

Artículo de revisión

Alternativas agroecológicas para la resiliencia de especies forrajeras frente al cambio climático

Agroecological alternatives for forage species resilience against climate change

Carolina Fonseca-Restrepo^{1,2*}; Francisco Angulo-Cubillán³; Maria Juliana Piedrahita-Fonseca⁴

¹Departamento de Medicina Veterinaria, Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador. Código postal 130105; ²Doctorado en Ciencias Agrarias, División de Estudios para Graduados, Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia. Maracaibo, Venezuela. Código postal 4001. ORCID ID: 0000-0002-4360-3456, correo electrónico: carolina.fonseca@utm.edu.ec. ³Departamento Medicina Veterinaria, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Técnica de Manabí, Campus Lodana, Código Postal 130401. ORCID 0000-0001-5595-3704, correo electrónico: francisco.angulo@utm.edu.ec. ⁴Programa Ecología, Facultad de Estudios Ambientales y Rurales. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. Código postal 110231. ORCID ID: 0009-0001-5354-5667, correo electrónico: mjpiedrahita@javeriana.edu.co

RESUMEN

La creciente demanda mundial de alimentos ha promovido la expansión de la agricultura, incrementando la prevalencia de monocultivos a gran escala. Esta expansión ha generado una gestión ineficaz de los suelos y su rápida degradación. Simultáneamente, factores abióticos asociados al cambio climático, como el aumento de temperaturas y la reducción de precipitaciones, han alterado significativamente la variabilidad climática de los ecosistemas. Frente a estas consecuencias, la implementación de prácticas agroecológicas como la labranza mínima, el uso de abonos verdes, la diversificación de cultivos, la agroforestería y la conservación del agua y suelo, junto con la protección de especies nativas, emerge como una estrategia efectiva para mitigar los impactos del cambio climático. En tal sentido, se realizó una revisión meticulosa de literatura científica publicada entre 2010 y 2023, en inglés y español, de plataformas como Google Scholar, PubMed, ScienceDirect y ResearchGate. Los temas principales incluyeron el cambio climático, la sostenibilidad y las prácticas agroecológicas. Los hallazgos destacaron que las prácticas agroecológicas no solo equilibran el ambiente, sino que también mejoran las condiciones para el crecimiento de especies forrajeras, vitales para los sistemas agropecuarios. Al promover un entorno favorable, estas prácticas fortalecen la resiliencia de los ecosistemas, mejorando la biodiversidad vegetal, el microbioma, la fertilidad del suelo y creando microclimas óptimos para especies no invasoras que facilitan el reciclaje de nutrientes y la estabilidad de la biósfera.

Palabras clave: sistemas agropecuarios, impacto ambiental, biodiversidad vegetal, fertilidad del suelo.

ABSTRACT

The growing global demand for food has driven the expansion of agriculture, increasing the prevalence of large-scale monocultures. This expansion has led to ineffective soil management and its rapid degradation. Simultaneously, abiotic factors associated with climate change, such as rising temperatures and reduced precipitation, have significantly altered the climatic variability of ecosystems. In response to these consequences, the implementation of agroecological practices such as minimum tillage, the use of green manures, crop diversification, agroforestry, and the conservation of water and soil, along with the protection of native species, emerges as an effective strategy to mitigate the impacts of climate change. In this regard, a meticulous review of scientific literature published between 2010 and 2023, in English and Spanish, from platforms such as Google Scholar, PubMed, ScienceDirect, and ResearchGate was conducted. The main topics included climate change, sustainability, and agroecological practices. The findings highlighted that agroecological practices not only balance the environment but also improve conditions for the growth of forage species, vital to agricultural systems. By promoting a favorable environment, these practices enhance the resilience of ecosystems, improving plant biodiversity, the microbiome, soil fertility, and creating optimal microclimates for non-invasive species that facilitate nutrient recycling and the stability of the biosphere.

Keywords: agricultural systems, environmental impact, plant biodiversity, soil fertility.

Recibido: 28-02-2023

Aceptado: 03-05-2023

Publicado: 03-05-2023

Autor de correspondencia: Carolina Fonseca-Restrepo

Correo electrónico: carolina.fonseca@utm.edu.ec

Introducción

La producción de monocultivos intensivos a nivel mundial busca cubrir la demanda alimentaria, en donde los resultados obtenidos demuestran un incremento en la productividad, lo cual genera un efecto negativo sobre el ecosistema. El cambio climático en la atmósfera terrestre reporta un incremento de 3 a 5 °C en la temperatura de la superficie global, afectando la frecuencia y cantidad de precipitación (Sloat et al., 2018). Estos cambios alteran el crecimiento y productividad de los cultivos, generando una menor biomasa forrajera con mayor lignificación y menor digestibilidad para consumo de los vacunos durante las épocas críticas de sequía (Denbela y Mesay, 2017), así como un cambio en la dinámica de poblaciones de especies invasoras, que conllevan a un aumento de plagas y patógenos sobre los cultivos (Mir et al., 2022).

Por lo tanto, promover tecnologías que adapten el uso de sistemas agroforestales, silvopastoriles y policultivos con germoplasma local adaptado y variedad genética, permitirán mantener en equilibrio el ecosistema (Nahed-Toral et al., 2013; Islam y Ashilenje, 2018; Jiménez-Jiménez et al., 2019). La conservación del agua, con un adecuado manejo de la fertilidad del suelo con menor uso de pesticidas, podrá garantizar una estabilidad en el ambiente y un futuro promisorio, permitiendo una diversificación del agroecosistema (Altieri et al., 2015). El objetivo de esta revisión pretende recolectar información sobre el rol de la agroecología en la resiliencia y el efecto del cambio climático sobre el ecosistema.

Materiales y métodos

Para la elaboración de esta revisión, se realizó una exhaustiva recolección de datos a partir de artículos de investigación enfocados en la agroecología y la resiliencia de especies forrajeras. Las fuentes comprenden trabajos de investigadores procedentes de diversas regiones del mundo, incluyendo América, Oceanía, África y Asia. Se consultó una amplia gama de literatura científica, predominando textos en inglés y español, extraídos de reconocidas plataformas académicas digitales como Google Scholar, la Biblioteca Nacional de Medicina PubMed, ScienceDirect y ResearchGate. El rango temporal de la investigación abarcó publicaciones entre los años 2010 y 2023, seleccionando estudios relevantes a las temáticas de cambio climático, sostenibilidad, resiliencia y prácticas agroecológicas.

Resultados y discusión

Resiliencia

La resiliencia es la capacidad de un sistema de resistir, absorber los choques y mantener su función y estructura organizativa y productiva, tener la capacidad de autorregularse y adaptándose al estrés y cambios posteriores a una perturbación (Cabel y Oelofse, 2012; Mijatovic et al., 2012). Un agroecosistema resiliente, podrá ser capaz de

producir alimento en condiciones de sequía extremas o exceso de precipitaciones, mientras que un sistema vulnerable será aquel que pierda biodiversidad al enfrentarse a perturbaciones externas (Altieri et al., 2015a; Nicholls et al., 2015).

Un organismo que se enfrenta a un riesgo (sequía, huracán, inundación) y sea vulnerable a esos eventos (condiciones biofísicas, condición socioeconómica del agricultor), podrá verlos como amenazas siempre que estas sean de gran intensidad y duración, lo que conllevará a una capacidad de respuesta de resistencia y recuperación. Por lo tanto, la posibilidad de adaptarse dependerá de la infraestructura agroecológica y social (Altieri y Nicholls, 2013).

Existen varios modelos, que predicen los cambios climáticos y la afección en el ambiente, pero éstos, no muestran la relación entre biodiversidad agrícola y resiliencia, lo que pone en riesgo el uso adecuado de las estrategias (Mijatovic et al., 2012). Algunos ecosistemas pueden requerir intervención ecológica como otros no, y es ahí en donde el objetivo de la resiliencia tiene importancia, al mantener en un estado de retorno el sistema, respecto a parámetros de diversidad, conectividad y escala de resiliencia.

La resiliencia es medida en función de la redundancia, la cual mide el número de especies que contribuyen al ecosistema, y en función a la respuesta de las especies a los diferentes disturbios (Altieri et al., 2015), por esta razón, el conocer el objetivo del ecosistema determinará si se regresa o no un ecosistema o se crea uno resiliente (Standish et al., 2014). Cuando el agroecosistema se altera, algunas especies desaparecen alterando el equilibrio y permitiendo el crecimiento de especies no deseables o invasivas, así como plagas, las cuales se establecen, persisten y se propagan dentro de un ecosistema natural alterando la productividad (Paini et al., 2016). De esa manera los agroecosistemas tendrán la posibilidad de generar dos tipos de biodiversidad para enfrentar los cambios, la diversidad funcional en donde algunos organismos ayudan a que se mantenga el sistema y la diversidad respuesta en donde los organismos tienen la capacidad de generar un cambio, entre mayor sea la diversidad respuesta, mayor será la resiliencia a los cambios del ecosistema (Cabel y Oelofse, 2012).

Efecto del cambio climático

El efecto de las altas temperaturas y el estrés por sequía en países desarrollados ha proyectado pérdidas para el 2055 de 2 billones de dólares por año, las cuales están determinadas más por las altas temperatura que por las mismas precipitaciones (Altieri et al., 2015a; Nicholls et al., 2015). Cuando se alteran los patrones de lluvias, se refleja un cambio en la precipitación y temperatura, pero cuando el cambio es por irrigación de los cultivos, solo se genera un cambio en la temperatura (Lobell y Field, 2010), en este caso, las altas temperaturas favorecen a su vez la supervivencia de plagas, aumentando la abundancia relativa de patógenos (Delgado-Baquerizo et al., 2020), así como el

incremento en los procesos de transpiración de las plantas, evaporación del suelo y mineralización del carbono y nitrógeno (Kuzyakov et al., 2019).

El 60 % del carbono que se encuentra en el suelo, es fijado de la atmósfera y transformado en compuestos inorgánicos y otra parte es fijada indirectamente por los tejidos vegetales por medio del proceso de fotosíntesis (Kumari et al., 2022). Cuando este CO₂ aumenta por el cambio climático se afecta el ecosistema, disminuyendo el crecimiento vegetal y el microbioma del suelo dado por las interacciones entre el C:N (Butterly et al., 2019; Kuzyakov et al., 2019), aunque algunos autores determinan que la mineralización del carbono en el suelo depende directamente del N en el suelo y no por la disposición de CO₂ ni la relación C:N (González-Pedraza et al., 2014; Stefano y Jacobson, 2018).

Por esta razón, el cambio climático ha tenido un efecto directo sobre la producción de los cultivos, el microbioma y la erosión del suelo, dada por las fuertes sequías, inundaciones, cambios en la precipitación, alteración en los patrones y fenómenos meteorológicos adversos (Mijatovic et al., 2012; González-García et al., 2021). El incorporar biodiversidad vegetal por medio de siembra de árboles, agrosilvicultura y adición de especies resistentes (sequía, salinidad, encharcamiento), favorece la productividad al reducir la intensidad lumínica e incrementar la fertilidad del suelo. A su vez, la restauración de cuencas hídricas y manejo del agua genera un microclima favorable para la regulación de plagas y resistencia al cambio climático (Islam y Ashilenje, 2018; González-Pedraza et al., 2022).

Rol de la agroecología en el cambio climático y en la resiliencia

La calidad del suelo afecta la variabilidad climática en los agroecosistemas, por lo que un manejo adecuado del mismo aportará positivamente a la resiliencia. Las características físicoquímicas y en especial la textura del suelo mejoran la capacidad de retención del agua, así como lo que les permite a las plantas aumentar su tolerancia a las sequías y evitar la lixiviación y degradación de los suelos (Krauss et al., 2020). Las aguas subterráneas se caracterizan por ser una fuente de almacenamiento intermedio para las épocas de sequía, pero la variabilidad climática durante los ciclos naturales en períodos largos, alteran estas reservas. Por lo tanto, el uso de embalses se presenta como una alternativa que garantiza agua para los cultivos (William, 2016). El uso de modelos aplicativos de predicción en donde se identifica el agua retenida en el suelo con el estrés provocado por las sequías prolongadas, ayuda a conocer la productividad de un cultivo y proyectar de mejor manera el uso de riego (Turek et al., 2022).

El uso de sistemas agroforestales en pastizales por medio de agrosilvicultura y silvopastura, y permanencia de especies nativas, se presentan como alternativa viable para incrementar el carbono orgánico del suelo desde un 26 -40 % en los primeros 30 cm del horizonte (González-Pedraza y Dezzeo, 2014; Stefano y Jacobson, 2018; Castellanos et

al., 2020), así como el uso de labranza mínima (Busari et al., 2015), uso de abonos sólidos y preparación de biocomponentes, incrementan el carbono orgánico en un 25 % en el suelo y un 32-35 % en la biomasa y actividad microbiana, produciendo mayor aporte de materia orgánica (Krauss et al., 2020; González-García et al., 2021).

El uso de materia orgánica en el suelo a partir de fecas de animales, cobertura vegetal o incorporación de abonos verdes reduce los eventos extremos climáticos (Altieri et al., 2015b; Nicholls et al., 2015). La incorporación de abonos verdes mejora la calidad del suelo, disminuyendo un 5,6 % en la densidad aparente, un aumento del carbono de la biomasa microbiana en un 28 % (Ma et al., 2021) y un incremento de hasta en un 30 % en el suelo de la capacidad enzimática de α -glucosidasa, β -glucosidasa, β -celobiosidasa, β -xilosidasa y N-acetil-glucosaminidasa (Zhou et al., 2020).

La incorporación de abonos verdes de especies leguminosas o no leguminosas incrementan diversidad de comunidades de microorganismos promotores de crecimiento como Actinomycetes (Zhou et al., 2020), *Penicillium*, *Talaromyces*, *Trichoderma*, *Mucor* y *Taifanglania*, entre otros, los cuales ayudan en el ecosistema del suelo al descomponer la materia orgánica e influir en el ciclo de los nutrientes. La producción de sideróforos en ambientes en donde el hierro no está disponible para la planta ((Asghar y Kataoka, 2022), así como la solubilización de fosfatos e incremento en el ácido indol 3 acético (AIA), el cual ayuda en la elongación, división celular, diferenciación de tejidos y respuesta a la luz (Vega-Celedón et al., 2016), son algunos de los efectos benéficos de los microorganismos.

Usos de la biodiversidad vegetal en la resiliencia

El uso de la agroforestería, silvopastura y sistemas de policultivos, crea un complejo agroecosistema capaz de soportar el cambio climático, la variabilidad entre alturas en los diferentes sistemas agroforestales genera un microclima que permite amortiguar las altas radiaciones (Swamy y Tewari, 2017), reducir la velocidad de los vientos y la evapotranspiración, conduce a una reducción de la temperatura del suelo (Mbow et al., 2014). Estudios argumentan que puede disminuir hasta en un 25 % la producción de biomasa al incorporar el sistema agroforestal, pero la incorporación de árboles neutraliza el efecto negativo de las sequías, favoreciendo la productividad a largo plazo dado por el reciclaje de nutrientes al incrementar el carbono del suelo (Lasco et al., 2014).

Por otra parte, el uso de sistemas silvopastoriles provoca un efecto de polisombra con un microclima agradable que reduce el stress calórico de los animales (Nahed-Toral et al., 2013), así como también, reduce la producción de metano entérico, debido al consumo de las hojas de los árboles, en donde al mejorar la calidad nutritiva ofrecida, se incrementa la disponibilidad de forraje permitiendo una mayor ganancia de peso de los animales (Contreras-Santos et al., 2021).

Factores como la disponibilidad de nutrientes y humedad del suelo son necesarios para la productividad forrajera, pero, la variabilidad en las lluvias por el cambio climático ha influido negativamente sobre el rendimiento de las especies forrajeras C3 y C4, disminuyendo la capacidad de convertir el CO₂ en biomasa por medio del proceso de fotosíntesis (González-Pedraza et al., 2023). Por lo tanto, la necesidad de recuperar la producción forrajera, ha provocado un uso indiscriminado de fertilizaciones nitrogenadas en los monocultivos, incrementando gases de efecto invernadero (Altieri et al., 2015a). Alternativas de policultivos por medio de la incorporación de leguminosas en monocultivos de gramíneas, incrementa la disponibilidad de nitrógeno en el suelo como nutriente, reduciéndose así el uso de altas fertilizaciones nitrogenadas (Kumari et al., 2022).

De esta manera, la mezcla entre especies permitirá cubrir el suelo, debido a la variabilidad existente en su forma de crecimiento, al permitir brotes en forma de macollo y especies rastreras mezcladas que formaran una especie de césped que mantendrá la humedad del suelo y evitará la erosión de este (Islam y Ashilenje, 2018; González-Pedraza y Dezzeo, 2020). Pero, cuando se incrementa la diversidad entre especies, se genera una competencia por luz, espacio y disponibilidad de nutrientes, favoreciendo la resiliencia o extinción de estas (Islam y Ashilenje, 2018).

La capacidad de las leguminosas de obtener agua y nutrientes por su sistema radicular profundo le ha permitido resistir a condiciones de estrés de la misma manera que las especies nativas forrajeras, las cuales tienen gran capacidad de resistir las variaciones climáticas, en donde los recursos genéticos naturales se convierten en el principal instrumento de resiliencia (Olmos, 2013). Por otra parte, el uso inadecuado de pastoreo con altas intensidades, bajas precipitaciones y altas temperaturas favorece el crecimiento de gramíneas C4 por encima de las C3 y de leguminosas con corona subterránea volviéndolas resilientes (Quesenberry et al., 2022).

Por lo tanto, el uso de policultivos con una variabilidad genética que garantice la biodiversidad vegetal, así como los sistemas agroforestales y agricultura mezclada con ganadería bajo la comunicación entre campesinos (Islam y Ashilenje, 2018), permitirá fortalecer la resiliencia de los ecosistemas. Es por eso, que la agroecología tendrá el potencial de seleccionar especies resilientes a los factores de estrés climático que tengan la capacidad de proporcionar respuestas contextuales a los problemas locales (Bogale y Bekele, 2023). Con la visión agroecológica, las especies resilientes al cambio climático, sumado a las prácticas que favorezcan la conservación de los elementos necesarios para la nutrición vegetal, serán la base de la alimentación animal y a su vez humana, en el futuro próximo de la humanidad.

Conclusiones

De acuerdo con el análisis realizado se concluye que los agroecosistemas resilientes son capaces de mantener su funcionalidad frente a choques y estrés ambiental, como

sequías extremas o excesos de precipitaciones, mediante la autorregulación y la adaptación a cambios posteriores a perturbaciones.

La biodiversidad agrícola es crucial para la resiliencia de los agroecosistemas, ofreciendo tanto diversidad funcional, que ayuda a mantener el sistema, como diversidad de respuesta, que permite adaptarse y cambiar frente a disturbios, lo cual es un aspecto no siempre representado en los modelos de cambio climático actuales.

El cambio climático afecta directamente la producción de cultivos, el microbioma del suelo y la erosión, y puede ser mitigado parcialmente por prácticas que incrementan la biodiversidad vegetal, como la agroforestería y la agrosilvicultura, que además contribuyen a la regulación de microclimas y manejo de recursos hídricos.

El manejo adecuado del suelo y el agua, incluyendo la textura del suelo y el uso de aguas subterráneas o embalses, es fundamental para mejorar la resiliencia de los agroecosistemas ante la variabilidad climática y los eventos extremos.

La agroecología promueve prácticas sostenibles que aumentan la resiliencia al cambio climático, incluyendo la selección de especies vegetales y prácticas de manejo que fortalecen la capacidad de los agroecosistemas para proporcionar alimentos a largo plazo, a pesar de las condiciones climáticas adversas.

Agradecimientos

Se agradece a la Universidad Técnica de Manabí y a la Pontificia Universidad Javeriana, por el cofinanciamiento de esta investigación.

Referencias

- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2013). Agroecología y resiliencia al cambio climático: Principios y consideraciones metodológicas. *Agroecología*, 8(1), 7-20.
- Altieri, M. A., Nicholls, C. I., Henao, A., & Lana, M. A. (2015). Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 35 (3), 869-890. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0285-2>
- Asghar, W., & Kataoka, R. (2022). Different Green Manures (*Vicia villosa* and *Brassica juncea*) Construct Different Fungal Structures, Including Plant-Growth-Promoting Effects, after Incorporation into the Soil. *Agronomy*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/agronomy12020323>
- Bogale, G. A., & Bekele, S. E. (2023). Sustainability of Agroforestry Practices and their Resilience to Climate Change Adaptation and Mitigation in Sub-Saharan Africa: A Review. *Ekologia Bratislava*, 42(2), 179-192. <https://doi.org/10.2478/eko-2023-0021>
- Busari, M., Kukal, S., Kaur, A., Bhatt, R., & Dulazi, A. (2015). Conservation tillage impacts on soil, crop and the environment. *International Soil and Water*

- Conservation Research*, 3, 119–129. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.05.002>
- Butterly, C. R., Armstrong, R. D., Chen, D., & Tang, C. (2019). Residue decomposition and soil carbon priming in three contrasting soils previously exposed to elevated CO₂. *Biology and Fertility of Soils*, 55(1), 17–29. <https://doi.org/10.1007/s00374-018-1321-6>
- Cabel, J. F., & Oelofse, M. (2012). An indicator framework for assessing agroecosystem resilience. *Ecology and Society*, 17(1). <https://doi.org/10.5751/ES-04666-170118>
- Castellanos González, L., González Pedraza, A., & Capacho Mogollón, A. (2020). Influencia de los sistemas agroforestales del Proyecto Plantar sobre la macrofauna del suelo. *BISTUA Revista De La Facultad De Ciencias Básicas*, 105–116. <https://doi.org/10.24054/bistua.vi.222>
- Contreras-Santos, J. L., Martínez-Atencia, J., Raghavan, B., Lopez-Rebolledo, L., & Garrido-Pineda, J. (2021). Silvopastoral systems: Mitigation of greenhouse gases in the tropical dry forest - Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 32(3), 901–919. <https://doi.org/10.15517/AM.V32I3.43313>
- Delgado-Baquerizo, M., Guerra, C. A., Cano-Díaz, C., Egidi, E., Wang, J. T., Eisenhauer, N., Singh, B. K., & Maestre, F. T. (2020). The proportion of soil-borne pathogens increases with warming at the global scale. *Nature Climate Change*, 10(6), 550–554. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0759-3>
- Denbela, H., & Mesay, G. (2017). Climate Change Effects on Livestock Feed Resources: A Review. *Journal of Fisheries & Livestock Production*, 05(04). <https://doi.org/10.4172/2332-2608.1000259>
- González-Pedraza, A. F., & Dezzio, N. (2014). *Changes in the labile and recalcitrant organic matter fractions due to transformation of semi-deciduous dry tropical forest to pasture in the Western Llanos, Venezuela*. En F. E. Greer (Ed.), *Dry Forests: Ecology, Species Diversity and Sustainable Management* (pp. 105-132). Nova Science Publishers.
- González-Pedraza, A. F., & Dezzio, N. (2020). Vertical distribution, nutrient concentration and seasonal changes of fine root mass in a semi-deciduous tropical dry forest and in two adjacent pastures in the Western Llanos of Venezuela. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 8(2), 93–104. [https://doi.org/10.17138/tgft\(8\)93-104](https://doi.org/10.17138/tgft(8)93-104)
- González-Pedraza, A. F., Castellanos González, L., & Capacho, A. E. (2023). Influencia de tres modelos agroecológicos sobre la calidad del suelo en el municipio de Ocaña, Norte de Santander. Primera edición. Universidad de Pamplona. ISBN 978-628-7656-07-9.
- González-García, H., González-Pedraza, A. F., Atencio, J., & Soto, A. (2021). Evaluación de calidad de suelos plataneros a través de la actividad microbiana en el sur del lago de Maracaibo, estado de Zulia, Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia*, 38(2), 216-240. <https://produccioncientificaluz.org/index.php/agronomi/article/view/35497>
- González-García, H., González Pedraza, A. F., Pineda Zambrano, M., Escalante-García, H., Rodríguez-Yzquierdo, G., & Soto-Bracho, A. (2021). Microbiota edáfica en lotes de plátano con vigor contrastante y su relación con propiedades del suelo. *Bioagro*, 33(2), 143-148. <https://doi.org/10.51372/bioagro332.8>
- González-Pedraza, A. F., Atencio, J., Cubillán, K., Almendras, R., Ramírez, L., & Barrios, O. (2014). Microbial activity in soils cultivated with plantain (*Musa AAB* plantain subgroup cv. Harton) with different vigor of plants. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia*, 31, 526-538. https://www.revfacagronluz.org.ve/PDF/suplemento_2_014/ing/ingsupl12014526538.pdf
- Islam, M. A., & Ashilenje, D. S. (2018). Diversified forage cropping systems and their implications on resilience and productivity. *Sustainability (Switzerland)*, 10(11). <https://doi.org/10.3390/su10113920>
- Jiménez-Jiménez, R. A., Rendón-Rendón, M. C., Chávez-Pérez, L. M. & Soler Fonseca, D. M. (2019). La polarización de los sistemas de producción pecuaria en México. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 4(1), 31-39. <https://ojs.unipamplona.edu.co/index.php/rcyta/article/view/981/1118>
- Krauss, M., Berner, A., Perrochet, F., Frei, R., Niggli, U., & Mäder, P. (2020). Enhanced soil quality with reduced tillage and solid manures in organic farming – a synthesis of 15 years. *Nature Research*, 10(4403), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61320-8>
- Kumari, A., Lakshmi, G. A., Krishna, G. K., Patni, B., Prakash, S., Bhattacharyya, M., Singh, S. K., & Verma, K. K. (2022). Climate Change and Its Impact on Crops: A Comprehensive Investigation for Sustainable Agriculture. *Agronomy*, 12(12), 1–16. <https://doi.org/10.3390/agronomy12123008>
- Kuz'yakov, Y., Horwath, W. R., Dorodnikov, M., & Blagodatskaya, E. (2019). Review and synthesis of the effects of elevated atmospheric CO₂ on soil processes: No changes in pools, but increased fluxes and accelerated cycles. *Soil Biology and Biochemistry*, 128, 66–78. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.10.005>
- Lasco, R. D., Delfino, R. J. P., & Espaldon, M. L. O. (2014). Agroforestry systems: Helping smallholders adapt to climate risks while mitigating climate change. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 5(6), 825–833. <https://doi.org/10.1002/wcc.301>
- Lobell, D. B., & Field, C. B. (2007). Global scale climate – crop yield relationships and the impacts of recent warming. *Environmental Research*, 2. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/2/1/014002>
- Ma, D., Lina, Y., Wenliang, J., Xiankun, L., Xiaoxiao, L., Xiping, D., & Shiwen, W. (2021). Meta-analysis of

- green manure effects on soil properties and crop yield in northern China. *Field Crops Research*, 266(26), 108146. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108146>
- Vega-Celedón, P., Canchignia Martínez, H., González, M., & Seeger, M. (2016). Biosíntesis de ácido indol-3-acético y promoción del crecimiento de plantas por bacterias. *Cultivos Tropicales*, 37(Especial), 31-37. https://www.researchgate.net/publication/304195424_Review_Biosynthesis_of_indole-3-acetic_acid_and_plant_growth_promoting_by_bacteria
- Mbow, C., Smith, P., Skole, D., Duguma, L., & Bustamante, M. (2014). Achieving mitigation and adaptation to climate change through sustainable agroforestry practices in Africa. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 6, 8–14. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/J.COSUST.2013.09.002>
- Mijatovic, D., Oudenhoven, F. Van, Eyzaguirre, P., & Hodgkin, T. (2012). Change: Towards an analytical framework International Journal of Agricultural Sustainability The role of agricultural biodiversity in strengthening resilience to climate change: towards an analytical framework. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 2(November), 1–13. <https://doi.org/10.1080/14735903.2012.691221>
- Mir, M. S., Saxena, A., Kanth, R. H., Raja, W., Dar, K. A., Mahdi, S. S., Bhat, T. A., Naikoo, N. B., Nazir, A., Amin, Z., Mansoor, T., Myint, M. Z., Khan, M. R., Mohammad, I., & Mir, S. A. (2022). Role of Intercropping in Sustainable Insect-Pest Management: A Review. *International Journal of Environment and Climate Change*, 3390–3404. <https://doi.org/10.9734/ijec/2022/v12i111390>
- Nahed-Toral, J., Valdivieso-Pérez, A., Aguilar-Jiménez, R., Cámara-Cordova, J., & Grande-Cano, D. (2013). Silvopastoral systems with traditional management in southeastern Mexico: A prototype of livestock agroforestry for cleaner production. *Journal of Cleaner Production*, 57, 266–279. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.020>
- Nicholls, C. I., Henao, A., & Altieri, M. A. (2015). Agroecología y el diseño de sistemas agrícolas resilientes al cambio climático. *Agroecología*, 10(1), 7–31.
- Olmos, F. (2013). El modelo actual y los recursos genéticos forrajeros: *Resiliencia y futuro*. 35–39.
- Paini, D. R., Sheppard, A. W., Cook, D. C., De Barro, P. J., Worner, S. P., & Thomas, M. B. (2016). Global threat to agriculture from invasive species. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113(27), 7575–7579. <https://doi.org/10.1073/pnas.1602205113>
- Quesenberry, K., Rios, E., Kenworthy, K., Blount, A., & Reith, P. (2022). Breeding forages with climate resiliency in temperate/tropical transition zones. *Grass and Forage Science*, 124–130. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/gfs.12566>
- Sloat, L. L., Gerber, J. S., Samberg, L. H., Smith, W. K., Herrero, M., Ferreira, L. G., Godde, C. M., & West, P. C. (2018). Increasing importance of precipitation variability on global livestock grazing lands. *Nature Climate Change*, 8, 214–218. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0081-5>
- Standish, R. J., Hobbs, R. J., Mayfield, M. M., Bestelmeyer, B. T., Suding, K. N., Battaglia, L. L., Eviner, V., Hawkes, C. V., Temperton, V. M., Cramer, V. A., Harris, J. A., Funk, J. L., & Thomas, P. A. (2014). Resilience in ecology: Abstraction, distraction, or where the action is? *Biological Conservation*, 177(September), 43–51. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.06.008>
- Stefano, A. De, & Jacobson, M. G. (2018). Soil carbon sequestration in agroforestry systems: a meta-analysis. *Soil carbon sequestration in agroforestry systems: a meta-analysis. Agroforestry Systems*. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0147-9>
- Swamy, S. L., & Tewari, V. (2017). *Mitigation and adaptation strategies to climate change through agroforestry practices in the tropics*. In *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* (pp. 725–738). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7650-3_29
- Turek, M. E., Prasuhn, V., & Holzkämper, A. (2022). Agro-hydrological modeling of soil water retention measures to increase crop system resilience to extreme events. *EGU General Assembly*. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-2919>
- William, M., A. (2016). Drought-Proofing Groundwater. *Ground Water*, 54(3), 309. <https://doi.org/doi:10.1111/GWAT.12418>
- Zhou, G., Gao, S., Lu, Y., Liao, Y., Nie, J., & Cao, W. (2020). Co-incorporation of green manure and rice straw improves rice production, soil chemical, biochemical and microbiological properties in a typical paddy field in southern China. *Soil and Tillage Research*, 197, 104499. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104499>

Ciencia y Tecnología Agropecuaria es una revista publicada por la Universidad de Pamplona bajo la licencia: [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) (CC BY-NC-SA 4.0)

