

Capítulo I

15

Generalidades de la relación entre agricultura y cambio climático

Edwin Andrés Villagrán Munar
Linda Gómez Arias
Douglas Andrés Gómez-Latorre
Yeni Rodríguez Giraldo

Introducción

La agricultura moderna se enfrenta a varios desafíos originados por el aumento desmedido de la población mundial, en tanto que proyecciones recogidas por Gruda et al. (2019) muestran que, para 2050, la producción de alimentos debe ser suficiente para alimentar a cerca de 9.000 millones de personas. Sin embargo, desde hace algunos años, también existe una fuerte presión mundial para que la agricultura se adapte a nuevas condiciones, que con el cambio climático se acentúan cada vez más. Por otra parte, día a día se busca una agricultura capaz de mitigar al máximo la generación de gases de efecto invernadero (GEI) (Selbonne et al., 2022).

La existencia del cambio climático en la actualidad es aceptada por casi la totalidad de la comunidad científica. También hay consenso en cuanto a que el cambio climático tiene un fuerte origen antropogénico, debido a la revolución industrial y los modelos de desarrollo extractivistas de la mayoría de países (Tubiello et al., 2015). El aumento de las emisiones de GEI, a partir de las actividades desarrolladas por diferentes sectores de la economía, entre las que se destaca la agricultura —con casi un 25 % de las emisiones totales (9,3 billones de toneladas de CO₂ equivalente)—, derivado de una alta tasa de deforestación, ha sumado, junto con otros sectores económicos, al progresivo calentamiento global (Conchedda & Tubiello, 2020).

Este ha generado un aumento de la temperatura media de la superficie terrestre y, al mismo tiempo, ha modificado la distribución espacial y temporal de las precipitaciones. En el caso de la región tropical, ha influido para que fenómenos de variabilidad climática, como es el caso de El Niño/La Niña, se presenten de forma más frecuente y con mayor intensidad. En las regiones tropicales, donde la agricultura es altamente dependiente de las condiciones climáticas y donde predomina la producción a campo abierto, las consecuencias que el cambio climático genera sobre la producción agrícola afectan la disponibilidad de alimentos y la seguridad alimentaria de algunas regiones (Villagrán & Rodríguez, 2021). En este capítulo, se hace la revisión de algunos conceptos y cifras relevantes sobre la relación que existe entre la agricultura y el cambio climático.

Clima y agricultura

Desde las civilizaciones antiguas, la agricultura y el clima han estado estrechamente relacionados, y parte del desarrollo de la agricultura ha sido un proceso de adaptación a las condiciones climáticas (Comisión Económica para América Latina y el Caribe [Cepal], 2011). Por ejemplo, actividades como el riego y su tecnificación han evolucionado con el objetivo de mitigar los efectos negativos que sobre el desarrollo de los cultivos generaba la restricción temporal del recurso hídrico (Bojacá et al., 2017). Asimismo, el desarrollo de nuevas variedades de especies vegetales capaces de desarrollarse en diferentes condiciones climáticas o bajo condiciones de estrés fue también impulsado por la relación directa entre agricultura y clima (Cepal, 2011).

El crecimiento, el desarrollo, el rendimiento y la calidad de los cultivos van a depender altamente del comportamiento de variables como temperatura, radiación solar y precipitación (tabla 1). Asimismo, el comportamiento de estas variables agroclimáticas ayudará a la definición de: i) las épocas adecuadas de siembra, ii) el momento oportuno para la aplicación de fertilizantes y productos de control fitosanitario y iii) la planificación para la captación y almacenamiento de agua para riego (Ritchie & Nesmith, 1991).

Tabla 1. Variables agroclimáticas que inciden en la producción agrícola

Variable	Proceso	Efecto
Radiación solar.	Fotosíntesis y crecimiento de las plantas.	A mayor tasa fotosintética, mayor producción de biomasa acumulada, y viceversa. Etiolación del material vegetal. La fenología del cultivo se ve afectada por la acumulación de calor.
Temperatura.	Tiempo térmico.	El tiempo térmico afecta el desarrollo fenológico del cultivo. Adicionalmente, si las especies vegetales se siembran en regiones climáticas inadecuadas, el comportamiento de la temperatura puede limitar el crecimiento y desarrollo del cultivo.
Precipitación.	Balance hídrico y sanidad del cultivo.	Afecta la tasa de evapotranspiración del cultivo, lo que genera condiciones de estrés o confort hídrico. Asimismo, la precipitación afecta el contenido de humedad del aire y en épocas lluviosas se incrementa la vulnerabilidad de los cultivos, provocada por una mayor incidencia de enfermedades causadas por hongos.

Fuente: Elaboración propia con base en Ritchie & Nesmith (1991)

Cambio climático

Se entiende por cambio climático la alteración de las condiciones promedio de temperatura y precipitación que tiene lugar en una región durante un largo periodo de tiempo. Estos cambios son originados en conjunto por la variabilidad natural del sistema climático y por factores propios de la actividad humana (Yohannes, 2016). El cambio climático está relacionado directamente con una modificación sobre la composición de la atmósfera de la Tierra. Desde hace más de cien años, se ha observado un aumento de los GEI, los cuales son originados principalmente por actividades humanas (Rahman & Anik, 2020).

Los GEI que más contribuyen al cambio climático son el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O). Estos gases capturan la radiación solar y posteriormente la emiten como radiación infrarroja, con lo cual se aumenta el calor retenido en la atmósfera. Lo anterior se conoce como efecto invernadero, y es la causa principal del calentamiento global generalizado que se presenta en la superficie terrestre (Dawadi et al., 2022). El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, por su sigla en inglés) anunció recientemente que la temperatura promedio mundial aumentó $1,10\text{ }^\circ\text{C}$ en la última década. En este mismo informe, la predicción de aumento de temperatura en los escenarios de bajas y muy altas emisiones se ubicó entre $1,30$ y $5,70\text{ }^\circ\text{C}$ para el año 2090 (Masson-Delmotte et al., 2021).

A nivel local, para Colombia se espera que la temperatura media aumente en $2,5\text{ }^\circ\text{C}$, mientras que la precipitación presentará una variación promedio del 3 %, para 2050. Estos cambios provocarán degradación del suelo en las vertientes andinas, inundaciones y salinidad de las tierras costeras, cambios en la disponibilidad hídrica de las cuencas y pérdida de nichos productivos como café y banano. Adicionalmente, se espera que estas modificaciones se presenten en el 60 % de los suelos cultivados, lo que afectará hasta el 80 % de los cultivos establecidos actualmente. Lo anterior, sin duda, es relevante y puede impactar negativamente la economía, ya que el 21 % de la población nacional depende directa o indirectamente de la agricultura (Lau et al., 2011).

Emisiones de gases de efecto invernadero producidas en actividades agrícolas

La agricultura y el sistema alimentario mundial son responsables de aproximadamente el 40 % de las emisiones totales de GEI de origen antropogénico (Mbow et al., 2019). Asimismo, la agricultura produce casi el 50 % de las emisiones efectivas de CH_4 y, aproximadamente, el 75 % de N_2O . Por su parte, las emisiones de CO_2 son más difíciles de cuantificar, debido a los diferentes procesos que pueden originarlas y, adicionalmente, a la dificultad para aplicar métodos exactos para su cuantificación y balance (Mbow et al., 2019) (figura 1). En términos generales, las emisiones de CO_2 en agricultura están asociadas al uso de energía para fabricación y transporte de fertilizantes y plaguicidas, así como a la energía consumida para labores de mecanización agrícola, aunque todas estas emisiones son cuantificadas por el IPCC dentro de las emisiones del sector de energía y transporte (Lynch et al., 2021).

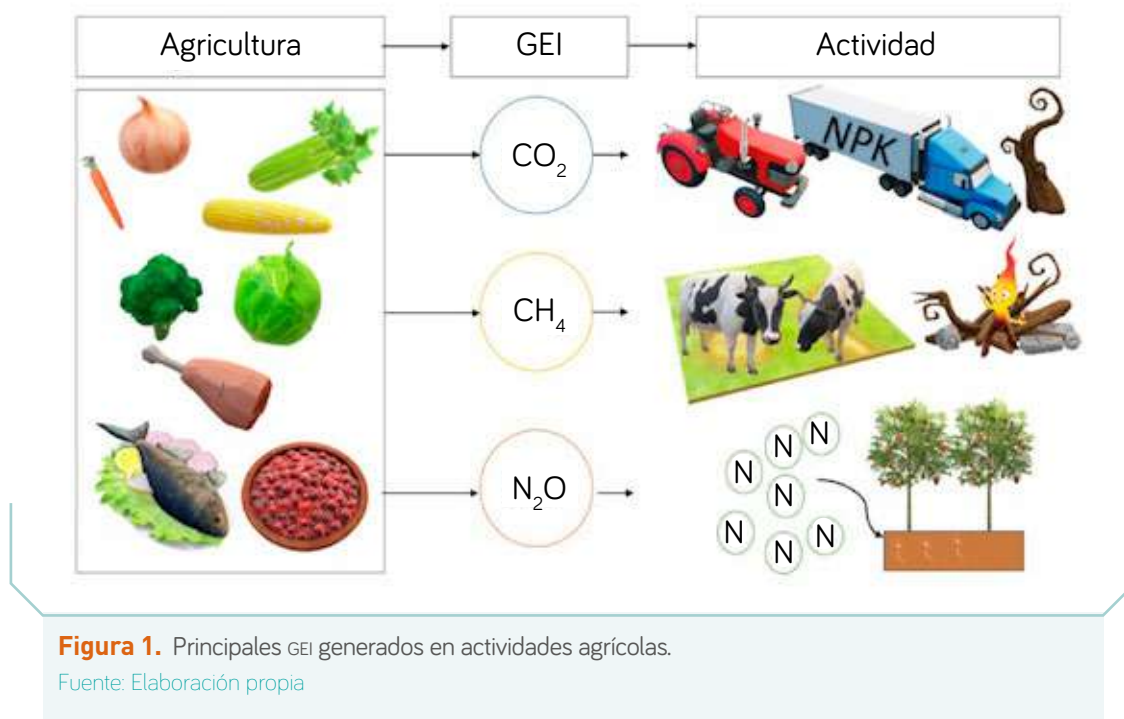


Figura 1. Principales GEI generados en actividades agrícolas.

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, el sistema alimentario es el principal responsable de las emisiones de CO₂ asociadas al cambio del uso del suelo. Esto se debe principalmente a la conversión y transformación de paisajes naturales en tierras para ganadería o para cultivos de especies vegetales (Le Quéré et al., 2018). Se estima que las emisiones de CO₂ asociadas a agricultura, en lo referente al cambio del uso del suelo, equivalen al 10 % del total del CO₂ emitido anualmente de origen antropogénico (Lynch et al., 2021). Por último, es importante destacar que el potencial de calentamiento global, así como la duración de cada uno de estos GEI en la atmósfera son diferentes (tabla 2).

Tabla 2. Algunas características de los principales GEI

Característica	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Tiempo de permanencia en la atmósfera (años).	120	14,5	120
Potencial de calentamiento global (unidad).	1	24,5	320
Principal fuente de generación agrícola o pecuaria.	Deforestación.	Arroz por inundación. Quema de biomasa. Ganadería extensiva.	Fertilización nitrogenada. Excrementos de animales. Fijación biológica de nitrógeno.

Fuente: Elaboración propia con base en Yohannes (2016)

Impacto del cambio climático en la agricultura

La agricultura es una actividad económica que representa aproximadamente el 3 % del producto interno bruto (PIB) mundial y es, además, una actividad esencial para la producción de los alimentos que dan el sustento a la vida humana (Lynch et al., 2021). Las prácticas agrícolas o pecuarias son altamente vulnerables a las condiciones variables del tiempo y del clima: cualquier modificación sobre estos elementos genera perturbaciones en el crecimiento de las plantas y, por ende, en la producción final del cultivo (Yohannes, 2016).

El cambio climático ha generado alteraciones sobre los patrones de distribución de la precipitación, aumento de la temperatura, mayor probabilidad de fenómenos meteorológicos extremos y aumento en la concentración del carbono atmosférico (Lynch et al., 2021). Estas alteraciones modificarán las dinámicas fisiológicas de los cultivos y la tasa de crecimiento de las plantas, incrementarán la afectación de plagas y enfermedades sobre los cultivos y a

nivel de suelo, aumentarán la erosión debido a eventos de sequía e inundación más frecuentes e, incluso, es posible que generen la pérdida del poder nutricional de algunos alimentos (Ackerman & Stanton, 2013).

Alteraciones por el aumento de la temperatura

Las afectaciones debido a una condición climática más cálida serán diferenciadas y dependientes de las condiciones biofísicas, de la disponibilidad de recursos de agua y suelo de cada región, y del tipo de cultivo (Ignaciuk & Mason-D'Croz, 2014). Algunos investigadores han reportado, por ejemplo, que un clima más cálido, aproximadamente entre 1 y 3 °C, en las regiones de latitudes cercanas al Polo Norte permitiría el aumento del rendimiento de algunos cultivos, especialmente cereales. Sin embargo, estos aumentos no equilibrarían la reducción de rendimiento que se presentaría en estos mismos cultivos en zonas de media latitud (Piao et al., 2006). Por otro lado, en regiones tropicales y estacionalmente secas con un clima futuro 2 °C más cálido, se espera una reducción del rendimiento de los cultivos y una probabilidad más elevada de inseguridad alimentaria, así como disminución en el ingreso económico de los agricultores (Yohannes, 2016). Hasta la fecha, algunas estimaciones mencionan que el calentamiento global presentado desde 1981 ha generado pérdidas anuales combinadas de 40 millones de toneladas de alimentos, lo que equivale a 5 mil millones de dólares (Lobell & Field, 2007).

Alteraciones por cambios en los patrones de precipitación

La modificación de los patrones de precipitación generaría restricciones en el agua disponible para riego, lo que puede ocasionar mayores pérdidas asociadas a estrés hídrico por condiciones de sequía. Asimismo, la modificación de las precipitaciones limitará la capacidad de planificación de siembra y de labores de cultivo por parte de los agricultores (Gornall et al., 2010). Estos cambios de humedad —tanto en el suelo como en el ambiente— asociados al aumento de la temperatura provocarían alteraciones en la absorción de nutrientes y de otros minerales esenciales para el crecimiento de las plantas, lo que puede traducirse en potenciales pérdidas productivas de los cultivos (Fischer et al., 2007). Existe evidencia de que los cambios de precipitación han generado una disminución en el rendimiento del maíz, el arroz, el trigo, la papa y las verduras. Esta reducción continuará y será significativa según las proyecciones para 2050 (Ignaciuk & Mason-D'Croz, 2014).

Por otra parte, las tasas de evapotranspiración de los cultivos serían mayores, debido al aumento de la temperatura, lo que, sumado a las modificaciones

del ciclo de cultivo, podría generar un aumento de entre el 15 y el 20 % de los requisitos de riego de los principales cultivos, con lo cual es posible que las áreas de producción agrícola bajo condiciones de sequía aumenten en escenarios futuros (Fischer et al., 2007). Los fenómenos de precipitación intensa también afectarían la producción de alimentos, debido a las fuertes inundaciones, que acabarían con grandes extensiones de cultivo. Este exceso de agua también puede provocar otros impactos, como el anegamiento del suelo, la anaerobicidad y la reducción del crecimiento de las plantas, con una pérdida notable de calidad de los productos cosechados (Gornall et al., 2010).

Alteraciones por aumento de la concentración de CO₂ atmosférico

El nivel de concentración de CO₂ genera un mayor efecto invernadero de la atmósfera, debido a un aumento en el forzamiento radiactivo. Sin embargo, la concentración de CO₂ también puede afectar directamente los procesos de transpiración y fotosíntesis de las plantas (Field et al., 1995). La respuesta fisiológica al nivel de CO₂ varía entre especies, en particular si las plantas son C3 o C4. Algunos reportes mencionan que algunas plantas C3, como la soya y el trigo, podrían aumentar su tasa fotosintética hasta en un 40 %, con niveles de CO₂ superiores a 550 ppm (Long et al., 2004). Por el contrario, con niveles de CO₂ similares, plantas C4, como el sorgo, el maíz y la caña de azúcar, aumentarían su tasa fotosintética hasta en un 20 %. Sin embargo, cabe resaltar que, en términos productivos, los aumentos en rendimiento serían de 10 a 20 %, en plantas C3, y de 0 a 10 %, en plantas C4 (Ainsworth & Long, 2005).

Por último, a pesar de estos posibles efectos positivos en términos de rendimiento, los niveles elevados de CO₂ son perjudiciales para la calidad nutricional de los productos cosechados o transformados. Por ejemplo, en la harina de trigo se disminuye el contenido neto de proteínas, lípidos y minerales, lo cual sucede también con el maíz y la soya (Gornall et al., 2010).

Mitigación del cambio climático en la agricultura

Se refiere a todas las actividades y esfuerzos encaminados a reducir o prevenir la emisión de GEI y aumentar la captura de carbono mediante sumideros (Ludeña et al., 2012). Las actividades de mitigación implican el uso de nuevas tecnologías de menor impacto ambiental, la planificación del uso de energía para labores agrícolas y la implementación de prácticas de agricultura climáticamente inteligente (Zaman et al., 2021) (figura 2). Para contribuir a los esfuerzos globales de mitigación, los países deben diseñar medidas de

política agrícola capaces de sortear estas compensaciones en el contexto de sus prioridades y objetivos de política nacional (OECD, 2019).

Dentro de las actividades de mitigación del cambio climático que se pueden realizar en agricultura están la agroforestería; la implementación de sistemas silvopastoriles; el tratamiento de residuos animales y vegetales; el aumento de la eficiencia del uso de fertilizantes; la reducción de la deforestación; la gestión adecuada del suelo; la agroecología, con su concepción de la agricultura como un agroecosistema; el uso de inhibidores de nitrificación; la urea sintética, y la implementación de sistemas de ahorro, recolección y retención de agua (Zaman et al, 2021).



Figura 2. Algunas prácticas de mitigación del cambio climático en la agricultura.
Fuente: Elaboración propia

Adaptación al cambio climático en la agricultura

La adaptación al cambio climático en la agricultura se refiere a todas las actividades desarrolladas para limitar el impacto negativo que este genera y, al mismo tiempo, a la búsqueda y aprovechamiento de nuevas oportunidades encaminadas a tal fin; también implica el ajuste de políticas y acciones para solventar los cambios observados o esperados en el clima (Wreford et al., 2010). Dentro de las prácticas de adaptación más implementadas se encuentran la reducción de la sensibilidad del sistema afectado. Esto puede conseguirse, por ejemplo, mediante la inversión en construcción de infraestructura para evitar inundaciones o, por el contrario, desarrollando distritos para riego y drenaje, o plantando cultivos más resistentes a la variabilidad climática (Ignaciuk & Mason-D'Croz, 2014).

También es posible alterar la exposición de un sistema a los efectos negativos del cambio climático, mediante acciones anticipatorias, dentro de las cuales están los sistemas de alerta temprana o las predicciones climáticas (Wreford et al., 2010). Por último, otra alternativa es aumentar las resiliencias de los sistemas. Esto permitirá que un sistema y sus componentes tengan la capacidad para prever y absorber los efectos de una perturbación, adaptarse a ella y recuperarse de manera oportuna y eficaz, por ejemplo, garantizando la conservación, restablecimiento o mejora de sus estructuras y funciones básicas esenciales (Tompkins & Adger, 2004) (figura 3).

En la tabla 3 se incluyen algunos impactos del cambio climático previstos para Colombia, así como los posibles cultivos afectados y las medidas de adaptación que se deben desarrollar.

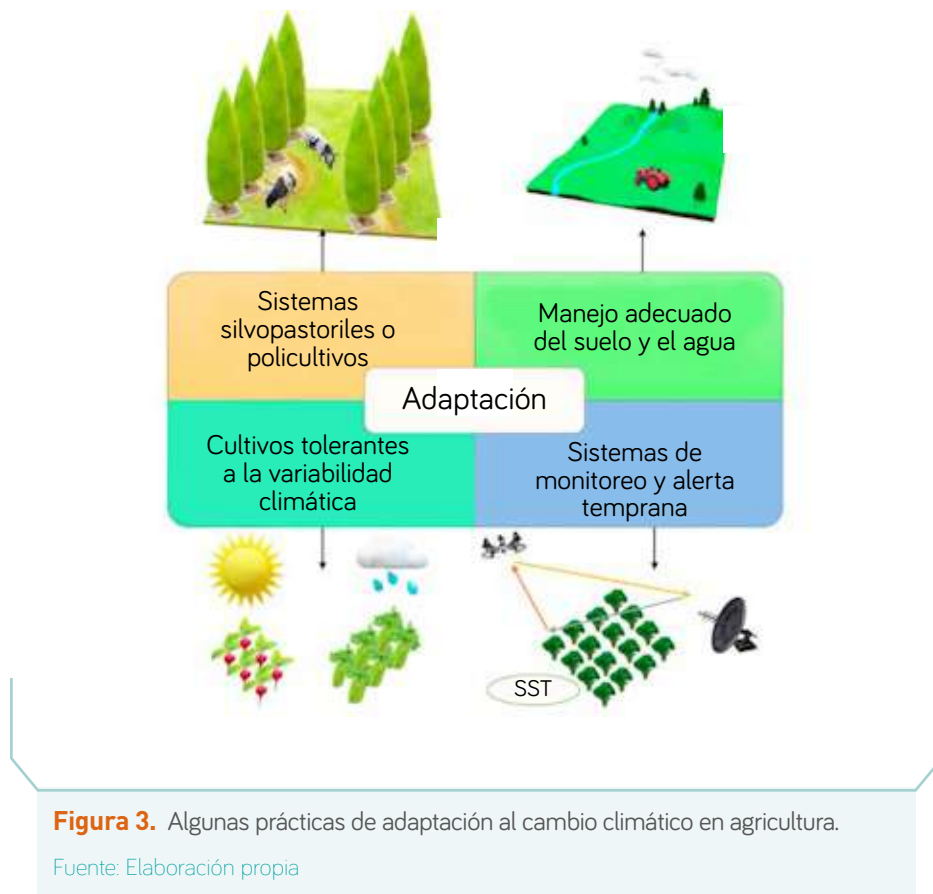


Tabla 3. Ejemplos de impactos negativos del cambio climático para Colombia y algunas estrategias de adaptación

Impactos previstos	Medidas de adaptación	Cultivos que probablemente se verán afectados
Cambios en la fenología de los cultivos.	Cambios en épocas de siembra y cosecha. Inversión en infraestructura de adecuación de tierras (riego y drenaje).	Musáceas, café, hortalizas, frutales, arroz y maíz.
Cambios en las dinámicas de plagas y enfermedades.	Investigación en genotipos resistentes. Generación de sistemas de alerta temprana.	Café, yuca, papa, frutales, hortalizas.
Intensificación de los procesos de degradación del suelo.	Manejo de labranza de conservación. Aumento de la resiliencia del suelo.	Cultivos en ladera y ganadería de los trópicos alto y bajo.
Pérdida gradual de la aptitud climática de cultivos y pasturas.	Desarrollo de prácticas para sistemas agrícolas con mayor resistencia al aumento de la temperatura.	Caña de azúcar, papa, cítricos, café.

Continúa en la página 26...

... continuación tabla 3.

Aumento de la vulnerabilidad de pequeños productores.	Se debe realizar investigación, desarrollo e inversión en nuevas tecnologías, así como programas de transferencia a los agricultores para masificar su adopción.	Todos los cultivos.
Aumento del riesgo biótico y abiótico sobre el desarrollo de los cultivos en sistemas de producción a campo abierto.	Investigación y desarrollo de nuevas prácticas de cultivo en ambientes protegidos.	Hortalizas, frutales.
Aumento de la vulnerabilidad de los cultivos al estrés por sequía.	Establecer estrategias de manejo del riego y la fertilización, así como de las especies resistentes o tolerantes al estrés por sequía.	Papa, pastos, hortalizas.

Fuente: Elaboración propia con base en Lau et al. (2011)

Conclusiones

En la actualidad, aún son inciertas las verdaderas consecuencias que el cambio climático producirá sobre el planeta, por lo que la crisis climática que se viene presentando hace algunos años ha dejado en evidencia la débil capacidad de respuesta gubernamental ante los evidentes problemas que genera el aumento descontrolado de los periodos de sequía y de lluvia extrema. Por ello, la adaptación que ha de adelantarse en el sector agrícola debe pasar por mejorar el manejo cultural de los sistemas productivos, y por un manejo agronómico eficiente, que tenga en cuenta el entorno y considere que tanto el cultivo como el ambiente que lo rodea son un solo sistema. Únicamente así se podrá generar e implementar un modelo de producción sostenible.

Por último, es importante mencionar que se requiere fortalecer políticas públicas que permitan una mayor inversión en investigación enfocada en la medición de la generación de los GEI producidos en actividades agrícolas y de su impacto en el ambiente. Asimismo, es importante seguir impulsando prácticas de adaptación y mitigación en el sector agrícola y pecuario.

Referencias

- Ackerman, F., & Stanton, E. A. (2013). *Climate impacts on agriculture: a challenge to complacency?* [GDAE Working Paper 13-01: Climate Impacts on Agriculture], Global Development and Environment Institute.
- Ainsworth, E. A., & Long, S. P. (2005). What have we learned from 15 years of free-air CO₂ enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO₂. *New Phytologist*, 165(2), 351-372.
- Wreford, A., Moran, D., & Adger, N. (2010). *Climate change and agriculture impacts, adaptation and mitigation: impacts, adaptation and mitigation*. OECD Publishing.
- Bojacá, C. R., Villagrán, E. A., Gil, R., & Franco, H. (2017). *El riego y la fertilización del cultivo del tomate*. Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- Conchedda, G., & Tubiello, F. N. (2020). Drainage of organic soils and GHG emissions: validation with country data. *Earth System Science Data*, 12(4), 3113-3137.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe [Cepal]. (2011). *Agricultura y cambio climático: instituciones, políticas e innovación* [Memorias del seminario internacional realizado en Santiago, los días 10 y 11 de noviembre de 2010].
- Dawadi, B., Shrestha, A., Acharya, R. H., Dhital, Y. P., & Devkota, R. (2022). Impact of climate change on agricultural production: a case of Rasuwa District, Nepal. *Regional Sustainability*, 3(2), 122-132.
- Field, C. B., Jackson, R. B., & Mooney, H. A. (1995). Stomatal responses to increased CO₂: implications from the plant to the global scale. *Plant, Cell & Environment*, 18(10), 1214-1225.
- Fischer, G., Tubiello, F. N., Van Velthuisen, H., & Wiberg, D. A. (2007). Climate change impacts on irrigation water requirements: effects of mitigation, 1990-2080. *Technological Forecasting and Social Change*, 74(7), 1083-1107.
- Gornall, J., Betts, R., Burke, E., Clark, R., Camp, J., Willett, K., & Wiltshire, A. (2010). Implications of climate change for agricultural productivity in the early twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554), 2973-2989.
- Gruda, N., Bisbis, M., & Tanny, J. (2019). Influence of climate change on protected cultivation: impacts and sustainable adaptation strategies-A review. *Journal of Cleaner Production*, 225, 481-495.
- Ignaciuk, A., & Mason-D'Croz, D. (2014). *Modelling adaptation to climate change in agriculture* [OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers]. OECD.
- Lau, C., Jarvis, A., & Ramírez Villegas, J. (2011). *Agricultura colombiana: adaptación al cambio climático*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/57475>

- Le Quéré, C., Andrew, R. M., Friedlingstein, P., Sitch, S., Pongratz, J., Manning, A. C., Korsbakken, J. I., Peters, G. P., Canadell, J. G., & Jackson, R. B. (2018). Global carbon budget 2017. *Earth System Science Data*, 10(1), 405-448.
- Lobell, D. B., & Field, C. B. (2007). Global scale climate-crop yield relationships and the impacts of recent warming. *Environmental Research Letters*, 2(1), 1-7.
- Long, S. P., Ainsworth, E. A., Rogers, A., & Ort, D. R. (2004). Rising atmospheric carbon dioxide: plants face the future. *Annual Review of Plant Biology*, 55, 591-628.
- Ludeña, C., Wilk, D., & Deeb, A. (2012). *Ecuador: mitigación y adaptación al cambio climático. Marco de la preparación de la estrategia, 2017* [Nota Técnica n.º IDB-TN-619]. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Lynch, J., Cain, M., Frame, D., & Pierrehumbert, R. (2021). Agriculture's contribution to climate change and role in mitigation is distinct from predominantly fossil CO₂-emitting sectors. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 1-9. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsufs.2020.518039/full>
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., & Gomis, M. I. (2021). *Climate change 2021: the physical science basis* [Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change], IPCC. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- Mbow, C., Rosenzweig, C., Barioni, L. G., Benton, T. G., Herrero, M., Krishnapillai, M., Liwenga, E., Pradhan, P., Rivera-Ferre, M.-G., & Sapkota, T. (2019). Food security. En *Climate Change and Land: An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Organization for Economic Co-operation and Development [OECD]. (2019). *Enhancing Climate Change Mitigation Through Agriculture*.
- Piao, S., Fang, J., Zhou, L., Ciais, P., & Zhu, B. (2006). Variations in satellite derived phenology in China's temperate vegetation. *Global Change Biology*, 12(4), 672-685.
- Rahman, S., & Anik, A. R. (2020). Productivity and efficiency impact of climate change and agroecology on Bangladesh agriculture. *Land Use Policy*, 94, 104507.
- Ritchie, J. T., & Nesmith, D. S. (1991). Temperature and crop development. *Modeling Plant and Soil Systems*, 31, 5-29.
- Selbonne, S., Guindé, L., Belmadani, A., Bonine, C., Causeret, F. L., Duval, M., Sierra, J., & Blazy, J. M. (2022). Designing scenarios for upscaling climate-smart agriculture on a small tropical island. *Agricultural Systems*, 199, 1-38.
- Tompkins, E. L., & Adger, W. N. (2004). Does adaptive management of natural resources enhance resilience to climate change? *Ecology and Society*, 9(2), 10.
- Tubiello, F. N., Salvatore, M., Ferrara, A. F., House, J., Federici, S., Rossi, S., Biancalani, R., Condor Golec, R. D., Jacobs, H., & Flammini, A. (2015). The contribution of agriculture, forestry and other land use activities to global warming, 1990-2012. *Global Change Biology*, 21(7), 2655-2660.

Capítulo I. Generalidades de la relación entre agricultura y cambio climático

Villagrán, E. A. & Rodríguez, A. (2021). Analysis of the thermal behavior of a new structure of protected agriculture established in a region of tropical climate conditions. *Fluids*, 6(6), 223.

Yohannes, H. (2016). A review on relationship between climate change and agriculture. *Journal of Earth Science & Climatic Change*, 7(2), 8. <https://www.omicsonline.org/open-access/a-review-on-relationship-between-climate-change-and-agriculture-2157-7617-1000335.pdf>

Zaman, M., Heng, L., & Müller, C. (2021). *Measuring emission of agricultural greenhouse gases and developing mitigation options using nuclear and related techniques: Applications of nuclear techniques for GHGs*. Springer Nature.