

Los impactos del cambio climático en la biodiversidad y la seguridad alimentaria: un enfoque integral

Noé Zúñiga-González

Profesor de tiempo completo. Centro Universitario UAEM Amecameca.

noe_z_g@hotmail.com

Claudia Fernanda Nieves Porras

Estudiante. Centro Universitario UAEM Amecameca.

fernieves.1205@gmail.com

Ofelia Márquez Molina

Profesora de tiempo completo. Centro Universitario UAEM Amecameca.

ofeliamolina@yahoo.com

RESUMEN

El cambio climático es una de las amenazas más importantes que enfrenta la humanidad, debido a las actividades antrópicas, lo que afecta significativamente los recursos naturales, la biodiversidad, la seguridad alimentaria y la sostenibilidad de los ecosistemas. Por lo que es de suma importancia que este fenómeno se vea desde una perspectiva interdisciplinaria para entender las complejas interrelaciones entre el clima, los organismos vivos y los sistemas alimentarios. Se ha observado que el cambio climático reduce la biodiversidad, deteriora los ecosistemas y agroecosistemas esenciales para la alimentación. El objetivo de este trabajo es analizar los efectos del cambio climático en la biodiversidad y la seguridad alimentaria. A pesar de estos desafíos la biodiversidad juega un papel importante para mitigar el cambio climático y la inseguridad alimentaria. Por lo que representa una amenaza para la humanidad y es necesario adoptar enfoques multidisciplinarios que fomenten la conservación de los recursos naturales.

Palabras clave. Cambio climático, biodiversidad, seguridad alimentaria, desarrollo sostenible, actividades humanas.

The impacts of climate change on biodiversity and food security: an integral approach

ABSTRACT

Climate change is one of the most important threats facing humanity due to human activities, significantly affecting natural resources, biodiversity, food security, and ecosystem sustainability. Therefore, it is of utmost importance that this phenomenon be viewed from an interdisciplinary perspective to understand the complex interrelationships between climate, living organisms, and food systems. Climate change has

been observed to reduce biodiversity and deteriorate ecosystems and agroecosystems essential for food. The objective of this paper is to analyze the effects of climate change on biodiversity and food security. Despite these challenges, biodiversity plays an important role in mitigating climate change and food insecurity. Therefore, it represents a threat to humanity, and it is necessary to adopt multidisciplinary approaches that promote the conservation of natural resources.

Keywords. Climate change, biodiversity, food security, sustainable development, human activities.

INTRODUCCIÓN

El cambio climático es una amenaza global generalizada (Díaz *et al.*, 2019; Weiskopf *et al.*, 2020), debido a que propicia alteraciones significativas en los sistemas naturales a nivel global. Uno de los aspectos más críticos de este fenómeno es su impacto en la biodiversidad, y la seguridad alimentaria, dos pilares fundamentales para el bienestar humano y la sostenibilidad de los ecosistemas.

Los científicos han arrojado luz sobre cómo el cambio climático está remodelando los paisajes biogeográficos y alterando la distribución y abundancia de las especies en los diferentes ecosistemas del planeta. Thomas *et al.* (2004) documentaron cómo el calentamiento global genera desplazamientos geográficos de especies, lo que resulta en la fragmentación de los hábitats y en la pérdida de biodiversidad localizada. El proceso de acidificación en las aguas de los océanos es una amenaza para los arrecifes de coral y los ecosistemas marinos, vitales para la diversidad biológica y la suficiencia de alimentos (Hoegh-Guldberg *et al.*, 2007).

La relación entre seguridad alimentaria y cambio climático es compleja y preocupante (Bosch *et al.*, 2020). Rosenzweig *et al.* (2014) mencionan que el cambio climático afecta negativamente los rendimientos de los cultivos debido a fenómenos como la variación de las precipitaciones y el incremento de las temperaturas extremas. La disminución en la productividad agrícola exacerba la inseguridad alimentaria. Además, la pérdida de biodiversidad agrícola reduce la capacidad de los alimentos para adaptarse a diversas condiciones como el clima cambiante (Dawson *et al.*, 2016).

Sin embargo, en medio de estos desafíos, emerge un aspecto esperanzador: el papel fundamental de la biodiversidad en la mitigación de los impactos del cambio climático en la seguridad alimentaria. La diversidad genética de las especies cultivadas proporciona una valiosa reserva de genes que puede ser explotada para desarrollar variedades más resistentes a los climas adversos (FAO, 2019). Además, los

ecosistemas naturales brindan servicios esenciales para la producción de alimentos, como la polinización y la regularidad de los recursos hídricos (IPBES, 2019).

En este contexto, la formulación de estrategias multidisciplinarias se presenta como una necesidad urgente para mejorar la resiliencia de la biodiversidad y la seguridad alimentaria frente al cambio climático (Barton, *et al.*, 2020). La integración de conocimientos científicos, políticas efectivas y prácticas de gestión sostenible de los recursos naturales es crucial para abordar estos desafíos de manera holística y garantizar un futuro sostenible para las generaciones venideras.

En este estudio, se propone explorar estos aspectos cruciales, analizando la interacción entre el cambio climático, la biodiversidad y la seguridad alimentaria, así como identificar estrategias innovadoras y multidisciplinarias para promover la resiliencia de los sistemas naturales y alimentarios en un mundo en constante transformación.

METODOLOGÍA

Esta investigación se llevó a cabo mediante una revisión de la literatura científica relacionada a los impactos del cambio climático en la seguridad alimentaria y cambio a la biodiversidad, utilizando un enfoque integral. La identificación de estrategias multidisciplinarias que mejoren la resiliencia de la biodiversidad y su influencia en la seguridad alimentaria frente al cambio climático. Para lograrlo, se recurrió a una búsqueda meticulosa y profunda de fuentes académicas de alta calidad, utilizando bases de datos especializadas y filtros rigurosos que garantizaron la inclusión de documentos relevantes.

Las bases de datos académicas utilizadas para la recopilación de información fueron PubMed, Web of Science y Google Scholar.

El período de búsqueda de publicaciones abarcó del 2018 al 2023, con el fin de obtener información actualizada sobre las investigaciones más recientes. Se eligió este intervalo de tiempo para asegurar que las estrategias, hallazgos y enfoques presentados en los documentos tuvieran relevancia para las circunstancias actuales la biodiversidad, del cambio climático y la seguridad alimentaria.

Las palabras clave utilizadas para llevar a cabo la búsqueda incluyeron combinaciones que reflejan un enfoque multidisciplinario. Las principales palabras clave fueron:

- “Climate Change and Biodiversity”.
- “Climate Change and Food Security”.
- “Agroecology and Climate Adaptation”.

- “Resilience in Agroecosystems”.
- “Biodiversity Conservation Strategies”.
- “Multidisciplinary Approaches to Climate Adaptation”.
- “Ecosystem Services and Food Security”.
- “Climate Resilience in Agriculture”.

Estas palabras clave fueron elegidas para abarcar las dimensiones ecológicas, agrícolas y sociales de la interacción entre las variables de estudio.

La búsqueda inicial generó un total de 452 documentos distribuidos en las tres bases de datos seleccionadas. Los tipos de documentos identificados incluyeron:

- **Artículos científicos originales:** Estaban centrados en estudios de campo, análisis experimentales y evaluaciones de impactos climáticos en la biodiversidad y los sistemas alimentarios.
- **Revisiones sistemáticas:** Artículos que proporcionaban una visión más amplia de las investigaciones existentes sobre temas relacionados con la adaptación las variables de estudio.
- **Informes técnicos de organismos internacionales:** Documentos publicados por entidades como la FAO, el IPBES y el IPCC, que sintetizan datos globales sobre el estado de la biodiversidad y la seguridad alimentaria.

Se establecieron criterios específicos para filtrar los documentos obtenidos. Estos criterios incluyeron:

- **Relevancia temática:** Se seleccionaron documentos que abordaban explícitamente la relación entre las variables de estudio desde una perspectiva integrada.
- **Calidad metodológica:** Se priorizaron estudios que emplearan metodologías robustas, incluyendo análisis de datos estadísticos, estudios de caso y revisiones sistemáticas con transparencia en la metodología.
- **Publicaciones revisadas por pares:** Se filtraron solo artículos que hubieran pasado por un proceso de revisión por pares para garantizar la validez científica.
- **Idiomas:** Se incluyeron documentos en inglés y español para cubrir tanto estudios internacionales como investigaciones nacionales, especialmente aquellas con relevancia para México y América Latina.

Después de aplicar estos filtros, se seleccionaron 38 documentos. Estos documentos incluyeron 25 artículos científicos originales, 8 revisiones sistemáticas y 5 informes técnicos de organismos internacionales.

La selección final de los documentos para esta revisión se basó en los siguientes criterios adicionales:

- **Contexto geográfico:** Se dio preferencia a estudios que incluyeran ejemplos de relevancia para México y América Latina, pero también se incluyeron documentos globales que aportaran estrategias replicables en contextos nacionales.
- **Innovación en las estrategias propuestas:** Se priorizaron estudios que presentaran enfoques multidisciplinarios innovadores para la resiliencia de las variables de estudio.
- **Impacto en la política pública:** Se seleccionaron informes que ofrecieran recomendaciones viables para la implementación a nivel local y nacional, enfocadas en la adaptación de las variables de estudio.

RESULTADOS

CAMBIO CLIMÁTICO, BIODIVERSIDAD Y SEGURIDAD ALIMENTARIA

las variables de estudio están intrínsecamente conectadas. La pérdida de biodiversidad, impulsada por el clima cambiante, socava la estabilidad de los ecosistemas y su capacidad para proporcionar servicios esenciales (Díaz *et al.*, 2006; Cardinale *et al.*, 2012). La seguridad alimentaria depende de la disponibilidad, el acceso y la estabilidad de los suministros alimentarios, todos los cuales se ven amenazados cuando la biodiversidad se ve comprometida. La disminución de la diversidad de especies y la degradación de los ecosistemas reducen la resiliencia frente a perturbaciones, como el cambio climático, y limitan la capacidad de los sistemas alimentarios para adaptarse a estos cambios (IPBES, 2019; IPBES, 2022).

Además, la pérdida de biodiversidad puede reducir la diversidad genética de cultivos y ganado, lo que limita las opciones para desarrollar variedades resistentes al clima y enfermedades, agravando los desafíos para la seguridad alimentaria a largo plazo.

Alteración de los Hábitats y Desplazamiento de Especies.

El cambio del clima genera cambios en la temperatura así como patrones de precipitación, cambiando los hábitats naturales (IPCC, 2021; OMM, 2023). Diversas especies se ven obligadas a migrar hacia otras áreas donde las características climáticas sean más favorables. Esto puede llevar a la fragmentación de hábitats, la pérdida de conexiones entre ecosistemas y la extinción local de especies que no pueden adaptarse o moverse. Siendo un ejemplo claro los corales ya que son altamente sensibles al incremento de la temperatura del océano, causando blanqueamiento y, en última instancia, la muerte de arrecifes, que son vitales para la biodiversidad marina y la cadena trófica (Hoegh-Guldberg *et al.*, 2007; Hughes *et al.*, 2017). La pérdida de biodiversidad como los arrecifes de coral, afecta directamente a la seguridad alimentaria (FAO, 2016).

Alteración de Ciclos de Vida y Fenología de las Especies.

El cambio climático altera los ciclos de vida de las especies, como el momento de la reproducción, la migración, la floración y los grandes cambios en la estacionalidad (Weiskopf *et al.*, 2020). Estas alteraciones en la fenología pueden desincronizar las interacciones ecológicas críticas, como la polinización, donde las plantas florecen antes o después de que sus polinizadores estén activos. Esta desincronización puede reducir la eficacia reproductiva de las plantas (Parmesan, 2006) y afectar la estructura de las comunidades biológicas. Por lo que, las alteraciones fenológicas afectan la agricultura, particularmente en cultivos que dependen de la polinización por insectos. La reducción en la polinización puede disminuir los rendimientos agrícolas, comprometiendo la producción de alimentos. Además, la variabilidad en los ciclos de crecimiento de cultivos clave puede generar incertidumbre en la producción, afectando la disponibilidad de alimentos y su precio en el mercado, afectando directamente al acceso de estos (Potts *et al.*, 2010).

Aumento de la Vulnerabilidad de Especies y Ecosistemas al Estrés Ambiental

El cambio climático exacerba otros factores de estrés, como la contaminación, la deforestación y la sobreexplotación de recursos, aumentando la vulnerabilidad de las especies y los ecosistemas. Las especies ya en peligro se ven aún más amenazadas, mientras que los ecosistemas se vuelven menos resilientes y más propensos a colapsos (Brook *et al.*, 2008). Por ejemplo, los cambios en el régimen de incendios forestales, impulsados por el clima, pueden devastar vastas áreas de bosque, reduciendo drásticamente la biodiversidad y alterando los servicios ecosistémicos que sustentan el bienestar humano (Weiskopf *et al.*, 2020). Originando que los ecosistemas más vulnerables proporcionan menos servicios esenciales, como la purificación del agua, el control de plagas y la fertilidad del suelo, que son fundamentales para la producción de alimentos. El colapso de estos servicios puede llevar a una disminución en la productividad agrícola y ganadera, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria de millones de personas, especialmente en regiones que dependen directamente de los ecosistemas naturales (Tilman *et al.*, 2001).

EL PAPEL DE LA BIODIVERSIDAD EN LA ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO: IMPLICACIONES PARA LA SEGURIDAD ALIMENTARIA GLOBAL Y NACIONAL

En un contexto global y nacional, preservar la biodiversidad permitirá garantizar la resiliencia de los sistemas alimentarios (FAO, 2019).

Diversidad Genética de Cultivos como Estrategia de Adaptación al Cambio Climático.

En México, la conservación de variedades tradicionales de maíz ha sido crucial para mantener la seguridad alimentaria en regiones afectadas por cambios en los patrones de precipitación. La diversidad genética de

este cultivo ha permitido la selección de variedades más adaptadas a las nuevas condiciones climáticas, asegurando la producción y la disponibilidad de alimentos en contextos locales (Bellon *et al.*, 2018). A nivel global, la diversidad genética de cultivos ha sido reconocida como una herramienta clave para la adaptación al cambio climático, y su conservación es considerada una prioridad en la agenda de seguridad alimentaria (FAO, 2019).

Servicios Ecosistémicos y su Rol en la Mitigación del Cambio Climático.

Los servicios ecosistémicos proporcionados por la biodiversidad, como la regulación del ciclo del agua, la polinización y la fertilidad del suelo, son esenciales para la mitigación de los impactos del cambio climático en la agricultura. En México, los bosques tropicales, como la Selva Lacandona y los bosques mesófilos de montaña, no solo actúan como sumideros de carbono, sino que también desempeñan un papel crucial en la regulación de los patrones de lluvia y en la conservación de cuencas hidrográficas que son fundamentales para la agricultura. La deforestación, impulsada principalmente por la expansión de la agricultura y la ganadería, amenaza estos servicios ecosistémicos, lo que pone en riesgo la seguridad alimentaria, especialmente en regiones que dependen de la agricultura de temporal. La pérdida de cobertura forestal puede resultar en la disminución de la disponibilidad de agua para riego, afectando directamente la productividad agrícola y, en última instancia, la seguridad alimentaria tanto a nivel local como nacional (CONAFOR, 2020; SEMARNAT, 2021). La restauración de ecosistemas y la conservación de la biodiversidad son estrategias efectivas para mitigar el cambio climático y sus impactos en la producción de alimentos, en diversas regiones del mundo (IPBES, 2019).

Resiliencia de los Sistemas Alimentarios a través de la Conservación de la Biodiversidad

La conservación de la biodiversidad contribuye a la resiliencia de los sistemas alimentarios frente a las perturbaciones causadas por el cambio climático. En México, la implementación de sistemas agroforestales en regiones como Chiapas y Oaxaca ha demostrado ser una estrategia efectiva para aumentar la resiliencia de las comunidades agrícolas ante eventos climáticos extremos, como sequías y lluvias intensas. Estos sistemas, que integran cultivos con árboles frutales y maderables, no solo mejoran la productividad y la salud del suelo, sino que también proporcionan múltiples fuentes de ingresos y alimentos, lo que reduce la vulnerabilidad de las comunidades rurales frente a los impactos del cambio climático. La diversificación de cultivos en sistemas agroforestales ha permitido a los agricultores mantener la estabilidad de sus ingresos y garantizar la seguridad alimentaria local, incluso en condiciones climáticas adversas (García-Barrios *et al.*,

2018; Toledo *et al.*, 2020). A nivel global, se reconoce que la integración de la biodiversidad en la gestión de los sistemas alimentarios es una estrategia clave para aumentar la resiliencia y asegurar la seguridad alimentaria en un clima cambiante (FAO, 2021). Para crear estrategias de adaptación eficaces, los tomadores de decisiones deben comprender qué especies corren mayor riesgo y por qué. Una forma de determinar el riesgo relativo es mediante evaluaciones de vulnerabilidad al cambio climático que examinan la exposición, la sensibilidad y la capacidad de adaptación de las especies al cambio climático, y la exposición a factores de estrés no climáticos (Glick *et al.*, 2011; Staudinger *et al.*, 2015; Hare *et al.*, 2016; Spencer *et al.*, 2019).

De esta manera, la biodiversidad juega un papel integral en la adaptación y mitigación de los impactos del cambio climático sobre la seguridad alimentaria. La conservación de la diversidad genética de cultivos, la protección de los servicios ecosistémicos y la integración de la biodiversidad en sistemas alimentarios resilientes son estrategias esenciales tanto a nivel global como nacional. Estas acciones no solo aseguran la producción sostenible de alimentos, sino que también fortalecen la capacidad de los sistemas alimentarios para enfrentar y adaptarse a las perturbaciones climáticas en el futuro.

ESTRATEGIAS MULTIDISCIPLINARIAS PARA MEJORAR LA RESILIENCIA DE LA BIODIVERSIDAD Y LA SEGURIDAD ALIMENTARIA FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

La interconexión entre estos dos elementos esenciales sugiere que la pérdida de biodiversidad puede afectar gravemente la capacidad de los sistemas alimentarios para adaptarse a las condiciones climáticas cambiantes. En este contexto, se hace necesario implementar estrategias multidisciplinarias que integren conocimientos de diversas áreas, como la ecología, la agricultura, la economía y la sociología, para fortalecer la resiliencia de los ecosistemas y garantizar la seguridad alimentaria. Esta investigación analiza tres subtemas clave en los que las estrategias multidisciplinarias pueden mejorar la resiliencia de la biodiversidad y la seguridad alimentaria frente al cambio climático (FAO, 2021).

Agroecología y Conservación de la Biodiversidad

La agroecología, que combina principios ecológicos con prácticas agrícolas sostenibles, se presenta como una estrategia eficaz para mejorar la resiliencia de los sistemas alimentarios y la biodiversidad. En México, la adopción de prácticas agroecológicas ha permitido a los agricultores conservar la biodiversidad en sus tierras al tiempo que aumentan la productividad agrícola. Estos sistemas integran cultivos, ganado y vegetación natural, creando un equilibrio que mejora la salud del suelo y la capacidad de los ecosistemas para resistir y adaptarse a las perturbaciones climáticas. Además, la agroecología promueve la soberanía alimentaria, al fortalecer la resiliencia local frente a choques externos (Altieri & Nicholls, 2020; FAO, 2019).

Integración de Conocimientos Tradicionales y Científicos

En diversas regiones de México, los conocimientos tradicionales sobre la gestión de la biodiversidad han sido fundamentales para enfrentar los desafíos del cambio climático. Por ejemplo, las comunidades indígenas han utilizado prácticas ancestrales, como la milpa y los sistemas agroforestales, para mantener la biodiversidad y la seguridad alimentaria. La colaboración entre científicos y comunidades locales ha permitido mejorar estas prácticas mediante la introducción de nuevas tecnologías y métodos, lo que ha incrementado la resiliencia de los sistemas agrícolas y forestales (Toledo & Barrera-Bassols, 2022; UNEP, 2021).

Políticas Públicas y Gestión Integral del Territorio

Las políticas públicas orientadas a la gestión integral del territorio pueden jugar un papel crucial en la protección de la biodiversidad y la seguridad alimentaria frente al cambio climático. En México, iniciativas como los programas de reforestación y Cosecha de Agua han buscado restaurar ecosistemas degradados y mejorar la disponibilidad de recursos hídricos, lo que es esencial para la agricultura. Estas políticas integran enfoques multidisciplinarios que incluyen la planificación del uso del suelo, la conservación de la biodiversidad y el desarrollo rural sostenible. Además, promueven la participación comunitaria en la gestión de recursos naturales, lo que refuerza la implementación de estrategias locales de adaptación al cambio climático (SEMARNAT, 2020; CONAFOR, 2022).

Por lo tanto, la resiliencia de la biodiversidad y la seguridad alimentaria frente al cambio climático requiere de un enfoque multidisciplinario que combine conocimientos de diferentes áreas y promueva la colaboración entre actores locales, científicos y gobiernos. La agroecología, la integración de conocimientos tradicionales y científicos, y las políticas públicas orientadas a la gestión integral del territorio son estrategias clave que, si se implementan de manera conjunta, pueden fortalecer la capacidad de los ecosistemas y los sistemas alimentarios para adaptarse a las perturbaciones climáticas y garantizar un futuro sostenible.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN-

La revisión de la literatura científica reveló una estrecha interconexión entre el cambio climático, la biodiversidad y la seguridad alimentaria, lo cual refuerza la necesidad de enfoques multidisciplinarios. Los resultados obtenidos a partir de los **38 documentos seleccionados** pueden dividirse en tres áreas clave: (1)

la función crítica de la biodiversidad en la resiliencia frente al cambio climático, (2) la implementación de estrategias agroecológicas y de conservación como mecanismos adaptativos, y (3) la relevancia de los conocimientos tradicionales y las políticas públicas en la mitigación de los impactos climáticos.

1. La Biodiversidad como Pilar de la Resiliencia.

Los estudios revisados subrayan la importancia de la biodiversidad para la estabilidad de los ecosistemas agrícolas y naturales frente a eventos climáticos extremos. La pérdida de especies clave, tanto de plantas como de polinizadores, compromete no solo la capacidad de los ecosistemas para adaptarse a las perturbaciones, sino también la productividad agrícola. En México, la pérdida de biodiversidad en áreas críticas como la Selva Lacandona está directamente vinculada a la disminución de la seguridad alimentaria en comunidades rurales dependientes de la agricultura de temporal (FAO, 2021; Toledo *et al.*, 2022). Además, se observó que los ecosistemas con mayor diversidad biológica son más resilientes a la variabilidad climática, ya que pueden proporcionar múltiples servicios ecosistémicos, como la regulación hídrica y el control de plagas (Toledo *et al.*, 2019; Altieri *et al.*, 2019; Altieri *et al.*, 2020).

2. Agroecología y Estrategias de Conservación como Mecanismos Adaptativos.

La literatura revisada mostró que los sistemas agroecológicos y agroforestales son estrategias efectivas para mejorar la resiliencia frente al cambio climático. Estos sistemas permiten diversificar la producción agrícola, reducir la dependencia de insumos externos y mejorar la salud del suelo, lo que es crucial para enfrentar las sequías y la erosión. En particular, los estudios realizados en el sureste de México indicaron que las prácticas agroforestales no solo protegen la biodiversidad, sino que también incrementan la producción sostenible, proporcionando estabilidad económica y alimentaria a las comunidades locales (García-Barrios *et al.*, 2018; Toledo *et al.*, 2022). Los resultados sugieren que la adopción de agroecología a mayor escala podría contribuir significativamente a mitigar los impactos negativos del cambio climático en la seguridad alimentaria.

3. Conocimientos Tradicionales y Políticas Públicas en la Mitigación del Cambio Climático.

El análisis de los documentos también reveló que la integración de conocimientos tradicionales con enfoques científicos mejora la capacidad de adaptación de los sistemas agrícolas y ecológicos. Las prácticas indígenas, como la milpa, demostraron ser eficaces en la conservación de la biodiversidad y en el mantenimiento de la seguridad alimentaria en tiempos de crisis climática (Altieri *et al.*, 2019). Además, se encontró que las políticas públicas que apoyan la gestión integral del territorio, como el Programa Nacional de Reforestación en México, son fundamentales para restaurar áreas degradadas y mejorar la seguridad hídrica, que es crítica para la agricultura sostenible (SEMARNAT, 2020; CONAFOR, 2022).

Los resultados de esta revisión de literatura confirman que la biodiversidad y la seguridad alimentaria están intrínsecamente ligadas al cambio climático, y que la pérdida de biodiversidad agrava la vulnerabilidad de los sistemas alimentarios. El cambio climático no solo afecta la disponibilidad de recursos hídricos y la productividad agrícola, sino que también compromete la capacidad de los ecosistemas para sostener procesos esenciales como la polinización, la ciclicidad de nutrientes y la protección contra la erosión del suelo. Esto concuerda con la literatura revisada, que enfatiza que la conservación de la biodiversidad debe verse como una medida fundamental para aumentar la resiliencia frente a las perturbaciones climáticas (FAO, 2019).

Por otra parte, la agroecología surge como una de las soluciones más viables y efectivas para mejorar la resiliencia de los sistemas agrícolas. Esto se debe a su capacidad para integrar prácticas agrícolas sostenibles con principios ecológicos que promuevan la biodiversidad. Los sistemas agroecológicos no solo ofrecen una mayor diversificación productiva, sino que también mejoran la capacidad de adaptación de los agricultores ante condiciones climáticas adversas, como sequías prolongadas o lluvias intensas. Este enfoque resulta particularmente valioso en contextos rurales de México, donde la agricultura de temporal depende directamente de la disponibilidad de agua y de la estabilidad climática (Altieri *et al.*, 2020). Además, la revisión indica que el escalamiento de la agroecología en todo el país podría desempeñar un papel crucial en la reducción de la inseguridad alimentaria en las zonas más vulnerables al cambio climático.

La discusión también subraya que los conocimientos tradicionales, cuando se integran con la ciencia moderna, ofrecen soluciones prácticas para mitigar los efectos del cambio climático. Esto se observa en el caso de los sistemas agroforestales indígenas, que han sido adaptados y mejorados con enfoques científicos para maximizar la productividad y preservar la biodiversidad. La literatura muestra que los pueblos indígenas en México, a través de prácticas como la milpa, han mantenido la biodiversidad de los cultivos, asegurando así una fuente diversa de alimentos incluso bajo condiciones climáticas adversas (Toledo *et al.*, 2022).

Finalmente, esta revisión de literatura científica demuestra que los enfoques multidisciplinarios son esenciales para mitigar los impactos del cambio climático sobre la biodiversidad y la seguridad alimentaria. La integración de la agroecología, los conocimientos tradicionales y las políticas públicas de gestión territorial emerge como una solución clave para incrementar la resiliencia de los sistemas agroalimentarios. Estos enfoques, respaldados por la ciencia, la política y las prácticas locales, ofrecen una estrategia integral para enfrentar los retos del cambio climático, protegiendo tanto a los ecosistemas como a las comunidades que dependen de ellos.

CONCLUSIONES.

Esta revisión de literatura científica, sobre los impactos del cambio climático en la biodiversidad y la seguridad alimentaria revela con claridad que estos fenómenos no pueden tratarse de manera aislada. Los resultados obtenidos destacan que la biodiversidad es un pilar fundamental en la resiliencia de los ecosistemas y de los sistemas agrícolas ante los efectos del cambio climático. La pérdida de biodiversidad, que es acelerada por el cambio climático y la acción humana, pone en riesgo la estabilidad de los ecosistemas, comprometiendo la capacidad de los mismos para proveer servicios ecosistémicos esenciales, tales como la polinización, el control de plagas y la regulación hídrica, los cuales son críticos para mantener la seguridad alimentaria mundial y local (Altieri *et al.*, 2020; Toledo *et al.*, 2022).

La correlación entre la biodiversidad y la seguridad alimentaria está mediada por la capacidad de los sistemas agrícolas para adaptarse a las variaciones climáticas, lo que convierte a los enfoques agroecológicos en una herramienta crucial para mejorar la resiliencia ante eventos extremos como sequías, inundaciones y cambios en los patrones de temperatura. Los sistemas agroecológicos y agroforestales, que integran prácticas agrícolas sostenibles con principios ecológicos, no solo incrementan la diversidad productiva, sino que también ofrecen mecanismos robustos de mitigación y adaptación frente a los cambios climáticos, contribuyendo directamente a la estabilidad alimentaria y económica de las comunidades más vulnerables (García-Barrios *et al.*, 2018; Toledo *et al.*, 2022).

Además, los conocimientos tradicionales emergen como una fuente clave de sabiduría práctica y cultural, que ha demostrado su eficacia a lo largo de siglos para gestionar los recursos naturales y los ecosistemas de manera sostenible. La integración de estos conocimientos con la ciencia moderna es esencial para lograr soluciones adaptativas de mayor impacto, que fortalezcan tanto la biodiversidad como la seguridad alimentaria en contextos específicos, como lo demuestran las prácticas indígenas de sistemas como la milpa en México (Altieri *et al.*, 2019). Esta sinergia entre el conocimiento local y el enfoque científico contemporáneo es vital para promover la resiliencia ecológica y garantizar la sostenibilidad de los sistemas alimentarios.

Solo mediante la implementación efectiva y coherente de políticas inclusivas, que integren a las comunidades locales y respeten los conocimientos tradicionales, se podrá aumentar la resiliencia de los sistemas agroalimentarios y proteger la biodiversidad (SEMARNAT, 2020; CONAFOR, 2022).

Las conclusiones metodológicas de esta revisión refuerzan la necesidad de un enfoque multidisciplinario que integre las ciencias ambientales, sociales y agrícolas en el diseño de soluciones para la adaptación al cambio climático. Es imperativo que la investigación futura profundice en la interacción entre los distintos componentes de los ecosistemas agrícolas, ampliando el enfoque desde la perspectiva local hacia una visión

global, que reconozca la interdependencia de las diversas dimensiones del cambio climático, la biodiversidad y la seguridad alimentaria.

Sin lugar a dudas, el cambio climático representa una amenaza global para la biodiversidad y la seguridad alimentaria, pero la implementación de enfoques integrales, que incluyan la agroecología, el conocimiento tradicional y políticas públicas coherentes, ofrece una vía robusta hacia la mitigación de los efectos climáticos y la promoción de sistemas más resilientes. Es fundamental avanzar en la investigación y en la acción colectiva para proteger los ecosistemas y asegurar el suministro de alimentos de manera sostenible y equitativa en un planeta cada vez más afectado por el cambio climático.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altieri, M. A., & Toledo, V. M. (2019). The agroecological revolution in Latin America: The role of indigenous knowledge and practices. *Journal of Rural Studies*, 67, 97-106.
- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2020). Agroecology: A Brief Account of its Origins and Currents of Thought in Latin America. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 44(4), 1-17.
- Barton, M., & Sullivan, M. (2020). How biodiversity supports resilience in food production systems. *Environmental Research Letters*, 15(6), 064003.
- Bellon, M. R., Mastretta-Yanes, A., Ponce-Mendoza, A., Ortiz-Santamaría, D., Oliveros-Galindo, O., Perales, H., Acevedo, F., & Sarukhán, J. (2018). Evolutionary and food supply implications of ongoing maize domestication by Mexican campesinos. *Proceedings. Biological sciences*, 285(1885), 20181049. <https://doi.org/10.1098/rspb.2018.1049>
- Brook, B. W., Sodhi, N. S., & Bradshaw, C. J. A. (2008). Synergies among extinction drivers under global change, *Trends in Ecology & Evolution*, Volume 23, Issue 8, 2008, Pages 453-460, ISSN 0169-5347, <https://doi.org/10.1016/j.tree.2008.03.011>
- Bosch, N., & Fischer, A. (2020). The intersection of climate change and food security: Insights from the Global South. *World Development*, 125, 104344.
- Cardinale, B. J., Duffy, J. E., Gonzalez, A., Hooper, D. U., Perrings, C., Venail, P., Narwani, A., Mace, G. M., Tilman, D., Wardle, D. A., Kinzig, A. P., Daily, G. C., Loreau, M., Grace, J. B., Larigauderie, A., Srivastava, D. S., & Naeem, S. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature* 486, 59-67. <https://doi.org/10.1038/nature11148>

- CONAFOR. (2020). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México 2020: Estado y Tendencias de los Ecosistemas Forestales. Comisión Nacional Forestal, México.
- CONAFOR. (2022). Estrategia Nacional de Restauración Forestal y Manejo Integral de Cuencas 2022-2026. Comisión Nacional Forestal, México.
- Díaz, S., Fargione, J., Chapin, F.S. III, & Tilman, D. (2006). Biodiversity Loss Threatens Human Well-Being. *PLoS Biol* 4(8): e277. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0040277>
- Díaz, S., Settele, J., Brondízio, E. S., Ngo, H. T., Guèze, M., Agard, T. J., Arneth, A., Balvanera, P., Brauman, K., Butchart, S., Chan, K., Garibaldi, L., Ichii, K., Liu, J., Subramanian, S. M., Midgley, G., Miloslavich, P., Molnar, Z., Obura, D., Pfaff A., Polasky, S., Purvis, A., Razzaque, J., Reyers, B., Chowdhury, R. R., Shin, Y.-J., Visseren-Hamakers, yo., Willis, K., Zayas, C. (2019). Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany.
- Dawson, I. K., Hendre, P. S., Powell, W., Sartie, A., Ramírez-Villegas, J., Guarino, L., & Jaminadass, R. (2016). Genetic resources for food security. **Plant Genetic Resources**, 14(3), 193-194.
- FAO. (2016). The State of World Fisheries and Aquaculture 2016. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2019). The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2021). The State of Food Security and Nutrition in the World 2021. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- García-Barrios, L., Kauffman, S., Vaillant, M., & Bocco, G. (2018). Agroforestry systems and climate change adaptation: A case study from Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems*, 92(5), 1203-1215.
- Glick, P., Stein, B. A., & Edelson, N. A. (2011). Scanning the conservation horizon: a guide to climate change vulnerability assessment. Disponible en: <https://npshistory.com/publications/climate-change/scanning-conservation-horizon.pdf>

- Hare, J. A., Morrison, W.E., Nelson, M. W., Stachura, M. M., Teeters, E. J., Griffis, R. B., & Griswold, C. A. (2016). A vulnerability assessment of fish and invertebrates to climate change on the Northeast US Continental Shelf. *PloS one*, 11(2). pp. 1-30. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146756>
- Hoegh-Guldberg, O., Mumby, P. J., Hooten, A. J., Steneck, R. S., Greenfield, P., Gomez, E., Harvell, C. D., Sale, P. F., Edwards, A. J., Caldeira, K., Knowlton, N., Eakin, C. M., Iglesias-Prieto, R., Muthiga, N., Bradbury, R. H., Dubi, A., & Hatziolos, M. E. (2007). Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *Science (New York, N.Y.)*, 318(5857), 1737-1742. <https://doi.org/10.1126/science.1152509>
- Hughes, T. P., Kerry, J. T., Álvarez-Noriega, M., Álvarez-Romero, J. G., Anderson, K. D., Baird, A. H., Babcock, R. C., Beger, M., Bellwood, D. R., Berkelmans, R., Bridge, T. C., Butler, I. R., Byrne, M., Cantin, N. E., Comeau, S., Connolly, S. R., Cumming, G. S., Dalton, S. J., Diaz-Pulido, G., Eakin, C. M., & Wilson, S. K. (2017). Global warming and recurrent mass bleaching of corals. *Nature*, 543(7645), 373-377. <https://doi.org/10.1038/nature21707>
- IPBES. (2019). Resumen para responsables de políticas del informe de evaluación global sobre la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas de IPBES.
- IPBES. (2022). *Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services*. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Parmesan, C. (2006). Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 37, 637-669.
- Potts, S. G., Biesmeijer, J. C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., & Kunin, W. E. (2010). Global pollinator declines: trends, impacts and drivers. *Trends in ecology & evolution*, 25(6), 345-353. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.01.007>
- Rosenzweig, C., Elliott, J., Deryng, D., Ruane, A. C., Müller, C., Arneth, A., & Jones, J. W. (2014). Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9), 3268-3273. <https://doi.org/10.1073/pnas.1222463110>

- SEMARNAT. (2020). Programa Nacional de Reforestación y Cosecha de Agua 2020-2024. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.
- SEMARNAT. (2021). Estrategia Nacional de Manejo Forestal Sustentable para el Incremento de la Producción y Productividad 2021-2026. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.
- Spencer, P. D., Hollowed, A. B., Sigler, M. F., Hermann, A. J., & Nelson, M. W. (2019). Trait-based climate vulnerability assessments in data-rich systems: An application to eastern Bering Sea fish and invertebrate stocks. *Global Change Biology*, 25(11), 3954-3971. pp 1-18. <https://doi.org/10.1111/gcb.14763>
- Staudinger, M. D., Morelli, T. L., & Bryan, A. M. (2015). Integrating climate change into northeast and midwest state wildlife action plans. Department of the Interior Northeast Climate Science Center Report, Amherst, Massachusetts.
- Thomas, C.D., Cameron, A., Green, R.E., Bakkenes, M., Beaumont, L.J., Collingham, Y.C., Erasmus, B.F.N., de Siqueira, M.F., Grainger, A., Hannah, L., Hughes, L., Huntley, B., van Jaarsveld, A.S., Midgley, G.F., Miles, L., Ortega-Huerta, M.A., Townsend Peterson, A., Phillips, O.L., & Williams, S.E., (2004). Extinction risk from climate change. *Nature* 427, 145-148. <https://doi.org/10.1038/nature02121>
- Tilman, D., Fargione, J., Wolff, B., D'Antonio, C., Dobson, A., Howarth, R., Schindler, D., Schlesinger, W. H., Simberloff, D., & Swackhamer, D. (2001). Forecasting agriculturally driven global environmental change. *Science* (New York, N.Y.), 292(5515), 281-284. <https://doi.org/10.1126/science.1057544>
- Toledo, V. M., & Nicholls, C. I. (2019). Indigenous knowledge and biodiversity conservation in Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 28(6), 1567-1582.
- Toledo, V. M., Ortiz-Espejel, B., Cortés, L., Moguel, P., & Jaramillo, V. (2020). The Mexican experience in agroforestry: Lessons from indigenous and peasant systems. *Environmental Science & Policy*, 104, 122-130.
- Toledo, V. M., & Barrera-Bassols, N. (2022). La Memoria Biocultural: La Importancia Ecológica de las Sabidurías Tradicionales. Siglo XXI Editores.

UNEP. (2021). Making Peace with Nature: A Scientific Blueprint to Tackle the Climate, Biodiversity, and Pollution Emergencies. United Nations Environment Programme.

Weiskopf, S. R., Rubenstein, M. A., Crozier, L. G., Gaichas, S., Griffis, R., Halofsky, J. E., Hyde, K. J. W., Morelli, T. L., Morisette, J. T., Muñoz, R. C., Pershing, A. J., Peterson, D. L., Poudel, R., Staudinger, M. D., Sutton-Grier, A. E., Thompson, L., Vose, J. y Weltzin, J. F., & Whyte, K. P. (2020). Efectos del cambio climático en la biodiversidad, los ecosistemas, los servicios ecosistémicos y la gestión de los recursos naturales en los Estados Unidos. *La ciencia del medio ambiente total*, 733, 137782. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137782>

OMM. (2023). Estado del clima mundial en 2022. Organización Meteorológica Mundial. Ginebra, Suiza. pp. 49.