

CAMBIO CLIMÁTICO Y SU INFLUENCIA EN LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ EN CHIMBORAZO

CLIMATE CHANGE AND ITS INFLUENCE ON MAIZE PRODUCTION IN CHIMBORAZO

Valeria Estefanía Astudillo Urquizo¹, David Esteban Puyol Guevara², Bryan Robinson Moreno Mena³, Hugo Adolfo Mata Cedeño⁴.

{valestefy@hotmail.es¹, David.puyol@esPOCH.edu.ec², morenobryan333@gmail.com³, Humasa2018@gmail.com⁴}

Fecha de recepción: 16/02/2025 / Fecha de aceptación: 26/02/2025 / Fecha de publicación: 03/03/2025

RESUMEN: El cambio climático representa un desafío significativo para la producción agrícola, especialmente en regiones montañosas y vulnerables como la provincia de Chimborazo, Ecuador. Este estudio analiza los efectos del cambio climático sobre el cultivo de maíz, un recurso vital para la economía y la seguridad alimentaria de las comunidades locales. El problema de investigación se centra en cómo las variaciones en temperatura y precipitación, junto con eventos climáticos extremos, están afectando los ciclos de crecimiento, rendimiento y calidad del maíz en esta región. El objetivo del estudio es evaluar la magnitud de estos impactos y proponer estrategias de adaptación que permitan a los agricultores mitigar los efectos negativos del clima cambiante. Metodológicamente, se realizó una revisión sistemática de literatura, seleccionando estudios relevantes en bases de datos científicas para analizar el impacto del cambio climático en la producción de maíz en Chimborazo. Los resultados indican que el aumento de la temperatura y la irregularidad de las lluvias están reduciendo la productividad del maíz, afectando su fenología y facilitando la proliferación de plagas y enfermedades. Además, el estrés hídrico limita los rendimientos y amenaza la seguridad alimentaria en la región. Como conclusión, el estudio destaca la urgencia de adoptar tecnologías de riego eficientes, variedades de maíz resistentes a condiciones climáticas adversas y prácticas de cultivo sostenibles. La adaptación en áreas más altas también se identifica como una oportunidad potencial para mantener la producción. Estas medidas son esenciales para garantizar la sostenibilidad agrícola y mitigar los impactos del cambio climático en Chimborazo.

Palabras clave: Cambio climático, producción de maíz, Chimborazo, estrés hídrico, adaptación agrícola, seguridad alimentaria

¹Docente Instituto Superior Tecnológico Riobamba, Riobamba-Ecuador, <https://orcid.org/0000-0002-2791-8896>.

²Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador, <https://orcid.org/0009-0001-9467-9637>.

³Investigador Independiente, Riobamba-Ecuador, <https://orcid.org/0009-0009-8826-6711>.

⁴Investigador Independiente, Riobamba-Ecuador, <https://orcid.org/0000-0002-8554-5637>.

ABSTRACT: Climate change represents a significant challenge for agricultural production, especially in mountainous and vulnerable regions such as the province of Chimborazo, Ecuador. This study analyzes the effects of climate change on maize cultivation, a vital resource for the economy and food security of local communities. The research problem focuses on how variations in temperature and precipitation, along with extreme weather events, are affecting the growth cycles, yield and quality of maize in this region. The objective of the study is to assess the magnitude of these impacts and propose adaptation strategies that allow farmers to mitigate the negative effects of the changing climate. Methodologically, a systematic literature review was carried out, selecting relevant studies in scientific databases to analyze the impact of climate change on maize production in Chimborazo. The results indicate that increasing temperature and irregular rainfall are reducing maize productivity, affecting its phenology and facilitating the proliferation of pests and diseases. In addition, water stress limits yield and threatens food security in the region. In conclusion, the study highlights the urgency of adopting efficient irrigation technologies, maize varieties resistant to adverse climatic conditions and sustainable cultivation practices. Adaptation in higher areas is also identified as a potential opportunity to maintain production. These measures are essential to ensure agricultural sustainability and mitigate the impacts of climate change in Chimborazo.

Keywords: *Climate change, corn production, Chimborazo, water stress, agricultural adaptation, food security*

INTRODUCCIÓN

El cambio climático representa uno de los mayores desafíos globales de nuestro tiempo, especialmente para el sector agrícola, que depende profundamente de la estabilidad climática para mantener la producción y, en consecuencia, la seguridad alimentaria. A medida que las concentraciones de gases de efecto invernadero han aumentado, los patrones climáticos han cambiado, generando variaciones en la temperatura, en los regímenes de precipitación y en la frecuencia de eventos climáticos extremos como sequías, inundaciones y heladas. Estas alteraciones, que pueden parecer distantes para algunos sectores, tienen impactos directos y devastadores en la agricultura, que ya enfrenta graves dificultades para adaptarse a estas nuevas condiciones (1).

Ecuador, al estar situado en una zona tropical y montañosa, se encuentra entre los países más vulnerables a estos efectos, debido a su variabilidad climática natural y a la alta dependencia de su población rural de la agricultura. La provincia de Chimborazo, ubicada en la región interandina, es un caso emblemático de esta vulnerabilidad (2). Con una topografía accidentada y un rango altitudinal que va desde los 1,500 hasta los 6,310 metros sobre el nivel del mar, Chimborazo experimenta una serie de microclimas que complican el desarrollo agrícola (3). La economía local está altamente interrelacionada con la agricultura, y el maíz, en particular,

representa un pilar fundamental, tanto en términos de subsistencia como de sostenibilidad económica. No obstante, el cambio climático está alterando las condiciones necesarias para su cultivo, amenazando la estabilidad de este recurso vital para la región (4).

El cultivo de maíz en Chimborazo no solo es una actividad económica relevante, sino que también es una fuente esencial de alimentación para las comunidades locales. La dependencia de este cereal es evidente, ya que representa la base de la dieta en muchas zonas rurales. Sin embargo, los cambios en el clima están comenzando a afectar de manera significativa la producción de maíz. Los agricultores han notado un cambio en los tiempos de siembra y cosecha, ciclos de crecimiento irregulares y una reducción en los rendimientos, factores que están impactando tanto la economía como la seguridad alimentaria en la región (5).

El impacto del cambio climático en la agricultura se observa en varias dimensiones. Las temperaturas fluctuantes afectan el desarrollo fisiológico del maíz, alterando su proceso de germinación, crecimiento y maduración. Asimismo, las variaciones en los patrones de lluvia generan problemas tanto de exceso de agua, que provoca anegamientos y pérdida de nutrientes en el suelo, como de déficit hídrico, que afecta la disponibilidad de agua durante las fases críticas de desarrollo del cultivo. En regiones montañosas como Chimborazo, el cambio climático incrementa también el riesgo de eventos extremos, que incluyen heladas y sequías, los cuales son especialmente devastadores para cultivos sensibles como el maíz (6). La capacidad de adaptación de los agricultores es limitada, ya que en su mayoría emplean prácticas tradicionales que, aunque efectivas en condiciones estables, no son suficientes para enfrentar los nuevos retos climáticos (7).

Estudios previos a nivel global han demostrado que los efectos del cambio climático son especialmente severos en zonas tropicales y subtropicales, donde las variaciones en temperatura y precipitación pueden alterar significativamente la productividad agrícola (8). La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) ha advertido que los países en desarrollo, particularmente aquellos con alta dependencia en la agricultura, enfrentan una situación crítica en términos de seguridad alimentaria, ya que la volatilidad climática amenaza la producción y disponibilidad de alimentos esenciales (3). En Ecuador, la situación no es diferente; investigaciones recientes evidencian que los cultivos sensibles al clima, como el maíz, están siendo gravemente afectados en áreas de altitud elevada como Chimborazo (9).

La provincia de Chimborazo es un claro ejemplo de cómo el cambio climático está impactando la agricultura en zonas montañosas. La altitud y la variabilidad climática permiten la existencia de microclimas, que ofrecen condiciones únicas para la producción agrícola, pero también aumentan la vulnerabilidad a las alteraciones climáticas (10). La agricultura en Chimborazo ha sido históricamente adaptable, gracias a prácticas tradicionales desarrolladas a lo largo de generaciones. Sin embargo, el cambio climático está desafiando la eficacia de estas técnicas al modificar el comportamiento climático de la región de maneras impredecibles y más rápidas de lo que las adaptaciones tradicionales pueden manejar (11).

Este estudio busca no solo caracterizar cómo el cambio climático está afectando el rendimiento del maíz en Chimborazo, sino también proporcionar información que permita a los agricultores locales adoptar prácticas adaptativas y a los formuladores de políticas crear estrategias de mitigación efectivas.

El objetivo de este estudio es evaluar el impacto del cambio climático sobre el rendimiento del maíz en la provincia de Chimborazo, analizando las variaciones en los patrones climáticos, como temperatura y precipitación, y su relación con los cambios en los ciclos de cultivo, tiempos de siembra y cosecha, y rendimientos. Además, se busca identificar las limitaciones de las prácticas agrícolas tradicionales frente a las nuevas condiciones climáticas y proponer estrategias de adaptación para los agricultores locales, así como recomendaciones de políticas públicas para mitigar los efectos negativos del cambio climático sobre la producción de maíz en la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se basa en una revisión bibliográfica sistemática con el objetivo de evaluar el impacto del cambio climático en la producción de maíz en la provincia de Chimborazo, Ecuador. El diseño de la investigación es de carácter deductivo y descriptivo, orientado a sintetizar y analizar la información disponible de diversas fuentes científicas y técnicas, con el fin de comprender los efectos del cambio climático sobre este cultivo en la región.

Selección de estudios

La población de este estudio incluye artículos científicos, informes técnicos y documentos relevantes publicados en los últimos 20 años, relacionados con el impacto del cambio climático en la producción agrícola, específicamente en la producción de maíz en la provincia de Chimborazo. La muestra se seleccionó mediante un proceso de búsqueda y filtrado exhaustivo en diversas bases de datos académicas y científicas. Las bases de datos utilizadas incluyen Google Scholar, Scopus, Web of Science, y bases de datos especializadas en ciencias agrícolas como AGRICOLA y CAB Abstracts.

Criterios de inclusión y exclusión

Se incluyeron estudios que: aborden el impacto del cambio climático en la agricultura, con un enfoque específico en el cultivo de maíz, proporcionen datos relevantes sobre las condiciones climáticas de Chimborazo o regiones con condiciones similares.

Estén escritos en inglés o español y publicados en revistas científicas revisadas por pares, congresos, o informes técnicos confiables de organismos internacionales relacionados con el cambio climático y la agricultura.

Se excluyeron estudios que: no presenten resultados cuantitativos o cualitativos específicos sobre el impacto del cambio climático en la producción de maíz, no estén centrados en el

contexto de Ecuador o regiones con características climáticas similares que sean de acceso restringido o sin verificación de la calidad de la fuente.

Evaluación de la calidad de los estudios

Cada documento seleccionado fue evaluado en términos de calidad metodológica. Se consideraron factores como el diseño del estudio, la representatividad de las muestras, la metodología empleada para medir el impacto del cambio climático en los cultivos, y la claridad en los resultados presentados. Los estudios fueron clasificados según su nivel de evidencia, de acuerdo con las categorías de la jerarquía de la evidencia científica.

Análisis estadístico

Para sintetizar la información, se realizó un análisis descriptivo de los datos extraídos, incluyendo estadísticas descriptivas básicas como medias, desviaciones estándar y rangos para los datos climáticos y de producción agrícola obtenidos en los estudios seleccionados. Se utilizó el software SPSS para realizar el análisis de tendencias climáticas, tales como las variaciones en temperatura y precipitaciones en la provincia de Chimborazo, y su correlación con los rendimientos del maíz. Adicionalmente, se aplicaron técnicas de meta-análisis cuando fue posible, para combinar los resultados de estudios que incluyeran datos cuantitativos sobre la relación entre cambio climático y producción de maíz.

Limitaciones

Es importante señalar que, debido a la naturaleza de la revisión bibliográfica, este estudio depende de la disponibilidad y calidad de los estudios existentes. Se encontraron limitaciones en la cantidad de estudios específicos de la provincia de Chimborazo, lo que requirió extrapolar algunos resultados de regiones con condiciones climáticas similares.

Los estudios revisados fueron agrupados por categorías de impacto, incluyendo efectos en la productividad del maíz, la polinización, la incidencia de plagas y enfermedades, y las prácticas de manejo agrícola adaptadas al cambio climático. La síntesis de estos resultados permitió identificar patrones comunes y diferencias en los impactos del cambio climático sobre el cultivo de maíz en diversas condiciones altitudinales y climáticas.

Este enfoque metodológico permitió obtener una visión integral de los efectos del cambio climático en la producción de maíz en Chimborazo y proporciona una base sólida para futuras investigaciones en la región.

RESULTADOS

A partir de la revisión de la literatura, se identificaron diferentes impactos del cambio climático en la producción de maíz enfocada en la provincia de Chimborazo:

El cambio climático abarca las alteraciones a largo plazo en las temperaturas y los patrones climáticos. Estos cambios pueden tener origen natural, influenciados por variaciones en la actividad solar o erupciones volcánicas significativas. No obstante, desde el siglo XIX, las actividades humanas han sido identificadas como la principal causa del cambio climático, principalmente debido a la combustión de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas (6).

Impactos del cambio climático en la agricultura

La agricultura se ve profundamente impactada por el cambio climático en todo el mundo. Las proyecciones de modelos climáticos anticipan modificaciones significativas en las condiciones atmosféricas, como aumentos de temperatura y eventos extremos, tales como sequías y huracanes. Estas alteraciones influirán en la producción y distribución de cultivos, además de afectar los precios de los alimentos. Para el año 2050, se prevé una disminución en los rendimientos de cultivos básicos como arroz, maíz y trigo a nivel mundial, comprometiendo la seguridad alimentaria en las naciones en desarrollo (9).

La agricultura en la región, particularmente la llevada a cabo por familias rurales y comunidades indígenas de bajos recursos, muestra una gran vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático. En Centroamérica, este sector ya ha sufrido pérdidas significativas debido a eventos climáticos extremos. Se anticipa que el cambio climático reducirá los rendimientos de los cultivos principales, afectando los ingresos y la seguridad alimentaria. Según un escenario pesimista de emisiones, las pérdidas económicas podrían oscilar entre el 5.4% y el 19.1% del PIB centroamericano para los años 2050 y 2100, respectivamente. La disminución de la productividad y las pérdidas de cosechas resultarán en escasez de alimentos y dependencia de importaciones costosas y de calidad incierta desarrollo (2).

Algunos efectos directos esperados del cambio climático en la agricultura incluyen:

- Disminución de la productividad y rendimiento: Debido a la menor disponibilidad de agua en los acuíferos, el aumento de la concentración de contaminantes y la pérdida de humedad del suelo.
- Daños directos a las plantas y cosechas: Provocados por fenómenos extremos como huracanes y tormentas, que pueden causar rotura de tallos, defoliación y volcado de plantas.
- Alteraciones en la fenología de las plantas: Manifestadas en floraciones erráticas y cosechas continuas.
- Erosión y degradación del suelo: Junto con la sedimentación en cauces y reservorios de agua, desbordamientos, inundaciones, deslizamientos y derrumbes ocasionados por lluvias torrenciales y otros eventos extremos.
- Aumento en la incidencia de plagas y enfermedades: Afectando a los cultivos, incluidas las que impactan durante la post-cosecha y el almacenamiento. Las nuevas condiciones climáticas, más cálidas y con humedad variable, favorecerán la proliferación de hongos, insectos y virus, además de debilitar a los enemigos naturales y facilitar la introducción de nuevos patógenos asociados a nuevas variedades desarrollo (5).

Agricultura de la provincia de Chimborazo

La composición del PIB del año 2015 permite analizar la naturaleza de los productos del sector agropecuario. El cultivo de banano, café y cacao contribuye con un 2,37%, cifra que es superada por el 2,63% correspondiente a otros productos no tradicionales, cultivados en diversas áreas de Chimborazo. Asimismo, el cultivo de cereales, considerados productos tradicionales, aporta un 0,81%, a pesar de su significativa tradición en el PIB. En comparación, la elaboración de cacao, chocolate y productos de confitería, clasificados por el gobierno como productos clave para su desarrollo y apoyo económico, representa solo un 0,09%.

Al profundizar en los datos nacionales sobre la producción del sector agropecuario proporcionados por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, y relacionarlos con las importaciones y exportaciones realizadas por el país en 2015, se observa que el trigo, con 908.000 toneladas importadas, es el principal producto importado, seguido por el maíz duro con 32.954 toneladas. Es importante destacar que productos como la papa, el tomate riñón y la arveja, entre otros, también deben ser importados por diversas razones (2).

Tabla 1. Caracterización de la provincia de Chimborazo.

Fecha de creación de la Provincia	25 de junio de 1824
Población total al 2015	501.584 habitantes (proyección INEC 2015).
Extensión	Dividida 10 cantones y 45 parroquias rurales (INEC-2010).
	La superficie: 468,979.92 hectáreas, 15% páramos, 0,98% cultivos permanentes y el 5% cultivos transitorios o de ciclo corto, el 8% pastos cultivados y 11% pastos naturales (CENSO 2014)
Productos	Productos más representativos: Papa, quinua, haba, cebada, tomate riñón, fréjol, arveja, maíz.
	Concentran más del 10% de la producción nacional Cebolla blanca, lechuga, col, cebolla colorada
	Otras producciones: Melloco, coliflor, chocho, avena, cilantro, rábano y ajo.
	frutillas o fresas, la remolacha, el pepinillo
	la oca, el zambo, mazahua, acelga y el centeno

Desarrollo Territorial	Limitado desarrollo agropecuario
	Bajos niveles de rendimiento productivo
	Economía basada trueque
	Bajo nivel asociativo, de innovación
	Casi nulo nivel de encadenamiento
	Alto nivel de emigración
	Crecimiento de importaciones de productos que pueden producidos en el área.
	Encarecimiento de canasta de productos básicos

Fuente: (8)

Evolución en la agricultura y ganadería

En Figura 1, se ilustra la evolución de las cuentas relacionadas con la agricultura y ganadería entre los años 2007 y 2015. Donde se observa un aumento en las cuentas de "otros cultivos" y "cría de animales", mientras que la cuenta de "cultivo de cereales" ha disminuido. Este cambio refleja una transformación en la tradición de Chimborazo, que anteriormente era conocida como una provincia productora de cereales como trigo, cebada y maíz, ahora reemplazados por cultivos de papa y tomate riñón. Las actividades de "cultivo de banano, café y cacao", "cultivo de flores" y "elaboración de otros productos alimenticios" representan menos del 0,10% de los ingresos del PIB. Esto sugiere que la provincia de Chimborazo se dedica principalmente a la producción de materias primas, con pocos procesos de transformación.

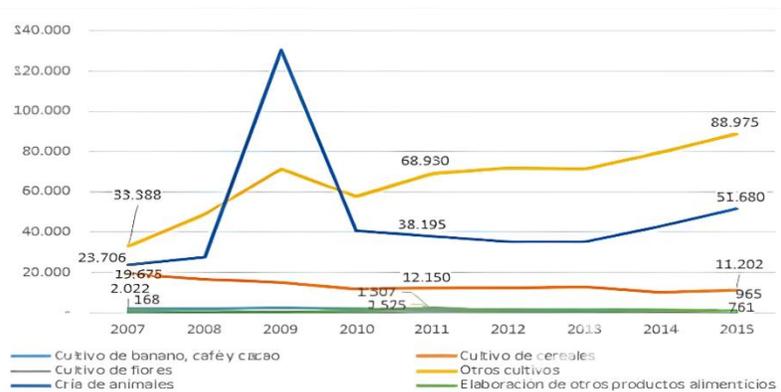


Figura 1. Evolución de cuentas relacionadas a la agricultura y ganadería PIB 2015-Provincia de Chimborazo (en miles de dólares).

Fuente: (8)

Uso del suelo

El uso de la tierra en categorías como "Cultivos permanentes", "Cultivos transitorios y barbecho", "Descanso", "Pastos cultivados", "Pastos naturales" y "Páramos" ha mostrado una disminución. Esto sugiere que la población está cambiando de actividades agrícolas a otras, como "Montes y bosques" y "Otros usos", que son las únicas que muestran un claro incremento durante el período estudiado. Se puede inferir que existe un mayor estímulo para estas actividades en comparación con el cultivo de la tierra.

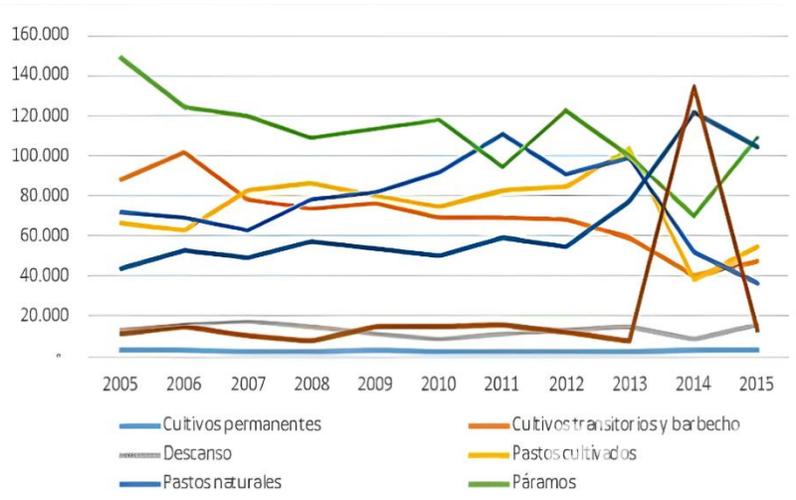


Figura 2. Uso del suelo de la Provincia de Chimborazo 2005-2015.

Fuente: (9).

Impacto del Cambio Climático en el Cultivo de Maíz en la Provincia de Chimborazo

La provincia de Chimborazo, situada en el centro de Ecuador, tiene una profunda conexión con la agricultura, especialmente con el cultivo de maíz. Durante generaciones, las comunidades locales han dependido de este cultivo, no solo como fuente de sustento, sino también como parte fundamental de su identidad cultural y tradiciones agrícolas. No obstante, los efectos del cambio climático presentan importantes desafíos que podrían transformar significativamente este panorama agrícola (12).

Chimborazo es reconocida por sus diversos microclimas, resultado de sus distintas altitudes, que van desde tierras bajas fértiles hasta picos montañosos frescos. Esta diversidad permite el cultivo de diferentes variedades de maíz, cada una adaptada a condiciones ambientales específicas. Sin embargo, este equilibrio natural está en peligro. Las proyecciones climáticas para las próximas décadas señalan cambios preocupantes. Para el año 2030, se espera que muchas áreas actualmente aptas para el cultivo de maíz pierdan esta capacidad. Estudios similares a los realizados en México, pero adaptados a las condiciones de Chimborazo, sugieren que el rango potencial de algunas variedades de maíz podría reducirse. Las

variedades que prosperan en altitudes bajas y medias podrían verse forzadas a trasladarse a altitudes más elevadas, donde las condiciones podrían ser más favorables debido al aumento de las temperaturas y los cambios en las precipitaciones (13). El cambio climático afecta no solo la distribución geográfica de los cultivos, sino también la calidad y cantidad de las cosechas. El calentamiento global perjudica la polinización del maíz, el principal proceso de su reproducción, y aumenta la respiración de las plantas, reduciendo la eficiencia de la fotosíntesis, el proceso mediante el cual las plantas producen alimentos. Como resultado, el ciclo de vida del maíz se acorta, disminuyendo su rendimiento y calidad. Además, las temperaturas más frías en determinadas épocas del año pueden frenar el crecimiento del maíz, afectando su desarrollo y productividad.

Otro factor crítico es el estrés hídrico, ya que la falta de agua impacta procesos esenciales como el crecimiento celular y la respiración del maíz, lo cual es un problema significativo en Chimborazo, ~~donde~~ el agua es un recurso precioso y a veces limitado. Aunque el maíz es una planta C4 con mecanismos adaptativos para condiciones de agua limitada, el estrés hídrico sigue siendo un factor limitante crucial en su producción (14). En este contexto, una gestión eficaz del riego es fundamental. La adopción de tecnologías de riego más eficientes y sostenibles puede mejorar significativamente la capacidad de los agricultores para mantener los cultivos durante las sequías. Las proyecciones climáticas para mediados del siglo XXI indican que las precipitaciones en Chimborazo cambiarán. Es probable que los totales de lluvia durante la temporada de crecimiento del maíz coincidan con temperaturas más cálidas, aumentando el ciclo de estrés térmico de la planta, acortando su ciclo fenológico y reduciendo el rendimiento (15). Para mitigar estos impactos, son necesarios estudios detallados de vulnerabilidad y estrategias de adaptación. Es crucial identificar y promover variedades de maíz que sean más resistentes al calor y la humedad. Además, la adopción de métodos agrícolas sostenibles y de ahorro de agua puede tener un impacto significativo. Ajustar las fechas de siembra para aprovechar las condiciones climáticas favorables también es una estrategia eficaz.

A pesar de los desafíos, el cambio climático también podría ofrecer nuevas oportunidades. Las condiciones para el cultivo del maíz podrían volverse más favorables en las zonas más altas de la provincia. Esto requiere una planificación cuidadosa y la adaptación de las prácticas agrícolas para asegurar que los agricultores puedan beneficiarse efectivamente de estos cambios de desarrollo (16).

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio resaltan los profundos efectos del cambio climático en la agricultura de la provincia de Chimborazo, particularmente en el cultivo de maíz. En línea con otros estudios realizados alrededor del mundo, los cambios de temperatura, precipitación y eventos climáticos extremos influyen en la rentabilidad, productividad y sostenibilidad de los cultivos en esta región del Ecuador. Varios estudios han destacado cómo el cambio climático amenaza la seguridad alimentaria en diversas partes del mundo, particularmente en zonas dependientes de la agricultura, como el Ecuador rural. En este contexto, el cultivo de maíz en

Chimborazo enfrenta múltiples desafíos, desde estrés hídrico hasta alteraciones fenológicas, que requieren medidas adaptativas para asegurar la sostenibilidad de esta actividad (16).

El cambio climático está teniendo un profundo impacto en la producción agrícola en todo el mundo, y Chimborazo no es una excepción. Imaginemos un futuro en el que en 2050 cultivos clave como el arroz, el trigo y el maíz sean cada vez más difíciles de producir. Esto no solo compromete la seguridad alimentaria de muchas personas, especialmente en los países en desarrollo, sino que también supone un desafío para quienes dependen de estos cultivos para su sustento.

Un estudio global revela que podríamos ver una disminución del 5-10% en los rendimientos del maíz en las próximas décadas. Esto no solo afectará a los agricultores, sino que también podría hacer que los precios de los alimentos se disparen, lo que afectaría a familias de todo el mundo. En Chimborazo, los efectos del cambio climático ya se están sintiendo: el maíz, un cultivo clave, está experimentando cambios en su ciclo de crecimiento, volviéndose más corto y menos eficiente. Esto es un recordatorio de la importancia de actuar ahora para proteger nuestras tierras y garantizar un futuro alimentario sostenible para todos (17).

En concordancia con las tendencias mundiales, los agricultores en Chimborazo también están experimentando una reducción en la disponibilidad de agua y la calidad del suelo, lo que afecta directamente el crecimiento de las plantas y el rendimiento de los cultivos. Los efectos directos del cambio climático sobre los cultivos incluyen el estrés hídrico y el aumento de enfermedades y plagas, que se agravan con las temperaturas más altas. La reducción en la humedad del suelo y la erosión causada por eventos climáticos extremos son fenómenos que diversos autores han documentado en diferentes regiones agrícolas de América Latina y África, y que también afectan a los cultivos de Chimborazo (18).

Uno de los principales problemas que enfrenta el maíz en Chimborazo es el estrés hídrico, una limitación crítica en un cultivo que requiere agua para procesos fisiológicos fundamentales, como el crecimiento celular y la respiración. Diversos estudios, como los de (19), han destacado que los eventos de sequía extrema y la variabilidad en la disponibilidad de agua en regiones agrícolas son factores que limitan el crecimiento y el rendimiento de los cultivos. En Chimborazo, aunque el maíz es una planta C4 con mecanismos adaptativos que le permiten sobrevivir con agua limitada, el estrés hídrico sigue siendo una limitante importante para su producción.

Además, el cambio climático está alterando la fenología del maíz. Se ha observado que las temperaturas más cálidas y las precipitaciones irregulares están modificando el ciclo de crecimiento de este cultivo, afectando tanto el proceso de polinización como la fotosíntesis, los cuales son esenciales para la reproducción y crecimiento de la planta. Estos efectos no solo reducen el rendimiento y la calidad del maíz, sino que también acortan el ciclo de vida del cultivo, lo cual es consistente con los hallazgos de estudios realizados en México, donde se observó una disminución en la productividad de las variedades de maíz adaptadas a climas específicos (22).

La situación de Chimborazo en cuanto a la vulnerabilidad del maíz es similar a la de otras regiones de América Latina, como Centroamérica y México, donde el maíz es un cultivo básico que también enfrenta desafíos debido al cambio climático. En Centroamérica, estudios han mostrado que, bajo un escenario pesimista, la pérdida de productividad de los cultivos clave podría representar entre el 5.4 % y el 19.1 % del PIB agrícola para 2100, dependiendo de la intensidad del cambio climático (9). Al igual que en Chimborazo, el maíz en estas regiones experimenta un desplazamiento de sus zonas de cultivo hacia áreas más elevadas debido a las temperaturas crecientes y la alteración en los patrones de lluvia. Esto indica que el cambio climático está afectando de manera similar a los cultivos en regiones con condiciones socioeconómicas y climáticas comparables.

Para enfrentar los desafíos que plantea el cambio climático en Chimborazo, es fundamental implementar estrategias de adaptación que realmente respondan a las necesidades de la región. Esta situación no sólo afecta a Chimborazo; Muchas comunidades agrícolas vulnerables de todo el mundo están buscando soluciones similares.

Uno de los enfoques más prometedores es encontrar variedades de maíz que sean resistentes al calor y la humedad. Esto es esencial para ayudar a los agricultores a adaptarse a las nuevas condiciones climáticas que enfrentan cada día. Las investigaciones de han (20), demostrado que el uso de variedades mejor adaptadas a climas cálidos y secos puede marcar una gran diferencia en la productividad de los cultivos en zonas afectadas por el cambio climático. En Chimborazo, estas estrategias ya están empezando a implementarse, ofreciendo un rayo de esperanza para fortalecer la resiliencia de las comunidades agrícolas en un futuro incierto.

Conjuntamente, la implementación de tecnologías de riego eficientes, como el riego por goteo, podría optimizar el uso del agua en esta región, donde los recursos hídricos son escasos. Un estudio de (21) demostró que el riego por goteo permitió a los agricultores de zonas semiáridas mantener su producción de maíz incluso con menos precipitaciones. Esta tecnología es particularmente relevante para Chimborazo, donde se espera que los cambios en los patrones de precipitaciones en las próximas décadas afecten aún más los rendimientos del maíz.

Finalmente, cabe mencionar que el cambio climático también podría traer oportunidades de adaptación para el maíz en Chimborazo. Con el aumento de las temperaturas, las áreas de mayor altitud podrían volverse aptas para el cultivo de variedades de maíz que anteriormente solo prosperaban en zonas bajas. No obstante, aprovechar esta oportunidad requiere una planificación cuidadosa y la adaptación de las prácticas agrícolas, lo que permitiría que los agricultores obtengan beneficios en un contexto cambiante. La planificación a largo plazo y la investigación continua sobre la adaptación climática son, por lo tanto, esenciales para asegurar la sostenibilidad agrícola en Chimborazo y en otras regiones vulnerables (22).

CONCLUSIONES

El cambio climático tiene un profundo impacto en la producción de maíz en Chimborazo. Los agricultores de la región están sintiendo los efectos de los cambios de temperatura y

precipitaciones, así como un aumento de fenómenos meteorológicos extremos como sequías e inundaciones. Estos cambios han alterado los ciclos de cultivo y reducido el rendimiento del maíz, afectando no sólo la cantidad sino también la calidad de este preciado grano.

La situación es aún más preocupante porque los sistemas agrícolas tradicionales son vulnerables. La mayoría de los agricultores de Chimborazo continúan utilizando prácticas que, si bien funcionaron bien en climas estables, ya no se adaptan a las circunstancias impredecibles causadas por el cambio climático. Esto pone de relieve la urgente necesidad de adoptar nuevas prácticas y tecnologías, como el uso de variedades de maíz resistentes al calor y al agua, para garantizar la sostenibilidad de la agricultura y permitir que las familias tengan acceso a alimentos saludables.

Sin embargo, a pesar de estos desafíos, también están surgiendo nuevas oportunidades. En las zonas más altas de Chimborazo, donde las temperaturas están aumentando, se podría allanar el camino para un cultivo de maíz más sostenible. Esto ofrece un rayo de esperanza para los agricultores que intentan adaptarse y prosperar en un entorno en constante cambio, demostrando su tenacidad y capacidad de adaptación frente a la adversidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Lezaun AJ. Cambio climático y su impacto sobre la agricultura. CropLife [Internet]. 2023;1–10. Available from: <https://agraria.pe/noticias/cambio-climatico-y-su-impacto-sobre-la-agricultu-34125>
2. Ministerio de Ambiente Agua y Transición Ecológica. Subsecretaría de Cambio Climático. INFORME DETALLADO DE RENDICIÓN DE CUENTAS SUBSECRETARÍA DE CAMBIO CLIMÁTICO. 2024;
3. FAO, FIDA, OPS W y UNICEF. FAO, FIDA, OPS, WFP y UNICEF. 2020. Panorama de la seguridad alimentaria y nutrición en América Latina y el Caribe 2020. Santiago de Chile [Internet]. Panorama de la seguridad alimentaria y nutricional en América Latina y el Caribe 2020. 2020. <https://doi.org/10.4060/cb2242es>. Available from: <https://www.fao.org/3/cb2242es/cb2242es.pdf>
4. Fraiture MA, Roosens NHC, Taverniers I, De Loose M, Deforce D, Herman P. Biotech rice: Current developments and future detection challenges in food and feed chain. Trends Food Sci Technol [Internet]. 2019;52(April):66–79. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2016.03.011>
5. Alvarado R. Impactos del cambio climático. Rev Econ. 2023;11(11):1–4.
6. Youth G nonconforming, Hunt C, York N, Network SE, Rights L, Rights C, et al. Cambio climático y agricultura: entender la relación y cómo tratar. agricultura. 2024;1(2):1–7.
7. BARBOZA A, PÉREZ A, CHAMORRO L. Bacterias endófitas aisladas de cultivo de arroz (*Oryza sativa* L .) con actividad promotora de crecimiento vegetal * Endophytic bacteria isolated from rice culture (*Oryza sativa* L .) with plant growth promoting activity. 2022;21(1):28–38.
8. García L. DETERMINANTES DE LA EXPORTACIÓN AGRÍCOLA DEL ECUADOR. PERÍODO 2000-2020. 2023.

9. Orozco Bolaños H, Hernández Vázquez M, García Juárez G, Suárez González G. Cambio climático: Una percepción de los productores de maíz de temporal en el estado de Tlaxcala, México. *CIBA Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*. 2019;8(16):1–26.
10. Pita K, PérezLeón de J, Gonzáles M. Nuevos cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) resistentes a la Piriculariosis y Tagosodes, con buen comportamiento agronómico. *Redalyc*. 2019;20:2.
11. Rodríguez A. *Biotecnología : un futuro fascinante para la medicina*. BBVA. 2024;1–6.
12. Murtaza A. Application and Potential Use of Advanced Biotechnology Techniques in Agriculture and Zoology. *Indian Journal of Pure & Applied Biosciences*. 2021;9(2):284–96.
13. Hui X, Amponsah RK, Antwi S, Gbolonyo PK, Ameyaw MA, Bentum-Micah G, et al. Understanding the societal dilemma of genetically modified food consumption: a stimulus-organism-response investigation. *Front Sustain Food Syst*. 2024;8(September):1–11.
14. Pérez Almeida IB. Aportes de la biotecnología al mejoramiento del arroz en Ecuador. *Revista Científica Eciencia*. 2019;6(5):1–22.
15. Aviles MJ, Montilla YJ, Nieto CA, Yunda FE. Zonificación agroecológica del cultivo de maíz (*Zea mays*) y su adaptabilidad a posibles cambios climáticos en el cantón Buena Fe, provincia de Los Ríos. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*. 2022;6(6):6484–501.
16. Miranda M, Confalone A. Influencia del clima en el rendimiento de maíz (*Zea mays*) en el centro de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Cuban Journal of Agricultural Science [Internet]*. 2022;56(4):1–10. Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2079-34802022000400003&lng=es&nrm=iso&tlng=es
17. Lin B, Hui J, Mao H. Nanopore technology and its applications in gene sequencing. *Biosensors (Basel)*. 2021;11(7):3–7.
18. Melgarejo P, Romagosa I. *BIOTECNOLOGÍA AGRÍCOLA*. *ARBOR Ciencia, Pensamiento y Cultura*. 2024;190.
19. Fiyaz RA, Shivani D, Chaithanya K, Mounika K, Chiranjeevi M, Laha GS, et al. Genetic Improvement of Rice for Bacterial Blight Resistance: Present Status and Future Prospects. *Rice Sci*. 2022;29(2):118–32.
20. Rivera N. Importancia de la biotecnología aplicada para el mejoramiento genético del arroz (*Oryza sativa* L.) [Internet]. Universidad Tecnica De Babahoyo. 2024. Available from: <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/3447>
21. Flores B, Johanán R, López C. Un acercamiento a la filosofía De la Biotecnología. *Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada del Instituto Politécnico Nacional*. 2022;6.
22. Álvarez T, Baltodano E. Trabajo de Tesis Priorización de prácticas de agricultura climáticamente inteligentes en condiciones húmedas en la finca Santa Isabel , comarca Aguas. 2024.