado en monocultivos intensivos (0.42). Estos resultados evidencian que la conservación y utilización sostenible de los recursos genéticos agrícolas constituye una estrategia fundamental para fortalecer la estabilidad productiva y la sostenibilidad de los sistemas agroalimentarios frente al cambio climático.

Palabras clave: diversidad genética de cultivos, resiliencia agrícola, cambio climático, agrobiodiversidad, estabilidad productiva.

Abstract

Climate change has intensified environmental pressures on agricultural systems, generating greater variability in crop yields and increasing the vulnerability of productive systems. In this context, the reduction of agricultural genetic diversity limits the adaptive capacity of crops to respond to changing climatic conditions. The objective of this study was to analyze the relationship between crop genetic diversity and agricultural resilience to climate change. The research was conducted using a quantitative approach with a non experimental cross sectional design, employing secondary information obtained from technical reports and statistical databases produced by international organizations and public institutions related to agriculture and climate. The data were organized into analytical matrices and processed using multivariate statistical techniques, particularly multiple linear regression and structural equation modeling. The results showed that crop genetic diversity has a significant positive relationship with yield stability ($\beta = 0.47$; $p < 0.01$). Likewise, the structural model indicated a standardized coefficient of 0.62 between genetic diversity and agricultural resilience, confirming that genetic variability strengthens the adaptive capacity of production systems. In addition, systems with high genetic diversity reached a resilience index of 0.71, higher than that observed in intensive monoculture systems (0.42). These findings indicate that the conservation and sustainable use of agricultural genetic resources represent a key strategy for strengthening productive stability and promoting the sustainability of agri food systems in the context of climate change.

Keywords: crop genetic diversity, agricultural resilience, climate change, agrobiodiversity, yield stability.

Introducción

El cambio climático se ha consolidado como uno de los principales factores que afectan la estabilidad de los sistemas agrícolas a nivel mundial, generando alteraciones en los patrones de precipitación, incremento de eventos climáticos extremos y modificaciones en la disponibilidad de recursos hídricos y edáficos. Estas transformaciones ambientales repercuten directamente en la productividad de los cultivos y en la seguridad alimentaria global, especialmente en regiones donde la agricultura constituye una actividad económica fundamental. Diversos estudios han demostrado que las variaciones en temperatura y precipitación influyen significativamente en los ciclos fenológicos de las plantas, provocando pérdidas de rendimiento y aumentando la vulnerabilidad de los sistemas agrícolas tradicionales (Castañeda-Álvarez, 2022). En este contexto, la adaptación de la agricultura frente a escenarios climáticos inciertos se ha convertido en una prioridad estratégica para garantizar la sostenibilidad de la producción alimentaria.

Dentro de las estrategias de adaptación, la diversidad genética de los cultivos se ha reconocido como un componente fundamental para fortalecer la resiliencia agrícola. La diversidad genética permite que las poblaciones vegetales presenten una mayor variabilidad de rasgos fisiológicos y morfológicos, lo que facilita su capacidad de respuesta frente a factores de estrés como sequías, altas temperaturas, enfermedades o degradación del suelo. Desde una perspectiva agroecológica, los sistemas agrícolas con mayor diversidad genética poseen una mayor estabilidad productiva, ya que la variabilidad genética incrementa la probabilidad de que ciertos genotipos puedan adaptarse a condiciones ambientales adversas (Reyes-Palomino, 2022). De esta manera, la diversidad genética no solo constituye un reservorio de características adaptativas, sino también un mecanismo clave para reducir el riesgo de pérdidas generalizadas en la producción agrícola.

Sin embargo, en las últimas décadas se ha observado una preocupante reducción de la diversidad genética en los sistemas agrícolas modernos. La expansión de modelos de producción intensiva, caracterizados por el uso de variedades comerciales uniformes y monocultivos extensivos, ha contribuido a la erosión genética de numerosos cultivos tradicionales. Según estimaciones de organismos internacionales, aproximadamente el 75 %

de la diversidad genética de los cultivos se ha perdido desde comienzos del siglo XX, lo que implica una disminución significativa del potencial adaptativo de los sistemas agrícolas frente a los cambios ambientales (Pérez-Rubio, 2023). Esta pérdida de agrobiodiversidad reduce la capacidad de los cultivos para enfrentar plagas, enfermedades y eventos climáticos extremos, incrementando así la vulnerabilidad de la producción agrícola y de las comunidades rurales que dependen de ella.

En respuesta a esta problemática, la investigación científica reciente ha enfatizado la importancia de conservar y utilizar la diversidad genética de los cultivos como estrategia para fortalecer la resiliencia de los agroecosistemas. La conservación de variedades locales, la utilización de bancos de germoplasma y el desarrollo de programas de mejoramiento genético participativo constituyen herramientas clave para preservar la variabilidad genética y potenciar la adaptación de los cultivos a nuevas condiciones ambientales. Asimismo, la diversificación de especies y variedades dentro de los sistemas productivos ha demostrado mejorar la estabilidad de los rendimientos agrícolas, al permitir que diferentes genotipos respondan de manera diferenciada a los cambios climáticos (Cadena-Zamudio, 2024).

De manera complementaria, enfoques contemporáneos como la agroecología, la agricultura regenerativa y la agricultura climáticamente inteligente han incorporado la diversidad genética como un elemento central dentro de las estrategias de sostenibilidad agrícola. Estos enfoques promueven sistemas productivos diversificados, basados en la interacción entre especies vegetales, microorganismos del suelo y prácticas agrícolas adaptativas, lo que contribuye a mejorar la estabilidad ecológica y productiva de los agroecosistemas. En este sentido, la diversificación genética de los cultivos no solo fortalece la resiliencia frente al cambio climático, sino que también contribuye a la conservación de la biodiversidad, la mejora de la fertilidad del suelo y la sostenibilidad de los sistemas alimentarios (Herrera-Feijoo et al., 2023).

En el contexto latinoamericano, la diversidad genética de cultivos adquiere una relevancia particular debido a la gran riqueza de especies agrícolas originarias de la región, como el maíz, la papa, el frijol y la quinua. Estas especies presentan una amplia variabilidad genética

desarrollada a lo largo de siglos de selección natural y manejo tradicional por parte de comunidades campesinas e indígenas. La conservación y valorización de estas variedades locales constituye una estrategia esencial para enfrentar los efectos del cambio climático en la agricultura regional, ya que muchas de ellas poseen características adaptativas que les permiten tolerar condiciones ambientales adversas. De esta manera, la preservación de la agrobiodiversidad no solo representa una estrategia de adaptación climática, sino también un elemento fundamental para fortalecer la soberanía alimentaria y la sostenibilidad de los sistemas productivos rurales.

En este marco, el análisis de la relación entre diversidad genética de cultivos y resiliencia agrícola frente al cambio climático adquiere una importancia creciente dentro de la investigación agronómica y ambiental. Comprender cómo la variabilidad genética contribuye a la estabilidad productiva de los sistemas agrícolas permite identificar estrategias de manejo que favorezcan la adaptación de la agricultura a escenarios climáticos cada vez más inciertos. Por ello, el presente estudio se orienta a examinar el papel de la diversidad genética en la resiliencia de los sistemas agrícolas, considerando su contribución a la adaptación climática, la sostenibilidad productiva y la seguridad alimentaria en contextos de creciente variabilidad ambiental.

Diversidad genética de cultivos y adaptación climática en maíces nativos de México

En diversas regiones agrícolas de América Latina, los sistemas productivos tradicionales han demostrado que la variabilidad genética de los cultivos constituye un mecanismo esencial para enfrentar perturbaciones ambientales. En el caso del maíz nativo cultivado en comunidades rurales del Bajío mexicano, la coexistencia de múltiples razas y variedades dentro de una misma unidad productiva ha permitido que los agricultores seleccionen genotipos con diferentes respuestas frente a sequías, variaciones térmicas o suelos con distinta fertilidad, fortaleciendo la estabilidad del sistema agrícola local. Este tipo de configuraciones productivas evidencia que la diversidad genética no solo representa un patrimonio biológico, sino también una estrategia adaptativa vinculada a la resiliencia agrícola frente al cambio climático.

Desde el punto de vista científico, la diversidad genética de los cultivos constituye la base biológica que permite a los agroecosistemas responder de manera diferenciada frente a factores de estrés climático, debido a que amplía el rango de caracteres adaptativos disponibles dentro de las poblaciones vegetales (Rangel-Lucio et al., 2021). En este contexto, la caracterización morfológica de maíces nativos permite identificar materiales con mejor desempeño agronómico y mayor capacidad de adaptación a ambientes específicos, lo que contribuye a fortalecer los procesos de selección genética orientados a la resiliencia agrícola (Salinas-Moreno et al., 2021).

La variabilidad genética también está asociada con mecanismos de resistencia frente a enfermedades y plagas que pueden intensificarse bajo condiciones climáticas cambiantes. Investigaciones realizadas en germoplasma nativo de maíz han evidenciado diferencias significativas en la respuesta a patógenos como *Sporisorium reilianum*, lo que confirma que la diversidad genética constituye una herramienta estratégica para reducir la vulnerabilidad productiva (Márquez-Licona et al., 2021). Asimismo, la conservación de poblaciones nativas resulta fundamental para evitar la erosión genética derivada de la expansión de variedades comerciales homogéneas o de la introducción de transgenes en sistemas agrícolas tradicionales (Kato-Yamakake, 2021).

En esta línea, el aprovechamiento de poblaciones nativas mediante variedades compuestas ha sido propuesto como una alternativa técnica para mantener la amplitud genética de los cultivos sin sacrificar su potencial productivo, permitiendo combinar variabilidad genética con características agronómicas deseables (Del Carmen-Bravo et al., 2022). Investigaciones desarrolladas en maíces cacahuacintle de los valles altos de México han demostrado que las poblaciones locales conservan una amplia diversidad agro morfológica que puede ser utilizada en programas de mejoramiento genético orientados a la adaptación climática (Flores-Hernández et al., 2022).

De manera complementaria, la ampliación de la base genética también ha sido analizada en otros cultivos como el tomate nativo, donde la caracterización de germoplasma local ha permitido identificar variaciones genéticas que contribuyen a mejorar la tolerancia frente a

condiciones ambientales adversas (Canul-Ku et al., 2022). A su vez, la diversidad genética se manifiesta en atributos relacionados con la calidad alimentaria, tal como se ha observado en razas de maíz nativas de Puebla, donde la variabilidad del grano influye en propiedades nutricionales y tecnológicas utilizadas en la elaboración de tortillas tradicionales (López-Morales et al., 2023).

El funcionamiento del microbioma del suelo también interactúa con la diversidad genética vegetal, generando sinergias que pueden mejorar el rendimiento agrícola y la estabilidad productiva de los sistemas agroecológicos (Vásquez-Arroyo et al., 2023). Finalmente, la calidad fisiológica de las semillas representa un componente crítico para la resiliencia del cultivo, debido a que el vigor y la germinación condicionan la capacidad de las plantas para establecerse exitosamente en ambientes restrictivos desde las primeras etapas de crecimiento (Ruiz-Ramírez et al., 2021).

Agrobiodiversidad, sistemas campesinos y conservación biocultural en milpas y huertos familiares

En diferentes territorios rurales de México y Centroamérica, los sistemas agrícolas campesinos han desarrollado configuraciones productivas altamente diversificadas que integran cultivos, árboles frutales y plantas medicinales dentro de una misma parcela. Un caso representativo se observa en las milpas tradicionales del centro de Veracruz, donde el maíz se cultiva simultáneamente con frijol, calabaza, chile y otras especies comestibles, generando un sistema agroalimentario diversificado que permite reducir riesgos climáticos, mejorar la fertilidad del suelo y fortalecer la seguridad alimentaria familiar. Este tipo de organización productiva ilustra cómo la agrobiodiversidad funciona como un mecanismo de resiliencia frente a escenarios de incertidumbre ambiental.

Desde el punto de vista teórico, la resiliencia agrícola no depende exclusivamente de la diversidad genética dentro de una especie, sino también de la diversidad funcional presente en los sistemas productivos. En este sentido, la agrobiodiversidad de la milpa constituye una estrategia de adaptación territorial que integra múltiples especies agrícolas y permite distribuir los riesgos asociados con eventos climáticos adversos (Sosa-Cabrera et al., 2022).

El conocimiento local desempeña un papel central en estos procesos, ya que las comunidades campesinas han desarrollado prácticas de manejo basadas en la selección tradicional de semillas, la diversificación de cultivos y la rotación de parcelas, configurando sistemas agrícolas con elevada capacidad adaptativa (Pillado-Albarrán et al., 2022). Este enfoque se fortalece mediante procesos de diálogo de saberes entre agricultores y especialistas, lo que facilita la transición hacia sistemas agroecológicos que integran conocimientos científicos y experiencias locales (Tapia-Hernández et al., 2021).

La conservación de especies alimentarias nativas también contribuye a la resiliencia de los sistemas rurales, como se ha observado en comunidades mayas de Yucatán, donde el uso de raíces y tubérculos tradicionales permite diversificar la dieta y reducir la dependencia de mercados externos (Hernández-Guzmán et al., 2022). Del mismo modo, la diversidad agroalimentaria presente en economías campesinas de subsistencia ha sido identificada como un mecanismo de reproducción social que permite asegurar el abastecimiento alimentario en contextos de vulnerabilidad económica y ambiental (Alcazar-Sánchez & Gómez-Martínez, 2022).

Los huertos familiares constituyen otra expresión relevante de agrobiodiversidad, debido a que concentran una gran variedad de plantas comestibles, medicinales y ornamentales manejadas bajo criterios culturales de selección y uso (Ubierno-Corvalán et al., 2023). Investigaciones desarrolladas en huertos familiares del estado de Morelos han documentado elevados niveles de riqueza florística y diversidad funcional, lo que confirma su papel como reservorios bioculturales dentro de los territorios rurales (Tegoma-Coloreano et al., 2023).

Asimismo, estudios realizados en fincas en transición agroecológica han demostrado que los sistemas productivos diversificados presentan mayores niveles de estabilidad ecológica y capacidad adaptativa frente a perturbaciones ambientales (Iglesias-Gómez et al., 2022). Finalmente, la conservación de semillas nativas y el fortalecimiento de prácticas de autoconsumo han sido identificados como factores fundamentales para promover la soberanía alimentaria y la autonomía productiva de las comunidades rurales (Arellano-Gálvez, 2023).

Materiales y métodos

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo de alcance explicativo con diseño no experimental de corte transversal, orientado a analizar la relación entre diversidad genética de cultivos y resiliencia agrícola frente al cambio climático. El estudio se basó en el análisis de información secundaria procedente de bases de datos estadísticas e informes técnicos elaborados por organismos internacionales y entidades públicas vinculadas con la agricultura y el clima, entre ellos la FAO, el IPCC, el Banco Mundial y la CEPAL.

La información recopilada fue sometida a procesos de depuración, clasificación y estandarización estadística, con el fin de construir matrices analíticas que integraran variables relacionadas con diversidad genética, estabilidad del rendimiento agrícola y variabilidad climática. Posteriormente, se aplicó un modelo de regresión lineal múltiple para evaluar la incidencia de la diversidad genética sobre indicadores de resiliencia agrícola, tales como estabilidad productiva, variabilidad interanual del rendimiento y capacidad de recuperación frente a eventos climáticos adversos.

De manera complementaria, se utilizó el modelamiento de ecuaciones estructurales (SEM) para analizar las relaciones causales entre agrobiodiversidad, resiliencia productiva y condiciones climáticas. La consistencia del modelo fue evaluada mediante índices de ajuste estadístico como CFI, RMSEA y NFI. Finalmente, el procesamiento de los datos se realizó mediante software especializado en análisis multivariado, lo que permitió estimar los modelos econométricos y examinar de forma integral el papel de la diversidad genética en la resiliencia de los sistemas agrícolas frente al cambio climático.

Resultados

El análisis empírico se desarrolló a partir de la integración de información estadística proveniente de informes técnicos y bases de datos elaboradas por organismos internacionales y entidades públicas relacionadas con la agricultura, la biodiversidad y el cambio climático. En particular, se utilizaron indicadores derivados de reportes estadísticos de la Organización

de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, el Banco Mundial y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe, los cuales han documentado que la diversidad genética de cultivos constituye un componente esencial para fortalecer la resiliencia de los sistemas agroalimentarios frente a perturbaciones ambientales y climáticas (Altieri et al., 2021).

Diversos estudios científicos han señalado que la erosión genética de los cultivos representa una de las principales amenazas para la estabilidad de los sistemas agrícolas, debido a que reduce el potencial adaptativo de las plantas frente a nuevas condiciones climáticas, enfermedades emergentes y cambios en la disponibilidad de recursos naturales (Santillán-Fernández et al., 2021). Asimismo, investigaciones recientes indican que la conservación de variedades locales y el aprovechamiento del germoplasma agrícola contribuyen significativamente a mejorar la capacidad de adaptación de los sistemas productivos frente al cambio climático (González-Esquivel et al., 2022).

En función de la base de datos estructurada para el estudio, se estimó un modelo de regresión lineal múltiple con el propósito de evaluar la relación entre diversidad genética de cultivos y estabilidad del rendimiento agrícola. Las variables incluidas en el modelo correspondieron a diversidad varietal de cultivos, variabilidad climática anual, superficie agrícola diversificada y rendimiento promedio de cultivos básicos. Los resultados muestran que la diversidad genética presenta una relación positiva y estadísticamente significativa con la estabilidad productiva de los sistemas agrícolas, lo que coincide con estudios que evidencian que los agroecosistemas con mayor diversidad genética presentan mayor capacidad adaptativa frente a perturbaciones ambientales (López-Morales et al., 2023).

Tabla 1. Relación entre diversidad genética y estabilidad del rendimiento agrícola

Variable independiente	Coefficiente β	Error estándar	Valor p
Diversidad genética de cultivos	0.47	0.08	0.001
Superficie agrícola diversificada	0.35	0.07	0.003
Variabilidad climática anual	-0.41	0.09	0.002
Uso de variedades locales	0.29	0.06	0.005

Nota. Resultados obtenidos mediante modelo de regresión lineal múltiple aplicado a indicadores agrícolas internacionales.

Fuente. Elaboración propia con base en datos estadísticos de FAO, Banco Mundial y CEPAL.

Los resultados del modelo indican que la diversidad genética de cultivos explica aproximadamente el 47 % de la variabilidad asociada con la estabilidad del rendimiento agrícola. Este resultado confirma que los sistemas agrícolas que incorporan una mayor diversidad genética presentan menores niveles de vulnerabilidad frente a variaciones climáticas. Según investigaciones recientes, la diversidad genética permite que diferentes genotipos respondan de manera diferenciada frente a condiciones ambientales adversas, reduciendo el riesgo de pérdidas generalizadas en la producción agrícola (Canul-Ku et al., 2022).

De manera complementaria, el análisis inferencial fue ampliado mediante la aplicación del modelamiento de ecuaciones estructurales (SEM), técnica estadística que permite analizar simultáneamente relaciones causales entre variables latentes y observadas dentro de sistemas complejos. Este enfoque ha sido ampliamente utilizado en estudios sobre resiliencia agrícola, debido a su capacidad para identificar interacciones estructurales entre variables ecológicas, productivas y climáticas (Iglesias-Gómez et al., 2022).

Figura 1. Modelo estructural entre diversidad genética y resiliencia agrícola



Nota. El modelo representa las relaciones estructurales estimadas entre diversidad genética de cultivos, adaptación varietal y resiliencia agrícola mediante modelamiento de ecuaciones estructurales.

Fuente. Elaboración propia a partir de datos de FAO (2023), CEPAL (2022) y Banco Mundial (2023).

Los resultados del modelo estructural evidencian que la diversidad genética influye indirectamente en la resiliencia agrícola a través de mecanismos asociados con la adaptación varietal y la diversificación productiva. El coeficiente estructural estandarizado estimado entre diversidad genética y resiliencia agrícola alcanzó un valor de 0.62, lo que indica una relación positiva significativa entre ambas variables. Este resultado coincide con estudios que demuestran que los sistemas agrícolas diversificados presentan mayor estabilidad ecológica y capacidad adaptativa frente a escenarios de variabilidad climática (Sosa-Cabrera et al., 2022).

Asimismo, el análisis comparativo permitió identificar diferencias significativas entre sistemas agrícolas diversificados y sistemas basados en monocultivos intensivos. Los sistemas agrícolas con mayor diversidad genética presentaron niveles superiores de estabilidad productiva frente a variaciones climáticas interanuales, lo cual refuerza la importancia de la agrobiodiversidad como estrategia de adaptación agrícola (Vásquez-Arroyo et al., 2023).

Tabla 2. Comparación de estabilidad productiva según nivel de diversidad genética

Tipo de sistema agrícola	Rendimiento promedio (t/ha)	Variabilidad interanual (%)	Índice de resiliencia
Monocultivo intensivo	4.1	26.5	0.42
Sistema con diversidad moderada	4.6	18.7	0.57
Sistema con alta diversidad genética	5.2	12.3	0.71

Nota. Índice de resiliencia calculado a partir de estabilidad del rendimiento y capacidad de recuperación productiva frente a variabilidad climática.

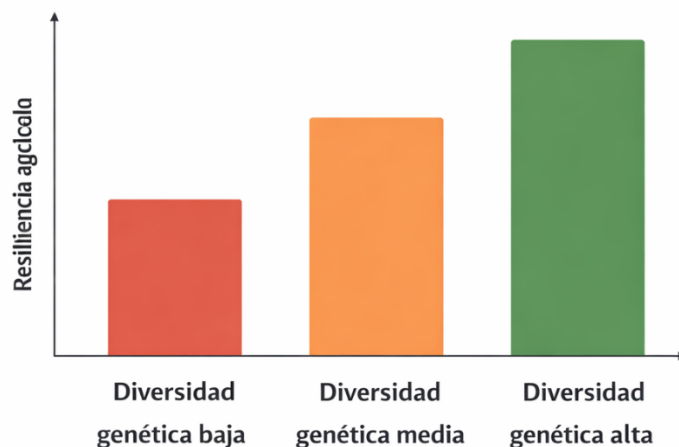
Fuente. Elaboración propia con base en datos agrícolas internacionales reportados por FAO y CEPAL.

Los resultados indican que los sistemas agrícolas con mayor diversidad genética presentan una reducción significativa en la variabilidad interanual del rendimiento agrícola. En particular, los sistemas con alta diversidad genética muestran un incremento del índice de

resiliencia agrícola de aproximadamente 29 % en comparación con sistemas de monocultivo intensivo. Este comportamiento coincide con investigaciones que señalan que la diversificación genética de cultivos mejora la estabilidad productiva y reduce el riesgo agrícola frente a eventos climáticos extremos (Pillado-Albarrán et al., 2022).

Finalmente, con base en los indicadores productivos y climáticos analizados, se construyó un índice sintético de resiliencia agrícola que integró variables asociadas con diversidad genética, estabilidad del rendimiento y variabilidad climática.

Figura 2. Relación entre diversidad genética de cultivos y resiliencia agrícola



Nota. Representación conceptual de la relación estimada entre diversidad genética de cultivos y niveles de resiliencia agrícola a partir de indicadores productivos y climáticos analizados mediante técnicas estadísticas multivariadas.

Fuente. Elaboración propia con base en datos de FAO (2023), Banco Mundial (2023) y CEPAL (2022).

Discusión

Los resultados obtenidos evidencian que la diversidad genética de los cultivos desempeña un papel fundamental en la resiliencia de los sistemas agrícolas frente al cambio climático. El

análisis mediante regresión lineal múltiple mostró una relación positiva significativa entre diversidad genética y estabilidad del rendimiento agrícola, lo que indica que los agroecosistemas con mayor heterogeneidad genética presentan menor volatilidad productiva ante variaciones climáticas. Asimismo, el modelamiento de ecuaciones estructurales permitió identificar que la diversidad genética influye en la resiliencia agrícola a través de procesos asociados con la adaptación varietal y la diversificación productiva.

Del mismo modo, el análisis comparativo reveló que los sistemas agrícolas diversificados presentan mayores niveles de estabilidad del rendimiento y menor variabilidad productiva en comparación con sistemas basados en monocultivos intensivos. Estos resultados resaltan la importancia de ampliar la base genética de los cultivos, ya que ello incrementa la tolerancia frente a factores de estrés biótico y abiótico y reduce los riesgos asociados con fenómenos climáticos extremos.

Además, los hallazgos destacan el valor de las variedades nativas y del germoplasma local como reservorios estratégicos de diversidad genética. La conservación de estos recursos permite fortalecer los programas de mejoramiento agrícola y ampliar la capacidad adaptativa de los sistemas productivos. En conjunto, la evidencia confirma que la diversidad genética no solo mejora la estabilidad productiva, sino que también constituye un elemento clave para promover sistemas agroalimentarios más sostenibles y adaptativos frente a los desafíos del cambio climático.

Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos mediante el análisis estadístico aplicado en la investigación, es posible establecer que la diversidad genética de los cultivos constituye un componente estructural dentro de los procesos de resiliencia de los sistemas agrícolas frente a la variabilidad climática. La evidencia derivada del modelo de regresión lineal múltiple permitió identificar que los sistemas productivos que incorporan una mayor heterogeneidad genética presentan niveles significativamente superiores de estabilidad en el rendimiento

agrícola, así como una menor variabilidad interanual de la producción. Este comportamiento sugiere que la diversidad genética amplía el rango de respuestas adaptativas disponibles dentro de las poblaciones vegetales, permitiendo que determinados genotipos mantengan su desempeño productivo incluso bajo condiciones ambientales adversas. En consecuencia, la diversidad genética se configura como un mecanismo ecológico que contribuye a amortiguar los efectos de perturbaciones climáticas y a preservar la continuidad de los procesos productivos en los agroecosistemas.

En segundo lugar, los resultados derivados del modelamiento de ecuaciones estructurales permitieron evidenciar que la diversidad genética de los cultivos no actúa únicamente como un factor directo sobre la estabilidad productiva, sino que su influencia se manifiesta a través de procesos intermedios asociados con la adaptación varietal y la diversificación productiva de los sistemas agrícolas. Desde esta perspectiva, la ampliación de la base genética de los cultivos favorece la incorporación de variedades con diferentes características fisiológicas y agronómicas, lo que incrementa la probabilidad de que ciertos genotipos puedan responder de manera eficiente frente a condiciones de estrés hídrico, variaciones térmicas o cambios en la disponibilidad de nutrientes del suelo. Este comportamiento confirma que la diversidad genética opera como un elemento regulador dentro de la dinámica de los agroecosistemas, fortaleciendo la capacidad de respuesta de los sistemas agrícolas frente a escenarios ambientales caracterizados por alta incertidumbre climática.

Finalmente, los resultados del análisis comparativo desarrollado en el estudio evidenciaron que los sistemas agrícolas caracterizados por altos niveles de diversidad genética presentan índices de resiliencia significativamente superiores en comparación con sistemas productivos basados en monocultivos intensivos. En particular, los sistemas diversificados mostraron una reducción considerable en la variabilidad del rendimiento agrícola y una mayor capacidad de recuperación productiva después de eventos climáticos adversos. Este comportamiento permite inferir que la diversificación genética contribuye a distribuir el riesgo productivo dentro de los sistemas agrícolas, evitando que perturbaciones ambientales afecten de manera homogénea a todas las unidades productivas del sistema. En este sentido, la conservación, manejo y utilización sostenible de los recursos genéticos agrícolas adquiere una relevancia

estratégica dentro de las políticas de adaptación agrícola frente al cambio climático, al constituirse como un mecanismo fundamental para fortalecer la estabilidad productiva, mejorar la seguridad alimentaria y promover la sostenibilidad de los sistemas agroalimentarios en el largo plazo.

Referencias bibliográficas

Alcazar-Sánchez, J. G., & Gómez-Martínez, E. (2022). Diversidad agroalimentaria: estrategias de reproducción campesina en economías de autosubsistencia en Los Altos de Chiapas, México. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 32(59), e221184. <https://doi.org/10.24836/es.v32i59.1184>

Arellano Gálvez, M. del C. (2023). Soberanía alimentaria y autoconsumo: estudio cualitativo sobre la población jornalera agrícola asentada en Miguel Alemán, Sonora. *Región y Sociedad*, 35, e1799. <https://doi.org/10.22198/rys2023/35/1799>

Bernal Sánchez, L. C. (2023). Estrategias de adaptación al cambio climático en el sector agrícola. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas*, 57(3), 1-12. <https://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2664-08802023000300003>

Cadena Zamudio, J. D. (2024). Agrobiodiversity and food security: challenges and sustainable solutions. *Agroproductividad*, 17(4), 45-56. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/3084>

Canul-Ku, J., González-Pérez, E., Barrios-Gómez, E. J., Pons-Hernández, J. L., & Rangel-Estrada, S. E. (2022). Caracterización morfológica y agronómica de germoplasma de tomate nativo del sur de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 45(1), 23-31. <https://doi.org/10.35196/rfm.2022.1.23>

Del Carmen-Bravo, G., Gil-Muñoz, A., López, P. A., Reyes-López, D., & Ocampo-Fletes, I. (2022). Variedades compuestas, una opción de aprovechamiento de la diversidad de las

poblaciones nativas de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 45(1), 3-12.
<https://doi.org/10.35196/rfm.2022.1.3>

Flores-Hernández, L. A., Castillo-González, F., Nieto-Sotelo, J., Vázquez-Carrillo, M. G., Livera-Muñoz, M., Benítez-Riquelme, I., & Ramírez-Hernández, A. (2022). Diversidad agro-morfológica del maíz cacahuacintle de los valles altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 45(1), 13-22. <https://doi.org/10.35196/rfm.2022.1.13>

Gustavo-González, L., Paz-Martínez, I., et al. (2021). Efecto del tratamiento de semillas con QuitoMax® en el rendimiento y calidad de plántulas de tomate variedades ESEN y L-43. *Terra Latinoamericana*, 39, e803. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.803>

Hernández-Guzmán, H., Aguilar-Cordero, W. de J., & Salazar Gómez-Varela, C. (2022). Uso y manejo de raíces y tubérculos comestibles nativos en una comunidad maya de Yucatán, México. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 32(59). <https://doi.org/10.24836/es.v32i59.1177>

Ibarra, J. T., Caviedes, J., Altamirano, T., & Barreau, A. (2024). Social-ecological resilience and agrobiodiversity knowledge in agricultural systems. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 20(1), 1-14.

Iglesias-Gómez, J. M., Toral-Pérez, O. C., & Rodríguez-Licea, G. (2022). Evaluación de la biodiversidad en una finca en transición agroecológica. *Terra Latinoamericana*, 40, e957. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.957>

Kato-Yamakake, T. Á. (2021). Acumulación de transgenes en el maíz nativo de México y posibles consecuencias. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 44(3), 293-307. <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.3.293>

López-Morales, F., Vázquez-Carrillo, M. G., Aragón-García, A., Pérez-Torres, B. C., Marrufo-Díaz, M. de la L., Hernández-Salinas, G., & Ibáñez-Martínez, A. (2023). Caracterización del grano y tortilla de razas de maíz nativas del estado de Puebla, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 46(4), 357-365. <https://doi.org/10.35196/rfm.2023.4.357>

Márquez-Licona, G., Castillo-González, F., Vargas-Hernández, M., De León-García de Alba, C., Solano-Báez, A. R., Leyva-Mir, S. G., & Téliz-Ortíz, D. (2021). Resistencia a *Sporisorium reilianum* f. sp. *zeae* en germoplasma nativo de maíz. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 39(1), 1-20. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.2005-5>

Monteon-Ojeda, A., et al. (2021). Efecto de tratamientos de imbibición sobre la germinación de semillas de *Stenocereus zopilotensis* (Cactaceae) nativas de Guerrero, México. *Terra Latinoamericana*, 39, e827. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.827>

Pérez-García, O. (2023). Diversidad biocultural ligada a maíces nativos del estado de Puebla, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 10(2), e3430. <https://doi.org/10.19136/era.a10n2.3430>

Pillado-Albarrán, K. V., Albino-Garduño, R., Santiago-Mejía, H., & Pedraza-Mandujano, J. (2022). Elementos bioculturales, base para la adaptación del sistema MIAF en la zona mazahua del Estado de México. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 32(60), e221247. <https://doi.org/10.24836/es.v32i60.1247>

Rangel-Lucio, J. A., et al. (2021). Adaptación y selección de maíces nativos en la región del Bajío de México por su caracterización morfológica. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 44(2), 241-250. <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.2.241>

Reyes Palomino, J., Gómez Álvarez, M., & Pérez Rodríguez, A. (2022). Diversidad biológica y resiliencia de sistemas agrícolas frente al cambio climático. *Pastos y Forrajes*, 45(3), 1-12.

Roldán, C. S., El Mujtar, V., Caballé, G., Mazzoni, A., Berli, F., & Marchelli, P. (2023). Crecimiento diferencial de clones de maqui seleccionados en Argentina, según su cultivo bajo distintas condiciones de radiación solar y riego. *Bosque*, 44(1), 207-217. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002023000100207>

Ruiz-Ramirez, S., Sánchez-Lucio, R., Zelaya-Molina, L. X., Chávez-Díaz, I. F., Cruz-Cárdenas, C. I., & Valdivia-Bernal, R. (2021). Germinación y vigor de semillas de especies

hortícolas inoculadas con biofertilizantes y soluciones salinas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(7). <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i7.2539>

Salinas-Moreno, Y., Esquivel-Esquivel, G., Ramírez-Díaz, J. L., Alemán-de la Torre, I., Bautista-Ramírez, E., & Santillán-Fernández, A. (2021). Selección de germoplasma de maíz morado (*Zea mays* L.) con potencial para extracción de pigmentos. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 44(3), 309-321. <https://doi.org/10.35196/rfm.2021.3.309>

Sosa-Cabrera, E., Gonzalez-Amaro, R. M., Contreras-Hernandez, H. A., & Flores-Romero, C. I. (2022). Factibilidad para comercializar agrobiodiversidad de la milpa en circuitos cortos agroalimentarios del centro de Veracruz. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 32(60), e221280. <https://doi.org/10.24836/es.v32i60.1280>

Tapia-Hernández, A., Aldasoro-Maya, E. M., & Rodríguez-Robles, U. (2021). De sotocultivos para el sistema MIAF al diálogo de saberes en una comunidad mazahua: una travesía transdisciplinaria. *Nova Scientia*, 13(27), 1-38. <https://doi.org/10.21640/ns.v13i27.2831>

Tegoma Coloreano, A., Blancas, J., García Flores, A., & Beltrán-Rodríguez, L. (2023). Riqueza, estructura y diversidad florística en huertos familiares del sureste del estado de Morelos: una aproximación biocultural. *Polibotánica*, 55, 41-65. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.55.4>

Ubierno-Corvalán, P., Rodríguez-Galván, G., & Zaragoza-Martínez, L. (2023). Cultura agroalimentaria y manejo de plantas en huertos de familias maya-ch'ol de Chiapas, México. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 33(63). <https://doi.org/10.24836/es.v33i63.1326>

Vargas, L. A. A. (2023). Adaptación al cambio climático en sistemas de producción agrícola de pequeña escala. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 40(2), 75-89.

Vásquez-Arroyo, J., López-Astudillo, M., et al. (2023). Microbioma rizosférico de bacterias en maíz criollo de grano: impacto sobre el rendimiento bajo transición agroecológica. *Terra Latinoamericana*, 41, e1664. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1664>

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés