



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE BABAHOYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS



**ESCUELA DE AGRICULTURA, SILVICULTURA, PESCA
Y VETERINARIA**
CARRERA DE AGRONOMÍA

TRABAJO DE TITULACIÓN

Componente práctico del Examen de Carácter Complexivo,
presentado al H. Consejo Directivo de la Facultad, como requisito
previo a la obtención del título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

TEMA:

Efecto de la agricultura regenerativa para disminuir las emisiones de
carbono en el ambiente.

AUTOR:

Bryan Ronny Muñoz Iglesias

TUTOR:

Ing. Ind. Carlos Arturo Castro Arteaga, MSc.

Babahoyo – Los Ríos – Ecuador

2023

RESUMEN

La investigación académica examina la compleja relación entre los ecosistemas terrestres y las crecientes emisiones de dióxido de carbono atmosférico (CO₂). Se enfoca en cómo la industrialización, la agricultura y el uso de productos químicos sintéticos han elevado las tasas de CO₂, agotando las reservas de carbono del suelo a través de prácticas agrícolas intensivas. La agricultura regenerativa emerge como una solución clave, enfocándose en la retención de carbono y mejorando la salud del suelo. La investigación, basada en una revisión bibliográfica exhaustiva, destaca la importancia del carbono orgánico en el suelo para la estabilidad y la resistencia a eventos climáticos extremos. Se subraya el papel esencial de las prácticas agrícolas, como la rotación de cultivos y el uso de residuos para producir biomasa, en la mitigación del cambio climático y la adaptación a condiciones cambiantes. Además, se explora el potencial del compostaje, señalando que, cuando se utiliza como enmienda orgánica en la agricultura, el CO₂ liberado durante el proceso es parte del ciclo natural del carbono, no contribuyendo al aumento neto de CO₂ en la atmósfera. Recalca la resiliencia que la diversificación de cultivos confiere a los agricultores frente a fenómenos climáticos extremos. Finalmente, se enfatiza el rol creciente de la agricultura regenerativa en la sostenibilidad global. Se concluye que esta práctica no solo puede mitigar el cambio climático y mejorar la salud del suelo, sino también impulsar la adaptación y la resiliencia de las comunidades agrícolas frente a desafíos climáticos, ofreciendo una esperanzadora ruta hacia un futuro más sostenible y equitativo..

Palabras claves: agricultura, regenerativa, sostenible, secuestro, carbono.

ABSTRACT

Academic research examines the complex relationship between terrestrial ecosystems and increasing atmospheric carbon dioxide (CO₂) emissions. It focuses on how industrialization, agriculture and the use of synthetic chemicals have raised CO₂ rates, depleting soil carbon stocks through intensive agricultural practices. Regenerative agriculture emerges as a key solution, focusing on carbon sequestration and improving soil health. The research, based on a comprehensive literature review, highlights the importance of organic carbon in soil for stability and resistance to extreme weather events. It highlights the essential role of agricultural practices, such as crop rotation and the use of waste to produce biomass, in mitigating climate change and adapting to changing conditions. In addition, the potential of composting is explored, noting that, when used as an organic amendment in agriculture, CO₂ released during the process is part of the natural carbon cycle, not contributing to the net increase of CO₂ in the atmosphere. It stresses the resilience that crop diversification gives farmers in the face of extreme weather events. Finally, the growing role of regenerative agriculture in global sustainability is emphasized. It is concluded that this practice can not only mitigate climate change and improve soil health, but also boost the adaptation and resilience of agricultural communities to climate challenges, offering a hopeful path to a more sustainable and equitable future.

Keywords: agriculture, regenerative, sustainable, sequestration, carbon.

ÍNDICE

| | |
|--|-----|
| RESUMEN..... | II |
| ABSTRACT | III |
| 1. CONTEXTUALIZACIÓN | 1 |
| 1.1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 2 |
| 1.3. JUSTIFICACIÓN..... | 3 |
| 1.4. OBJETIVOS | 4 |
| 1.4.1. Objetivo General | 4 |
| 1.4.2. Objetivos específicos | 4 |
| 1.5. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN | 4 |
| 2. DESARROLLO..... | 5 |
| 2.1. MARCO TEÓRICO | 5 |
| 2.1.1. Agricultura regenerativa | 5 |
| 2.1.2. Cambio climático | 6 |
| 2.1.3. Emisiones de dióxido de carbono | 7 |
| 2.1.4. Impacto ambiental de las emisiones de carbono..... | 8 |
| 2.1.5. Secuestro de carbono en suelos..... | 9 |
| 2.1.6. Prácticas agrícolas orgánicas que capturan carbono al suelo | 10 |
| 2.1.6.1. Labranza de conservación | 10 |
| 2.1.6.2. Cultivos de cobertura..... | 11 |
| 2.1.6.3. Rotación de cultivos mejorada | 11 |
| 2.1.6.4. Residuos de cultivos..... | 12 |
| 2.1.6.5. Compostaje..... | 12 |
| 2.1.7. Beneficios asociados con un mayor carbono del suelo | 13 |
| 2.2. METODOLOGÍA | 13 |

| | |
|---|----|
| 2.3. RESULTADOS..... | 14 |
| 2.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 16 |
| 3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 18 |
| 3.1. CONCLUSIONES | 18 |
| 3.2. RECOMENDACIONES..... | 18 |
| 4. REFERENCIAS Y ANEXOS | 19 |
| 4.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 19 |
| 4.2. ANEXOS | 25 |

1. CONTEXTUALIZACIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas terrestres contribuyeron a aumentar el dióxido de carbono atmosférico (CO₂) antes de la era industrial, pero las tasas de aportación de CO₂ atmosférico han aumentado desde entonces debido no sólo a la industrialización y la combustión de combustibles fósiles, sino también de la conversión del uso de la tierra a la agricultura y la incorporación del uso de productos químicos sintéticos en la agricultura industrial y la gestión de la tierra con grandes perturbaciones (Lal 2004).

Las prácticas de gestión de la tierra asociadas con la agricultura industrial y de producción eliminan esta reserva de carbono de la Tierra no solo mediante la quema de combustibles fósiles para administrar una amplia gama de equipos pesados, sino también mediante prácticas extractivas de monocultivos y períodos de barbecho, y el cultivo extensivo que expone la materia orgánica del suelo existente a un aumento de la oxidación y descomposición microbiana (Franzmeier *et al.* 2016).

Estas prácticas agrícolas afectan negativamente a las reservas de materia orgánica del suelo de manera bidireccional; en primer lugar, la labranza aumenta la velocidad de la descomposición de los cultivos por los microbios del suelo y su posterior liberación de CO₂ por la respiración; y segundo, dejar campos en barbecho entre cultivos comerciales elimina la oportunidad de fijar nuevo carbono en el sistema terrestre para generar materia orgánica (Franzmeier *et al.* 2016).

La evolución de los principios de la agricultura regenerativa en los últimos años ofrece soluciones a muchas de las consecuencias involuntarias y auto infligidas que se derivan de la gestión convencional de la tierra, como la degradación del suelo y la escorrentía, y la dependencia cada vez mayor de los productos químicos sintéticos y la labranza intensa debido a la pérdida de la función biológica del suelo y las capacidades naturales de ciclo de nutrientes (Schulte *et al.* 2021).

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La agricultura como sector primario es responsable de las emisiones de CO₂ generadas dentro de la explotación agrícola por los cultivos y las actividades ganaderas, así como de las emisiones de CO₂ causadas por la conversión de los ecosistemas naturales, principalmente las tierras forestales y las turberas naturales, al uso agrícola de la tierra (FAO (Food and Agriculture Organization) 2021).

El clima de la Tierra está cambiando debido al aumento de los gases de efecto invernadero producidos por las actividades agrícolas. El CO₂ atmosférico aumentó 9,12 de 280 a 400 ppm durante el siglo pasado y puede llegar a 550 ppm para 2050 (Singh y Singh 2017). Los pesticidas usados liberan partículas de óxido nitroso, que emite 300 veces más gases de efecto invernadero que el dióxido de carbono, aumentando continuamente la temperatura en la tierra, la cantidad de CO₂, sequías, tormentas y efectos climáticos interactivos (Chen y Mccarl 2001).

Por ello, es necesario comprender que ciertas prácticas agrícolas requieren a menudo un uso menos frecuente de equipos agrícolas; destacando la agricultura sin labranza que es un medio alternativo preferencial que promueve la reducción de la compactación del suelo y las emisiones agrícolas del consumo de combustibles fósiles

1.3. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación tiene como finalidad comprender el potencial de las prácticas agrícolas alternativas para impactar positivamente en el medio ambiente, a través de los marcos de servicios ecosistémicos, agricultura regenerativa, agroecología y teoría de la sostenibilidad. Aquí nos centramos en la agricultura regenerativa, que abarca un conjunto de objetivos y prácticas naturales correspondientes destinadas a optimizar la gestión de los recursos, mejorar la calidad del suelo y mitigar el cambio climático.

Las prácticas de agricultura regenerativa son técnicas aplicables que mejoran la productividad y la salud del suelo al restaurar el contenido de carbono orgánico del suelo. Algunos ejemplos incluyen la implementación de agroforestería y cultivos de cobertura. Además de aumentar la materia orgánica del suelo, también se espera que las prácticas de agricultura regenerativa restablezcan la fertilidad del suelo, aumenten el rendimiento de los cultivos y reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

- Determinar el efecto de la agricultura regenerativa para disminuir las emisiones de carbono en el ambiente.

1.4.2. Objetivos específicos

- Indicar el impacto medioambiental de las emisiones de carbono.
- Describir las diferentes prácticas agrícolas orgánicas que capturan carbono.

1.5. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación literaria es definida en el dominio universitario definido como Medio Ambiente, la línea de investigación denominada Desarrollo agropecuario, agroindustrial sostenible y sustentable, además de la sublínea Mitigación y adaptación al cambio climático debido a que fomenta el desarrollo ecológico para reducir la dependencia de los recursos naturales limitados. La intensificación ecológica de los sistemas agrícolas permite afirmar que es posible mantener la producción de alimentos y aumentar al mismo tiempo el secuestro de carbono del suelo optimizando procesos ecosistémicos vitales como el ciclo del carbono del suelo.

La contribución del suelo a la crisis climática por medio de la reducción química del carbono en el suelo es importante. No obstante, la relación entre el suelo y la agricultura, desempeñan una función significativa en la mitigación del cambio climático. Partiendo desde una variedad de prácticas agrícolas, logrando almacenar una gran cantidad de dióxido de carbono en el suelo, conjuntamente restaurando la fertilidad del suelo, priorizando la sanidad vegetal y conservación de ecosistemas. Esta es una alternativa que ofrece diversos beneficios y amerita una visibilidad significativa.

2. DESARROLLO

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Agricultura regenerativa

El término "agricultura regenerativa" fue acuñado por primera vez en 1979 por Medard Gabel y luego por Robert Rodale en 1983, ha seguido desarrollando el concepto de agricultura ecológica regenerativa para incluir algunas opciones que incluyen un enfoque holístico centrado en las mejoras medioambientales y sociales sin el uso de fertilizantes químicos y plaguicidas (Khangura *et al.* 2023).

La filosofía de la agricultura regenerativa consiste en mantener armonía con la naturaleza, a través de una visión alternativa con un sistema que nos ayude a luchar contra la crisis climática. El objetivo no es restaurar la ecología y la función biológica de la agricultura nativa, sino más bien aprovechar los procesos ecológicos en la naturaleza dentro de un sistema agrícola para mejorar la salud del sistema agrícola (Wilson *et al.* 2022).

Es una estrategia agrícola que utiliza procesos naturales para aumentar la actividad biológica, mejorar la salud del suelo, mejorar el ciclo de nutrientes, restaurar la función del paisaje, producir alimentos y fibras, mientras se preserva o aumenta la rentabilidad de la granja (Giller *et al.* 2021). La estrategia se basa en un conjunto de principios rectores, y los profesionales utilizan una variedad de tácticas que integran los procesos biológicos y ecológicos con el objetivo de aumentar la producción y restaurar la funcionalidad del paisaje.

La agricultura regenerativa tiene en su núcleo la intención de mejorar la salud del suelo o restaurar suelos altamente degradados, lo que simbióticamente mejora la calidad del agua, la vegetación y la productividad de la tierra. Mediante el uso de métodos de agricultura regenerativa, es posible no solo aumentar la cantidad de carbono orgánico del suelo en los suelos existentes, sino también construir nuevos suelos (Rhodes 2017).

2.1.2. Cambio climático

En la actualidad, cuando se habla de cambio climático global, se hace referencia a los cambios provocados por las actividades humanas que se suman a la variabilidad natural del clima a lo largo de la dilatada historia geológica de la Tierra. La energía térmica retenida en la tierra y la atmósfera se disipa en la tierra por la circulación de la atmósfera y el océano y se libera de nuevo a la atmósfera como radiación terrestre de onda larga (Lal 2004).

El reconocido Informe del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático expone las causas del calentamiento global. De acuerdo a este informe, las actividades humanas son las principales responsables del aumento de los gases de efecto invernadero en la atmósfera, en particular, la quema de combustibles fósiles, como el petróleo y el carbón, así como la deforestación (IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 1990).

La quema de combustibles fósiles libera grandes cantidades de dióxido de carbono (CO_2) a la atmósfera, lo que provoca un desequilibrio en el ciclo natural del carbono y un aumento en la concentración de este gas de efecto invernadero. Además, la deforestación contribuye al calentamiento global al reducir la capacidad de la Tierra para absorber el CO_2 , ya que los árboles desempeñan un papel fundamental en la captura de carbono a través de la fotosíntesis (Archer 2011)

Es importante destacar que el CO_2 no es el único gas de efecto invernadero relevante. El metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O) también desempeñan un papel significativo. El metano se produce principalmente a partir de actividades humanas como la agricultura (emisiones de ganado) y la extracción de combustibles fósiles. Por otro lado, el óxido nitroso se libera en procesos agrícolas y de uso de fertilizantes (Ravishankara *et al.* 2009)

Para abordar el problema del calentamiento global, es esencial comprender estas causas fundamentales y su interconexión. La acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera atrapa el calor solar, lo que aumenta la temperatura de la Tierra. Este aumento de temperatura tiene una serie de efectos perjudiciales, que van desde el deshielo de los glaciares hasta el aumento del nivel del mar y eventos climáticos extremos (Archer 2011).

En la provincia Los Ríos el 62 % de su población está relacionada a la agricultura, esta provincia produce el 42,30 % de las exportaciones no petroleras en Ecuador. Los resultados develaron que el 86 % de productores conocen sobre el cambio climático y conviven con sus manifestaciones. Un 50 % de los encuestados manifiesta que la pérdida de cosechas se debe principalmente a sequías e inundaciones. El 80 % indican que las malas prácticas agrícolas han empeorado la situación, siendo un 93 % de productores los que consideran que no están preparados para enfrentar esta situación (Colina *et al.* 2023)

2.1.3. Emisiones de dióxido de carbono

Los gases de efecto invernadero impulsan el calentamiento global antropogénico. El dióxido de carbono (CO₂) es uno de los principales contribuyentes. Aunque el CO₂ muestra un menor potencial de calentamiento global por mol que otros gases de efecto invernadero, es el principal gas de efecto invernadero presente en la atmósfera y tiene una vida atmosférica más larga. Las emisiones de CO₂ de la combustión de combustibles fósiles son la fuente más importante de emisiones antropógenas de carbono, representando alrededor del 75% de las emisiones mundiales desde 1750 (Solomon *et al.* 2007).

El CO₂ constituye la mayor parte de los gases de efecto invernadero producidos por el hombre. La adición de gases de efecto invernadero artificiales a la atmósfera perturba la radiación de la tierra equilibrio (es decir, el equilibrio entre la energía solar que la Tierra absorbe e irradia de nuevo al espacio). El equilibrio entre la energía solar y la energía solar. Esto está dando lugar a un aumento de la temperatura de la superficie de la Tierra y a efectos conexos sobre el clima, el nivel del mar y la agricultura mundial (Liu *et al.* 2015)..

Existen mayores fuentes naturales de emisiones de CO₂ (por ejemplo, descomposición, liberación en el mar y respiración) que las fuentes de emisión de CO₂ debidas a actividades humanas como la quema de petróleo, carbón y gas, deforestación, fabricación industrial. Sin embargo, las fuentes naturales de CO₂ están estrechamente equilibradas por fenómenos que ocurren naturalmente, como la fotosíntesis y la erosión de las rocas. Este equilibrio ha

hecho que la concentración atmosférica de CO₂ sea tan baja como 260 – 280 ppmv durante 10.000 años antes del inicio de la era industrial (Liu *et al.* 2015).

Hasta la fecha, la mayoría de las fuentes antropogénicas (humanas) de emisión de CO₂ proceden aún de actividades humanas cotidianas en las que ni siquiera pensamos. Los combustibles fósiles seguirán siendo la principal fuente de energía, que aumentará en más del 90%. Esto demuestra que la demanda mundial de energía ha ido en aumento, y se espera que aumente en más del 67% para 2030 (Miller y Carriveau 2019).

2.1.4. Impacto ambiental de las emisiones de carbono

Las emisiones de CO₂ contribuyen al calentamiento global y al cambio climático, que pueden causar impactos y consecuencias graves para los seres humanos y el medio ambiente. Las emisiones de CO₂ actúan como una manta en el aire, atrapando el calor en la atmósfera y calentando la Tierra; esta capa impide que la Tierra se enfríe, y por lo tanto aumenta las temperaturas globales (Klufallah *et al.* 2014).

Existen diversos efectos potencialmente catastróficos o discontinuidades climáticas importantes. Estos serían clasificados como cambios 'significativos' en el clima, y desde un punto de vista de principio de precaución, estos serían los efectos que querríamos evitar, detallan los siguientes: pérdida de la capa de hielo de la Antártida, estallidos de metano, inestabilidad o colapso de la selva Amazónica, reducción de la capacidad de sumidero de carbono, cambio en la estabilidad de la vegetación, agujero de ozono inducido por el cambio climático y calentamiento de los océanos (Watkiss *et al.* 2005).

Otro impacto crítico de las emisiones de carbono es la acidificación de los océanos. El CO₂ atmosférico se disuelve en el agua de mar, formando ácido carbónico, lo que reduce el pH del océano. Esto tiene graves consecuencias para los ecosistemas marinos, como los arrecifes de coral y las especies con conchas de carbonato de calcio. Un océano más ácido dificulta la supervivencia de estas criaturas y puede desestabilizar cadenas alimentarias enteras (Doney *et al.* 2009)

Además, las emisiones de carbono también tienen un impacto significativo en la biodiversidad. El cambio climático puede alterar drásticamente los hábitats naturales, lo que a su vez afecta a las especies que dependen de ellos. Según, un aumento de 2°C en la temperatura global podría llevar a la extinción de hasta el 30% de las especies conocidas en el mundo. Las alteraciones en los patrones de migración y reproducción también pueden tener efectos devastadores en la fauna y la flora (Thomas *et al.* 2004).

2.1.5. Secuestro de carbono en suelos

Engloba los procesos naturales y deliberados por los cuales el CO₂ se elimina de la atmósfera o se desvía de las fuentes de emisión y se almacena en el océano, los ambientes terrestres (vegetación, suelo, sedimentos) y las formaciones geológicas. Antes de que comenzaran las emisiones de CO₂ causadas por el hombre, los procesos naturales que componen el ciclo del carbono, mantuvieron un equilibrio cercano entre la absorción de CO₂ y su liberación a la atmósfera (Sundquist *et al.* 2008).

El secuestro de carbono en el suelo es el proceso de transferir dióxido de carbono de la atmósfera al suelo a través de los cultivos, residuos y otros sólidos orgánicos, y en una forma que no se reemite inmediatamente. Esta transferencia de carbono ayuda a compensar las emisiones de los combustibles fósiles y otras actividades emisoras de carbono al mismo tiempo que mejoran la calidad del suelo y productividad agronómica a largo plazo (Herzog y Golomb 2004).

Como proceso básico, las plantas fijan el CO₂ de la atmósfera y depositan el carbono en los suelos a través de raíces, exudados, semillas y residuos vegetales a diferentes profundidades del perfil del suelo. Esto ocurre in situ, pero el carbono también se transporta a través de abonos orgánicos de distintos orígenes. La mayor parte del carbono que entra en los suelos con materia orgánica fresca se reemite a través de la descomposición biológica (Paulsen 2020).

La capacidad de secuestro de carbono en el suelo es potencialmente inmensa, los suelos pueden alcanzar un límite de saturación de carbono. En la saturación, un suelo dejará de ser un sumidero y puede convertirse en una fuente de CO₂ o alcanzar un estado estable en el que atrae tanto carbono como emite anualmente. El punto de saturación de un suelo dado fue descrito por como el punto en el que los procesos de agregación, adhesión a partículas minerales y protección bioquímica del carbono del suelo dejan de proteger el carbono nuevo (Paulsen 2020) .

2.1.6. Prácticas agrícolas orgánicas que capturan carbono al suelo

Las prácticas están centradas en el manejo del suelo, con especial énfasis en secuestrar carbono, bajo la premisa de que incrementa el rendimiento de los cultivos y mitigan el cambio climático. La materia orgánica del suelo es un indicador importante de fertilidad del suelo, ya que suministra nutrientes, favorece la aireación, la retención de agua y favorece la microbiota del suelo (Khangura *et al.* 2023).

2.1.6.1. Labranza de conservación

Una investigación reciente encontró que casi todos los estudios hasta la fecha muestran que el cambio a la labranza de conservación no solo mejora la estructura del suelo, sino que también reduce las emisiones de dióxido de carbono y contribuye al aumento del carbono orgánico del suelo (Claassen *et al.* 2018).

Sin embargo, la reducción o no labranza es solo una transición para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero cuando se practica dentro de sistemas orgánicos: las ganancias de carbono del suelo logradas bajo la agricultura convencional de labranza cero están contrarrestadas por las mayores emisiones de N₂O de la fertilización nitrogenada (Cooray *et al.* 2023).

Si bien la labranza cero sigue siendo una práctica marginal, su dependencia de los cultivos de cobertura pesada para la supresión de malezas, junto con los beneficios de la gestión orgánica en general, se ha demostrado que

aumenta el carbono orgánico del suelo en un 9% después de dos años y 21% en seis años después de la conversión a la labranza cero orgánica (Claassen *et al.* 2018).

2.1.6.2. Cultivos de cobertura

El cultivo de cobertura es el acto de plantar plantas no cultivadas para cubrir suelos que normalmente están en barbecho. Se recomienda ampliamente como disuasión contra la erosión del suelo y la pérdida de carbono del suelo. Esto se debe a que las raíces de un cultivo de cobertura pueden anclar y estabilizar el suelo, creando agregados de suelo y aumentando los aportes de carbono de los residuos de cultivos de cobertura de raíces y brotes (Kaye y Quemada 2017).

Una amplia gama de beneficios adicionales se acumula con el uso de cultivos de cobertura: supresión de plagas y malezas, reducción de la escorrentía de agua, mejora en la estructura del suelo y la infiltración de agua, descenso de las emisiones de óxido nitroso y metano, reducción de la evaporación y fijación de nitrógeno atmosférico en los sistemas de leguminosas. En el desarrollo vegetativo, su etapa foliar más larga y sistemas radiculares más complejos, los cultivos de cobertura perennes o los mantillos vivos, son un beneficio adicional para el secuestro de carbono del suelo (Snapp *et al.* 2005).

2.1.6.3. Rotación de cultivos mejorada

El desplazamiento de las rotaciones de cultivos desde el monocultivo con barbecho hacia el policultivo sin barbecho aumenta la biodiversidad del suelo y secuestra el carbono. Por ejemplo, el cambio de una rotación de trigo en barbecho se encontró que la rotación girasol o trigo-leguminosas aumenta significativamente las reservas de carbono orgánico del suelo, y un sistema continuo de cebada más del doble de las reservas de carbono del suelo en comparación con un sistema de cebada en barbecho (Álvaro y Paustian 2011).

La integración de especies de pastos sembrados como cultivos de cobertura, mantillos vivos o en rotación es un poderoso medio para aumentar el carbono del suelo debido a los sistemas radiculares profundos y arbustivos de muchas de estas plantas perennes que también aumenta el carbono de la

biomasa microbiana del suelo al asegurar la energía disponible y los huéspedes de la raíz para las bacterias y los hongos (Pandey y Begum 2010).

2.1.6.4. Residuos de cultivos

Esta práctica consiste en devolver la biomasa aérea y subterránea al campo después de la cosecha, es una práctica de gestión recomendada en todo el mundo debido a los beneficios en la mejora de la calidad y la productividad del suelo; puede mejorar la estructura del suelo, aumentar la biodiversidad sistemática, mejorar la capacidad de secuestro del carbono orgánico del suelo y reemplazar parcialmente el aporte de fertilizantes, aumentando así el rendimiento de los cultivos y la capacidad de producción del sistema de tierras agrícolas, de manera sostenible (Wang *et al.* 2020).

2.1.6.5. Compostaje

El compostaje es la descomposición aeróbica controlada de materiales orgánicos, de origen vegetal (residuos de cultivos, recortes de césped, hojas) y de origen animal. El compost resultante es una enmienda del suelo deseable; aumenta la biodiversidad del suelo y la biomasa microbiana con un aumento concomitante de los servicios biológicos, como el ciclo de nutrientes, la supresión de enfermedades y la mejora de la estructura del suelo (Møller *et al.* 2009).

Los acondicionadores de suelo tienen un potencial sustancial para facilitar la rehabilitación de suelos degradados aumentando el almacenamiento de materia orgánica del suelo, mejorando la capacidad de retención de agua y proporcionando nutrientes para impulsar el crecimiento de las plantas. Las emisiones de gases de efecto invernadero se pueden reducir significativamente si se aplica materia orgánica compostada al suelo en comparación con el material orgánico no compostado (DeLonge *et al.* 2013).

2.1.7. Beneficios asociados con un mayor carbono del suelo

El aumento del contenido de carbono en el suelo, mediante mejores prácticas de gestión, produce una serie de beneficios en términos de biodiversidad del suelo, fertilidad del suelo y capacidad de almacenamiento de agua del suelo y, por lo tanto, productividad. El secuestro de carbono del suelo mediante la restauración de la materia orgánica del suelo puede revertir aún más la degradación del suelo y restaurar la "salud" del suelo mediante la restauración de la biota del suelo y la variedad de procesos ecológicos asociados (FAO (Food and Agriculture Organization) 2008).

En particular, mediante la mejora del almacenamiento de agua en el suelo y el ciclo de nutrientes, las prácticas de uso de la tierra que secuestran el carbono también contribuirán a estabilizar o mejorar la producción de alimentos y a optimizar el uso de fertilizantes sintéticos, reduciendo así las emisiones de óxidos nitrosos de las tierras agrícolas. Las prácticas de labranza de conservación también reducen significativamente el uso de combustible y, por lo tanto, las emisiones gaseosas (FAO (Food and Agriculture Organization) 2008).

2.2. METODOLOGÍA

La investigación académica es desarrollada mediante la compilación de información de libros, manuales, tesis, revistas y artículos científicos en plataformas digitales que afianzan la revisión bibliográfica, permitiendo reunir información relevante sobre los efectos de la agricultura regenerativa para disminuir las emisiones de carbono en el ambiente para mitigar el cambio climático. De esta forma, estudiamos las diversas prácticas agrícolas enfocadas en la teoría de sostenibilidad y mitigación del cambio climático.

2.3. RESULTADOS

En principio, exponen que el carbono orgánico del suelo es importante para mantener la estabilidad del agregado del suelo, reducir la densidad aparente, mejorar la infiltración de agua y la capacidad de retención de agua, y reducir la erosión y la pérdida de nutrientes. Estos rasgos relacionados con el contenido de carbono orgánico del suelo pueden hacer que los suelos sean más resistentes a los eventos climáticos extremos que se están volviendo cada vez más comunes e intensos como resultado del cambio climático.

Manifiestan que las prácticas agrícolas tienen el potencial de almacenar carbono en el suelo y las plantas, y así ayudar a mitigar el cambio climático, al tiempo que aumentan la fertilidad del suelo y la capacidad de retención de agua, mejorando los rendimientos y la buena nutrición, creando suelos tolerantes a la sequía, restaurar tierras de cultivo y pastizales degradados y nutrir la biodiversidad, con consecuencias positivas para las economías locales.

Alegando que al menos la mitad del carbono de las tierras de cultivo se fija sobre el suelo en la biomasa de las plantas, haciendo que el cultivo de cobertura y la retención de residuos sean necesidades claras para el secuestro de carbono. Los cultivos de cobertura pueden ser cultivos temporales entre los principales cultivos comerciales, cultivos intermedios de nutrientes o abonos perennes. Aumentan el carbono del suelo, reducen la lixiviación de nitrógeno y desalientan la erosión del viento y el agua.

Los cambios en la gestión agrícola pueden aumentar potencialmente la tasa de acumulación de carbono orgánico del suelo, secuestrando así CO₂ de la atmósfera. Este estudio se realizó para cuantificar las tasas potenciales de secuestro de carbono en el suelo para diferentes cultivos en respuesta a la disminución de la intensidad de la labranza o al aumento de la complejidad de la rotación, y para estimar la duración del tiempo durante el cual puede ocurrir el secuestro.

Una mejor rotación de cultivos contribuye a la resiliencia al cambio climático en la agricultura. Al diversificar las secuencias de cultivos, los agricultores pueden adaptarse mejor a las condiciones climáticas cambiantes. Por ejemplo, incluir en rotación cultivos tolerantes a la sequía puede ayudar a mitigar el impacto de la escasez de agua, que se ve exacerbada por el cambio climático. Esta adaptabilidad puede reducir la vulnerabilidad de los sistemas agrícolas a fenómenos climáticos extremos, promoviendo aún más la sostenibilidad y la reducción de emisiones

El potencial de los residuos de cultivos como una fuente de biomasa energética renovable. La biomasa derivada de los residuos de cultivos, como los restos de maíz o paja de trigo, se puede convertir en biocombustibles sólidos o líquidos. Esta opción no solo proporciona una fuente de energía sostenible, sino que también puede reducir la presión sobre los recursos fósiles y las emisiones de gases de efecto invernadero.

El compostaje es parte del ciclo de carbono natural. Durante el proceso de compostaje, los microorganismos descomponen la materia orgánica, liberando CO₂ al ambiente, sin embargo, este CO₂ proviene principalmente de la respiración microbiana y de la descomposición de la materia orgánica. En teoría, el CO₂ liberado durante el compostaje es parte del ciclo natural y no contribuye al aumento neto de CO₂ en la atmósfera, siempre que se utilice el compost como enmienda orgánica en la agricultura y se fomente la captura de carbono en el suelo.

2.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La agricultura en todo el mundo enfrenta serios desafíos, ya que los gobiernos, las corporaciones, los agrónomos de investigación, los agricultores y los consumidores buscan negociar un equilibrio crítico pero dinámico entre el bienestar humano, la productividad, la rentabilidad, y la sostenibilidad ambiental. La comunidad científica y los responsables políticos deben abordar de manera efectiva la reducción de estas emisiones para evitar un deterioro continuo de nuestro entorno y garantizar un futuro sostenible para las generaciones venideras.

En principio, manifiestan que el secuestro de carbono en ecosistemas terrestres es un proceso crucial para mitigar el cambio climático al retirar el dióxido de carbono de la atmósfera y almacenarlo en forma de carbono orgánico en suelos y vegetación. Sin embargo, (Miller y Carriveau 2019) señalan que, si bien el secuestro de carbono es esencial, no puede reemplazar la reducción de las emisiones de origen humano como la principal estrategia de mitigación.

Argumentan que un enfoque en prácticas agrícolas sostenibles aumenta la captura de carbono en el suelo, reducen la erosión y mejoran la salud del ecosistema agrícola. No obstante, (Wilson *et al.* 2022) exponen que su implementación puede variar según las condiciones locales y la disponibilidad de conocimientos técnicos, pronosticando beneficios a largo plazo, tanto en términos ambientales como sociales para su promoción y desarrollo.

El papel de la labranza de conservación en la mitigación de la pérdida de carbono de los campos agrícolas. El arado tradicional libera a la atmósfera el carbono almacenado en la materia orgánica del suelo en forma de dióxido de carbono. En cambio (Cooray *et al.* 2023) deducen que algunos de estos desafíos, incluida la necesidad de adaptar equipos y técnicas para adaptarlos a las prácticas de labranza de conservación; la transición de la labranza convencional a la labranza de conservación puede requerir ajustes en el equipo de siembra, la aplicación de herbicidas y el manejo de nutrientes.

Una mejor rotación de cultivos, especialmente cuando se combina con una labranza reducida, permite la acumulación de materia orgánica en el suelo; esta materia orgánica actúa como sumidero de carbono, secuestrando efectivamente CO₂ de la atmósfera y mitigando su impacto en el cambio climático. (Snapp *et al.* 2005) reconocen que la implementación de rotaciones de cultivos diversificadas puede requerir ajustes en el equipo agrícola, la mano de obra y el conocimiento. Además, la elección de cultivos en una rotación debe considerar el clima regional y las condiciones del mercado.

Los residuos de cultivos son recursos valiosos en la agricultura resiliente y la conservación del medio ambiente, contribuyen a la fertilidad del suelo, prevención de la erosión, producción de biomasa energética, gestión de plagas y enfermedades. (Maurya *et al.* 2020) detallan que la incorporación inadecuada de los residuos de cultivos puede dar lugar a problemas ambientales, como la contaminación del agua y la proliferación de plagas. Además, la gestión de grandes cantidades de residuos puede requerir inversiones en maquinaria y tecnología adecuadas.

El tipo de material compostado, como residuos vegetales, alimentos o lodos de depuradora, puede influir en la cantidad de CO₂ liberada. Los procesos de compostaje a temperaturas más altas tienden a ser más eficientes en la descomposición de la materia orgánica y pueden generar menos emisiones. Por otra parte, (Jaunich *et al.* 2019) argumentan que el compostaje puede generar emisiones directas de CO₂, especialmente en sistemas de compostaje industrial a gran escala; durante el proceso, la degradación de la materia orgánica libera gases, incluyendo CO₂ a la atmósfera.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. CONCLUSIONES

- Las emisiones de carbono tienen un impacto ambiental devastador que se extiende desde el cambio climático hasta la acidificación de los océanos, la pérdida de biodiversidad y la salud humana.
- La agricultura regenerativa está creciendo en importancia a nivel mundial y hay un creciente impulso detrás de su potencial como una práctica de agricultura sostenible que puede lograr resultados climáticos y ambientales mientras produce alimentos y fibras saludables.
- Existe un progreso en las investigaciones que sugieren que la agricultura regenerativa puede apoyar la adaptación y la resiliencia al cambio climático mediante la reducción de las fluctuaciones de la productividad frente a la variabilidad climática y la mejora del bienestar de los agricultores frente a estos choques y presiones.

3.2. RECOMENDACIONES

- Tomar medidas para reducir las emisiones de carbono. Esto incluye la transición a fuentes de energía más limpias y renovables, la promoción de la eficiencia energética, la conservación de los bosques y la reforestación, así como la adopción de prácticas agrícolas y de manejo sostenibles.
- Incorporar técnicas enfocadas en una agricultura regenerativa, tales como labranza cero o reducida, cultivos de cobertura, rotación de cultivos, reducir o eliminar productos agroquímicos, uso de enmiendas orgánicas, mayor uso de plantas perennes y agrosilvicultura, sistemas integrados de cultivo y ganadería con pastoreo controlado.

4. REFERENCIAS Y ANEXOS

4.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvaro, J; Paustian, K. 2011. Potential soil carbon sequestration in a semiarid Mediterranean agroecosystem under climate change: Quantifying management and climate effects (en línea). *Plant and Soil* 338(1):261-272. DOI: <https://doi.org/10.1007/S11104-010-0304-7/METRICS>.
- Archer, D. 2011. *The Global Carbon Cycle* (en línea). New Jersey, United States, Princeton University Press. 1-216 p. DOI: <https://doi.org/10.1515/9781400837076>.
- Chen, C; Mccarl, B. 2001. An investigation of the relationship between pesticide usage and climate change (en línea). *Climatic Change* 50(4):475-487. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1010655503471/METRICS>.
- Claassen, R; Bowman, M; Mcfadden, J; Smith, D; Wallander, S. 2018. Tillage Intensity and Conservation Cropping in the United States (en línea). United States Department of Agriculture :1-27. Consultado 4 ago. 2023. Disponible en www.ers.usda.gov.
- Colina, E; Zambrano, C; Rojas, N; Dueñas, D. 2023. Impactos del cambio climático en la agricultura de subsistencia en la provincia de Los Ríos, Ecuador. In *Memorias IX Convención Iberoamericana sobre ambiente y sustentabilidad*. Calceta, Ecuador p. 18.
- Cooray, A; Rejesus, R; Aglasan, S; Li, Z; Woodley, A. 2023. The impact of conservation tillage intensities on mean yields and yield risk (en línea). *Soil Security* 12:1-20. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.SOISEC.2023.100096>.
- DeLonge, M; Ryals, R; Silver, W. 2013. A Lifecycle Model to Evaluate Carbon Sequestration Potential and Greenhouse Gas Dynamics of Managed Grasslands (en línea). *Ecosystems* 16(6):962-979. DOI: <https://doi.org/10.1007/S10021-013-9660-5/FIGURES/7>.
- Doney, S; Fabry, V; Feely, R; Kleypas, J. 2009. Ocean acidification: the other CO₂ problem (en línea). *Annual review of marine science* 1:169-192. DOI: <https://doi.org/10.1146/ANNUREV.MARINE.010908.163834>.

- FAO (Food and Agriculture Organization). 2008. The carbon sequestration potential in agricultural soils (en línea). s.l., s.e. p. 1-4. Consultado 11 sep. 2023. Disponible en <https://unfccc.int/resource/docs/2008/smsn/igo/010.pdf>.
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2021. Emissions due to agriculture. Global, regional and country trends 2000–2018. FAOSTAT analytical briefs (18):1-14.
- Franzmeier, D; McFee. William; Gravel, J; Kohnke, H. 2016. Soil Science Simplified (en línea). Fifth Edit. Long Grove, Illinois, Waveland Press. 1-189 p. Consultado 1 ago. 2023. Disponible en <https://books.google.com.tj/books?id=4zepDAAAQBAJ&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false>.
- García Berná, JA; Ouhbi, S; Benmouna, B; García Mateos, G; Fernández Alemán, JL; Molina Martínez, JM. 2020. Systematic Mapping Study on Remote Sensing in Agriculture (en línea). Applied Sciences 2020, Vol. 10, Page 3456 10(10):3456. DOI: <https://doi.org/10.3390/APP10103456>.
- Giller, K; Hijbeek, R; Andersson, J; Sumberg, J. 2021. Regenerative Agriculture: An agronomic perspective (en línea). Outlook on Agriculture 50(1):13-25. DOI: https://doi.org/10.1177/0030727021998063/ASSET/IMAGES/LARGE/10.1177_0030727021998063-FIG4.JPEG.
- Herzog, H; Golomb, D. 2004. Carbon Capture and Storage from Fossil Fuel Use (en línea). Encyclopedia of Energy :277-287. DOI: <https://doi.org/10.1016/B0-12-176480-X/00422-8>.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 1990. Climate Change: The IPCC Scientific Assessment (en línea). Houghton, JT; Jenkins, GJ; Ephraums, JJ (eds.). Cambridge, United Kingdom, Cambridge University Press. 1-414 p. Consultado 11 sep. 2023. Disponible en https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ipcc_far_wg_i_full_report.pdf.
- Jaunich, M; Levis, J; Decarolis, J; Barlaz, M; Ranjithan, R. 2019. Solid Waste Management Policy Implications on Waste Process Choices and Systemwide Cost and Greenhouse Gas Performance (en línea). Environmental Science and Technology 53(4):1766-1775. DOI: https://doi.org/10.1021/ACS.EST.8B04589/SUPPL_FILE/ES8B04589_SI_002.X

LSX.

- Kaye, J; Quemada, M. 2017. Using cover crops to mitigate and adapt to climate change. A review (en línea). *Agronomy for Sustainable Development* 37(1):1-17. DOI: <https://doi.org/10.1007/S13593-016-0410-X/FIGURES/4>.
- Khangura, R; Ferris, D; Wagg, C; Bowyer, J. 2023. Regenerative Agriculture—A Literature Review on the Practices and Mechanisms Used to Improve Soil Health (en línea). *Sustainability* 2023, Vol. 15, Page 2338 15(3):2338. DOI: <https://doi.org/10.3390/SU15032338>.
- Klufallah, M; Fadhil, M; Khamidi, M; Jamaludin, N. 2014. Assessment of Carbon Emission Reduction for Buildings Projects in Malaysia-A Comparative Analysis (en línea). *Édition Diffusion Presse Sciences* :1-8. DOI: <https://doi.org/10.1051/C>.
- Kushwaha, NL; Elbeltagi, A; Patel, A; Zakwan, M; Rajput, J; Sharma, P. 2022. Assessment of water resources using remote sensing and GIS techniques. 7:85-98. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91910-4.00006-6>.
- Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security (en línea). *Science (New York, N.Y.)* 304(5677):1623-1627. DOI: <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1097396>.
- Lelong, CCD; Burger, P; Jubelin, G; Roux, B; Labbé, S; Baret, F. 2008. Assessment of Unmanned Aerial Vehicles Imagery for Quantitative Monitoring of Wheat Crop in Small Plots (en línea). *Sensors (Basel, Switzerland)* 8(5):3557-3585. DOI: <https://doi.org/10.3390/S8053557>.
- Liu, M; Wu, J; Zhu, X; He, H; Jia, W; Xiang, W. 2015. Evolution and variation of atmospheric carbon dioxide concentration over terrestrial ecosystems as derived from eddy covariance measurements. *Atmospheric Environment* 114:75-82. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.ATMOENV.2015.05.026>.
- Maurya, R; Bharti, C; Singh, T; Pratap, V. 2020. Crop Residue Management for Sustainable Agriculture. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 9(5):3168-3174. DOI: <https://doi.org/10.20546/IJCMAS.2020.905.376>.

- Miller, L; Carriveau, R. 2019. Energy demand curve variables – An overview of individual and systemic effects. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 35:172-179. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.SETA.2019.07.006>.
- Møller, J; Boldrin, A; Christensen, TH. 2009. Anaerobic digestion and digestate use: accounting of greenhouse gases and global warming contribution (en línea). *Waste management & research : the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA* 27(8):813-824. DOI: <https://doi.org/10.1177/0734242X09344876>.
- Pandey, C; Begum, M. 2010. The effect of a perennial cover crop on net soil N mineralization and microbial biomass carbon in coconut plantations in the humid tropics (en línea). *Soil Use and Management* 26(2):158-166. DOI: <https://doi.org/10.1111/J.1475-2743.2010.00272.X>.
- Paulsen, H. 2020. Chapter 1 : Introduction: Carbon sequestration in agricultural soils (en línea). *Inventory of techniques for carbon sequestration in agricultural soils* :3-5. Consultado 8 ago. 2023. Disponible en <https://northsearegion.eu/media/12543/20200313-cf-rapport.pdf>.
- Preti, M; Verheggen, F; Angeli, S. 2021. Insect pest monitoring with camera-equipped traps: strengths and limitations. *Journal of Pest Science* 94(2):203-217. DOI: <https://doi.org/10.1007/S10340-020-01309-4>.
- Ravishankara, A; Daniel, J; Portmann, R. 2009. Nitrous oxide (N₂O): the dominant ozone-depleting substance emitted in the 21st century (en línea). *Science (New York, N.Y.)* 326(5949):123-125. DOI: <https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1176985>.
- Rhodes, C. 2017. The imperative for regenerative agriculture (en línea). *Science progress* 100(1):80-129. DOI: <https://doi.org/10.3184/003685017X14876775256165>.
- Schulte, L; Dale, B; Bozzetto, S; Liebman, M; Souza, G; Haddad, N; Richard, TL; Basso, B; Brown, RC; Hilbert, JA; Arbuckle, JG. 2021. Meeting global challenges with regenerative agriculture producing food and energy (en línea). *Nature Sustainability* 2021 5:5 5(5):384-388. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41893-021-00827-y>.

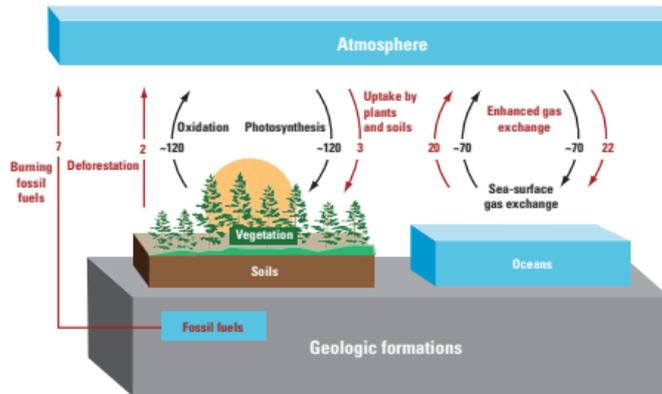
- Shreyas, R; Padmaja, B; Adithya, HB; Sunil, MP. 2019. Autonomous Ground Vehicle for Agricultural Applications (en línea). *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies* 26:200-206. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-03146-6_20.
- Singh, A; Singh, J. 2017. Impact of Agrochemicals on Climate Change : A Study (en línea). *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research* 4:1-10. Consultado 9 ago. 2023. Disponible en <https://www.jetir.org/papers/JETIR1711217.pdf>.
- Snapp, S; Swinton, S; Labarta, R; Mutch, D; Black, J; Leep, R; Nyiraneza, J; O'Neil, K. 2005. Evaluating Cover Crops for Benefits, Costs and Performance within Cropping System Niches (en línea). *Agronomy Journal* 97(1):322-332. DOI: <https://doi.org/10.2134/AGRONJ2005.0322A>.
- Solomon, S; Qin, D; Manning, M; Marquis, M; Averyt, K; Tignor, M; LeRoy Miller, H; Chen, Z. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC* (en línea). Cambridge, United Kingdom and New York, USA, Cambridge University Press, vol.Chapter 1. p. 93-127 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.04.001>.
- Sundquist, E; Burruss, R; Faulkne, S; Gleason, R; Harden, J; Kharaka, Y; Tieszen, L; Waldrop, M. (2008). Carbon sequestration to mitigate climate change (en línea). s.l., s.e. DOI: <https://doi.org/10.3133/FS20083097>.
- Thomas, C; Cameron, A; Green, R; Bakkenes, M; Beaumont, L; Collingham, Y; Erasmus, BFN; Ferreira De Siqueira, M; Grainger, A; Hannah, L; Hughes, L; Huntley, B; Van Jaarsveld, AS; Midgley, GF; Miles, L; Ortega-Huerta, MA; Peterson, AT; Phillips, OL; Williams, SE. 2004. Extinction risk from climate change (en línea). *Nature* 2003 427:6970 427(6970):145-148. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature02121>.
- Wang, X; He, C; Liu, B; Zhao, X; Liu, Y; Wang, Q; Zhang, H. 2020. Effects of Residue Returning on Soil Organic Carbon Storage and Sequestration Rate in China's Croplands: A Meta-Analysis (en línea). *Agronomy* 2020, Vol. 10, Page 691 10(5):691. DOI: <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY10050691>.

Watkiss, P; Downing, T; Handley, C; Butterfield, R. 2005. The Impacts and Costs of Climate Change. Oxford, England, AEA Technology Environment. p. 1-88.

Wilson, K; Myers, R; Hendrickson, M; Heaton, E. 2022. Different Stakeholders' Conceptualizations and Perspectives of Regenerative Agriculture Reveals More Consensus Than Discord (en línea). Sustainability (Switzerland) 14(22):15261. DOI: <https://doi.org/10.3390/SU142215261/S1>.

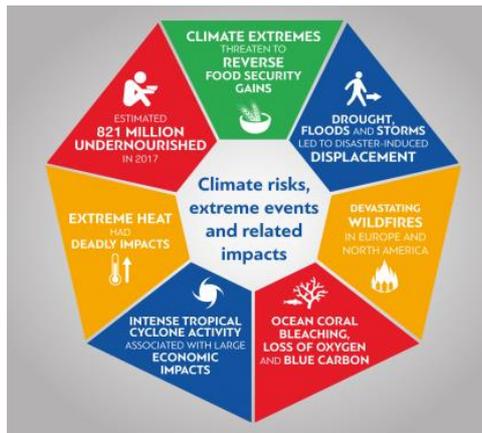
4.2. ANEXOS

Anexo 1. Ciclo global del carbono



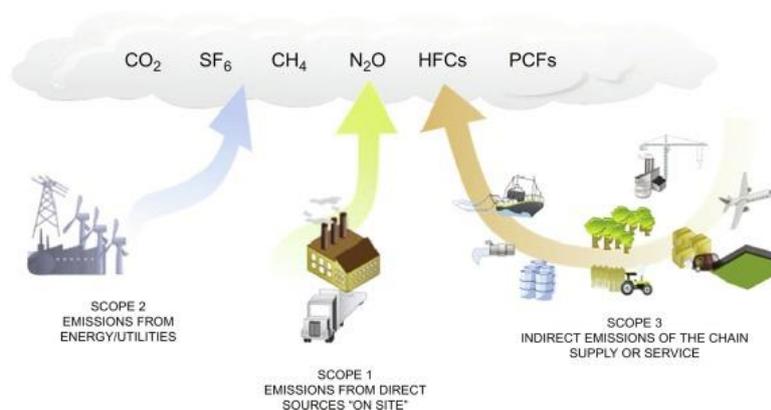
Elaborado por (Sundquist *et al.* 2008).

Anexo 2. Impacto del cambio climático



Elaborado por (FAO (Food and Agriculture Organization) 2008)

Anexo 3. Fuentes de emisión de gases de efecto invernadero



Elaborado por (DeLonge *et al.* 2013)

Anexo 4. Labranza de conservación



Elaborado por (Claassen *et al.* 2018).

Anexo 5. Cultivos de cobertura



Elaborado por (Kaye y Quemada 2017).

Anexo 6. Incorporación de cosechas pasadas



Elaborado por (Paulsen 2020).