

Efectos de la agricultura intensiva y el cambio climático sobre la biodiversidad

Effects of intensive agriculture and climate change on biodiversity

Smith Ervin Reyes-Palomino^{1*} y Dominga Micaela Cano Ccoa²

Abstract

Biodiversity is being affected by the overexploitation of natural resources, the increase of invasive species, climate change, intensive agriculture, and livestock farming. Among these, intensive soybean cultivation has displaced other products such as rice and wheat; intensive cultivation leads to increased use of agrochemicals, which generates severe socio-environmental effects, particularly on biodiversity. The objective of the study was to compile scientific literature produced on the loss of biodiversity caused by intensive agriculture and climate change, and within them the possible effects on the interrelationship between human beings and the environment. The methodological procedure was the systematic review developed in March 2021, using Boolean operators AND, OR, NOT with terms “biodiversity”, “climate change” and “agriculture” in the Scopus, Web of Science and Scielo databases. The results identified that there were at least 99 topics in Web of Science (99 topics), Scopus (155 topics) and Scielo (36 topics) that show the loss of biodiversity due to climate change and the expansion of intensive agriculture with consequences, not only in the regions surrounding the crops in question, but also indirectly in the mountain regions through the consumption of soybean in animals and derivatives in humans. It is concluded that biodiversity as a provider of food and disease prevention for humanity contributes to sustainability and, therefore, its preservation requires the adoption of aggressive public policies within the framework of the Convention on Biological Diversity.

Keywords: Biotechnology; agriculture 4.0, meso-institutions, soybeans, mountains, technology, intensive farming.

Resumen

La biodiversidad está siendo afectada por la sobreexplotación de recursos naturales, el incremento de especies invasoras, el cambio climático, agricultura y la ganadería intensiva. Entre ellos, el cultivo intensivo de soya ha desplazado a los otros productos como el arroz y el trigo; el cultivo intensivo, induce al mayor uso de agroquímicos que genera severos efectos socio ambientales, en particular sobre la biodiversidad. El objetivo del estudio fue compilar literatura científica producida sobre la pérdida de biodiversidad causada por la agricultura intensiva y el cambio climático, y dentro de ellas los posibles efectos en la interrelación entre el ser humano y el medio ambiente. El procedimiento metodológico fue la revisión sistemática desarrollado en marzo de 2021, usando operadores booleanos AND, OR, NOT con términos “biodiversity”, “climate change” y “agriculture” en las bases de datos Scopus, Web of Science y Scielo. Los resultados identifican que al menos existían en Web of science (99 temas), Scopus (155 temas) y Scielo (36 temas) que evidencian la pérdida de biodiversidad por efecto del cambio climático y la expansión de la agricultura intensiva con consecuencias, no solo en las regiones del entorno de los cultivos referidos, sino que, éstas indirectamente se trasladan hacia las regiones de montaña mediante consumo de soya en animales y derivados en humanos. Se concluye que la biodiversidad como proveedora de alimentos y de prevenir enfermedades para la humanidad contribuye a la sustentabilidad y, por tanto, su preservación requiere de adopción de políticas públicas agresivas dentro del marco del Convenio sobre la Diversidad Biológica.

Palabras clave: Biotecnología, agricultura, meso-instituciones, soya, montañas, ganadería intensiva.

Recibido: 27/07/2021

Aceptado: 30/12/2021

Publicado: 21/02/2022

Sección: Artículo de revisión

*Autor correspondiente: smith3 rp@gmail.com

Introducción

La producción agrícola es una de las actividades importantes para la alimentación humana y de las otras especies vivientes. Sin embargo, sus efectos sobre la biodiversidad está siendo afectando en parte por la expansión de la agricultura y ganadería intensiva que conllevaría a que se produzca al menos un 25% de pérdida de biodiversidad en los próximos 50 años (Lanz *et al.* 2018).

La actividad agrícola intensiva viene induciendo además, al mayor uso de agroquímicos, a la mayor parcelación, al igual que más tala bosques primarios para obtener nuevas áreas de cultivos o para actividades pastoriles provocando la degradación del suelo y la expansión de

nuevas tierras y pérdida de hábitats agrícolas tradicionales; en suma, incremento de las especies invasoras, contaminación por nitrógeno reactivo y el cambio climático (Porter *et al.* 2013; Sartorello *et al.* 2020).

El efecto de la agricultura intensiva a la biodiversidad es al menos responsable del 80% de la deforestación mundial a pesar de la intencionalidad de conservación

¹Universidad Continental, Facultad de Ingeniería Ambiental, Av. San Carlos 1980 - Urb. San Antonio, Huancayo, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0066-4291>.

²Universidad Nacional de Juliaca, Gestión Pública y Desarrollo Social, Nueva Zelandia 631, Juliaca, Perú. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2146-3955>.

Cómo citar: Reyes-Palomino, S. E. y Cano Ccoa, D. M. (2022). Efectos de la agricultura intensiva y el cambio climático sobre la biodiversidad. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 24(1), 53–64. <https://doi.org/10.18271/ria.2022.328>.



Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) Share - Adapt

establecida en el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) y la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CNULD, UNCCD) donde no se vienen cumplido los propósitos de contener la pérdida de biodiversidad en el mundo y al igual que la prevención de efectos ambientales negativos (Wilson *et al.* 2020; Stringer, 2008)

Consecuentemente, la existencia de investigaciones sobre la biotecnología que se está usando como parte de un esfuerzo para mejorar la productividad agrícola (Glick *et al.* 1991), no han contribuido los propósitos establecidos con el CDB ni la de CNULD. Ya que las rotaciones intensificadas y la mayor dependencia de insumos agroquímicos generan preocupación para la salud del suelo, la biodiversidad y las funciones de los ecosistemas que son esenciales para mantener la productividad agrícola y el bienestar de las comunidades agrícolas (Visscher *et al.* 2020).

La gran mayoría de agricultores en América Latina todavía cultivan aun en sus parcelas de tierra, generalmente en ambientes lejanos, empleando métodos tradicionales de siembra y cosecha. A consecuencia de esto, algunos agricultores de escasos ingresos ven como opción el uso de los agroquímicos sin tener la plena información de sus efectos y consecuencias (Altieri, 2000).

Los agroquímicos que son parte de la agricultura intensiva, el 63% de los plaguicidas usados tienen toxicidad, considerados plaguicidas altamente peligrosos (HHP por sus siglas en inglés) para el medio ambiente (Valbuena *et al.* 2021). A nivel mundial, la expansión e intensificación de la agricultura ha llevado a un rápido cambio en la estructura del paisaje, en ellas, el considerable uso de agroquímicos provocó una pérdida directa de hábitat y degradación de la calidad ambiental (Lanz *et al.* 2018). En suma, la coexistencia de cambios en el paisaje y contaminación por agroquímicos amenaza la biodiversidad (Campos *et al.* 2015).

Por otro lado, las actividades humanas sobre el ambiente natural han sido el principal motor del cambio climático, debido a la quema de combustibles fósiles que producen gases de efecto invernadero que atrapan el calor en el orbi con efectos directos a la diversidad biológica y cultural. Toda vez, que la salud planetaria y la salud humana como una función interacción entre la población local y el medio ambiente es un debate de relevancia de pérdida de biodiversidad inducida por el cambio climático son poco conocidos que requieren respuestas.

No obstante, la tecnología que promueve opciones transgénicas tendría implicaciones a futuro para los agricultores de los países en desarrollo debido al uso de organismos genéticamente modificados (OGM) no compatibles con el ambiente natural. Asimismo, la agricultura extensiva de comunidades locales pueden ser destruidas por tecnologías transgénicas multinacionales predominantemente extranjeras, aumentando la exclusión social de los agricultores (Hall *et al.* 2008).

Teniendo en consideración las experiencias de los agricultores que persisten en agricultura extensiva y su preocupación sobre el impacto ambiental y los ecosistemas se ve amenazadas por las nuevas opciones tecnológicas transgénicas, dado que pueden volverse poco competitivos, particularmente en los mercados de exportación

basados en productos naturales (Hall *et al.* 2008).

Por tanto, existe la necesidad de revisar literatura científica que aborda diversas tendencias de efectos sobre la biodiversidad que tienen como causas en la agricultura intensiva y el cambio climático junto a la posible la adopción de nuevas tecnologías y sus contrariedades. De ellas, la percepción de riesgo para la diversidad biológica y cultural continúan vigentes y su interacción integral en duda, no solo la continuidad histórica de la agricultura local sino sobre todo la integridad de sostenibilidad ambiental.

Por lo mencionado, el objetivo del estudio fue compilar literatura científica producida sobre la pérdida de biodiversidad causada por la agricultura intensiva y el cambio climático, y dentro de ellas los posibles efectos en la interrelación entre el ser humano y el medio ambiente.

Materiales y métodos

El estudio de revisión sistemática se llevó a cabo en marzo del año 2021 bajo las directrices de la declaración PRISMA para una correcta revisión sistemática (Figura 1).

Búsqueda inicial

La búsqueda de literatura científica producida consistió en combinar los términos “biodiversity”, “climate change” y “agriculture” en las bases de datos Scopus, Web of Science y Scielo. Posteriormente, se amplió con una combinación usando los operadores booleanos AND, OR y NOT según conviniera, de los términos “climate change in agriculture”, “impact of technology on agricultural” y “technology used in agriculture”. Estas búsquedas muestran que existe una cantidad considerable de publicaciones, algunos de ellos repetitivos o no relevantes para la revisión.

La combinación de términos que mostros mejores resultados fue (climate change in agriculture OR biodiversity) OR mountains) AND (agrochemicals in agriculture OR technology in agriculture). Y dentro de ellas se obtuvo 99 resultados en Web of Science, 155 en Scopus y 36 en Scielo. Antes de proceder a la selección de artículos se definieron los criterios de inclusión y exclusión.

Criterios de inclusión

- Tratarse de investigaciones originales o de revisión.
- Que hablen del impacto del cambio climático en la biodiversidad.
- Que se estudie el efecto de los agroquímicos en la agricultura.
- Que se hable sobre los andes en la biodiversidad.
- Que tengan una relación entre biodiversidad y agricultura intensiva.
- Que tengan una relación entre biodiversidad y agricultura intensiva.

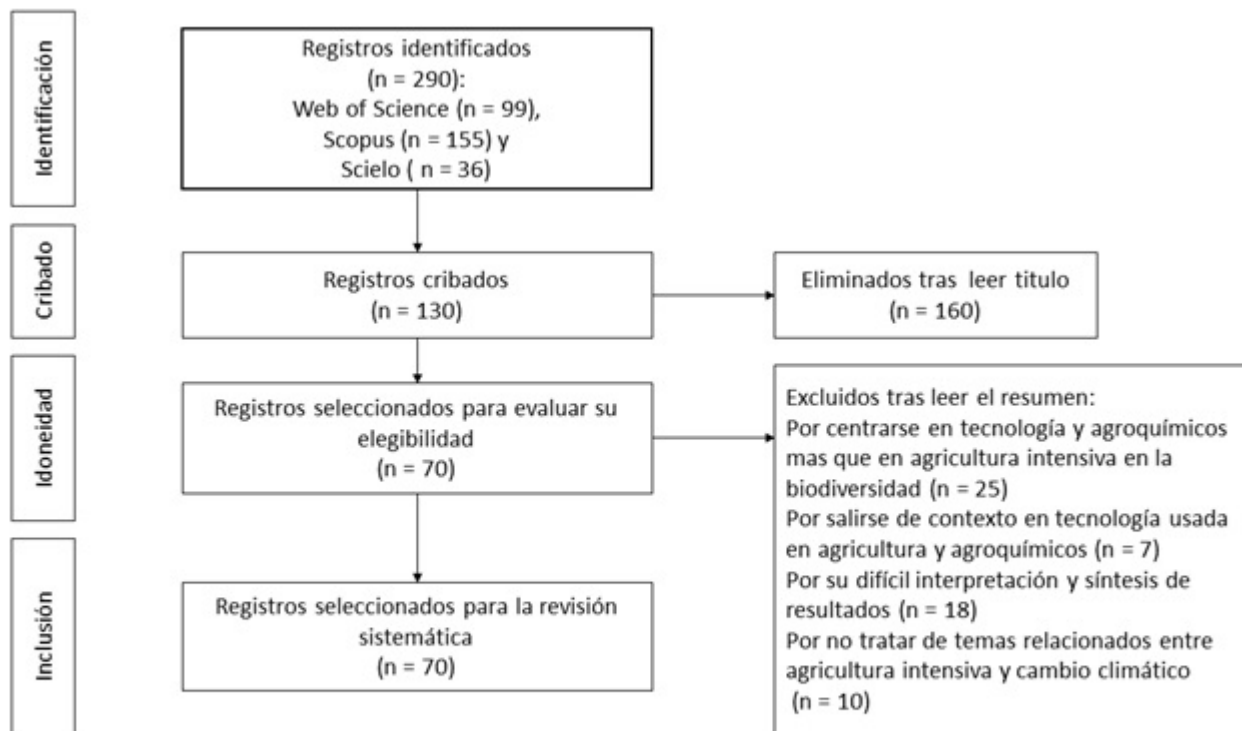


Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA en cuatro niveles.

Criterios de exclusión

- Los que no tienen relación con agricultura.
- Artículos de más de 10 de antigüedad.
- Los que no hablan sobre biodiversidad y agricultura.

Según estos criterios, y solo con la lectura del título, se consideraron adecuados 130 artículos. Se procedió a leer el resumen y a partir de esta lectura se descartaron 60. Por centrarse en tecnología y agroquímicos más que en efectos de la agricultura intensiva en la biodiversidad (n = 25), por salirse de contexto entre la tecnología usada en la agricultura y agroquímicos (n = 7), por su difícil interpretación y síntesis de resultados (n = 18) y por no tratar de temas relacionados entre la agricultura intensiva y el cambio climático (n = 10).

Finalmente 70 artículos cumplieron los criterios de inclusión y se seleccionaron para llevar a cabo la revisión sistemática conforme a los criterios establecidos por la declaración PRISMA.

Resultados y Discusión

Artículos publicados

En América del Norte se obtuvo 43 artículos de investigación, en América del Sur 22 artículos y en América Central 5 artículos. Siendo mayormente investigaciones que abordan el cambio climático, biodiversidad y la agricultura que tiene mayor incidencia del tema de la investigación en curso.

Artículos según su año de publicación

Al comparar el año de publicación y el número de artículos publicados evidencian la antigüedad de los artículos estudiados desde el año 1991 al 2021, y también la evolución de la investigación del tema “Pérdida de Biodiversidad causada por la Agricultura Intensiva y el Cambio Climático” a lo largo de estos últimos años. En ellas, se observa crecimiento de investigaciones en tema de biodiversidad a partir del año 2019 referidos a la pérdida de Biodiversidad del que se connota como causa el cambio climático y expansión de la agricultura en los últimos años.

En Figura 2, se evidencia que la gran mayoría de artículos de investigación estudiados y publicados en la presente revisión pertenecen a los años 2019, 2020 y 2021. Del que se resalta que esas investigaciones no tienen más de 30 años de antigüedad a la fecha actual revisión, siendo de notoriedad el tema del cambio climático en el mundo.

Cantidad de artículos según el país de publicación

Es importante dar a conocer la cantidad de países que contribuyen más a las investigaciones realizadas en el tema de pérdida de biodiversidad causada por el cambio climático y la agricultura. En la Figura 3 se observa las publicaciones por país, así como los porcentajes que representa cada uno de ellos según el grado de publicación total en América. El país con mayor cantidad de publicaciones es EE. UU, con un 53% de participación; le sigue México con un 40%, Canadá con



Figura 2. Evaluación de la cantidad de artículos según el año de publicación.



Figura 3. Porcentaje de publicaciones por país.

un 5% y por último Brasil y Argentina con un 1% de participación cada uno.

Impacto del cambio climático en los diferentes campos

La pérdida de biodiversidad tiene diversos factores, en los que sobresalen el impacto del cambio climático y la agricultura intensiva. Por ello, se detallan a continuación investigaciones que evidencian impactos negativos sobre la biodiversidad (Tabla 1).

Biodiversidad de América

El crecimiento agrícola conduce a la pérdida de hábitats naturales y tiene un impacto en la biodiversidad (Bionda *et al.* 2012), como la agricultura intensiva del cultivo de la Soya (*Glycine max*) en Argentina, que provocó que Ecosistemas boscosos naturales desaparezcan. Asimismo, afecta a países como Bolivia y Uruguay a través de la compra y arrendamiento de campos para sembrar Soya (Biodiversidad LA., 2005), aunque sus impactos son variables y dependen de la capacidad de sobrevivencia de especies y los ecosistemas para hacer frente a la magnitud y velocidad del cambio (Esperon-Rodríguez *et al.* 2019).

Además, el cambio climático tendrá un efecto en la productividad agrícola (Rashford *et al.* 2016). Aunque se desconoce este efecto, las investigaciones predicen una disminución general en los beneficios de la producción

agrícola para los años 2050 (Hernandez-Ochoa *et al.* 2018).

Los ecosistemas terrestres están y siguieran siendo perjudicados por el cambio climático y las actividades humanas sobre los ecosistemas (Malanson, 2020), al tiempo que algunos sistemas acuáticos sufren inundaciones extremas afectando gravemente la biodiversidad de los animales terrestres: aves, mamíferos, reptiles, anfibios e insectos (Zhang *et al.* 2021).

Algunos efectos producidos por el cambio climático pueden mitigarse mediante el control de especies invasoras (Galatowitsch *et al.* 2009), al estar vinculadas a la capacidad de reversión del ecosistema para responder al cambio ambiental (Thom *et al.* 2021). Sin embargo, las mayores amenazas para la biodiversidad mundial están asociadas con la conversión de ecosistemas naturales en antropogénicos y la sobreexplotación de los recursos biológicos. Ya que los cambios antropogénicos son factores de estrés atmosférico potencialmente dañinos para la biodiversidad y hábitats en escalas de mediano y largo plazo (Freedman y Beauchamp, 1998).

Los cambios periódicos en la abundancia relativa de unidades de paleo-vegetación sugieren movimientos altitudinales que responden al cambio climático global (Prader *et al.* 2020). Entre los hábitats tenemos los ecosistemas de montaña de América del Norte que albergan una diversidad de especies excepcionales y han sido fundamentales para la comprensión de los procesos que generan la biodiversidad en los ecosistemas terrestres. También cuentan con un amplio conjunto de funciones del ecosistema que benefician a las comunidades humanas adyacentes (Schoville y Rovito, 2020).

Dentro de los ecosistemas, se tiene también a las regiones desérticas del centro y sur de Baja California en México con muchas características especiales que la hacen única en los desiertos del mundo. Sin embargo esta zona podría ser inestable ante el cambio climático futuro, particularmente por la incidencia de niebla de verano en las áreas desérticas (Webb y Turner, 2020).

Del mismo modo se tiene a los bosques de América del Sur que concentran una gran fracción de la biodiversidad del mundo. Pero si las predisposiciones actuales de deforestación continúan sin cambios durante las próximas décadas los bosques nativos se reducirán drásticamente (Luque *et al.* 2011), ya que las investigaciones muestran que el 83% de la deforestación ha tenido lugar en bosques secos tropicales, matorrales, bosques templados y bosques tropicales siempre verdes (Mendoza-Ponce *et al.* 2018).

Por último tenemos el litoral oeste de América del Norte con una rica variedad de entornos climáticos, geológicos e históricos en los que se ha desarrollado una flora y fauna relativamente rica (Alaback, 1996). A diferencia de América del Sur, la costa occidental de América del Norte es parte de una gran zona templada por lo cual, comparte varias especies con la biota continental. Muchas especies se limitan a la región costera, lo que sugiere una adaptación al clima marino, el cual tiene una temperatura suave, especialmente el de la región de bosque lluvioso templado (Alaback, 1996).

La pérdida de biodiversidad, inundaciones y olas de calor, características del cambio climático en América se han mantenido poco visibles por la falta de registros satelitales continuos y detallados (Allstädt *et al.* 2021).

Se prevé que el cambio climático afectará el funcionamiento de los ecosistemas en tierras que albergan amplias extensiones de vegetación (Underwood *et al.* 2019) de acuerdo al modelado de nichos climáticos que modela las distribuciones de especies y los nichos ecológicos (Pender *et al.* 2019).

Aun cuando las especies están respondiendo al cambio climático a través de alteraciones en la morfología, el comportamiento fenológico y cambios de rango geográfico. Estos cambios están mediados por respuestas plásticas y evolutivas, dando como resultado cambios generalizados en la productividad, interacción entre las especies, la vulnerabilidad a las invasiones biológicas y otras propiedades emergentes (Weiskopf *et al.* 2020).

Biodiversidad en las montañas

Actualmente, la definición de montaña establece una altitud mínima de 300 m sobre el nivel del mar. Sin embargo en zonas entre 300 m y 2500 m de altitud se necesita además un rango de elevación local de al menos 300 m o una cierta inclinación de la pendiente ($\geq 5^\circ$ hasta una altitud de 1500 m o $\geq 2^\circ$ por encima) dentro de un radio de 7 km (Kapos *et al.* 2000). Aunque las montañas son ricas en biodiversidad y brindan servicios ecosistémicos a sus habitantes, están actualmente amenazadas por los cambios en el uso de la tierra y la cobertura de la tierra (LUCC) (Tovar *et al.* 2013).

Las zonas montañosas son esenciales para la vida en la Tierra, ya que alberga casi a 1 billón de personas con una enorme variedad de idiomas, grupos étnicos, religiones e ideologías (Urban, 2020). Ocupando casi el 22% de la superficie terrestre, las cuales proporcionan entre el 60% y el 80% de los recursos de agua dulce del mundo, y albergan el 25% de la biodiversidad del planeta y el 28% de los bosques del mundo (Escobar-Mamani *et al.* 2020).

Durante milenios, los seres humanos han alterado la geomorfología de las montañas del mundo para obtener recursos, crear rutas de transporte y desarrollar infraestructura para actividades económicas, agrícolas, recreativas y espirituales. Dichos impactos pueden persistir durante milenios, alterar los sistemas fluviales regionales y catalizar el cambio aguas abajo (Harden and Byers, 2021)

Por ello las montañas son altamente sensibles al cambio climático, ya que los impactos de un clima más cálido tienen consecuencias negativas sobre el suministro de agua, la biodiversidad y la protección contra los peligros naturales a través de aludes, deslizamiento de rocas, inundaciones por desbordamiento de lagos glaciares. (Schneiderbauer *et al.* 2021). La biodiversidad en las montañas es influenciada por la topografía y la elevación, sin embargo la distribución de las especies disminuye a medida que se intensifica el calentamiento global (Scrivanti y Anton, 2021).

El cambio del clima induce a la recesión de los glaciares que resulta en un aumento en el tamaño y la cantidad de lagos glaciares alterando los recursos hídricos, el balance de masa de los glaciares y causando inundaciones catastróficas por estallidos de lagos. (Wood *et al.* 2021). Todo ello afecta la hidrología de los ecosistemas de ladera con consecuencias en el agua

potable, la agricultura y la producción de energía hidroeléctrica (Polk *et al.* 2017).

Por tanto en las regiones de montaña se enfrentan con retos diferentes y decisivos, ya que la presión a la que se encuentra afecta el desplazamiento del hábitat de especies hacia mayores altitudes (Lenoir *et al.* 2008). Estando relacionado con el impacto cada vez más serio del cambio climático y ambiental (Haller y Branca, 2020). Los sistemas socio ecológicos de las montañas también son afectados por el cambio climático al influir en la percepción de riesgo de las comunidades y en las respuestas a las condiciones climáticas cambiantes (Schneiderbauer *et al.* 2021).

Agricultura en América

La agricultura en todo el mundo ocupa aproximadamente el 40% de la superficie terrestre, particularmente en partes de Europa, esta cifra es de 46%, por lo cual la mayoría de las tierras agrícolas están sometidas a prácticas intensivas destinadas a maximizar la producción de alimentos (Park, 2015).

En América del Sur una gran parte de la economía se basa en la agricultura, más de dos tercios de la población depende de esta actividad (Imbach *et al.* 2017). Sin embargo, esta base agrícola a menudo está íntimamente ligada a los ecosistemas, el cual está siendo amenazado por la variación de temperatura y están induciendo cambios en áreas aptas para cultivos, conduciendo así a una alta variabilidad del rendimiento en la producción. También se han presentado tormentas, inundaciones y sequías los cuales han tenido impactos en la agricultura en Centroamérica durante el último siglo (Imbach *et al.* 2017), dentro de los cultivos, la agricultura intensiva de la Soya (*Glycine max*) ha provocado efectos negativos en la biodiversidad del suelo, desplazando otros productos como el arroz, maíz, girasol y el trigo, causando una disminución de las unidades de producción en un 24.5% (véase la figura 4) (Biodiversidad LA. 2005).

En América del Norte las áreas de cultivo varía generalmente según la latitud, siendo las áreas en Canadá las más afectadas por el incremento de las temperaturas y la reducción de la disponibilidad de agua (Motha y Baier, 2005). En tanto que, según informes de las Naciones Unidas, a través de la Organización Meteorológica Mundial, América Latina sería una de las regiones más afectadas donde los efectos del cambio climático batirían récord de huracanes (como está ocurriendo), junto a las sequías severas provocando mayor aumento del nivel del mar entre otros sucesos que podrían empeorar si no se logra detener la emisión de gases de efecto invernadero en la humanidad.

Por tal razón los ecosistemas de agua dulce son los más amenazados del mundo, ya que los factores que contribuyen a su degradación pueden estar asociados con la expansión e intensificación de la agricultura (Acero Triana 2021), debido a los tipos de cultivos y el grado en que la tierra agrícola contrasta con el ecosistema natural (Wilson *et al.* 2020). Ya que las rotaciones intensificadas y la mayor dependencia de insumos agroquímicos en muchas partes de las tierras altoandinas generan preocupación por la salud del suelo, la biodiversidad y las funciones clave de los ecosistemas que son esenciales para mantener la productividad agrícola y el bienestar

Tabla 1. Impactos provocados a la biodiversidad causada por distintos factores

IMPACTO	FACTORES	REFERENCIAS	PALABRAS CLAVE
Biodiversidad y Ecosistemas Áridos.	Patrones cambiantes de precipitaciones.	Abramovitz J (1996).	- Cambio Climático - Nitrógeno Reactivo - Biodiversidad
Ecosistemas (Humedales)	Efecto del cambio climático en la eficiencia de los humedales.	Adams RM, Allen LH Jr (1990).	-Cambio Climático. -Hydroperíodo. -Variación de uso de la tierra.
Biodiversidad Global.	Estrategia global de conservación.	Podjed D, Vandzinskaite D (2011).	-Biodiversidad. -Conservación de tierras privadas.
Biodiversidad y ecosistemas	Sobreexplotación de los recursos biológicos.	The State of Canada's Environment. (1991).	-Biodiversidad. -Cambio Atmosférico.
Ecosistemas Forestales a la Variabilidad Glacial	Intensificación de la glaciación del hemisferio norte.	Wenzel, T., & Pross, J. (2020).	-Glaciación del Hemisferio norte. -Ciclos Glaciales/ interglaciares. -Reconstrucción climática.
Paisajes, especies y cambio en los recursos.	Cambios en los ambientes costeros, forestales y montanos que vinculan el Ártico.	Abate, R.S. (2016).	-Adaptación. -Biodiversidad. -Cambio climático.
Biodiversidad (agrícola, especies naturales)	Uso de la tierra y la vegetación modificada por el impacto del sitio y el deterioro de la distancia.	Slosser, N.C. (2001).	-Condición ecológica. -Integridad ecológica. -Modificación humana. -Huella humana.
Ciclo hidrológico y a la Salud humana	Crecimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero.	Aerts R, De Caluwe H (1999).	-Recursos hídricos. -Lagos Embalses. -Agua subterránea. - Cambio climático.
Vegetación en los bosques lluviosos	Temperatura y precipitación	Adams, W.T. (1992).	-Patrón de biodiversidad. -Condición climática actual.
Biodiversidad (flora y fauna)	Impactos del cambio climático en tierras altas de norte américa.	Schoville, S. D., & Rovito, S. M. (2019).	-Biodiversidad. -Clima. -Destrucción del hábitat Orogenia.
Ecosistemas terrestres y acuáticos	La deposición de nitrógeno y las especies invasoras.	Malanson, G. P. (2020).	-Ecosistemas acuáticos. -Cambio climático. -Especies invasoras. -Flujo de nitrógeno.
Selvas tropicales costeras	Cambio climático y vulnerabilidad de las 8 especies focales de árboles.	DellaSala, D. A. (2018).	-Cambio climático. -Conjuntos de bosques lluviosos. -Bosques templados lluviosos.
Ecosistemas	Fluctuaciones y perturbaciones a los bosques boreales y templados.	Thom, D., Taylor, A. R. (2020).	-Bosques boreales. -Bosques templados. -Seguro de diversidad de rasgos. -Biodiversidad.
Ecosistema en el Sur de California	El cambio en el déficit hídrico climático.	Underwood, E. C. (2019).	-Almacenamiento de carbono. -Gestión de recursos -Exportación de sedimentos.
Poblaciones Vulnerables	Incendios forestales.	Wong-Parodi, G. (2020).	Adaptación climática, Poblaciones vulnerables, Salud.
Regiones paisajísticas	Impactos probables en las regiones paisajísticas dado al aumento de la temperatura.	Anderson, W.L (1996). Bischoff, A. (2002).	-Diseño de reserva. -Planificación de escenarios. -Modelos climáticos. -Minnesota.
Biodiversidad y Ecosistemas	Impacto del cambio climático y sus implicaciones para la gesta de recursos naturales.	Kolden, C.A. (2013).	-Cambio global. -La biodiversidad. -Ecosistemas.
Ecosistemas y biodiversidad	Impacto en el ecosistema y biodiversidad por el cambio de la cobertura del uso de la tierra.	Herrera-Silveira, J. (2013).	-Emisiones de carbono. -Deforestación. -Impulsores del cambio.
Áreas naturales protegidas	Impacto del cambio climático en la red de reservas de Biosfera.	Hogg, E.T. (2010). Loa, E. (2000).	-Reservas de la biosfera. -Espacio climático. -Nicho climático. -Áreas naturales protegidas.
Ecosistema	Impacto del cambio climático en la producción de trigo.	Hoogenboom, G. (2000).	-Cambio climático. -Trigo. -Emisiones de carbono. -Ecosistema.
Biodiversidad	Incidencia de niebla de verano en las zonas desérticas.	Bullock, S.H. (2003)	-Cambio climático. -Baja California. -Espacio climático.
Biodiversidad	Diversidad de especies en varios biomas distintos.	Jocelyn E.Pender, Andrew L.Hipp (2019).	-Biodiversidad. -Biogeografía. -Bioma. -Clima.
Biodiversidad	Cambios en el clima, deposición de nitrógeno, especies invasoras y actividad humana local.	Katherine B. Lininger and Ellen Wohl (2019).	-Cambio climático. -Destrucción del hábitat. -Especies invasoras. -Flujo de nitrógeno. -Ecosistemas terrestres.
Ecosistema	Amenazas para selvas tropicales y costeras del Pacífico.	Martin J. Lechowicz (2013).	-Cambio climático. -Conjuntos de bosques lluviosos. -Bosques templados lluviosos.
Ecosistema	Diversidad funcional vinculada a la capacidad de un ecosistema.	Sabine Prader, Ulrich Kotthoff (2020).	-Bosques boreales. -Bosques templados. -Seguro de diversidad de rasgos.
Ecosistema	Cambio climático en los ecosistemas y efecto en la prestación de servicios de los ecosistemas.	Claude Monnet (2009).	-Biodiversidad. -Almacenamiento de carbono. -Recarga. -Gestión de recursos. -Exportación de sedimentos.
Comunidad mundial	Cambio climático y externalidades asociadas.	John C. Hak and Patrick J. Comer (2017)	-Adaptación climática. -Poblaciones vulnerables. -Salud.
Ecosistema	Adaptación al clima marino suave.	Adams, W.T. (1992)	-Patrón de biodiversidad. -Condición climática actual. -Zona templada cálida.
Biodiversidad tropical.	Cambio Climático y precipitaciones.	Allen AP, Brown JH, Gillooly JF (2002)	-Andes Ecuador. -Biodiversidad. -Cambio climático. -Eventos climáticos.
Biodiversidad	Deforestación.	Armenteras D, Gast F, Villareal H (2003)	-Cambio climático- -Conservación de la biodiversidad.

Fuente: Elaboración Propia



Figura 4. Agricultura Intensiva de la Soya (*Glycine max*)

Fuente: <https://www.biodiversidadla.org/Noticias/Gobierno-aprobo-semilla-de-soya-HB4>

de las comunidades de pequeños agricultores en toda la región (Visscher *et al.* 2020).

Por ello es necesario el uso de información espacial de los patrones climáticos, para permitir la detección espacial de las áreas de riesgo en los procesos de pérdida de suelo y escorrentía superficial (Martínez Sifuentes *et al.* 2020). Usando tecnologías avanzadas como los sensores, la inteligencia artificial y la robótica que se promueven cada vez más como un medio para mejorar la productividad en la producción de alimentos al tiempo que se minimiza el uso de recursos (Rotz *et al.* 2019) puede combinar los insumos RED (reducidos) y la diversidad DAG (granos anuales diversificados) para reducir el impacto del cambio climático evitando pérdidas de NO₃-N y P del suelo, proporcionando así una solución adaptativa y sostenible para la agricultura con respecto a las próximas variaciones estacionales de temperatura y precipitación (Lychuk *et al.* 2019) para reducir los impactos ambientales de la agricultura (Sylvester *et al.* 2016). También se puede usar microalgas como una alternativa prometedora para la producción futura de biocombustibles ya que no dependen necesariamente de suelos fértiles o agua dulce (Correa *et al.* 2021).

Tecnología y cambio climático en la agricultura

Varias instituciones de investigación (Monsanto, Mycogene) y agencias tanto locales como internacionales en América Latina y EUA están utilizando la biotecnología como parte de un esfuerzo por mejorar la productividad agrícola (Glick *et al.* 1991). Sin embargo, es una cuestión muy abierta en cuanto a proporcionar los mejores medios de cultivo para lograr este objetivo (Glick *et al.* 1991).

En América Latina, la mayor parte de agricultores son campesinos que todavía cultivan en parcelas de tierra pequeñas, generalmente en ambientes alejados realizando métodos tradicionales de subsistencia. No obstante, la participación de los 16 millones de unidades campesinas a la seguridad alimentaria regional es sustancial (Altieri, 2000). Las investigaciones han dado a conocer que los sistemas campesinos que dependen principalmente de

recursos locales y patrones de cultivo complejos son productivos, a pesar de su dotación de tierras y el bajo uso de insumos externos fitosanitarios (Altieri, 2000).

La agricultura 4.0 recopila y analiza datos sobre el campo con el objetivo de mejorar la calidad de los cultivos y reducir las consecuencias en el medioambiente (Lezoche *et al.* 2020) respaldando así un mejor proceso de toma de decisiones en la cadena de suministro para ayudar a los agricultores a ahorrar tiempo al realizar decisiones efectivas basadas en datos objetivos (Lezoche *et al.* 2020). También incrementa la efectividad en la producción de alimentos al tiempo que minimiza el uso de recursos (Rotz *et al.* 2019).

El enfoque cuantitativo y específico de restricciones para evaluar el impacto potencial de la Agricultura 4.0. Describiendo y aplicando tecnología cultural a cultivares de papa en el Altiplano de Perú y Bolivia para resistir a las heladas. La resistencia a las heladas aumenta de 1°C (nivel actual) a 2 o 3°C, el rendimiento promedio de papa aumenta en un 26 y 40%, respectivamente (Hijmans *et al.* 2003). Para describir este proceso se utilizaron dos tipos de biosensores: los de transducción óptica y los de transducción química (McLamore *et al.* 2021). Estos biosensores pueden verse afectados por la frecuencia de la cobertura de nubes (CCF), especialmente en la temporada de lluvias (Prudente *et al.* 2020)

La aplicación de la tecnología de Big data a los productos agrícolas es tendencia en el desarrollo del servicio de información para mejorar los ingresos de los agricultores y lograr un alivio de la pobreza mediante la publicidad. (Xiao-Yuan, 2021). En general, se considera que la digitalización tiene el potencial de proporcionar ganancias de productividad y sostenibilidad para el sector agricultor al ser un medio por el cual se puede ofertar sus productos (Fielke *et al.* 2020). Sin embargo, es probable que haya implicaciones más amplias derivadas de la digitalización (implementación, mantenimiento) de sistemas de innovación agrícola. Las redes de conocimientos y asesoramiento agrícola son elementos importantes de sistemas de innovación que tienen el potencial de ser alterados digitalmente (Fielke *et al.* 2020).

Muchas proyecciones sobre los impactos del cambio climático sobre los rendimientos mundiales de los cultivos, indican que la agricultura se verá afectada debido a cambios en los patrones climáticos, lo que prevé que las pérdidas aumenten con el tiempo hasta un 50% para la década de 2080 (Aggarwal *et al.* 2019). Siendo las principales causas las emanaciones de gases de efecto invernadero que están relacionadas con los problemas del cambio climático (da Silveira *et al.* 2021). Parte de estas emanaciones tienen su origen en la quema de combustibles fósiles como carbón, gas natural y petróleo empleados como fuente de energía para el desempeño de los motores de combustión interna de la maquinaria agrícola (da Silveira *et al.* 2021).

Por cual la tecnología de vermicompostaje prevé una gestión más ecológica de los residuos biológicos garantizando la biooxidación, degradación y estabilización de la materia orgánica para la sostenibilidad en la agricultura y el medio ambiente (Yuvaraj *et al.* 2021). Así como el sistema de algas mixotróficas recupera agua microbianamente segura para su reutilización agrícola, también elimina 11 de 13 géneros de virus patógenos en el efluente primario y reduce la abundancia del reino

bacteriano al 16.8%. (Delanka-Pedige *et al.* 2020).

Todas estas tecnologías mencionadas requieren una nueva Revolución Verde, donde la ingeniería biotecnológica de características sustanciales desde el punto de vista económico y nutricional debe considerarse crítica y cuidadosamente siempre que no liquide la cuestión socio cultural (Wani *et al.* 2015). Aplicando los conocimientos emergentes para combatir las condiciones ambientales cambiantes futuras (Mthembu and Hlophe, 2021). Promoviendo mejoras continuas en las prácticas de gestión en las interacciones del ecosistema agrícola con el medio ambiente y el bienestar humano (Dale *et al.* 2020).

Siendo el caso de Meso-instituciones (puente entre las macro y micro instituciones) que tienen como foco de atención la adopción de tecnologías ambientales. Es por ello que la política brasileña sobre cambio climático ofreció una oportunidad para esta investigación creando o ajustando diferentes Meso-instituciones para acelerar y monitorear las acciones y metas del Plan Brasileño de Agricultura Baja en Carbono mediante la adopción de sistemas integrados de cultivo y ganadería (ICLS) (de Mello Brandão Vinholis *et al.* 2021). A su vez también se proponen ideas para futuras investigaciones basadas en desafíos comunes en la aplicación de las TIC (Tecnologías de información y comunicación) y blockchain en la agricultura en las siguientes áreas: (i) seguridad y protección de la privacidad; (ii) soluciones de escalabilidad e interoperabilidad; (iii) soluciones de alto costo y alto consumo, y demandas de alto conocimiento en aplicación de tecnología; (iv) formulación de políticas y regulaciones relacionadas con los criterios estándar para la estabilidad del mercado (Liu *et al.* 2021).

Agroquímicos en la agricultura

Los agroquímicos son considerados como el concentrado de sustancias químicas para la agricultura que incluye pesticidas, insecticidas, herbicidas, fungicidas, nematocidas u otros variantes de constante crecimiento utilizados para estimular el crecimiento productivo (Valbuena *et al.* 2021). Sin embargo, el crecimiento e intensificación de la agricultura intensiva que estimula ese desarrollo y cambios en la estructura del paisaje, necesariamente induce a la pérdida de hábitat y la degradación de la calidad ambiental. (Quinteros *et al.* 2017) (Tabla 2).

Debido a la gran cantidad de productos químicos utilizados en los cultivos modificados han agravado la contaminación ambiental debido a esto han emergido nuevos patógenos, la comunidad de microorganismos del suelo ha sufrido modificaciones y se han registrado cambios en las comunidades de malezas (Imbach *et al.* 2017). Dentro de ese contexto existe preocupaciones de los efectos negativos de los agroquímicos y plaguicidas referidos como contrariedad ambiental y la salud humana. Dado que al menos el 63% de los plaguicidas vendidos con toxicidad y levemente aguda son considerados plaguicidas altamente peligrosos (HHP) para los seres humanos o el medio ambiente, evidenciando la necesidad de utilizar una categorización de peligrosidad (Valbuena *et al.* 2021).

Para lograr los propósitos de alto rendimiento de producción de alimentos, los agroquímicos requieren ser adecuadamente manipulados, esto implica que los riesgos para la población humana y al medio ambiente

persiste en todas sus faces productivos. Solo en América Latina, se estima que la población en riesgo de verse afectada por agroquímicos supera los 4 millones (Quinteros *et al.* 2017). Aun cuando los agroquímicos utilizados para mejorar la producción de cultivos, la coexistencia de cambios en el paisaje y contaminación por agroquímicos amenaza la biodiversidad y podría tener efectos interactivos, especialmente para organismos con ciclos de vida complejos, como los anfibios (Suárez *et al.* 2021).

Así, el uso indiscriminado de agroquímicos para maximizar el rendimiento de los cultivos tiene también efectos adversos en el aire, el agua, el suelo, los organismos y la salud humana (Elahi *et al.* 2019). Por tanto, a pesar de sus efectos adversos, existe la necesidad de desarrollar agroquímicos de manera sustentable tales como polisacáridos, ya que son polímeros hidrófilos y biodegradables (Campos *et al.* 2015). Así como tratamientos a base de biocarbón para la eliminación de agroquímicos (Gautam *et al.* 2021).

En América del Sur, donde se está realizando la implementación de organismos genéticamente modificados (OGM) diseñados para ser resistentes a pesticidas y plaguicidas; con ello se estaría logrando cambiar el modelo agrícola para ya no depender del uso masivo de los agroquímicos (López *et al.* 2012) con el objetivo de lograr un medio ambiente más sostenible para la agricultura intensiva (Karandish, 2019). También se propone etiquetas RFID (identificación por radio frecuencia) como los sistemas de almacenamiento más adecuados para el monitoreo y control de los agroquímicos al contener la información esencial siguiente: país de registro, tipo de químico, número de registro único de un agroquímico, tamaño del envase, gravedad específica, unidad de medida y firma digital (Peets *et al.* 2009).

Finalmente, las diversas opciones de adición a la agroecología sostenible parecen ser compatibles con diversos procesos ecológicos en la producción agrícola, pecuaria y forestal, junto a los otros sistemas alimentarios, dado que existen rutas de manejo técnico amigables con el medio ambiente dentro de la agricultura convencional para el adecuado manejo de la fertilización y el uso de pesticidas, para ellas, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Plataforma Intergubernamental de Ciencia y Política sobre Biodiversidad y Servicios de los Ecosistemas (IPBES) afirman que la agroecología es un camino para abordar varios objetivos de desarrollo sostenible (ODS) y por tanto prelegían los procesos mitigatorios más amigable y adaptable al cambio climático con el objeto de estimular el uso sostenible y la preservación de la biodiversidad junto a la diversidad cultural como procesos de acercamiento a la soberanía alimentaria para mejorar las relaciones entre las personas, la agricultura y la naturaleza para garantizar la autonomía de los agricultores y transformar los sistemas alimentarios y por ende fortalecer la interacción entre los saberes de comunidades locales y el medio ambiente (Akakpo *et al.* 2021; Goris *et al.* 2021; Stringer, 2008).

Conclusiones

La literatura revisada evidencia la pérdida de biodiversidad entre otros por efecto del cambio climático y la

Tabla 2. Uso de los agroquímicos en la Agricultura

IMPACTO	FACTORES	REFERENCIAS	PALABRAS CLAVE
Contaminación del medio ambiente y peligro para la salud.	Agroquímicos.	Abd El-Mohdy HL (2007).	-Polisacáridos. -Formulaciones de liberación lenta. -Plaguicidas. -Agroquímicos.
Almacenamientos adecuados con RFID (país de registro, tipo de químico, número de registro, tamaño del envase).	Registro automático para rastrear el uso de químicos.	British Standard BS. (1989).	-RFID. -Identificación de agroquímicos. -Sistemas de Trazabilidad. -Verificación de datos. -Seguridad de datos.
Controlar la infestación de malezas.	Productos químicos (Herbicidas y pesticidas).	Ahmad, I., Siddiqi, M. H., Fatima, I., Lee, S., & Lee, Y. K. (2011).	-Manejo de malezas específico del sitio (SSWM). -Agricultura de precisión.
En la biodiversidad y la agricultura.	Contaminación por agroquímicos.	Suárez, R. P., Cappelletti, S., Solari, L. M., Gojman, A. P., Cristos, D., Rojas, D., Gavier-Pizarro, G. I. (2020).	-Expansión e intensificación agrícola. -Contaminación agroquímica. -Deforestación. -Ecotoxicología del paisaje.
A la salud humana y medioambiental.	Contaminación por agroquímicos.	Jorge Sallare, Eva Marie Meemken, Matin Qaim (2020).	-Agrochemicals. -Certification. -Fairtrade. -Health. -Pesticides.
Pérdida de hábitat y degradación de la calidad ambiental.	Uso de agroquímicos.	Agostini, M.G. (2013).	-Anfibios. -Expansión e intensificación agrícola. -Agroquímicos.
Pérdidas de suelos.	Uso de agroquímicos.	Aldaya MM, Hoekstra AY (2010).	-Sostenibilidad agrícola -Agroquímicos. -Contabilidad de WF gris. -Evaluación de impacto. -Análisis de incertidumbre. Metales pesados.
Salud de población rural y el medio ambiente.	Uso de plaguicidas y agroquímicos.	Barja BC, Dos Santos Afonso M (2005)	-Arsénico -Cadmio -Exposición a plaguicidas. -Manejo de plaguicidas.

Fuente: Elaboración Propia

expansión de la agricultura intensiva sumando la ganadería intensiva como es el caso de la Soya transgénica con la ampliación de la frontera agrícola a expensa de vegetación local y los bosques nativos y/o otros cultivos naturales, junto al desplazamiento de comunidades locales que obviamente contraviene las opciones de seguridad alimentaria y la sustentabilidad de la biodiversidad. Por otro lado, el incremento de consumo animal de la soya para carne y leche que más adelante podrían ingresar a la cadena alimenticia los probables tóxicos ingeridos mediante la soya.

Los ecosistemas terrestres afectados por las actividades antropogénicas, como la agricultura intensiva que afecta a los patrones de naturales de la biodiversidad tienen como causas a los cambios de clima, rotaciones intensivas de cultivo y agroquímicos. Por el que se requiere adoptar e implementar nuevas tecnologías amigables producto de investigaciones inmersas para promover las mejoras continuas en las interacciones del ecosistema agrícola con la ciudadanía y el medio ambiente, como es el caso de la biotecnología agroecológica y la agricultura 4.0 para combatir las condiciones ambientales.

En fin, la biodiversidad como proveedora de alimentos y de prevenir enfermedades para la humanidad contribuye a la sustentabilidad bajo los principios de agroecología de uso de buenas prácticas más amigables con la ciudadanía y el medio ambiente, por tanto, su racional y la preservación requiere de adopción de políticas públicas urgentes y más agresivas dentro del marco del Convenio sobre la Diversidad Biológica y la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la desertificación.

Referencias

Acero Triana, J. S., Chu, M. L. y Stein, J. A. (2021). Assessing the impacts of agricultural conservation practices on freshwater biodiversity under changing climate. *Ecological Modelling*, 453, 109604. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLMODEL.2021.109604>.

109604.

Aggarwal, P., Vyas, S., Thornton, P., Campbell, B. M. y Kropff, M. (2019). Importance of considering technology growth in impact assessments of climate change on agriculture. *Global Food Security*, 23, 41–48. <https://doi.org/10.1016/J.GFS.2019.04.002>.

Akakpo, K., Bouarfa, S., Benoît, M. y Leauthaud, C. (2021). Challenging agroecology through the characterization of farming practices' diversity in Mediterranean irrigated areas. *European Journal of Agronomy*, 128, 126284. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126284>.

Alaback, P. B. (1996). Biodiversity Patterns in Relation to Climate: The Coastal Temperate Rainforests of North America. En, R. G. Lawford, E. Fuentes y P. Alaback (Eds.), *High-Latitude Rainforests and Associated Ecosystems of the West Coast of the Americas* (pp. 105–133). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3970-3_7.

Allstädt, F. J., Koutsodendris, A., Appel, E., Rösler, W., Reichgelt, T., Kaboth-Bahr, S., Prokopenko, A. A. y Pross, J. (2021). Late Pliocene to early Pleistocene climate dynamics in western North America based on a new pollen record from paleo-Lake Idaho. *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments*, 101(1), 177–195. <https://doi.org/10.1007/s12549-020-00460-1>.

Altieri, M. A. (2000). Applying agroecology to enhance the productivity of peasant farming systems in Latin America. *Environment, Development and Sustainability*, 1, 197–217.

Bionda, C., Gari, N., Luque, E., Salas, N., Lajmanovich, R. y Martino, A. (2012). Ecología trófica en larvas de *Rhinella arenarum* (Anura: Bufonidae) en agroecosistemas y sus posibles implicaciones para la conservación. *Revista de Biología Tropical*, 60(2), 771–779. <https://doi.org/10.15517/rbt.v60i2.3998>.

Campos, E. V. R., de Oliveira, J. L., Fraceto, L. F. y Singh, B. (2015). Polysaccharides as safer release systems for agrochemicals. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(1), 47–66. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0263-0>.

- Correa, D. F., Beyer, H. L., Possingham, H. P., Fargione, J. E., Hill, J. D. y Schenk, P. M. (2021). Microalgal biofuel production at national scales: Reducing conflicts with agricultural lands and biodiversity within countries. *Energy*, 215, 119033. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2020.119033>.
- da Silveira, F., Ruppenthal, J. E., Lermen, F. H., Machado, F. M. y Amaral, F. G. (2021). Technologies used in agricultural machinery engines that contribute to the reduction of atmospheric emissions: A patent analysis in Brazil. *World Patent Information*, 64, 102–123. <https://doi.org/10.1016/J.WPI.2021.102023>.
- Dale, V. H., Kline, K. L., Lopez-Ridaura, S., Eichler, S. E., Ortiz-Monasterio, I. y Ramirez, L. F. (2020). Towards more sustainable agricultural landscapes: Lessons from Northwestern Mexico and the Western Highlands of Guatemala. *Futures*, 124, 102647. <https://doi.org/10.1016/J.FUTURES.2020.102647>.
- de Mello Brandão Vinholis, M., Macchione Saes, M. S., Carrer, M. J. y Meirelles de Souza Filho, H. (2021). The effect of meso-institutions on adoption of sustainable agricultural technology: A case study of the Brazilian Low Carbon Agriculture Plan. *Journal of Cleaner Production*, 280, 124334. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2020.124334>.
- Delanka-Pedige, H. M. K., Cheng, X., Munasinghe-Arachchige, S. P., Bandara, G. L. C. L., Zhang, Y., Xu, P., Schaub, T. y Nirmalakhandan, N. (2020). Conventional vs. algal wastewater technologies: Reclamation of microbially safe water for agricultural reuse. *Algal Research*, 51, 102022. <https://doi.org/10.1016/J.ALGAL.2020.102022>.
- Elahi, E., Weijun, C., Zhang, H. y Nazeer, M. (2019). Agricultural intensification and damages to human health in relation to agrochemicals: Application of artificial intelligence. *Land Use Policy*, 83, 461–474. <https://doi.org/10.1016/J.LANDUSEPOL.2019.02.023>.
- Escobar-Mamani, F., Branca, D. y Haller, A. (2020). Investigación de montaña sobre y para la región andina. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22(4), 311–312. <https://doi.org/10.18271/ria.2020.191>.
- Esperon-Rodriguez, M., Beaumont, L. J., Lenoir, J., Baumgartner, J. B., McGowan, J., Correa-Metrio, A. y Camac, J. S. (2019). Climate change threatens the most biodiverse regions of Mexico. *Biological Conservation*, 240, 108–215. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCON.2019.108215>.
- Fielke, S., Taylor, B. y Jakku, E. (2020). Digitalisation of agricultural knowledge and advice networks: A state-of-the-art review. *Agricultural Systems*, 180, 102763. <https://doi.org/10.1016/J.AGSY.2019.102763>.
- Freedman, B. y Beauchamp, S. (1998). Implications of atmospheric change for biodiversity of aquatic ecosystems in Canada. *Environmental Monitoring and Assessment*, 49(2/3), 271–280. <https://doi.org/10.1023/A:1005851027038>.
- Galatowitsch, S., Frelich, L. y Phillips-Mao, L. (2009). Regional climate change adaptation strategies for biodiversity conservation in a midcontinental region of North America. *Biological Conservation*, 142(10), 2012–2022. <https://doi.org/10.1016/J.BIOCON.2009.03.030>.
- Gautam, R. K., Goswami, M., Mishra, R. K., Chaturvedi, P., Awashthi, M. K., Singh, R. S., Giri, B. S. y Pandey, A. (2021). Biochar for remediation of agrochemicals and synthetic organic dyes from environmental samples: A review. *Chemosphere*, 272, 129917. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2021.129917>.
- Glick, B. R., Pasternak, J. J., Downer, R. G. H., Dumbroff, E. B. y Winter, K. A. (1991). Development and enhancement of agricultural biotechnology in some countries in Latin America. *World Journal of Microbiology Biotechnology*, 7(2), 164–170. <https://doi.org/10.1007/BF00328986>.
- Goris, M. B., Silva Lopes, I., Verschoor, G., Behagel, J. y Botelho, M. I. V. (2021). Popular education, youth and peasant agroecology in Brazil. *Journal of Rural Studies*, 87, 12–22. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2021.08.003>.
- Hall, J., Matos, S. y Langford, C. H. (2008). Social exclusion and transgenic technology: The case of Brazilian agriculture. *Journal of Business Ethics*, 77(1), 45–63. <https://doi.org/10.1007/s10551-006-9293-0>.
- Haller, A. y Branca, D. (2020). Montología: una perspectiva de montaña hacia la investigación transdisciplinaria y el desarrollo sustentable. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22(4), 313–332. <https://doi.org/10.18271/ria.2020.193>.
- Harden, C. P. y Byers, A. C. (2021). *Anthropogenic Geomorphic Change in Mountains. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818234-5.00096-1>.
- Hernandez-Ochoa, I. M., Asseng, S., Kassie, B. T., Xiong, W., Robertson, R., Luz Pequeno, D. N., Sonder, K., Reynolds, M., Babar, M. A., Molero Milan, A. y Hoogenboom, G. (2018). Climate change impact on Mexico wheat production. *Agricultural and Forest Meteorology*, 263, 373–387. <https://doi.org/10.1016/J.AGRFORMET.2018.09.008>.
- Hijmans, R. J., Condori, B., Carrillo, R. y Kropff, M. J. (2003). A quantitative and constraint-specific method to assess the potential impact of new agricultural technology: the case of frost resistant potato for the Altiplano (Peru and Bolivia). *Agricultural Systems*, 76(3), 895–911. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(02\)00081-1](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00081-1).
- Imbach, P., Beardsley, M., Bouroncle, C., Medellín, C., Läderach, P., Hidalgo, H., Alfaro, E., Van Eetten, J., Allan, R., Hemming, D., Stone, R., Hannah, L. y Donatti, C. I. (2017). Climate change, ecosystems and smallholder agriculture in Central America: an introduction to the special issue. *Climatic Change*, 141(1), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s10584-017-1920-5>.
- Kapos, V., Rhind, J., Edwards, M., Price, M. y Ravilious, C. (2000). Developing a map of the world's mountain forests. En M. F. Price y N. Butt (Eds.). *Forests in Sustainable Mountain Development: A State-of-Knowledge Report For 2000*, 4–9. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1079/9780851994468.0004>.
- Karandish, F. (2019). Applying grey water footprint assessment to achieve environmental sustainability within a nation under intensive agriculture: a high-resolution assessment for common agrochemicals and crops. *Environmental Earth Sciences*, 78 (6), 1–22. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8199-y>.
- Lanz, B., Dietz, S. y Swanson, T. (2018). The Expansion of Modern Agriculture and Global Biodiversity Decline: An Integrated Assessment. *Ecological Economics*, 144, 260–277. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLECON.2017.07.018>.
- Lenoir, J., Gégout, J. C., Marquet, P. A., De Ruffray, P. y Brisse, H. (2008). A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century. *Science*, 320(5884), 1768–1771. <https://doi.org/10.1126/science.1156831>.

- Lezoche, M., Panetto, H., Kacprzyk, J., Hernandez, J. E. y Alemany Díaz, M. M. E. (2020). Agri-food 4.0: A survey of the supply chains and technologies for the future agriculture. *Computers in Industry*, 117, 103187. <https://doi.org/10.1016/J.COMPIND.2020.103187>.
- Liu, W., Shao, X. F., Wu, C. H. y Qiao, P. (2021). A systematic literature review on applications of information and communication technologies and blockchain technologies for precision agriculture development. *Journal of Cleaner Production*, 298, 126763. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.126763>.
- López, S. L., Aiassa, D., Benítez-Leite, S., Lajmanovich, R., Mañas, F., Poletta, G., Sánchez, N., Simoniello, M. F., Carrasco, A. E. (2012). Pesticides used in South American GMO-based agriculture. A review of their effects on humans and animal models. In *Advances in Molecular Toxicology* (Vol. 6). <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59389-4.00002-1>.
- Luque, S., Pastur, G. M., Echeverría, C. y Pacha, M. J. (2011). Overview of Biodiversity Loss in South America: A Landscape Perspective for Sustainable Forest Management and Conservation in Temperate Forests. *Landscape Ecology in Forest Management and Conservation*, 352—379. https://doi.org/10.1007/978-3-642-12754-0_15.
- Lychuk, T. E., Moulin, A. P., Lemke, R. L., Izaurralde, R. C., Johnson, E. N., Olfert, O. O., Brandt, S. A. (2019). Climate change, agricultural inputs, cropping diversity, and environment affect soil carbon and respiration: A case study in Saskatchewan, Canada. *Geoderma*, 337, 664—678. <https://doi.org/10.1016/J.GEODERMA.2018.10.010>.
- Malanson, G. P. (2020). Ongoing Change in the Alpine Biome of North America. In *Encyclopedia of the World's Biomes* (Vol. 1). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.11880-9>.
- Martínez Sifuentes, A. R., Villanueva Díaz, J., Estrada Ávalos, J., Vázquez Vázquez, C. y Orón Castillo, I. (2020). Pérdida de suelo y modificación de escurrimientos causados por el cambio de uso de la tierra en la cuenca del río Conchos, Chihuahua. *Nova Scientia*, 12 (25). <https://doi.org/10.21640/ns.v12i25.2321>.
- McLamore, E. S., Alocilja, E., Gomes, C., Gunasekaran, S., Jenkins, D., Datta, S. P. A., Li, Y., Mao, Y. (Jessie), Nugen, S. R., Reyes-De-Corcuera, J. I., Takhistov, P., Tsyusko, O., Cochran, J. P., Tzeng, T. R. (Jeremy), Yoon, J. Y., Yu, C. y Zhou, A. (2021). *FEAST of biosensors: Food, environmental and agricultural sensing technologies (FEAST) in North America. Biosensors and Bioelectronics*, 178, 113011. <https://doi.org/10.1016/J.BIOS.2021.113011>.
- Mendoza-Ponce, A., Corona-Núñez, R., Kraxner, F., Leduc, S. y Patrizio, P. (2018). Identifying effects of land use cover changes and climate change on terrestrial ecosystems and carbon stocks in Mexico. *Global Environmental Change*, 53, 12—23. <https://doi.org/10.1016/J.GLOENVCHA.2018.08.004>.
- Motha, R. P. y Baier, W. (2005). Impacts of present and future climate change and climate variability on agriculture in the temperate regions: North America. *Increasing Climate Variability and Change: Reducing the Vulnerability of Agriculture and Forestry*, 2005, 137—164. https://doi.org/10.1007/1-4020-4166-7_7.
- Mthembu, A. y Hlophe, S. (2021). Building resilience to climate change in vulnerable communities: A case study of uMkhanyakude district municipality. *Town and Regional Planning*, 77 (77), 42—56. <https://doi.org/10.18820/2415-0495/trp77i1.4>.
- Park, K. J. (2015). Mitigating the impacts of agriculture on biodiversity: bats and their potential role as bioindicators. *Mammalian Biology*, 80 (3), 191—204. <https://doi.org/10.1016/J.MAMBIO.2014.10.004>.
- Peets, S., Gasparin, C. P., Blackburn, D. W. K. y Godwin, R. J. (2009). RFID tags for identifying and verifying agrochemicals in food traceability systems. *Precision Agriculture*, 10 (5), 382—394. <https://doi.org/10.1007/s11119-009-9106-4>.
- Pender, J. E., Hipp, A. L., Hahn, M., Kartesz, J., Nishino, M. y Starr, J. R. (2019). How sensitive are climatic niche inferences to distribution data sampling? A comparison of Biota of North America Program (BONAP) and Global Biodiversity Information Facility (GBIF) datasets. *Ecological Informatics*, 54, 100991. <https://doi.org/10.1016/J.ECOINF.2019.100991>.
- Polk, M. H., Young, K. R., Baraer, M., Mark, B. G., McKenzie, J. M., Bury, J. y Carey, M. (2017). Exploring hydrologic connections between tropical mountain wetlands and glacier recession in Peru's Cordillera Blanca. *Applied Geography*, 78, 94—103. <https://doi.org/10.1016/J.APGEOG.2016.11.004>.
- Porter, E. M., Bowman, W. D., Clark, C. M., Compton, J. E., Pardo, L. H. y Soong, J. L. (2013). Interactive effects of anthropogenic nitrogen enrichment and climate change on terrestrial and aquatic biodiversity. *Biogeochemistry*, 114 (1/3), 93—120. <https://doi.org/10.1007/s10533-012-9803-3>.
- Prader, S., Kotthoff, U., Greenwood, D. R., McCarthy, F. M. G., Schmiel, G., Donders, T. H. (2020). New Jersey's paleoflora and eastern North American climate through Paleogene–Neogene warm phases. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 279, 104224. <https://doi.org/10.1016/J.REVPALBO.2020.104224>.
- Prudente, V. H. R., Martins, V. S., Vieira, D. C., Silva, N. R. de F. e., Adami, M. y Sanches, I. D. A. (2020). Limitations of cloud cover for optical remote sensing of agricultural areas across South America. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 20, 100414. <https://doi.org/10.1016/J.RSASE.2020.100414>.
- Quinteros, E., Ribó, A., Mejía, R., López, A., Belteton, W., Comandari, A., Orantes, C. M., Pleites, E. B., Hernández, C. E. y López, D. L. (2017). Heavy metals and pesticide exposure from agricultural activities and former agrochemical factory in a Salvadoran rural community. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(2), 1662—1676. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7899-z>.
- Rashford, B. S., Adams, R. M., Wu, J. J., Voldseth, R. A., Guntenspergen, G. R., Werner, B. y Johnson, W. C. (2016). Impacts of climate change on land-use and wetland productivity in the Prairie Pothole Region of North America. *Regional Environmental Change*, 16(2), 515—526. <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0768-3>.
- Rotz, S., Gravely, E., Mosby, I., Duncan, E., Finnis, E., Horgan, M., LeBlanc, J., Martin, R., Neufeld, H. T., Nixon, A., Pant, L., Shalla, V. y Fraser, E. (2019). Automated pastures and the digital divide: How agricultural technologies are shaping labour and rural communities. *Journal of Rural Studies*, 68,

- 112—122. <https://doi.org/10.1016/J.JRURSTUD.2019.01.023>.
- Sartorello, Y., Pastorino, A., Bogliani, G., Ghidotti, S., Viterbi, R. y Cerrato, C. (2020). The impact of pastoral activities on animal biodiversity in Europe: A systematic review and meta-analysis. *Journal for Nature Conservation*, 56, 125863. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2020.125863>.
- Schneiderbauer, S., Fontanella Pisa, P., Delves, J. L., Pedoth, L., Rufat, S., Erschbamer, M., Thaler, T., Carnelli, F. y Granados-Chahin, S. (2021). Risk perception of climate change and natural hazards in global mountain regions: A critical review. *Science of The Total Environment*, 784, 146957. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.146957>.
- Schoville, S. D. y Rovito, S. M. (2020). Biogeography of North American Highlands. *Encyclopedia of the World's Biomes* (Vol. 1). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.11781-6>.
- Scrivanti, L. R. y Anton, A. M. (2021). Impact of climate change on the Andean distribution of *Poa scaberula* (Poaceae). *Flora*, 278, 151805. <https://doi.org/10.1016/J.FLORA.2021.151805>.
- Stringer, L. C. (2008). Reviewing the International Year of Deserts and Desertification 2006: What contribution towards combating global desertification and implementing the United Nations Convention to Combat Desertification? *Journal of Arid Environments*, 31, 527–540. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2008.06.010>.
- Suárez, R. P., Goijman, A. P., Cappelletti, S., Solari, L. M., Cristos, D., Rojas, D., Krug, P., Babbitt, K. J. y Gavier-Pizarro, G. I. (2021). Combined effects of agrochemical contamination and forest loss on anuran diversity in agroecosystems of east-central Argentina. *Science of The Total Environment*, 759, 143435. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.143435>.
- Sylvester, K. M., Gutmann, M. P. y Brown, D. G. (2016). At the margins: agriculture, subsidies and the shifting fate of North America's native grassland. *Population and Environment*, 37 (3), 362–390. <https://doi.org/10.1007/s11111-015-0242-7>.
- Thom, D., Taylor, A. R., Seidl, R., Thuiller, W., Wang, J., Robideau, M. y Keeton, W. S. (2021). Forest structure, not climate, is the primary driver of functional diversity in northeastern North America. *Science of The Total Environment*, 762, 143070. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.143070>.
- Tovar, C., Seijmonsbergen, A. C. y Duivenvoorden, J. F. (2013). Landscape and Urban Planning Monitoring land use and land cover change in mountain regions: An example in the Jalca grasslands of the Peruvian Andes. *Landscape and Urban Planning*, 112, 40–49. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.12.003>.
- Underwood, E. C., Hollander, A. D., Safford, H. D., Kim, J. B., Srivastava, L. y Drapek, R. J. (2019). The impacts of climate change on ecosystem services in southern California. *Ecosystem Services*, 39, 101008. <https://doi.org/10.1016/J.ECOSER.2019.101008>.
- Urban, M. (2020). Mountain linguistics. *Language and Linguistics Compass*, 14 (9), 1–23. <https://doi.org/10.1111/lnc3.12393>.
- Valbuena, D., Cely-Santos, M. y Obregón, D. (2021). Agrochemical pesticide production, trade, and hazard: Narrowing the information gap in Colombia. *Journal of Environmental Management*, 286, 112141. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2021.112141>.
- Visscher, A. M., Vanek, S., Meza, K., de Goede, R. G. M., Valverde, A. A., Ccanto, R., Olivera, E., Scurrah, M. y Fonte, S. J. (2020). Eucalyptus and alder field margins differ in their impact on ecosystem services and biodiversity within cropping fields of the Peruvian Andes. *Agriculture, Ecosystems Environment*, 303, 107107. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2020.107107>.
- Wani, S. H., Sah, S. K., Sági, L. y Solymosi, K. (2015). Transplastomic plants for innovations in agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 35 (4), 1391–1430. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0310-5>.
- Webb, R. H. y Turner, R. M. (2020). Biodiversity of Perennial Vegetation in the Desert Regions of Baja California and Baja California Sur, Mexico. *Encyclopedia of the World's Biomes* (Vol. 2). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.11997-9>.
- Weiskopf, S. R., Rubenstein, M. A., Crozier, L. G., Gaichas, S., Griffis, R., Halofsky, J. E., Hyde, K. J. W., Morelli, T. L., Morissette, J. T., Muñoz, R. C., Pershing, A. J., Peterson, D. L., Poudel, R., Staudinger, M. D., Sutton-Grier, A. E., Thompson, L., Vose, J., Weltzin, J. F. y Whyte, K. P. (2020). Climate change effects on biodiversity, ecosystems, ecosystem services, and natural resource management in the United States. *Science of The Total Environment*, 733, 137782. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.137782>.
- Wilson, S., Alavi, N., Pouliot, D. y Mitchell, G. W. (2020). Similarity between agricultural and natural land covers shapes how biodiversity responds to agricultural expansion at landscape scales. *Agriculture, Ecosystems Environment*, 301, 107052. <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2020.107052>.
- Wood, J. L., Harrison, S., Wilson, R., Emmer, A., Yarleque, C., Glasser, N. F., Torres, J. C., Caballero, A., Araujo, J., Bennett, G. L., Diaz-Moreno, A., Garay, D., Jara, H., Poma, C., Reynolds, J. M., Riveros, C. A., Romero, E., Shannon, S., Tinoco, T., ... y Villafane, H. (2021). Contemporary glacial lakes in the Peruvian Andes. *Global and Planetary Change*, 204, 103574. <https://doi.org/10.1016/J.GLOPLACHA.2021.103574>.
- Xiao-Yuan, L. I. U. (2021). Agricultural products intelligent marketing technology innovation in big data era. *Procedia Computer Science*, 183, 648–654. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2021.02.110>.
- Yuvaraj, A., Thangaraj, R., Ravindran, B., Chang, S. W. y Karmegam, N. (2021). Centrality of cattle solid wastes in vermicomposting technology – A cleaner resource recovery and biowaste recycling option for agricultural and environmental sustainability. *Environmental Pollution*, 268, 115688. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2020.115688>.
- Zhang, Y., Li, Z., Ge, W., Chen, X., Xu, H. y Guan, H. (2021). Evaluation of the impact of extreme floods on the biodiversity of terrestrial animals. *Science of The Total Environment*, 790, 148227. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.148227>.