



Estrategias adaptativas de la Agroindustria frente al cambio climático: Un análisis crítico

Adaptive strategies of Agroindustry in the face of climate change: A critical analysis

Estratégias adaptativas da Agroindústria face às mudanças climáticas: Uma análise crítica

Karla Lilibeth Cevallos-Angulo ¹

karly_memo@hotmail.com

<https://orcid.org/0009-0004-3990-4346>

Correspondencia: karly_memo@hotmail.com

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 10 de febrero de 2024 * **Aceptado:** 07 de marzo de 2024 * **Publicado:** 30 de abril de 2024

- I. Ingeniera Química en la Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas, Magíster en Gestión de Riesgos Mención en Prevención de Riesgos Laborales en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ecuador.

Resumen

El cambio climático se ha consolidado como un fenómeno global impulsado por el aumento en la concentración de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), y el óxido nitroso (N₂O) (Boomiraj et al., 2010). Estos gases atrapan el calor en la atmósfera, generando un efecto invernadero que resulta en el aumento de las temperaturas globales. Este calentamiento es responsable de fenómenos como el derretimiento de los casquetes polares, la acidificación de los océanos y la intensificación de eventos meteorológicos extremos. Estos cambios climáticos presentan desafíos sin precedentes para la agroindustria, que depende críticamente de condiciones climáticas estables. Los científicos utilizan modelos climáticos computarizados para simular y prever el comportamiento del clima bajo diferentes escenarios de emisión de gases. Estos modelos son esenciales para evaluar futuros impactos climáticos y orientar la planificación en sectores vulnerables como la agroindustria. Las proyecciones indican que el cambio climático alterará la productividad agrícola, modificará los patrones de precipitación y exacerbará la frecuencia e intensidad de los desastres naturales, afectando directamente la seguridad alimentaria y las economías dependientes de la agricultura (Hallegatte et al., 2011). El cambio climático afecta a la agroindustria de manera multifacética. Un aspecto crítico es la alteración de los patrones de precipitación y el incremento en la variabilidad de las temperaturas, que pueden desencadenar sequías o inundaciones, afectando adversamente la producción agrícola. Además, el aumento de las temperaturas puede facilitar la expansión geográfica de plagas y enfermedades, poniendo en riesgo los cultivos y la ganadería, y requiriendo cambios en las estrategias de manejo agrícola. La agroindustria enfrenta también un desafío significativo debido a la alteración de las estaciones de crecimiento de los cultivos. Las plantas son sensibles a variaciones en la temperatura, y cambios sutiles pueden afectar su fenología y productividad, potencialmente reduciendo los rendimientos agrícolas y la calidad de los productos. La creciente incidencia de eventos climáticos extremos como tormentas y huracanes puede causar daños físicos directos a la infraestructura agrícola, erosionando la base económica de comunidades rurales y aumentando la volatilidad de los mercados agrícolas (Antle, 1995). En respuesta a estos retos, es imperativo desarrollar y aplicar estrategias adaptativas que permitan a la agroindustria anticipar, mitigar y recuperarse de los efectos adversos del cambio climático. Esto incluye la adopción de prácticas de cultivo más resilientes, la mejora en la gestión de recursos hídricos y la implementación de tecnologías avanzadas para el seguimiento y predicción del clima. La

integración de estas estrategias en un marco de sostenibilidad a largo plazo es crucial para asegurar la viabilidad futura de la agroindustria global.

Palabras clave: Estrategias adaptativas; cambio climático; agroindustria; efecto invernadero.

Abstract

Climate change has become established as a global phenomenon driven by the increase in the concentration of greenhouse gases, such as carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), and nitrous oxide (N₂O) (Boomiraj et al., 2010). These gases trap heat in the atmosphere, generating a greenhouse effect that results in rising global temperatures. This warming is responsible for phenomena such as the melting of the polar caps, the acidification of the oceans and the intensification of extreme weather events. These climate changes present unprecedented challenges for agribusiness, which is critically dependent on stable climate conditions. Scientists use computerized climate models to simulate and predict climate behavior under different gas emission scenarios. These models are essential to evaluate future climate impacts and guide planning in vulnerable sectors such as agribusiness. Projections indicate that climate change will alter agricultural productivity, modify precipitation patterns, and exacerbate the frequency and intensity of natural disasters, directly affecting food security and agriculture-dependent economies (Hallegatte et al., 2011). Climate change affects agribusiness in a multifaceted way. A critical aspect is the alteration of precipitation patterns and the increase in temperature variability, which can trigger droughts or floods, adversely affecting agricultural production. In addition, increasing temperatures can facilitate the geographical expansion of pests and diseases, putting crops and livestock at risk, and requiring changes in agricultural management strategies. Agribusiness also faces a significant challenge due to altered crop growing seasons. Plants are sensitive to variations in temperature, and subtle changes can affect their phenology and productivity, potentially reducing agricultural yields and product quality. The increasing incidence of extreme weather events such as storms and hurricanes can cause direct physical damage to agricultural infrastructure, eroding the economic base of rural communities and increasing the volatility of agricultural markets (Antle, 1995). In response to these challenges, it is imperative to develop and apply adaptive strategies that allow agribusiness to anticipate, mitigate and recover from the adverse effects of climate change. This includes adopting more resilient farming practices, improving water resource management, and implementing advanced technologies for climate monitoring and prediction. Integrating these

strategies into a long-term sustainability framework is crucial to ensuring the future viability of global agribusiness.

Keywords: Adaptive strategies; climate change; agroindustry; greenhouse effect.

Resumo

As mudanças climáticas estabeleceram-se como um fenômeno global impulsionado pelo aumento na concentração de gases de efeito estufa, como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) (Boomiraj et al., 2010). Esses gases retêm o calor na atmosfera, gerando um efeito estufa que resulta no aumento da temperatura global. Este aquecimento é responsável por fenômenos como o derretimento das calotas polares, a acidificação dos oceanos e a intensificação de fenômenos climáticos extremos. Estas alterações climáticas apresentam desafios sem precedentes para o agronegócio, que depende criticamente de condições climáticas estáveis. Os cientistas utilizam modelos climáticos computadorizados para simular e prever o comportamento climático sob diferentes cenários de emissão de gases. Estes modelos são essenciais para avaliar os impactos climáticos futuros e orientar o planejamento em setores vulneráveis, como o agronegócio. As projeções indicam que as alterações climáticas irão alterar a produtividade agrícola, modificar os padrões de precipitação e exacerbar a frequência e intensidade dos desastres naturais, afetando diretamente a segurança alimentar e as economias dependentes da agricultura (Hallegatte et al., 2011). As mudanças climáticas afetam o agronegócio de forma multifacetada. Um aspecto crítico é a alteração dos padrões de precipitação e o aumento da variabilidade da temperatura, que pode desencadear secas ou inundações, afetando negativamente a produção agrícola. Além disso, o aumento das temperaturas pode facilitar a expansão geográfica de pragas e doenças, colocando em risco as culturas e o gado, e exigindo mudanças nas estratégias de gestão agrícola. O agronegócio também enfrenta um desafio significativo devido às alterações nas épocas de cultivo das culturas. As plantas são sensíveis às variações de temperatura e mudanças sutis podem afetar sua fenologia e produtividade, reduzindo potencialmente o rendimento agrícola e a qualidade do produto. A crescente incidência de fenômenos meteorológicos extremos, como tempestades e furacões, pode causar danos físicos directos às infra-estruturas agrícolas, desgastando a base económica das comunidades rurais e aumentando a volatilidade dos mercados agrícolas (Antle, 1995). Em resposta a estes desafios, é imperativo desenvolver e aplicar estratégias adaptativas que permitam ao agronegócio antecipar, mitigar e recuperar dos efeitos adversos das alterações climáticas. Isto inclui

a adoção de práticas agrícolas mais resilientes, a melhoria da gestão dos recursos hídricos e a implementação de tecnologias avançadas para monitorização e previsão do clima. A integração destas estratégias num quadro de sustentabilidade a longo prazo é crucial para garantir a viabilidade futura do agronegócio global.

Palavras-chave: Estratégias adaptativas; mudanças climáticas; agroindústria, efeito estufa.

Introducción

Cambio Climático y sus Causas

El cambio climático se ha convertido en un tema central en la agenda global debido a sus impactos generalizados y su potencial para desencadenar crisis humanitarias y ambientales. Los científicos han establecido que el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O), es el principal impulsor del cambio climático observado en las últimas décadas. Estos gases atrapan el calor en la atmósfera, creando un efecto invernadero que eleva las temperaturas promedio del planeta y desencadena una serie de cambios en el clima, como el aumento de las temperaturas globales, el derretimiento de los casquetes polares, la acidificación de los océanos y la intensificación de fenómenos meteorológicos extremos (Boomiraj et al., 2010).

La agroindustria, que incluye la producción agrícola, la ganadería, la pesca y la silvicultura, es especialmente susceptible a los efectos del cambio climático debido a su dependencia de condiciones climáticas estables y predecibles para garantizar la productividad y la rentabilidad. Los impactos del cambio climático en la agroindustria son multifacéticos y se manifiestan de diversas formas, incluida la alteración de los patrones de precipitación, el aumento de las temperaturas, la frecuencia e intensidad de eventos climáticos extremos como sequías, inundaciones y tormentas, y la aparición de nuevas plagas y enfermedades. Para comprender y prever los impactos del cambio climático en la agroindustria, los científicos utilizan modelos climáticos computarizados que simulan el comportamiento de la atmósfera, los océanos y la superficie terrestre en respuesta a cambios en las concentraciones de gases de efecto invernadero y otros factores.

Estos modelos permiten a los investigadores proyectar escenarios futuros de cambio climático y evaluar sus posibles efectos en la producción agrícola, la disponibilidad de recursos naturales y la seguridad alimentaria. La aplicación de modelos de predicción climática en la agroindustria es fundamental para la planificación y la toma de decisiones estratégicas, ya que proporciona

información sobre los riesgos y oportunidades asociados con diferentes escenarios climáticos (Singh & Reddy, 2013).

Si bien el cambio climático afecta a la agroindustria en todo el mundo, existen disparidades regionales en términos de la magnitud y el alcance de sus impactos. Las regiones tropicales y subtropicales son particularmente vulnerables debido a su alta dependencia de la agricultura de subsistencia y la exposición a fenómenos climáticos extremos. Del mismo modo, ciertos sectores agrícolas, como la producción de cultivos sensibles al calor y la ganadería extensiva, son más susceptibles a los efectos negativos del cambio climático en comparación con otros sectores más resistentes y diversificados (Singh & Reddy, 2013).

A medida que las emisiones de gases de efecto invernadero continúan aumentando y los efectos del cambio climático se vuelven más pronunciados, se espera que los desafíos para la agroindustria aumenten en las próximas décadas. Se prevé que el cambio climático alterará significativamente los patrones de producción agrícola, provocando cambios en la distribución geográfica de los cultivos, la disponibilidad de tierras agrícolas y los rendimientos agrícolas. Se espera que los eventos climáticos extremos se vuelvan más frecuentes e intensos, lo que podría poner en riesgo la seguridad alimentaria y la estabilidad económica de millones de personas en todo el mundo (Ramírez-Villegas et al., 2012).

Desafíos específicos para la agroindustria

Variabilidad climática y su influencia en la producción agrícola

La variabilidad climática, caracterizada por fluctuaciones anuales e interanuales en los patrones climáticos, presenta desafíos significativos para la agroindustria. Los cambios impredecibles en la temperatura, las precipitaciones y otros factores climáticos pueden afectar la productividad y la calidad de los cultivos, así como la disponibilidad de recursos hídricos para el riego.

Esta incertidumbre climática dificulta la planificación agrícola y la toma de decisiones relacionadas con la siembra, la cosecha y la gestión de riesgos. Además de la variabilidad climática a corto plazo, la agroindustria también enfrenta desafíos relacionados con la variabilidad climática a largo plazo, incluidos cambios graduales en los patrones climáticos y la frecuencia de eventos climáticos extremos (Lin, 2011). Estos cambios pueden tener efectos duraderos en la productividad y la rentabilidad de los sistemas agroalimentarios, especialmente en regiones vulnerables a sequías, inundaciones o cambios en la temperatura.

Escasez de agua y gestión de recursos hídricos en la Agroindustria

La escasez de agua es uno de los principales desafíos que enfrenta la agroindustria en un contexto de cambio climático. El aumento de las temperaturas y la variabilidad en los patrones de precipitación pueden reducir la disponibilidad de agua dulce para riego y otros fines agrícolas, lo que pone en peligro la producción de cultivos y la seguridad alimentaria. La gestión eficiente de los recursos hídricos en la agroindustria es crucial para mitigar los impactos de la escasez de agua y garantizar la sostenibilidad a largo plazo de la producción agrícola. La implementación de prácticas de conservación del agua, como el riego por goteo, el uso de cultivos resistentes a la sequía y la recolección y almacenamiento de agua de lluvia, puede ayudar a mejorar la eficiencia en el uso del agua en la agricultura (Hoang et al., 2014). Además, es necesario promover la gestión integrada de los recursos hídricos a nivel de cuenca, que involucre a diferentes actores y sectores, para garantizar un uso equitativo y sostenible del agua en la agroindustria.

Pérdida de biodiversidad y su impacto en la seguridad alimentaria

La pérdida de biodiversidad, resultado del cambio climático y otras presiones antropogénicas, representa un riesgo significativo para la seguridad alimentaria y la resiliencia de la agroindustria. La reducción de la diversidad genética de los cultivos y la pérdida de hábitats naturales pueden aumentar la vulnerabilidad de los sistemas agroalimentarios a enfermedades, plagas y condiciones climáticas adversas (Lal, 2014).

La conservación y el uso sostenible de la biodiversidad agrícola son fundamentales para garantizar la seguridad alimentaria y la adaptabilidad de la agroindustria frente al cambio climático. Esto incluye la promoción de prácticas agrícolas agroecológicas que fomenten la diversidad de cultivos y la protección de los ecosistemas naturales que proporcionan servicios ecosistémicos clave para la agricultura, como la polinización y la regulación del clima. Además, es importante promover la conservación in situ y la utilización de bancos de germoplasma para preservar la diversidad genética de los cultivos y garantizar su disponibilidad para futuras generaciones (Remans et al., 2019).

Degradación del suelo y prácticas agrícolas sostenibles

La degradación del suelo es otro desafío crítico para la agroindustria en el contexto del cambio climático. La erosión del suelo, la salinización, la compactación y la pérdida de materia orgánica

son algunas de las formas en que el suelo puede degradarse, reduciendo su fertilidad y capacidad para soportar cultivos saludables (Rockström, 2004; Srivastav et al., 2021). El cambio climático puede exacerbar estos procesos al aumentar la frecuencia e intensidad de eventos extremos, como inundaciones y sequías, que erosionan el suelo y alteran su estructura.

Para abordar la degradación del suelo, es crucial promover prácticas agrícolas sostenibles que mejoren la salud del suelo y aumenten su resiliencia frente al cambio climático. Esto incluye la adopción de técnicas de conservación del suelo, como la labranza mínima, la rotación de cultivos y la siembra directa, que reducen la erosión y promueven la acumulación de materia orgánica en el suelo. Además, la aplicación de enmiendas orgánicas, como compost y estiércol, puede mejorar la estructura del suelo y aumentar su capacidad de retención de agua y nutrientes, beneficiando a los cultivos y reduciendo la dependencia de fertilizantes químicos.

Inestabilidad económica y adaptación de los sistemas agroalimentarios

La inestabilidad económica es un desafío adicional para la agroindustria en un contexto de cambio climático, ya que afecta la viabilidad financiera de las explotaciones agrícolas y la cadena de suministro agroalimentaria. Los impactos del cambio climático, como la pérdida de cultivos, la escasez de agua y la aparición de nuevas enfermedades, pueden aumentar los costos de producción y reducir los ingresos de los agricultores, especialmente en regiones vulnerables con recursos limitados. La adaptación de los sistemas agroalimentarios a la inestabilidad económica y el cambio climático requiere una combinación de medidas de corto y largo plazo, que aborden tanto los impactos directos del cambio climático como los factores socioeconómicos subyacentes que contribuyen a la vulnerabilidad de la agroindustria (Hamam et al., 2023). Esto incluye la diversificación de ingresos agrícolas mediante la adopción de cultivos resilientes y la integración de prácticas agroforestales y ganaderas, que pueden proporcionar ingresos adicionales y mejorar la resiliencia de los sistemas agrícolas frente a condiciones climáticas cambiantes. Además, es necesario promover políticas y programas de apoyo, como subsidios agrícolas, seguros de cosechas y acceso a crédito, que ayuden a los agricultores a hacer frente a los desafíos económicos asociados con el cambio climático y promuevan la sostenibilidad a largo plazo de la agroindustria (Thornton et al., 2014).

Estrategias adaptativas en la producción agrícola

Diversificación de cultivos y sistemas agrícolas resilientes al clima

La diversificación de cultivos es una estrategia fundamental para aumentar la resiliencia de la agroindustria frente al cambio climático. Al cultivar una variedad de cultivos con diferentes requerimientos climáticos y ciclos de crecimiento, los agricultores pueden reducir su vulnerabilidad a eventos climáticos extremos y enfermedades específicas de los cultivos. Además, la diversificación de cultivos puede mejorar la estabilidad de los ingresos agrícolas y promover la seguridad alimentaria al proporcionar una mayor variedad de alimentos para consumo humano y animal. La implementación de sistemas agrícolas resilientes al clima, como la agroforestería y la agricultura de conservación, también puede mejorar la resiliencia de la agroindustria al cambio climático. Estos sistemas integran árboles, cultivos y/o ganado en un mismo espacio, aprovechando los beneficios complementarios entre ellos para mejorar la salud del suelo, aumentar la biodiversidad y reducir los riesgos asociados con la variabilidad climática (Troy et al., 2015).

Mejora de prácticas agronómicas para aumentar la productividad y la sostenibilidad

La adopción de prácticas agronómicas mejoradas es esencial para aumentar la productividad y la sostenibilidad de la producción agrícola en un contexto de cambio climático. Esto incluye el uso eficiente de insumos agrícolas, como fertilizantes y pesticidas, para reducir los impactos ambientales y optimizar los rendimientos de los cultivos. Además, la aplicación de técnicas de manejo integrado de plagas y enfermedades puede ayudar a prevenir y controlar las infestaciones, reduciendo la necesidad de productos químicos y promoviendo la salud de los ecosistemas agrícolas. La incorporación de prácticas de conservación del suelo, como la labranza mínima y la cobertura vegetal, también puede mejorar la sostenibilidad de la producción agrícola al reducir la erosión del suelo, mejorar la retención de agua y aumentar la materia orgánica del suelo (Zhao et al., 2005). Estas prácticas pueden mejorar la resiliencia de los cultivos frente a condiciones climáticas adversas, como sequías y tormentas, y promover la estabilidad a largo plazo de los sistemas agroalimentarios.

Agricultura de precisión y tecnologías digitales para la gestión de cultivos

La agricultura de precisión y las tecnologías digitales ofrecen herramientas innovadoras para mejorar la gestión de los cultivos y aumentar la eficiencia de la producción agrícola en un contexto

de cambio climático. Estas tecnologías permiten a los agricultores recopilar y analizar datos detallados sobre las condiciones del suelo, el clima y el crecimiento de los cultivos, lo que les permite tomar decisiones informadas y precisas sobre el manejo de los cultivos, la aplicación de insumos agrícolas y la programación de riegos.

La utilización de sistemas de información geográfica (SIG), imágenes satelitales y sensores remotos puede proporcionar información en tiempo real sobre el estado de los cultivos y los riesgos climáticos, permitiendo a los agricultores identificar áreas de manejo específicas y optimizar el uso de recursos agrícolas (Porter & Semenov, 2005). Además, el uso de tecnologías de automatización, como drones y robots agrícolas, puede mejorar la eficiencia operativa y reducir los costos de mano de obra, lo que contribuye a la sostenibilidad económica de la producción agrícola.

Innovaciones en el manejo integrado de plagas y enfermedades

El manejo integrado de plagas y enfermedades (MIPE) es una estrategia clave para enfrentar los desafíos planteados por el cambio climático en la agroindustria. Esta estrategia se basa en la combinación de diferentes métodos de control, como el control biológico, el control cultural y el control químico, para minimizar el impacto de las plagas y enfermedades en los cultivos de manera sostenible y eficiente. En un contexto de cambio climático, donde se espera una mayor presión de plagas y enfermedades debido a condiciones ambientales más favorables para su proliferación, el MIPE se vuelve aún más relevante como herramienta para garantizar la seguridad alimentaria y la rentabilidad de los sistemas agrícolas (Zhao et al., 2005).

Las innovaciones en el MIPE incluyen el desarrollo de métodos de control biológico más eficaces y específicos, como el uso de organismos benéficos para el control de plagas y la aplicación de productos biológicos como biopesticidas y feromonas. Además, se están investigando nuevas estrategias de manejo cultural, como la rotación de cultivos y la selección de variedades resistentes, que pueden reducir la incidencia de plagas y enfermedades y disminuir la dependencia de pesticidas químicos (Negra et al., 2014). El uso de tecnologías de monitoreo avanzadas, como sensores de detección temprana y sistemas de alerta, también puede mejorar la eficacia del MIPE al permitir una respuesta rápida y dirigida a los brotes de plagas y enfermedades.

Biofortificación y mejora genética de cultivos para aumentar la resistencia al cambio climático

La biofortificación y la mejora genética de cultivos son estrategias prometedoras para aumentar la resistencia de los cultivos al cambio climático y mejorar su valor nutricional en un contexto de seguridad alimentaria global. La biofortificación implica la selección y el mejoramiento de variedades de cultivos con mayor contenido de nutrientes esenciales, como vitaminas, minerales y antioxidantes, con el objetivo de combatir la malnutrición y mejorar la salud de las poblaciones vulnerables. En el contexto del cambio climático, la biofortificación puede jugar un papel clave en la adaptación de los sistemas agrícolas a condiciones climáticas cambiantes, al proporcionar cultivos más resistentes y nutritivos que puedan prosperar en entornos desafiantes (Porter & Semenov, 2005).

Por otro lado, la mejora genética de cultivos se centra en la modificación de los genes de las plantas para mejorar sus características agronómicas, como la resistencia a enfermedades, la tolerancia a la sequía y la calidad del rendimiento. En un contexto de cambio climático, la mejora genética puede ayudar a desarrollar variedades de cultivos más resistentes y productivas, que puedan adaptarse a condiciones climáticas adversas y proporcionar rendimientos estables y predecibles (Zhao et al., 2005). Además, la mejora genética puede ayudar a reducir la dependencia de insumos agrícolas externos, como fertilizantes y pesticidas, promoviendo la sostenibilidad a largo plazo de la producción agrícola.

Innovación tecnológica y agricultura sostenible

Agricultura inteligente y uso eficiente de recursos naturales

La agricultura inteligente se basa en el uso de tecnologías avanzadas para optimizar la producción agrícola y minimizar el impacto ambiental. Esto incluye el uso de sistemas de riego de precisión, que aplican agua de manera controlada y eficiente, reduciendo el desperdicio y mejorando la salud del suelo. Además, la agricultura inteligente aprovecha la teledetección y la monitorización satelital para el seguimiento de cultivos y la detección temprana de problemas, permitiendo una gestión más proactiva y sostenible de los recursos naturales. Otra innovación importante en la agricultura sostenible es el uso de técnicas de cultivo sin suelo, como la hidroponía y la aeroponía, que permiten el cultivo de plantas en ambientes controlados y sin necesidad de tierra (Gunningham & Holley, 2016; Negra et al., 2014). Estos sistemas pueden ser especialmente útiles en áreas con

suelos degradados o escasez de agua, ya que reducen la dependencia de recursos naturales limitados y pueden aumentar la productividad agrícola en espacios urbanos o periurbanos.

Agricultura de precisión y sistemas de monitoreo ambiental

La agricultura de precisión se basa en la recopilación y análisis de datos detallados sobre las condiciones del suelo, el clima y el crecimiento de los cultivos, utilizando tecnologías como los sistemas de posicionamiento global (GPS), los sensores remotos y los drones (Getman & Bredikhina, 2023; Hallegatte et al., 2011).

Estos datos permiten a los agricultores tomar decisiones informadas y precisas sobre la gestión de cultivos, la aplicación de insumos agrícolas y la programación de riegos, lo que puede mejorar la eficiencia operativa y reducir los costos de producción. Además de la agricultura de precisión, los sistemas de monitoreo ambiental son fundamentales para evaluar el impacto de la actividad agrícola en el medio ambiente y tomar medidas correctivas cuando sea necesario. Esto incluye la monitorización de la calidad del aire y del agua, así como la evaluación de la biodiversidad y los ecosistemas circundantes. La implementación de sistemas de monitoreo ambiental puede ayudar a prevenir la contaminación y la degradación ambiental asociada con la agricultura intensiva, promoviendo la sostenibilidad a largo plazo de los sistemas agrícolas (Chaudhury et al., 2014).

Biología sintética y biotecnología aplicada a la Agroindustria

La biología sintética y la biotecnología ofrecen herramientas poderosas para mejorar la productividad y la sostenibilidad de la agroindustria. La biología sintética se centra en el diseño y la construcción de sistemas biológicos artificiales para la producción de biomoléculas, organismos y sistemas vivos con aplicaciones en agricultura, medicina y energía. En el contexto de la agroindustria, la biología sintética puede utilizarse para desarrollar cultivos mejorados con características agronómicas deseables, como resistencia a plagas y enfermedades, mayor contenido nutricional y tolerancia a condiciones ambientales adversas.

Por otro lado, la biotecnología agrícola utiliza técnicas de manipulación genética para mejorar los cultivos y aumentar su rendimiento y resistencia. Esto incluye la modificación genética de plantas para introducir genes de resistencia a plagas o enfermedades, mejorar la calidad del producto y aumentar la tolerancia a condiciones climáticas extremas. La biotecnología agrícola también puede

utilizarse para desarrollar cultivos biofortificados con mayores niveles de nutrientes, como vitaminas y minerales, para abordar la malnutrición y mejorar la salud de las poblaciones vulnerables.

Agricultura urbana y agricultura vertical

La agricultura urbana y vertical son enfoques innovadores que buscan aprovechar espacios limitados en entornos urbanos para la producción de alimentos de manera sostenible. La agricultura urbana implica el cultivo de alimentos en áreas urbanas, como jardines comunitarios, huertos escolares y azoteas verdes, utilizando prácticas agrícolas sostenibles. Esta forma de agricultura no solo proporciona acceso a alimentos frescos y nutritivos en entornos urbanos densamente poblados, sino que también promueve la participación comunitaria y la educación ambiental. Por otro lado, la agricultura vertical se refiere al cultivo de plantas en estructuras apiladas o en capas, como torres de cultivo, paredes verdes e invernaderos verticales. Esta técnica aprovecha el espacio vertical para maximizar la producción agrícola, utilizando sistemas hidropónicos o aeropónicos para suministrar nutrientes y agua a las plantas sin necesidad de suelo (Chaudhry & Garg, 2019). La agricultura vertical puede ser especialmente útil en entornos urbanos donde el espacio es limitado y costoso, permitiendo la producción de alimentos frescos y locales cerca de los centros de consumo.

Sistemas agroecológicos y agricultura orgánica

Los sistemas agroecológicos y la agricultura orgánica son enfoques basados en principios ecológicos que promueven la sostenibilidad y la resiliencia de los sistemas agrícolas. Los sistemas agroecológicos integran conocimientos tradicionales y científicos para diseñar sistemas agrícolas que imitan los procesos naturales, promoviendo la biodiversidad, la salud del suelo y la autorregulación de plagas y enfermedades. Estos sistemas se basan en la diversificación de cultivos, la rotación de cultivos, la integración de árboles y animales, y la minimización del uso de insumos externos.

Por su parte, la agricultura orgánica se centra en el uso de prácticas agrícolas que evitan el uso de productos químicos sintéticos, como fertilizantes y pesticidas, y promueven la salud del suelo y la biodiversidad. Los agricultores orgánicos utilizan métodos naturales para controlar plagas y enfermedades, como la rotación de cultivos, la introducción de organismos benéficos y el manejo adecuado de la materia orgánica. La agricultura orgánica también se basa en la preservación de los

recursos naturales, como el agua y la energía, y en la promoción del bienestar animal, contribuyendo a la producción de alimentos saludables y respetuosos con el medio ambiente.

Políticas y estrategias para la adaptación de la agroindustria al cambio climático

Marco legal y regulatorio para la adaptación de la agroindustria

El marco legal y regulatorio desempeña un papel crucial en la promoción de la adaptación de la agroindustria al cambio climático. Las políticas y regulaciones gubernamentales pueden establecer estándares ambientales, incentivos económicos y medidas de apoyo que fomenten la adopción de prácticas agrícolas sostenibles y la implementación de tecnologías innovadoras. Además, es importante que las políticas climáticas nacionales e internacionales reconozcan y aborden los impactos específicos del cambio climático en la agroindustria, garantizando la protección de los recursos naturales y la seguridad alimentaria (Kakraliya et al., 2018). La integración de consideraciones climáticas en los marcos legales y regulatorios existentes, como las leyes de uso de suelo, agua y biodiversidad, es fundamental para garantizar una gestión sostenible de los recursos naturales y una planificación territorial adecuada. Asimismo, es importante que las políticas climáticas consideren las necesidades y perspectivas de los diferentes actores del sector agroindustrial, incluidos los pequeños agricultores, las comunidades indígenas y los consumidores, para garantizar una transición justa y equitativa hacia sistemas agrícolas más resilientes y sostenibles (Awiti et al., 2022).

Incentivos económicos y financiamiento para la adaptación climática en la Agroindustria

El acceso a incentivos económicos y financiamiento es fundamental para apoyar la adaptación de la agroindustria al cambio climático. Los incentivos económicos, como subsidios, créditos fiscales y pagos por servicios ambientales, pueden estimular la adopción de prácticas agrícolas sostenibles y la implementación de tecnologías climáticamente inteligentes al reducir los costos de inversión y aumentar la rentabilidad de las actividades agrícolas resilientes al clima. Además, el financiamiento público y privado es necesario para apoyar la investigación y el desarrollo de tecnologías climáticamente inteligentes, así como para proporcionar asistencia técnica y capacitación a los agricultores en la implementación de prácticas agrícolas adaptativas (Altieri et

al., 2015; Bowles & others, 2020; van Zonneveld et al., 2020). Es importante que los mecanismos de financiamiento climático, como el Fondo Verde para el Clima y los fondos de adaptación, prioricen la financiación de proyectos y programas que fortalezcan la resiliencia de la agroindustria y promuevan la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental.

Educación y capacitación para la adaptación climática en el sector agrícola

La educación y capacitación son elementos esenciales para promover la adaptación climática en el sector agrícola y mejorar la capacidad de los agricultores para enfrentar los desafíos del cambio climático. La formación técnica y la capacitación práctica pueden proporcionar a los agricultores las habilidades y conocimientos necesarios para implementar prácticas agrícolas sostenibles, como la conservación del suelo, el manejo integrado de plagas y enfermedades, y el uso eficiente del agua y los recursos naturales.

Además, la educación sobre el cambio climático y sus impactos en la agricultura puede aumentar la conciencia y la comprensión de los agricultores sobre los riesgos climáticos y las estrategias de adaptación disponibles. Esto puede incluir la difusión de información climática oportuna y relevante, el desarrollo de herramientas de toma de decisiones basadas en el clima y la promoción de prácticas de gestión de riesgos climáticos. La colaboración entre instituciones educativas, organizaciones de investigación, agencias gubernamentales y la sociedad civil es clave para garantizar la efectividad de los programas de educación y capacitación en el sector agrícola.

Desarrollo de infraestructuras y tecnologías climáticamente resilientes

El desarrollo de infraestructuras y tecnologías climáticamente resilientes es fundamental para fortalecer la adaptación de la agroindustria al cambio climático. Las infraestructuras adecuadas, como sistemas de riego eficientes, estructuras de almacenamiento de agua y energías renovables, pueden ayudar a mitigar los impactos negativos del cambio climático en la producción agrícola al garantizar un suministro confiable de agua y energía, incluso en condiciones climáticas extremas (Chaudhry & Garg, 2019).

Además, la inversión en tecnologías climáticamente inteligentes, como sistemas de monitoreo climático, pronósticos meteorológicos y herramientas de gestión de riesgos, puede ayudar a los agricultores a anticipar y responder a los eventos climáticos adversos de manera oportuna y eficaz. El desarrollo y la adopción de tecnologías de adaptación, como semillas resistentes al estrés hídrico

o herramientas de gestión de cultivos basadas en datos climáticos, pueden aumentar la resiliencia de la agroindustria y garantizar la seguridad alimentaria en un clima cambiante.

Cooperación internacional y transferencia de tecnología

La cooperación internacional y la transferencia de tecnología son aspectos clave para fortalecer la adaptación de la agroindustria al cambio climático a nivel global. La colaboración entre países y regiones puede facilitar el intercambio de experiencias, conocimientos y mejores prácticas en el desarrollo e implementación de estrategias de adaptación climática en el sector agrícola.

La transferencia de tecnología agrícola, en particular, puede desempeñar un papel crucial en la promoción de la resiliencia de la agroindustria frente al cambio climático. Esto incluye la difusión de tecnologías climáticamente inteligentes, como sistemas de riego de precisión, variedades de cultivos resistentes al estrés y prácticas agrícolas sostenibles, a través de programas de capacitación, cooperación técnica y colaboraciones entre instituciones de investigación, sector privado y organizaciones de la sociedad civil (Lu, 2022).

Además, es importante garantizar que la transferencia de tecnología sea inclusiva y equitativa, teniendo en cuenta las necesidades y capacidades específicas de los países en desarrollo y los pequeños agricultores. Esto puede implicar la reducción de barreras comerciales y la facilitación del acceso a tecnologías climáticamente inteligentes a través de mecanismos de financiamiento y cooperación internacional, como el Fondo para el Medio Ambiente Mundial y el Acuerdo de París sobre el Cambio Climático.

Impacto del cambio climático en la Agroindustria

Variabilidad climática y eventos extremos

La variabilidad climática y los eventos extremos asociados al cambio climático tienen un impacto significativo en la agroindustria. La frecuencia e intensidad de fenómenos como sequías, inundaciones, olas de calor y tormentas pueden afectar la producción agrícola, la calidad de los cultivos y la disponibilidad de recursos naturales como el agua (Getman & Bredikhina, 2023). Estos eventos extremos pueden provocar pérdidas económicas y destrucción de infraestructuras agrícolas, así como desplazar a comunidades rurales y aumentar la inseguridad alimentaria. La variabilidad climática puede alterar los patrones de siembra y cosecha, afectar la distribución

geográfica de las plagas y enfermedades, y modificar la disponibilidad de agua para riego y consumo humano. Esto puede generar desafíos adicionales para la gestión de cultivos y la planificación agrícola, especialmente en regiones vulnerables con sistemas agrícolas sensibles al clima.

Cambios en la productividad y calidad de los cultivos

El cambio climático también puede influir en la productividad y calidad de los cultivos, afectando su rendimiento, composición nutricional y valor comercial. Las variaciones en las condiciones climáticas, como temperaturas más altas, sequías prolongadas o lluvias intensas, pueden reducir el rendimiento de los cultivos y disminuir la calidad de los productos agrícolas. Por ejemplo, altas temperaturas durante la floración pueden afectar el cuajado de frutos y la formación de semillas, reduciendo el rendimiento de cultivos como el maíz, el arroz y la soja.

Además, el cambio climático puede alterar la composición química de los cultivos, afectando su contenido de nutrientes, vitaminas y compuestos bioactivos. Esto puede tener implicaciones para la seguridad alimentaria y la salud pública, especialmente en comunidades dependientes de cultivos básicos como fuente principal de nutrientes. Es importante realizar investigaciones adicionales para comprender mejor los impactos del cambio climático en la productividad y calidad de los cultivos, así como desarrollar estrategias de adaptación que minimicen estos efectos negativos (Kakraliya et al., 2018).

Cambios en la distribución geográfica de especies y plagas

El cambio climático puede provocar cambios en la distribución geográfica de especies de plantas, animales y plagas, lo que puede tener consecuencias significativas para la agroindustria. A medida que las temperaturas aumentan y los patrones de precipitación cambian, algunas especies pueden migrar hacia nuevas áreas en busca de condiciones climáticas más favorables, mientras que otras pueden ver reducida su distribución geográfica. Esto puede alterar los ecosistemas agrícolas y modificar las interacciones entre especies, aumentando el riesgo de brotes de plagas y enfermedades en cultivos. Los cambios en la distribución de plagas y enfermedades pueden afectar la producción agrícola al aumentar la presión de infestación y la necesidad de medidas de control. Además, la introducción de especies invasoras o la expansión de plagas existentes puede requerir

la implementación de estrategias de manejo integrado más intensivas y costosas, lo que puede afectar la rentabilidad y sostenibilidad de la producción agrícola (Getman & Bredikhina, 2023).

Impacto en la seguridad alimentaria y nutricional

El cambio climático representa una amenaza significativa para la seguridad alimentaria y nutricional, especialmente en regiones vulnerables con sistemas agrícolas sensibles al clima. La variabilidad climática y los eventos extremos pueden afectar la disponibilidad y acceso a alimentos, reduciendo la producción agrícola y aumentando la volatilidad de los precios alimentarios. Esto puede exacerbar la inseguridad alimentaria y nutricional, especialmente entre poblaciones vulnerables que dependen de la agricultura para su subsistencia.

Además, el cambio climático puede afectar la calidad nutricional de los alimentos al alterar su contenido de nutrientes y compuestos bioactivos (Lu, 2022). Esto puede tener consecuencias para la salud pública, aumentando el riesgo de deficiencias nutricionales y enfermedades relacionadas con la dieta. Es importante implementar medidas de adaptación que fortalezcan la resiliencia de los sistemas alimentarios y promuevan la diversificación de cultivos, la conservación de la biodiversidad y el acceso equitativo a alimentos nutritivos y seguros.

Desafíos para la sostenibilidad y resiliencia de la Agroindustria

El cambio climático plantea importantes desafíos para la sostenibilidad y resiliencia de la agroindustria a nivel global. La variabilidad climática y los eventos extremos pueden afectar la estabilidad y rentabilidad de los sistemas agrícolas, aumentando la vulnerabilidad de los agricultores y comunidades rurales. Además, el cambio climático puede comprometer la capacidad de los sistemas agrícolas para satisfacer la creciente demanda de alimentos, especialmente en un contexto de crecimiento demográfico y urbanización rápida (Lu, 2022). Para abordar estos desafíos, es necesario implementar estrategias de adaptación que promuevan la sostenibilidad y resiliencia de la agroindustria. Esto incluye la adopción de prácticas agrícolas sostenibles, la mejora de la infraestructura agrícola, la promoción de tecnologías climáticamente inteligentes y el fortalecimiento de los sistemas de alerta temprana y gestión de riesgos. Además, es importante fomentar la colaboración entre actores clave, incluidos gobiernos, instituciones de investigación,

sector privado y sociedad civil, para desarrollar soluciones integrales y equitativas que aborden los impactos del cambio climático en la agroindustria (Lu, 2022).

Conclusiones

El cambio climático representa un desafío multifacético y omnipresente para la agroindustria global, que se enfrenta a alteraciones en los patrones climáticos, aumento en la frecuencia de eventos extremos y una creciente incertidumbre que impacta directamente la seguridad alimentaria y la estabilidad económica. La variabilidad climática, junto con los eventos extremos como sequías e inundaciones, ha comenzado a modificar los ciclos de producción agrícola, la fenología de los cultivos y las condiciones de los suelos, complicando las operaciones agrícolas y aumentando la vulnerabilidad de los sistemas alimentarios. Ante este panorama, las estrategias adaptativas emergen como herramientas esenciales para mitigar y adaptarse a estos cambios inevitables.

En primer lugar, la diversificación de cultivos y el desarrollo de prácticas agronómicas mejoradas se destacan como respuestas fundamentales para incrementar la resiliencia de la agroindustria frente a la adversidad climática. Estas estrategias no solo abordan la necesidad de estabilidad en la producción, sino que también promueven la sostenibilidad a través de la mejora de la salud del suelo y la eficiencia en el uso de recursos. Asimismo, la agricultura de precisión y el manejo integrado de plagas y enfermedades se consolidan como pilares para optimizar los insumos agrícolas y mejorar las respuestas a las infestaciones, lo cual es crucial en un entorno donde las plagas y enfermedades evolucionan en respuesta a las condiciones climáticas cambiantes. Por otro lado, la escasez de agua y la gestión de los recursos hídricos, junto con la pérdida de biodiversidad y la degradación del suelo, se presentan como desafíos significativos que requieren atención urgente. Las técnicas de conservación del agua y suelo, como el riego por goteo y la labranza mínima, junto con enfoques agroecológicos que fomenten la diversidad biológica, son fundamentales para mantener la viabilidad de los cultivos y la productividad a largo plazo. Estas prácticas deben integrarse en un marco de gestión holística y sostenible que involucre a múltiples actores y sectores para asegurar una adaptación efectiva y equitativa.

La inestabilidad económica derivada del cambio climático exige una adaptación de los sistemas agroalimentarios que incluya políticas de apoyo económico, acceso a mercados y seguros agrícolas, y una infraestructura mejorada. La implementación de tecnologías climáticamente inteligentes y la cooperación internacional en la transferencia de estas tecnologías son vitales para fortalecer la

capacidad de respuesta de la agroindustria global ,mientras el cambio climático continúa desafiando los paradigmas existentes en la agroindustria, la adopción de estrategias adaptativas y la implementación de una gestión integrada y sostenible son imprescindibles para asegurar no solo la supervivencia de la agroindustria sino también su prosperidad futura en un mundo en constante cambio. La cooperación internacional y el compromiso a nivel local y global serán decisivos para enfrentar estos retos y transformar los desafíos en oportunidades para un desarrollo agrícola más resiliente y sostenible.

Referencias

1. Altieri, M., Nicholls, C., Henao, A., & Lana, M. (2015). Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 35, 869–890. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0285-2>
2. Antle, J. (1995). Climate change and agriculture in developing countries. *American Journal of Agricultural Economics*, 77, 741–746. <https://doi.org/10.2307/1243244>
3. Awiti, H. A., Gido, E., & Obare, G. (2022). Smallholder Farmers Climate-Smart Crop Diversification Cost Structure: Empirical Evidence from Western Kenya. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.842987>
4. Boomiraj, K., Wani, S., Garg, K., Aggarwal, P., & Palanisami, K. (2010). Climate change adaptation strategies for agro-ecosystem – a review. *Journal of Agrometeorology*, 12(2), 1297. <https://doi.org/10.54386/jam.v12i2.1297>
5. Bowles, T. M., & others. (2020). Long-Term Evidence Shows that Crop-Rotation Diversification Increases Agricultural Resilience to Adverse Growing Conditions in North America. *One Earth*. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.02.007>
6. Chaudhry, S., & Garg, S. (2019). Smart Irrigation Techniques for Water Resource Management. *Advances in Environmental Engineering and Green Technologies*. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-5909-2.CH009>
7. Chaudhury, A. S., Helfgott, A., Thornton, T. F., & Sova, C. A. (2014). Participatory adaptation planning and costing. Applications in agricultural adaptation in western Kenya. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 21, 301–322. <https://doi.org/10.1007/s11027-014-9600-5>

8. Getman, A. P., & Bredikhina, V. (2023). Legal support for an environmentally balanced system of natural resource management in terms of European integration of Ukraine. *Law and Innovations*. [https://doi.org/10.37772/2518-1718-2023-3\(43\)-9](https://doi.org/10.37772/2518-1718-2023-3(43)-9)
9. Gunningham, N., & Holley, C. (2016). Next-Generation Environmental Regulation: Law, Regulation, and Governance. *Annual Review of Law and Social Science*, 12, 273–293. <https://doi.org/10.1146/ANNUREV-LAWSOCSCI-110615-084651>
10. Hallegatte, S., Lécocq, F., & Perthuis, C. (2011). Designing Climate Change Adaptation Policies: An Economic Framework. *World Bank Policy Research Working Paper Series*. <https://doi.org/10.1596/1813-9450-5568>
11. Hamam, M., Raimondo, M., Spina, D., Király, G., Vita, G. Di, D’Amico, M., & Tóth, J. (2023). Climate change perception and innovative mitigation practices adopted by Hungarian farms. *Agris On-Line Papers in Economics and Informatics*. <https://doi.org/10.7160/aol.2023.150306>
12. Hoang, M., Namirembe, S., van Noordwijk, M., Catacutan, D., Öborn, I., Pérez-Terán, A. S., Nguyen, H. Q., & Dumas-Johansen, M. (2014). Farmer portfolios, strategic diversity management and climate-change adaptation – implications for policy in Vietnam and Kenya. *Climate and Development*, 6, 216–225. <https://doi.org/10.1080/17565529.2013.857588>
13. Kakraliya, S., Jat, H., Singh, I., Sapkota, T., Singh, L., Sutaliya, J. M., Sharma, P. C., Jat, R., Choudhary, M., Lopez-Ridaura, S., & others. (2018). Performance of portfolios of climate smart agriculture practices in a rice-wheat system of western Indo-Gangetic plains. *Agricultural Water Management*, 202, 122–133. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2018.02.020>
14. Lal, R. (2014). Principles and Practices of Soil Resource Conservation. *Soil Use and Management*. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.A0003295.PUB2>
15. Lin, B. (2011). Resilience in Agriculture through Crop Diversification: Adaptive Management for Environmental Change. *BioScience*, 61(3), 183–193. <https://doi.org/10.1525/bio.2011.61.3.4>
16. Lu, G. (2022). Efficient Utilization and Response of Energy Resources Climate Change Research. *Journal of Civil Engineering Research & Technology*. [https://doi.org/10.47363/jcert/2022\(4\)133](https://doi.org/10.47363/jcert/2022(4)133)

17. Martínez-Peralta, A. J., Chere-Quiñónez, B. F., Ulloa-de Souza, R. C., Mercado-Bautista, J. D., Charcopa-Paz, L. E., & Restrepo-Lemache, C. P. (2022). Modeling of biogas plants through data structuring. *Sapienza: International Journal of Interdisciplinary Studies*, 3(1), 911–921. <https://doi.org/10.51798/sijis.v3i1.272>
18. Negra, C., Vermeulen, S., Barioni, L. G., Mamo, T., Melville, P., & Tadesse, M. (2014). Brazil, Ethiopia, and New Zealand lead the way on climate-smart agriculture. *Agriculture & Food Security*, 3. <https://doi.org/10.1186/s40066-014-0019-8>
19. Porter, J., & Semenov, M. (2005). Crop responses to climatic variation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360, 2021–2035. <https://doi.org/10.1098/rstb.2005.1752>
20. Ramírez-Villegas, J., Salazar, M., Jarvis, A., & Navarro-Racines, C. (2012). A way forward on adaptation to climate change in Colombian agriculture: perspectives towards 2050. *Climatic Change*, 115, 611–628. <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0500-y>
21. Remans, R., Villani, C., Jones, S., Smith, A., Laporte, M.-A., Carmona, N., Arnaud, E., Dulloo, E., & China, R. (2019). Measuring Agricultural Biodiversity for Sustainable Food Systems. *Biodiversity Information Science and Standards*. <https://doi.org/10.3897/biss.3.46785>
22. Rockström, J. (2004). Making the best of climatic variability: options for upgrading rainfed farming in water scarce regions. *Water Science and Technology: A Journal of the International Association on Water Pollution Research*, 49(7), 151–156. <https://doi.org/10.2166/WST.2004.0442>
23. Singh, R., & Reddy, K. R. (2013). Impact of climate change and farm management. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 1(1), 53–72. <https://doi.org/10.5958/J.2320-6411.1.1.006>
24. Srivastav, A., Dhyani, R., Ranjan, M., Madhav, S., & Sillanpää, M. (2021). Climate-resilient strategies for sustainable management of water resources and agriculture. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 41576–41595. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-14332-4>
25. Thornton, P., Ericksen, P., Herrero, M., & Challinor, A. (2014). Climate variability and vulnerability to climate change: a review. *Global Change Biology*, 20, 3313–3328. <https://doi.org/10.1111/gcb.12581>

26. Troy, T., Kipgen, C., & Pal, I. (2015). The impact of climate extremes and irrigation on US crop yields. *Environmental Research Letters*, 10. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/5/054013>
27. van Zonneveld, M., Turmel, M., & Hellin, J. (2020). Decision-Making to Diversify Farm Systems for Climate Change Adaptation. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00032>
28. Zhao, Y., Wang, C., Wang, S., & Tibig, L. (2005). Impacts of Present and Future Climate Variability On Agriculture and Forestry in the Humid and Sub-Humid Tropics. *Climatic Change*, 70, 73–116. https://doi.org/10.1007/1-4020-4166-7_5

© 2024 por el autor. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).